

Een Living Bridge voor Amsterdam

Ontwerpstudie naar een vaste oeververbinding over het IJ

Eindrapport

Luuk Dietz
November 2006

Luuk Dietz
November 2006

Afstudeerverslag

voor het verkrijgen van de titel van
Master of Science in Gebouwen en Civieltechnische Constructies
aan de Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen
van de Technische Universiteit Delft

Copyright Luuk Dietz, TU Delft

Afstudeercommissie:

Prof. ir. L.A.G. Wagemans <i>Voorzitter afstudeercommissie</i>	Technische Universiteit Delft Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen Sectie Gebouwen en Civieltechnische Constructies
---	---

Prof. dipl-ing. J.N.J.A. Vamberský	Technische Universiteit Delft Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen Sectie Gebouwen en Civieltechnische Constructies
------------------------------------	---

Prof. ir. A.P.J.M. Verheijen	Technische Universiteit Delft Faculteit Bouwkunde Afdeling Bouwtechnologie
------------------------------	--

Contact: luuk_dietz@hotmail.com

Voorwoord

Dit is het eindrapport van mijn afstudeerproject, uitgevoerd binnen de sectie Gebouwen en Civieltechnische Constructies aan de faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen van de Technische Universiteit Delft. Het verslag behandelt het onderzoek naar de mogelijkheden van een living bridge over het IJ in Amsterdam.

Het verslag is voor de leesbaarheid opgedeeld in een aantal hoofdstukken met op zichzelf staande thema's. Het verloop van het onderzoek is echter veel minder rechtlijnig geweest. De indeling van het afstudeerproject in delen is dan ook eerder een administratieve dan een inhoudelijke scheiding.

Hierbij zou ik de leden van de afstudeercommissie willen bedanken voor hun waardevolle advies en steun bij het project. Daarnaast zou ik allen willen bedanken die hebben meegedacht om dit project tot een goed einde te brengen.

Mijn studie Civiele Techniek zou nooit zijn voltooid zonder de hulp van mijn ouders. Graag zou ik hen en mijn broer Richard bedanken voor hun steun en interesse.

Ten slotte zou ik mijn huisgenoten willen bedanken voor de mooie tijd en hun steun tijdens mijn afstudeerperiode, en de mede-afstudeerders met wie ik deze lange maar plezierige tijd op de verschillende afstudeer'hokken' heb mogen doorbrengen.

November 2006

Samenvatting

Amsterdam probeert al jaren om zowel Noord als de oevers van het IJ te betrekken bij het stadsleven. De gehele zuidoever en het westelijke deel van de noordoever worden of zijn al herontwikkeld. De zuidoever is inmiddels veel meer een onderdeel van de stad. Noord en de noordoever liggen echter nog steeds relatief geïsoleerd van het centrum. Hoewel de komst van de Noord/Zuidlijn de bereikbaarheid zal verbeteren, wordt Noord pas echt een onderdeel van de stad wanneer er een visuele verbinding wordt gemaakt.

Een vaste oeververbinding over het IJ zorgt ervoor dat bewoners van Noord eenvoudiger te fiets of te voet naar het centrum kunnen. Om ook mensen uit het centrum naar de andere kant van het Centraal Station te krijgen, moet er een reden zijn om over te steken. Dit extra programma kan op de noordoever worden gesitueerd, maar ook op de brug zelf. Dan wordt de brug een *living bridge*. Het ontwerp van deze *living bridge* was het hoofddoel van dit afstudeerproject.

De scheepvaart speelde en speelt nog steeds een belangrijke rol voor Amsterdam, en is daarom een zeer belangrijke randvoorwaarde voor de *living bridge*. Het vervoer van gevaarlijke stoffen over water zal moeten worden gereguleerd om op de brug en de functies op en aan de brug voldoende veiligheid te garanderen. De scheepvaart wordt daarvoor gescheiden in verschillende vaargeulen. Beroepsvaart wordt verdeeld over twee vaargeulen, zodat éénrichtingsverkeer ontstaat. Het vervoer van brandbaar gas wordt beperkt tot de nacht, zodat overdag slechts nog rekening moet worden gehouden met brandbare vloeistoffen, voornamelijk benzine. Wanneer een voldoende brandwerend gevelsysteem wordt toegepast, kunnen direct naast de vaargeul verblijfsfuncties (voor gebruik overdag) worden geplaatst. Woningen kunnen pas vanaf 25 meter van de vaargeul worden gebouwd, in verband met de 's nachts varende gasschepen.

Aanvaring van schepen is een andere belangrijke randvoorwaarde. Het IJ wordt zeer druk bevaren, door verschillende typen schepen. De rijnvaartschepen zijn een maatgevende factor voor aanvaarbeveiliging, met name door hun hoge snelheid. Maar verreweg de zwaarste schepen zijn de cruise-schepen, die vanaf de Noordzee tot de cruise-terminal voorbij de brug varen. Deze schepen zijn als uitgangspunt gebruikt voor het systeem van aanvaarbeveiliging. Daarbij wordt gebruik gemaakt van een geleidingsfuik, waarbij de schepen ter plaatse van de brug en bebouwing door een smalle geul worden geleid. Grote stuurafwijkingen worden daardoor vermeden, en dus ook grote belastingen op de constructie.

Aan de uiteinden van de geleidingswerken kunnen de schepen wel onder een grotere hoek op de geleidingsconstructie varen. Hier wordt de constructie versterkt met een ponton. Wanneer schepen nog grotere stuurfouten maken, en dus de vaargeul geheel missen, worden ze afgeremd door de opgehoogde bodem. De cruise-schepen varen alleen door de hoofdvaargeul. Op het moment van passeren kan de vaargeul niet gebruikt worden voor overige vaart.

Na bestudering van de randvoorwaarden is een aantal concepten ontwikkeld. Gezien het belang van de scheepvaart en het SAIL-evenement is gekozen voor het concept verbinder, bestaande uit een hoofdverkeersader, met daaraan toegevoegd extra functies. De sprong van het centrum naar Noord wordt daarbij verdeeld in meerdere kleine stappen, zodat de mentale barrière minder groot wordt. Het IJ wordt overgestoken in vijf stappen, tussen kunstmatige eilanden. Het ruimtelijk ontwerp is uitgebreid tot de beide oevers, zodat een betere inpassing in de stad wordt bereikt.

De brug wordt bij de centrale oversteek uitgevoerd als hefbrug. De heftorens vervullen daarbij niet alleen een constructieve functie, maar behuizen ook de extra functies



Plattegrond living bridge, met eilanden, torens en hoofdvaargeulen



van de *living bridge*. Voor de vorm van de brug is een lensligger gekozen, die tot uitdrukking brengt dat de brug zowel opgelegd kan worden op vaste punten als opgehangen aan kabels. Het brugdek wordt tot een hoogte van 62,8 meter boven waterniveau geheven. De vrije doorvaarthoogte bedraagt daarbij 60,5 m. Ook in geheven stand is de brug toegankelijk. De brug kan dan via liften worden bereikt, zodat men alsnog kan oversteken. De hefinstallatie wordt in de onderbouw geplaatst, zodat belastingen en trillingen in de torens beperkt blijven.

De eilanden bestaan uit een kade, een onderbouw tot aan het brugdekniveau en een bovenbouw. Het kadeniveau van de twee middelste eilanden ligt op 1,5 meter boven waterniveau, het brugdekniveau op 11,5 meter. In de bovenbouw is ruimte voor 12 kantoorniveau's, die in de toekomst ook kunnen worden ingericht als hotel of woningen. Daarboven bevinden zich een volledige en een halve publieke verdieping en een uitzichtdek. In de onderbouw bevinden zich publieke functies en ondersteunende functies voor de bovenliggende kantoren. De plattegrond van de bovenbouw is ingedeeld in vier zones. De middenzone, bestaande uit vijf stramien van zes meter, is de kantoorzone. Aan beide zijden daarvan bevindt zich een dienende zone, waarin alle ontsluiting, sanitair en ventilatie is geplaatst. In deze zone wordt ook in de stabiliteit van de toren voorzien. Op de kopzone van de toren bevinden zich dubbelhoge ruimten, voor bijvoorbeeld een vergaderzaal.

De constructie van de bovenbouw bestaat uit een staalskelet dat is gestabiliseerd door middel van diagonaalverbanden. De twee torens per eiland worden gekoppeld door drie sets kruisverbanden, om voldoende langsstabiliteit te garanderen.

De gevel bestaat uit drie lagen. De binnenste twee lagen zijn verdiepingshoog glas, afgewisseld met ventilatieroosters.

De buitenste laag voorziet in de zonwering en brandwering. Hiervoor is een systeem ontwikkeld van louvres, die aan de achterzijde onderling zijn verbonden met een contragewicht. Bij brand wordt de besturing ontkoppeld, waardoor de louvres dichtklappen en een branddicht scherm vormen.

De onderbouw wordt zwaar en ruw uitgevoerd, zodat kade en plint aansluiten bij het ruwe karakter van het IJ en de voormalige havens. De fundering van de brug en de eilanden verdient door de slechte ondergrond en de aanwezigheid van de metro tunnel van de Noord/Zuidlijn extra aandacht. Door het gebruik van een steigerconstructie worden grote zakkings voorkomen, en wordt de uitvoering van de bouw vereenvoudigd in vergelijking met het aanleggen van echte eilanden.

De verschillende brugdelen zijn door het gebruik van dezelfde materialen, elementen en detaillering familie van elkaar, terwijl de hoofdvorm van elke brug uiting geeft aan de constructieve werking.

Uit de uitgevoerde ontwerpstudie kan worden geconcludeerd dat een *living bridge* over het IJ veel minder onrealistisch is dan het havenbedrijf suggereerde in een brief aan de auteur. Daarbij werd gesteld: "Een uitkomst van een onderzoek naar de gevolgen en de veiligheid voor een *living bridge* staat bij voorbaat al vast, het is niet mogelijk". Dit onderzoek laat zien dat er inderdaad harde randvoorwaarden gelden ten aanzien van scheepvaart en veiligheid. Maar ook met inachtneming van deze randvoorwaarden is een brug over het IJ wel degelijk mogelijk.

Het gemaakte ontwerp als *living bridge* sluit bovendien aan op de ontwikkelingen op de noordoever, en brengt Noord en de beide IJ-oeveren dicht bij de stad. De *living bridge* als geheel, met de bruggen, eilanden en torens is daarom een interessante en waardevolle toevoeging aan de stad Amsterdam.

Inhoudsopgave

Voorwoord	3
Samenvatting	5
DEEL I	
1. Inleiding	13
2. Het afstudeerproject	17
2.1 Probleemstelling	17
2.2 Doelstelling	17
2.3 Projectfasen	17
2.4 Persoonlijke doelen	18
2.5 Afstudeercommissie	19
3. De living bridge	21
3.1 Definitie living bridge	21
3.2 Onderzoek Janneke Schopman	24
4. Havengebieden	31
5. Amsterdam	41
5.1 Centrum	41
5.2 Noord	43
5.3 IJ-oever	47
6. Projectkader	55
6.1 Doelgroepen	55
6.2 Locatie	61
6.3 Bodem	63
6.4 Ontwerpgebied	66
6.5 Scheepvaart	72
6.6 Fiets- en wandelverkeer	74
7. Veiligheid	77
7.1 Risico's	77
7.2 Vervoer van gevaarlijke stoffen	82
7.3 Nieuwe situatie	87
8. Aanvaarbeveiliging	91
8.1 Strategie	91
8.2 Waarden schip	92
8.3 Energieopname	95
8.4 Maatregelen - Bodem	97
8.5 Maatregelen - Constructies	102
8.6 Voorbeeldgevallen	111
8.7 Oplossingen	112

DEEL II

9. Concepten	117
9.1 Conceptideeën	117
9.2 Verbinder	120
9.3 Stromende ruimte	122
9.4 Stad aan de oevers	124
9.5 Stad in het IJ	126
9.6 Rups	128
9.7 Vergelijking	130
10. Ruimtelijk ontwerp	131
10.1 Inleiding	131
10.2 Station	133
10.3 Noordoever	137
10.4 De brug	139
11. Constructieve concepten	145
12. Masterplan	159
12.1 Stationsplein	159
12.2 Eerste eiland	162
12.3 Tweede eiland	163
12.4 Derde eiland	163
12.5 Vierde eiland	166
12.6 Tolhuisplein	168
12.7 Tolhuispark	168
12.8 Shell-terrein	171
12.9 Sixhaven	171

DEEL III

13. Ontwerp hefbrug	179
13.1 Eerste ontwerp - Functioneel ontwerp	179
13.2 Eerste ontwerp - Belastingen	183
13.3 Eerste ontwerp - Ontwerp staalconstructie	187
13.4 Eerste ontwerp - Aanpassingen ontwerp	189
13.5 Tweede ontwerp - Functioneel ontwerp	193
13.6 Tweede ontwerp - Belastingen	196
13.7 Tweede ontwerp - Ontwerp staalconstructie	197
13.8 Hefmechanisme	203
14. Ontwerp torens	211
14.1 Functioneel ontwerp	211
14.2 Constructief concept	220
14.3 Gevelprincipe	221
14.4 Plint	224
15. Stabiliteitsberekening toren	225
15.1 Configuratie toren	225
15.2 Verticale belastingen	227
15.3 Horizontale belastingen loodrecht op lange gevel	232
15.4 Horizontale belastingen loodrecht op korte gevel	243
16. Ontwerp onderbouw	249
16.1 Bodemsamenstelling	249
16.2 Huidige bouwactiviteiten	252
16.3 Ophoging bodem	254
16.4 Fundering eilanden	257
16.5 Funderingsberekening	260
16.6 Geleidewerken	272
16.7 Bouwvolgorde	276
17. Ontwerp overige brugdelen	281
17.1 Functioneel ontwerp	281
17.2 Constructief systeem	284
17.3 Ontwerpprincipes	286
18. Conclusies en aanbevelingen	289
18.1 Conclusies per hoofdstuk	289
18.2 Hoofdconclusies	294
18.3 Aanbevelingen	295

Referenties deel I	297
Referenties deel II	303
Referenties deel III	305
Illustratieverantwoording	309

BIJLAGEN

Zie apart ingebonden bijlagenrapport

TEKENMAP

Zie apart ingebonden tekenmap

DEEL I

1. Inleiding

Amsterdam houdt niet op bij de IJ-oever. De stad probeert al jaren om de noordoever van het IJ te betrekken bij het stadsleven. Mede daarom wordt momenteel de Noord/Zuidlijn aangelegd. Ook is begonnen met de herontwikkeling van de noordelijke IJ-oever. Er blijft echter een visuele scheiding bestaan tussen de noord- en zuidoever.

De mogelijkheid om te voet of met de fiets van noord naar het centrum te gaan verbindt de noordzijde van de rivier met het centrum. Maar om te zorgen dat ook mensen van het centrum naar noord gaan, moet ze een reden gegeven worden om erheen te gaan. Daarom zal het programma van de verbinding moeten worden uitgebreid tot meer dan alleen een brug. Dit kan door extra functies toe te voegen op de noordoever, of op de brug zelf.

Het idee van de living bridge bestaat al sinds de middeleeuwen. Om verschillende redenen werden functies aan de brug toegevoegd naast de traditionele functie van het brengen van mensen naar de overkant. Een normale brug is meestal slechts een verbinding, een middel dat ervoor zorgt dat mensen ergens anders kunnen komen. De living bridge werkt op twee manieren. Naast de functie van verbinder trekt de brug ook mensen tot zichzelf aan, ze wordt een plek om heen te gaan.

In dit afstudeerproject is een ontwerpstudie gedaan naar een living bridge over het IJ in Amsterdam. In plaats van een theoretisch onderzoek is er gekozen om een ontwerp te maken voor een specifieke situatie. Zo zullen concretere problemen moeten worden opgelost. Dit leidt tot een breder en meer geïntegreerd kennisniveau van het onderwerp.

Het project is in te delen in drie onderdelen. Het eerste deel behandelt de voorstudies. Het project wordt gedefinieerd, en er wordt een projectkader opgesteld. Vervolgens wordt wat dieper ingegaan op de technische haalbaarheid van een bewoonde brug over een druk bevaren vaarroute. Dit leidt tot uitgebreidere randvoorwaarden met betrekking tot het vervoer van gevaarlijke stoffen en de aanvaarbeveiliging.

Het tweede deel beslaat het conceptontwerp voor de brug. Er worden een aantal stedenbouwkundige concepten opgesteld, waarna in een aantal ontwerpstappen wordt toegewerkt naar een masterplan voor de brug en de directe omgeving.

Het derde deel beschrijft de uitwerking van een deel van dit masterplan, namelijk de living bridge zelf. Hiervan worden een aantal onderdelen verder uitgewerkt, zoals de hefbrug, de heftorens en de eilanden in het IJ.

2. Het afstudeerproject

2.1 Probleemstelling

Hoewel Amsterdam al jaren probeert om de noordoevers van het IJ te betrekken bij het stadsleven, ligt het gebied nog steeds relatief geïsoleerd van het centrum. Met de oplevering van de Noord/Zuidlijn zal de situatie zeker verbeteren. Maar de twee oevers werken pas echt als een geheel als een visuele en programmatische verbinding wordt gemaakt.

Een vaste oeververbinding over het IJ zorgt ervoor dat mensen uit noord te voet en op de fiets naar het centrum kunnen om te winkelen of om voor een restaurantbezoek. Maar om ook mensen uit het centrum naar de andere kant van het centraal station te krijgen, moet er een reden zijn om de oversteek te maken. Dit extra programma kan op de noordoever gesitueerd worden, maar ook op de brug zelf. Dan wordt de brug een living bridge.

2.2 Doelstelling

Het hoofddoel van dit afstudeerproject is het ontwerp van een living bridge over het IJ in Amsterdam. Het project bestaat uit drie delen:

Oriëntatie

Een oriënterende studie naar de locatie, haar sociale en culturele situatie, de functionele en programmatische mogelijkheden. Een studie naar veiligheid bij meervoudig ruimtegebruik, en naar aanvaerbeveiliging.

Programma en conceptontwerp

Ontwikkelen van een conceptvoorstel op het gebied van infrastructuur, stadsontwikkeling en architectonische visie. Vastleggen van een programma voor de living bridge en voor de omgeving. Conceptontwerp van de living bridge.

Constructief ontwerp

Constructief ontwerp voor de brug. Verder gedetailleerd ontwerp van een aantal interessante constructieve elementen.

2.3 Projectfasen

De bovengenoemde onderverdeling kan verder gespecificeerd worden. Dan ontstaan vijf projectfasen.

Oriëntatie

In het eerste deel van het project wordt een oriënterende studie verricht in twee richtingen. Er wordt een literatuurstudie gedaan naar de living bridge. Het idee van de living bridge wordt besproken, en er wordt gekeken naar vergelijkbare stedenbouwkundige situaties.

Daarnaast wordt onderzoek gedaan naar de situatie in Amsterdam. De locatie kan worden onderverdeeld in drie delen: het centrum, het IJ met zijn oevers, en noord. Er wordt onderzoek gedaan in verschillende richtingen, zoals de huidige demografische situatie, de plannen voor de gebieden, de infrastructuur en de architectonische mogelijkheden. Door het IJ en zijn oevers als één onderdeel te zien wordt meer nadruk gelegd op het belang van de waterkant. Dit is een belangrijk uitgangspunt voor het ontwerp. In deze fase wordt ook een bandbreedte vastgelegd voor de locatie van de brug.

Conceptontwerp

Voordat een ontwerp gemaakt wordt voor de brug, wordt een ontwerpstudie gedaan voor een aantal onderwerpen. Door het maken van een aantal conceptontwerpen kan een consistente visie worden ontwikkeld op het gebied

van stedenbouwkunde, verkeerskundige oplossingen, architectuur en de algemene doelen van het ontwerpen van een brug over het IJ. Deze studies resulteren in de keuze voor een conceptontwerp, met bijbehorend programma. Het ontwerp bevat de locatie van de brug, de aansluitingen met de beide oevers, en de extra functies die de brug zal herbergen. Ook wordt een eerste idee gegeven van visuele kwaliteiten, materiaal mogelijkheden en constructieprincipes.

Constructief concept

Het conceptontwerp wordt vervolgens gebruikt om een constructief concept te bepalen. Eigenlijk wordt in dit stadium een geïntegreerd voorlopig ontwerp gemaakt. In een aantal iteratieve stappen wordt gepoogd om constructie, architectuur en infrastructuur te integreren tot een consistent ontwerp.

Constructief ontwerp

Als het voorlopig constructief ontwerp is gemaakt kunnen de verschillende onderdelen van het ontwerp verder worden uitgewerkt. De hoofdconstructie zal worden ontworpen door middel van fysieke en computermodellen; Een conceptontwerp wordt gemaakt voor de funderingsconstructie.

Presentatie

De laatste fase van het afstudeerproject bestaat uit de presentatie van de resultaten. Naast de voordracht wordt een verslag gepresenteerd met de beschrijving van het gehele ontwerpproces. Dit rapport is het resultaat.

2.4 Persoonlijke doelen

Naast de inhoudelijke doelstelling kunnen een aantal persoonlijke doelen worden opgesteld. Aan de hand van

deze doelen kon het project in verschillende fasen tussentijds geëvalueerd en, indien nodig, bijgestuurd worden. Hoewel ongebruikelijk in een wetenschappelijk verslag, wordt hieronder de ik-vorm gebruikt. De persoonlijke aard van de doelen kan daarmee gemakkelijker verwoord worden.

Kennisniveau

Dit afstudeerproject is de afronding van mijn studie civiele techniek. Het project is in de eerste plaats een academische test. Het zal al dan niet aantonen dat alle doorlopen vakken hebben bijgedragen aan een voldoende kennisniveau op een aantal vakgebieden. Bovendien zal blijken of de integratie tussen de verschillende vakgebieden voldoende tot stand is gekomen.

Communicatie

Ontwerpen is niets zonder communicatie. Gedurende het project wordt daarom zo veel mogelijk met verschillende partijen overlegd en worden verschillende presentatietechnieken geoefend.

Integratie van kennis

Het afstudeerwerk valt onder de vakgroep met als onderwerp structural engineering en building engineering, oftewel constructief ontwerp en ontwerpen van gebouwen. Er is geprobeerd naast deze thema's (in mindere mate) ook andere onderwerpen binnen de civiele techniek aan bod te laten komen, zoals bijvoorbeeld verkeerskunde. Ook heb ik door het gehele project heen geprobeerd mijn kennis van architectonisch ontwerpen te integreren in het project.

Met het afronden van mijn studie is het afstudeerproject ook een laatste stap in de voorbereiding voor het bedrijfsleven. Door gesprekken met mensen uit verschillende werkomgevingen heb ik geprobeerd een completer beeld te krijgen van de arbeidsmarkt en de verschillende werksituaties.

2.5 Afstudeercommissie

Prof. ir. L.A.G. Wagemans
Voorzitter afstudeercommissie

Technische Universiteit Delft
Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen
Sectie Gebouwen en Civieltechnische Constructies

Prof. dipl-ing. J.N.J.A. Vamberský

Technische Universiteit Delft
Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen
Sectie Gebouwen en Civieltechnische Constructies

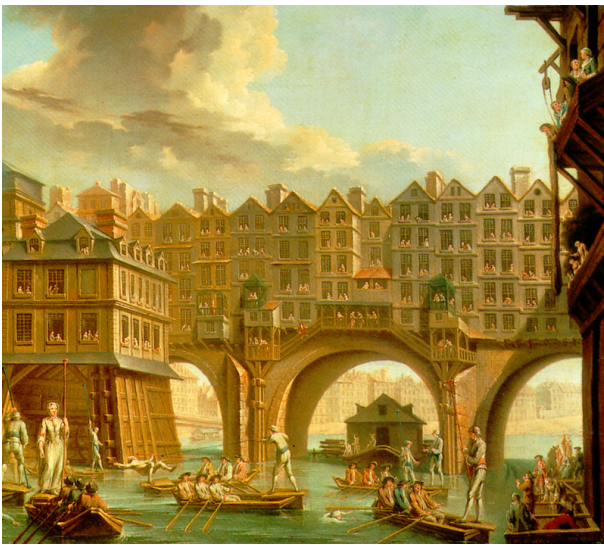
Prof. ir. A.P.J.M. Verheijen

Technische Universiteit Delft
Faculteit Bouwkunde
Afdeling Bouwtechnologie

3. De living bridge

De Living Bridge onderscheidt zich van andere bruggen in het vormen van een plek. De brug is niet alleen een middel om ergens anders te komen, maar wordt een plaats op zich zelf, waar mensen heengaan. Een brug over het IJ zou bovendien een onderdeel kunnen worden van de waterkant, in de zin dat de brug watergerelateerde functies deelt met de bestaande IJ-oeveren.

Hieronder wordt geprobeerd een definitie te vinden voor de living bridge. Vervolgens wordt een korte samenvatting gegeven van het onderzoek naar living bridges, uitgevoerd door Janneke Schopman.



Pont au Change, Parijs

3.1 Definitie living bridge

De brug als verbinder

Een brug is een constructie die twee zijden van een obstakel verbindt. Deze functie van verbinden is altijd de belangrijkste functie van de brug geweest, en zal dit ook altijd blijven. Dus de brug is in de eerste plaats een element in een serie die als geheel een weg vormt tussen twee andere plekken.

De brug als plek

De brug scheidt echter ook een plek. Wanneer men een brug oversteeft, is men zich vaak bewust van datgene wat wordt overbrugd. De brug markeert de plek waar rivier en weg samenkomen. Dit aanduiden van een plek leidt er toe dat een brug vaak de plek is waar steden beginnen te groeien. In plaats van gewoon ergens langs de weg, kan de plek van de stad precies beschreven worden als de plek waar de rivier wordt overgestoken. Wanneer een brug gebouwd is op een bepaald punt, ontstaat deze plek. Het gebeurt zelden dat een brug wordt afgebroken, behalve wanneer hij vervangen wordt door een nieuwe brug. De plek die voorheen slechts ergens langs een rivier of een weg lag, als ongedefinieerde locatie, is nu een gedefinieerde plek geworden, die vanaf dat moment zal blijven bestaan.

De brug als een symbool

De brug wordt, als belangrijk element in een stad of dorp, vaak gebruikt als een herkenningselement voor de stad. Historische steden als Venetië of Florence worden onmiddellijk geassocieerd met hun beroemde bruggen. Maar ook moderne bruggen kunnen fungeren als symbool voor een stad. De Golden Gate Bridge in San Francisco is misschien wel het beste voorbeeld, maar ook de Erasmusbrug is uitgegroeid tot een symbool voor Rotterdam.

De brug als een activiteitendrager

Naast een symbool voor een stad, kan de brug ook op kleinere schaal betekenis hebben voor de omgeving. Wanneer mensen de plek die door de brug is ontstaan gaan gebruiken om elkaar te ontmoeten, wordt de brug een plek voor sociale gebeurtenissen. De brug wordt een plek waar de levens van mensen worden geleefd, een leefplek.

De living bridge

In de meest gebruikelijke definitie is de living bridge een brug met gebouwen op zijn dek. De meeste gebouwde living bridges hebben deze vorm. De Ponte Vecchio, 's werelds beroemdste living bridge is een goed voorbeeld. Maar deze definitie kan te smal zijn wanneer ze gebruikt wordt voor het ontwerp van een nieuwe living bridge. Daarom worden hieronder een aantal andere definities besproken.

De bewoonde brug

Living bridge kan ook betekenen dat de brug wordt gebruikt als plek om te wonen. Deze definitie betreft de woonfunctie in het programma, en biedt accommodatie aan mensen. Of deze extra functie op het brugdek wordt geplaatst of ergens anders zoals in de brugpijlers is hierbij nog niet bepaald. Dit biedt de ontwerper meer vrijheid. Waar bij de traditionele living bridge de brug en de gebouwen op het dek vaak gescheiden elementen blijven, kunnen bij de bewoonde brug de twee functies meer geïntegreerd worden tot één totaalontwerp.

De brug met extra programma

De term living kan ook gezien worden als meer dan wonen. De living bridge wordt dan niet alleen een verbindend element, maar ook een plek die zelf bezocht kan worden. Verschillende functies kunnen op de brug worden geplaatst, van restaurants, musea of bioscopen tot parken of slechts boulevards, waar men heen gaat om een wandeling te

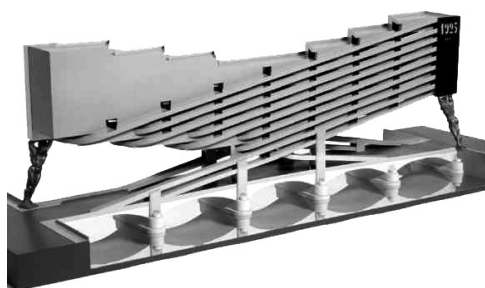
maken. Deze definitie van de living bridge is vergelijkbaar met de hiervoor besproken brug als activiteitendrager.

Deze laatste definitie is de breedst gedefinieerde, maar daarom de meest nuttige voor de situatie in Amsterdam. Een brug in deze vorm zal mensen aantrekken vanuit het gebied er omheen. Daarbij wordt het IJ teruggebracht in het stadsleven. De brug wordt een uitbreiding van het centrum, en tegelijk onderdeel van de nieuwe ontwikkelingen op de noordoever. Door letterlijk de rivier over te steken verbindt de brug de twee oevers tot een samenhangende stad. En doordat de brug een zichtbare verbinding is laat hij mensen het bestaan van de overkant zien.

Voorbeelden uit de geschiedenis

Er zijn verscheidene living bridges gebouwd. Hoewel de bruggen gebouwd werden voor verschillende doeleinden, en ze verschillende functies hadden, werden de meeste living bridges gebouwd in stadscentra. De combinatie van ruimtegebrek in de bestaande stadsstructuur en de economisch aantrekkelijke locatie van de bruggen creëerde de ideale randvoorwaarden voor het bouwen op de brug. Bruggen als de Ponte Rialto in Venetië of de Ponte Vecchio in Florence werden plekken met intense economische activiteiten, terwijl de Old London Bridge in Londen of de Pont au Change in Parijs naast de commerciële activiteiten een huis boden aan een aanzienlijke hoeveelheid mensen.

De meeste historische voorbeelden van living bridges waren echter bestaande bruggen waar later gebouwen op werden geplaatst. Alleen bij de Ponte Rialto kan gesproken worden van een integraal ontwerp. Maar ook hier zijn de brug en de elementen erop constructief gescheiden elementen. Een interessant verschil tussen de gebouwde living bridges en veel van de voorstellen voor living bridges is deze integratie van brug en toegevoegde functies. In de



Hierboven: Melnikov's ontwerp voor parkeerbrug over de Seine, Parijs; rechtsboven: Tower Bridge, Londen; rechtsonder: Ponte Vecchio, Florence.



meeste plannen voor een living bridge in Londen zijn beide sterk geïntegreerd. Dit is echter niet altijd het geval. Wel zijn vrijwel alle voorstellen voor living bridges veel groter in schaal dan de gebouwde voorbeelden.

In Nederland zijn slechts een paar voorbeelden van living bridges. Recentelijk zijn een aantal zogenaamde bruggebouwen gebouwd. Deze gebouwen zijn, hoewel ze wegen of spoorwegen overbruggen, geen echte bruggen in de zin dat ze publiekelijk gebruikt kunnen worden om de weg over te steken. In de oude stadscentra van enkele Nederlandse steden bieden bruggen plaats aan markten en andere functies. De Boterbrug in Delft kan gezien worden als een living bridge in de bredere definitie. Deze brug bood plaats aan de botermarkten, en wordt nu delts gebruikt als terras.

In Rotterdam is een aantal jaar geleden een prijsvraag uitgeschreven voor een living bridge. Het enige andere serieuze voorstel voor een living bridge stamt uit 1848. Dit plannen van de ingenieur Galman stellen een brug voor over het IJ in Amsterdam. De brug bevatte twee 180 meter lange zanddijken, waarop woningen, winkels en pakhuizen konden worden geplaatst. Deze functies zouden inkomsten genereren waarmee de bouwkosten konden worden terugverdiend. Aan het eind van dit hoofdstuk zijn een aantal van de plannen van Galman weergegeven.

3.2 Onderzoek Janneke Schopman

In haar afstudeeronderzoek heeft Janneke Schopman een uitgebreide inventarisatie gedaan van bestaande en geplande living bridges. Er zijn door Schopman 41 gebouwde living bridges bestudeerd, en 31 voorstellen voor living bridges die nooit gebouwd zijn. Hieronder wordt geen overzicht gegeven van de verschillende bruggen, daarvoor wordt verwezen naar het rapport van Schopman (1). Wel wordt een kort overzicht gegeven van de in het rapport gegeven redenen tot bouwen van living bridges, en de redenen waarom plannen voor living bridges niet werden gerealiseerd.

Hoewel Schopman een uitvoerige studie heeft gedaan naar living bridges, lijkt deze vooral gericht op historische voorbeelden. De meeste hieronder genoemde redenen voor het bouwen van een living bridge of het afbreken ervan lijken tegenwoordig niet meer van toepassing. De studie biedt echter wel inzicht in zowel de mogelijkheden als de beperkingen bij het ontwerpen van een living bridge. De living bridge in de door Schopman gebruikte definitie is een combinatie van een brug, gebruikt door verkeer, en gebouwen, die worden gebruikt voor verschillende activiteiten.

Redenen tot bouwen living bridges

Schopman definieert acht historische redenen waarom living bridges ontstonden.

1. De grote hoeveelheid mensen die de brug gebruiken
Door de grote hoeveelheid mensen die een brug gebruiken, waren bruggen vaak een aantrekkingspunt voor kooplieden. Vaak stalden verkopers hun waren uit op de brug.

2. Genereren van inkomsten

Een living bridge betaalt zichzelf terug door verhuur of verkoop van ruimten op de brug. De ruimten kunnen worden gebruikt voor een veelheid aan functies.

3. Gebruik maken van de rivier

Met het ontbreken van waterleiding en riool was de locatie aan de rivier lange tijd een belangrijk voordeel voor werkplaatsen en eetgelegenheden.

4. Het maken van een architectonisch statement

Deze reden is nog steeds geldig, met het nog altijd grote belang van vormgeving van infrastructurele projecten

5. Het gebrek aan ruimte in stadscentra

In overvolle stadscentra is de plek boven de rivier vaak de enige beschikbare ruimte voor uitbreiding.

6. Het stedenbouwkundig overbruggen van grote obstakels

Wegen, spoorwegen en rivieren kunnen een stad in tweeën splitsen. Een living bridge voorziet daarbij in een voortzetting van de stedelijke ruimte.

7. Het plaatsen van kapellen op de brug

Vaak werd in de Middeleeuwen een kapel op een brug gebouwd. Dit kan een vorm van living bridge genoemd worden.

8. Verdediging van de stad

Versterkte bruggen werden gebouwd als verdedigingswerk voor de stad.

Redenen waarom voorstellen niet werden gerealiseerd

Door Schopman worden acht redenen onderscheiden waarom de plannen voor living bridges niet werden uitgevoerd

1. Gebrek aan interesse bij autoriteiten of investeerders

Autoriteiten of investeerders namen het plan niet serieus, vanwege het irrealistische of visionaire karakter van het ontwerp.

2. Het blokkeren van het uitzicht over de rivier en haar oevers

3. De historische waarde van een bestaande brug

Soms werden voorstellen gedaan voor bebouwing van bestaande bruggen. Wanneer de brug een bijzondere waarde had voor de stad werd gekozen voor handhaving van de bestaande brug.

4. Voorstellen waren onderdeel van een ontwerpwedstrijd

Er zijn een aantal prijsvragen uitgeschreven voor ontwerp van een living bridge. Deze prijsvragen hebben tot nu toe nog niet geresulteerd in de bouw van een living bridge.

5. Financiële problemen

In enkele gevallen werd een ontwerp goedgekeurd, maar vervolgens niet uitgevoerd door financiële problemen.

6. Terugdraaien plannen door overheid

Enkele plannen zijn teruggedraaid toen bleek dat de behoefte aan een nieuwe brug minder groot was dan verwacht.

7. Hinder van het waterverkeer

Plannen zijn afgekeurd door de verwachte hinder voor het waterverkeer.

8. Veiligheid

Veiligheid voor bewoners en scheepvaart werd in een geval niet voldoende gegarandeerd.



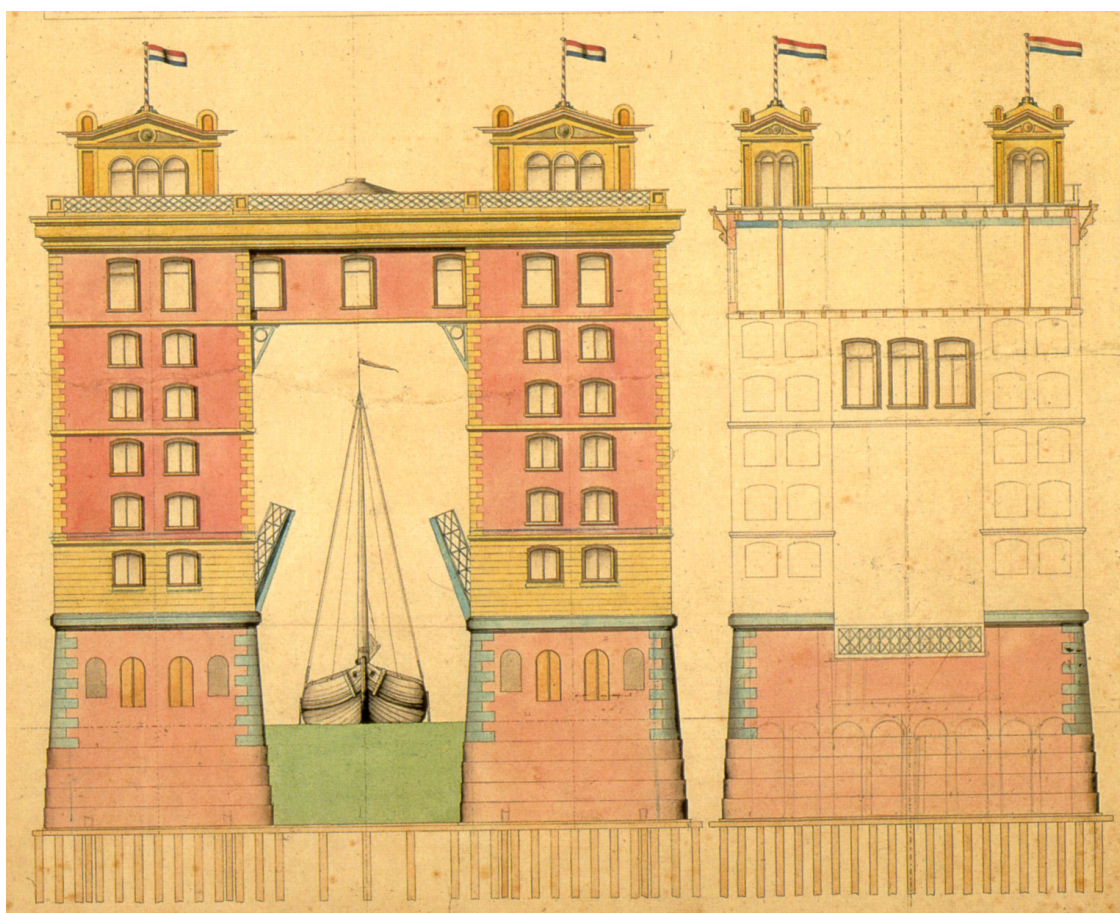
Old London Bridge zoals hij was in 1747, Londen, hier op afbeelding van John Paul, ca. 1880



Pont au Change, Parijs, afbeelding van Nicolas en Jean-Baptiste Raguenet



Tweede brugontwerp voor een brug over het IJ, Amsterdam. Jan Galman, 1857



Deel van het tiende brugontwerp voor een brug over het IJ, Amsterdam. Jan Galman, 1880

4. Havengebieden

De living bridge wordt onderdeel van het revitalisatieproces van de IJ-oeveren. Het voormalig havengebied wordt daarbij omgevormd tot stedelijke leefruimte. Hieronder wordt een aantal voorbeelden bekeken van herbestemming van vergelijkbare stedelijke gebieden.

Havengeschiedenis

In bijna alle grotere steden met – al dan niet open – toegang tot de zee waren havenactiviteiten een belangrijke bron van inkomsten. Deze activiteiten vonden tot in de negentiende eeuw vrijwel altijd dicht bij het centrum plaats. Vanaf de industriële revolutie verdwenen de havenactiviteiten geleidelijk uit de stadscentra. Sommige steden verlegden hun kernactiviteiten naar andere sectoren, en bouwden de havenfuncties af. Andere steden, die de havenactiviteiten wilden behouden, verplaatsten de havens naar de randen van de stad.

In beide gevallen bleven de oude havengebieden vaak lange tijd in stand, maar namen de activiteiten steeds verder af. De gebieden werden een soort niemandsland, waar slechts onduidelijke bedrijfjes gevestigd bleven. De waterkant van oostelijk Manhattan stond bijvoorbeeld bekend als een door de mafia beheerd gebied. Doordat weinig werd afgebroken, zijn veel industriële monumenten bewaard gebleven. Op veel plekken staan nog oude kranen, dokken, sluisen en andere havenwerken.

Herbestemming

Vanaf de jaren zeventig van de vorige eeuw zijn de oude havengebieden weer in de belangstelling geraakt, en zijn op veel plaatsen herbestemmingsplannen gemaakt. De inrichting van de gebieden en de ontstaanswijze van de plannen verschilt, maar op veel plaatsen zijn nu concrete resultaten te zien.

Battery Park

New York heeft een groot aantal kilometers waterlijn. Op en rond Manhattan is nauwelijks zware scheepvaart- of andere watergerelateerde industrie meer te vinden. Grote stukken waterkant zijn echter bezet door snelwegen. Het grootste deel van de waterkant heeft daardoor nog steeds een grootschalig karakter en wordt weinig gebruikt als openbaar leefgebied.

Een uitzondering is Battery Park City. Dit gebied in het zuidwesten van Manhattan, lopend van Pier A aan de zuidpunt van het eiland tot voorbij het gebied waar de WTC-torens stonden, is in een aantal fasen verbouwd tot stedelijk woon- en werkgebied. Er is veel aandacht besteed aan het realiseren van een openbare waterkant. Een jachthaven en aansluitende promenade doen haast europees aan, en er is bewust gekozen voor het weren van autoverkeer, een vrij onamerikaanse maatregel.



Promenade, Battery Park City, voltooid in 1992

De promenade wordt druk bezocht. Een aantal oorzaken kan worden onderscheiden. Het gebied rond Wall Street is vrijwel volledig volgebouwd, en heeft nauwelijks openbaar groen. De groene zone langs het water is daarom een aantrekkelijke plek voor veel bewoners. Ook de mensen die rond Wall Street werken gebruiken het park veel. Door de gewoonte van veel New Yorkers om hun lunch buiten op te eten is de waterkant ook overdag druk.

Doordat de promenade een aaneengesloten route is, gebruiken veel mensen de waterkant om van de ene plek naar de andere te komen. Deze routing stimuleert het gebruik van de promenade. Ook de programmering van de bebouwing stimuleert levendigheid op verschillende momenten. Het gebied bevat een combinatie van woongebouwen en kantorencomplexen, en een aantal kleinere culturele instanties.

Er was echter ook kritiek op het Battery Park. De pittoreske promenade met de kleine boompjes en klassieke

lantaarnpalen refereerde volgens sommigen te duidelijk naar een hang naar de negentiende eeuw. Er werd gezegd dat het Battery Park een Disney-achtige kopie was van het Central Park. (Gastil 2002)

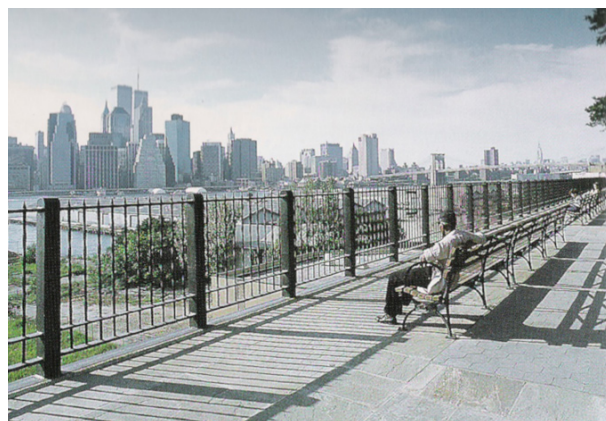
Comprehensive Plan

In 1992 verscheen het Comprehensive Plan. Dit was het eerste overkoepelende fysieke plan voor de kustlijn van New York. Het plan bevatte voornamelijk hoofdlijnen, over welke industrie kon blijven, waar nieuwe ontwikkelingen konden plaatsvinden en waar een openbaar waterfront gerealiseerd moest worden.

Het plan was sterk gebaseerd op de resultaten van het Battery Park. De sterke punten van het Battery Park zijn dan ook terug te vinden in het plan. Drie hoofdpunten van het New York Waterfront Plan zijn het stimuleren van het waterverkeer, de openbare toegang tot de waterkant en het realiseren van doorlopende promenades.



Gantry Plaza State Park, Queens West, 1998



Promenade, Brooklyn Heights, geopend in 1957

Queens West

Queens West, een groot plan met gemengde functies langs het water, kan gezien worden als een reactie op het Battery park. Het plan bood meer vrijheid in de vormgeving van de waterlijn en de landschapsinrichting. Dit resulteerde in een informeler park, het Gantry Park. Waar het Battery Park het laat-negentiende eeuws flaneren als ideaalbeeld zag, is het Gantry park meer gericht op de geschiedenis van de plek zelf.

In het park zijn onderdelen van de watergerichte industrie behouden, zoals drijvende bruggen en kranen. Het park laat de bezoeker meer vrijheid om zelf zijn weg te zoeken en heeft een ruwer karakter, door hoogteverschillen en informelere inrichting. Vissen wordt gestimuleerd en er is zelfs een vis-schoonmaaktabel.

Brooklyn

De kustlijn van Brooklyn lag lange tijd in de schaduw van Manhattan. Hier voltrok zich hetzelfde proces als in andere steden, waarbij de havenindustrie verdween, maar niets ervoor terug kwam. Hoewel Brooklyn Heights, een hoger gelegen wijk landinwaarts, een geliefde plek was om te wonen, bleef de kustlijn van Brooklyn onderontwikkeld. De achter de kuststrook lopende snelweg bleef een barrière. Er lag echter al een promenade, boven de snelweg geplaatst, die uitzicht bood over Manhattan en het water.

Ook ontstond er een klein park tussen Brooklyn Bridge en Manhattan Bridge, met een natuurlijke oever. “Mensen krijgen de kans – uitzonderlijk voor een stadspark – om aan de waterkant te zitten en de golven over hun schoenen te laten stromen” (BBPDC 2003)

De kuststrook had echter grotere potenties, met haar uitzichten over de stad en de haven. En doordat vanaf de jaren tachtig steeds meer mensen uit Manhattan naar Brooklyn

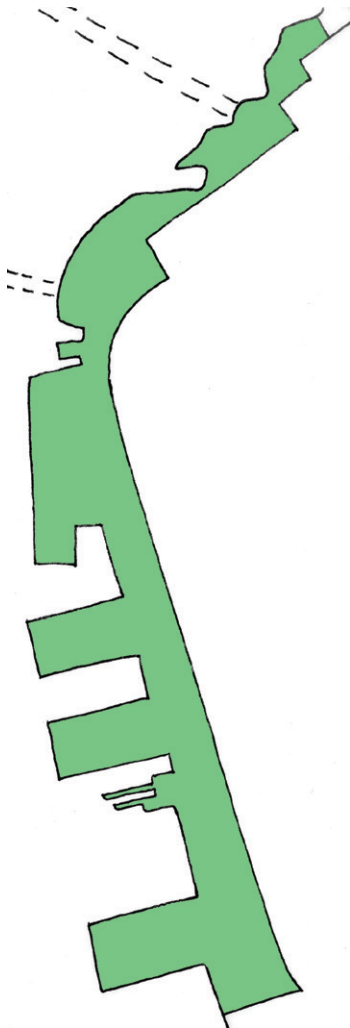
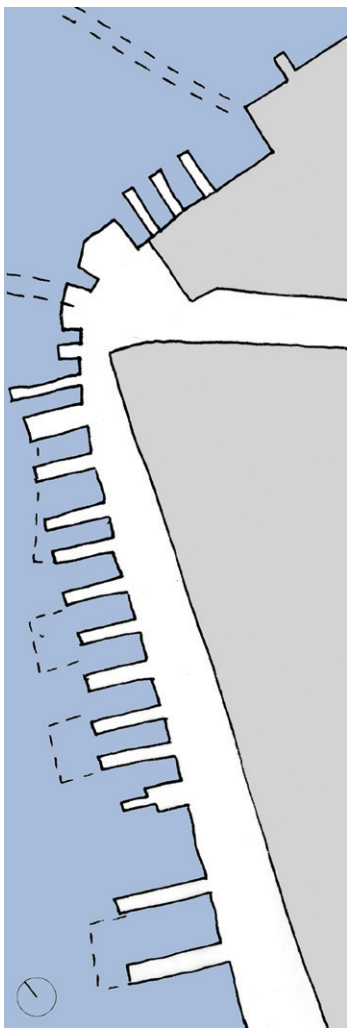
verhuisden vanwege de lagere huizenprijzen, raakte ook Brooklyn vol en ontstond de behoefte aan een groot park.

Het initiatief voor een ontwikkelingsplan werd hier genomen door de bevolking zelf. De plannen voorzien in het behoud van lichte industrie en het toevoegen van andere functies. Ruim tachtig procent van het gebied wordt ingericht als park met een “dramatic range of landscapes”. (Ibid.) Uitgangspunt waren de pieren die achtergebleven waren na het “terugtrekken van de industriële gletscher”. (Gastil 2002)

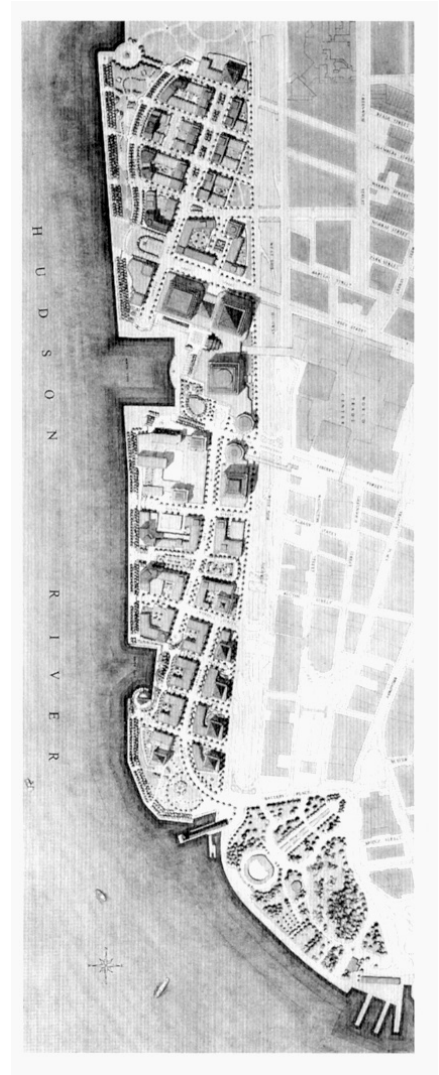
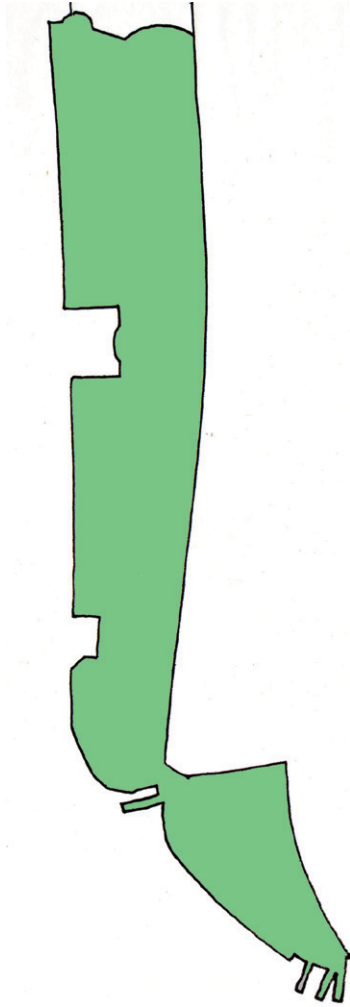
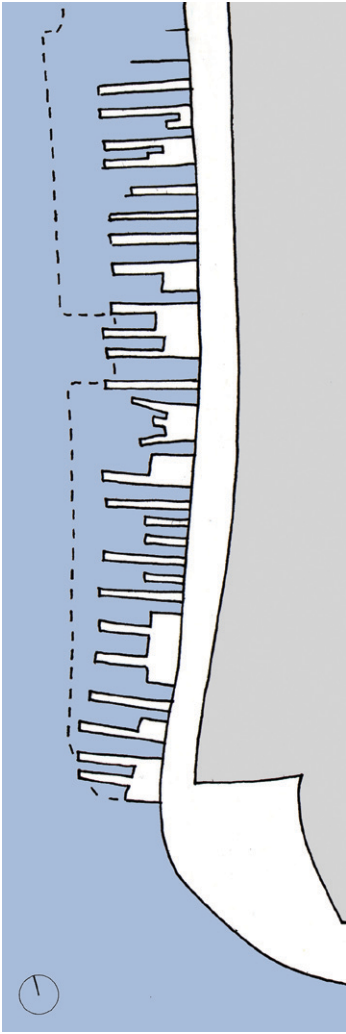
Het plan bestaat uit een verbindingszone evenwijdig met de kustlijn, snelweg en hogergelegen promenade, met daaraan verbonden vijf pieren met van noord naar zuid verschillende thema's: Pier 1 is de enige plek vol met activiteiten: een hotel, cultuur en een restaurant. Pier 2 is bestemd voor algemene recreatie. Op pier drie wordt een aarden amfitheater opgeworpen en komt een fontein. Pier 4 is bestemd voor vissen en pier 5 wordt ingericht als sportterrein.

Het succes van deze aanpak moet nog blijken. Op het eerste gezicht lijkt dit plan wat problemen te hebben. De verbindingszone wordt een concurrent van de bestaande, hoger gelegen promenade, die dichterbij de woongebieden van Brooklyn ligt en bovendien een mooier uitzicht biedt.

Daarnaast lijkt de opzet van een verbindingsstrook met daaraanvast een aantal ‘eilanden’ met specifieke functies niet te garanderen dat het park levendigheid waarborgt op verschillende momenten van de dag. De bezoeker moet de betreffende pier echt als doel hebben, wil hij er heen gaan. In tegenstelling tot het Battery Park, waar de specifieke functies zich in de verbindingszone bevinden en deze verbindingsstrook ook echt als verkeerszone wordt gebruikt, lijkt het Brooklyn Bridge Park een verzameling plekken te worden zonder hechte samenhang.



Brooklyn Bridge Park,
vlnr. oude situatie met pieren, plangebied, het plan in 2000



Battery Park City,
vnr. oude situatie met pieren, plangebied, Esplanade Plan 1979

Londen

De Londense South Bank of zuidoever is altijd ondergeschikt geweest aan de andere oever. Ondanks de vestiging van verschillende grote culturele instellingen in de jaren vijftig en zestig bleef de Londense zuidoever onderontwikkeld. Opvallend is dat het grote aantal bruggen over de Thames geen garantie is gebleken voor een goed werkende openbare ruimte langs het water.

In de vele plannen voor de zuidoever valt op dat de behoefte aan een doorgaande promenade steeds terugkomt. In vrijwel alle plannen wordt geprobeerd het plangebied te koppelen aan een groter geheel van plekken langs het water.

Het gebied rond het Tate Modern met de Millennium Bridge is zowel een bevestiging hiervan als een uitzondering. De door Herzog en De Meuron herontworpen energiecentrale is sterk gericht op het plein aan de waterkant en op de zich naar beide zijden uitstreckende boulevard. Dit voorplein is een goed voorbeeld van hoe levendig een stedelijke

waterkant kan worden. Door de vele toeristen trekt het gebied allerlei extra activiteiten aan, zoals een vrijmarkt en straatkunstenaars.

De millennium bridge is als stadsbrug zeer geslaagd. Grote hoeveelheden toeristen hebben vanaf de brug een prachtig gezicht op de stad, en de brug verbindt de woongebieden aan de in ontwikkeling geraakte zuidoever met het zakendistrict aan de overkant. Aan de zuidoever komt de brug door een knik in de looproute echt op de boulevard uit, en wordt de voetganger haast gedwongen een stuk langs het water te lopen.

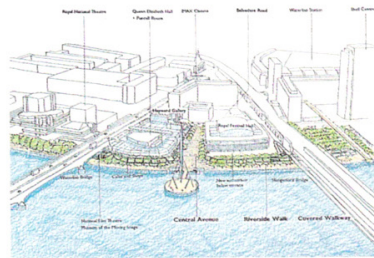
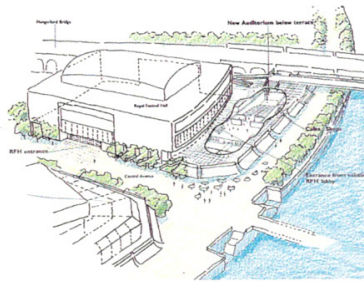
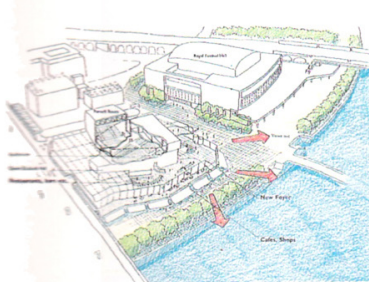
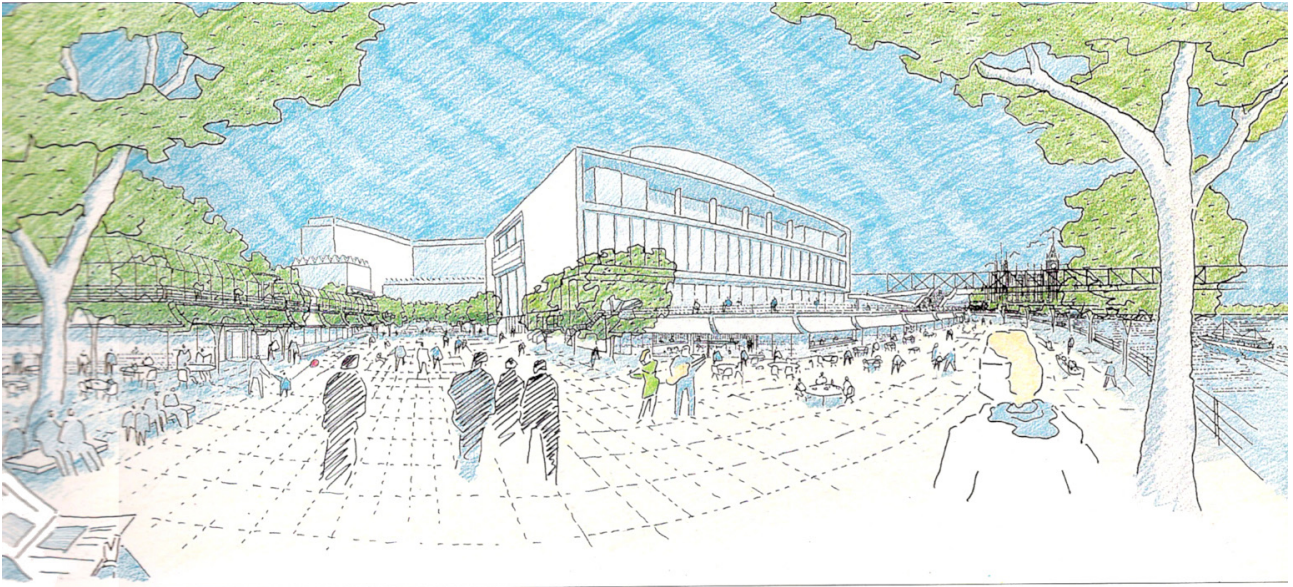
Maar aan de noordzijde wordt de oever juist nagenoeg genegeerd. De brug duikt tussen twee gebouwen door richting St. Paul's Cathedral. Hoewel de noordoever meer naar het westen een goed functionerende promenade heeft, wordt ter plekke van de Millennium Bridge weinig tot geen aandacht geschonken aan deze waterkant.



Londen, Millennium Bridge, zuidoever met Tate Modern



Londen, Millennium Bridge, noordoever met St. Paul's



Londen, prijsvraag voor revitalisatie van het Theater District op de zuidoever van de Thames, schetsen inzending Michael Hopkins, 1994

Waar de noordelijke oever van de Thames al een goed functionerend stadsdeel was, hebben de ontwikkelingen rond de Millennium Bridge grote invloed gehad op de zuidoever. Het gebied is volop in ontwikkeling en zowel nieuw gebouwde appartementencomplexen als herbestemde havengebouwen zijn gewilde woonlocaties.

Genoa

De situatie in de haven van Genua lijkt in meerdere opzichten op die in Brooklyn. De stad was afgesloten van het water door een drukke verkeersweg, en terwijl de grote havenactiviteiten zich verder van het centrum af verplaatsten, bleef het havenfront ongebruikt achter. Er bleven wel een jachthaven en enkele kleinere activiteiten, maar de stad leefde afgesloten van het water.

Het in 1992 gereedgekomen plan van Renzo Piano had het terugbrengen van de verbinding tussen stad en haven als één van de belangrijkste aandachtspunten. Het plan omvatte de herinrichting van een deel van de haven, deels gebruik makend van bestaande structuren en deels door nieuwbouw. Hoewel het resultaat over het algemeen goed ontvangen werd, bleef het probleem van de individuele dokken bestaan dat ze een einddoel bleven. Ook hier moet je bewust naar de pier willen, anders kom je er niet.

Dit was ook de kritiek op Piano's New Metropolis in Amsterdam. Het gigantische gebouw staat als een icoon bovenop de inrit van de IJ-tunnel, in de vorm van een scheepsromp, als een zelfverzekerde ode aan de infrastructuur. (Rocca 1997) Op het dak van het gebouw heeft Piano geëxperimenteerd met een openbaar plein dat met de boeg van het gebouw mee omhoog klimt. Het plein biedt fantastisch uitzicht over het centrum van Amsterdam.

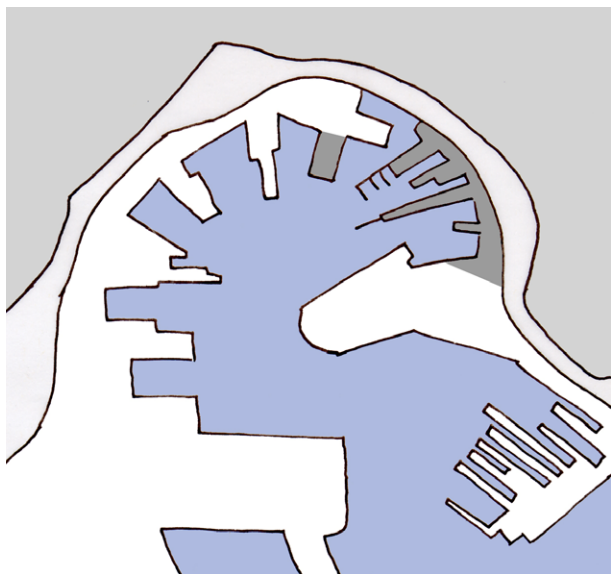
Maar ook hier weer is dit plein een eindpunt, in plaats van een

onderdeel in een complexere structuur van openbare ruimte. Het Nederlands Jaarboek merkt op: "Het probleem met dit soort openbare ruimte is dat het vooral aantrekkingskracht lijkt uit te oefenen op dat type stadsbewoners dat men hier juist niet wil hebben." (Ibelings 1998) "Het werkt op de schaal van de haven, maar als het openbare ruimte creëert die zo afgesneden is van de rest van de stad dat ze, ironisch gezien, antisociaal wordt, dan zouden sommige aspecten van het programma heroverwogen moeten worden." (Gastil 2002)

Intussen schreef Genua een prijsvraag uit voor verdere ontwikkeling van de haven. De Nederlandse winnaar UN Studio gaf de locatie – weer een pier – vorm met een in drie dimensies golvend plein. "Het 3-D plein aspireert niet het cosmetische effect van een geïsoleerd object, maar is een gebeurtenis in een keten van meerdere verbindingen". (Gastil 2002) In een poging om een doorgaande looproute te creëren wordt het plein verbonden met Piano's pier en de pieren van de jachthaven.



New Metropolis, Amsterdam, Renzo Piano, 1997



Haven met gebieden herontwikkeling



Luchtfoto met plan UN Studio



Haven, met op de voorgrond Piano's herontwikkelde pieren

Haven van Genua



Plan UN Studio, 3D-impressie

Met een gevarieerd programma hoopt UN Studio het plein levendig te maken op elk moment van de dag. Hier wordt echter weer het motto aangehaald dat de nadruk legt op de plek: “Van Berkel hoopt een ‘piazza-effect’ te bereiken, dat van een plek niet slechts een ruimte maakt om doorheen te gaan, maar een ruimte om naar toe te gaan en te gebruiken.”

Conclusies

Dit motto, dat Heidegger gebruikte in zijn verhandeling over de brug, blijft een aantrekkelijk thema, maar lijkt wat te snel voorbij te gaan aan het belang van continuïteit in de openbare ruimte. In de bovengenoemde projecten kan geconstateerd worden dat op plekken die onderdeel zijn van een doorgaande route beter tot hun recht komen dan plekken die buiten zo'n route staan of aan het eind ervan. Plekken als het New Yorkse Battery Park of de nog niet genoemde waterkant aan het meer van Zürich zijn goed werkende stedelijke gebieden, terwijl de verscheidene herbestemde pieren in New York en Genua, de New Metropolis in Amsterdam of de Kop van Zuid in Rotterdam veel moeite lijken te moeten doen om hun succes te bewijzen, en niet altijd met goed resultaat.

Bij het terugtrekken van de industriële gletscher blijven vaak gebieden achter met groot potentiaal, maar om deze gebieden rijp te maken voor openbaar gebruik dient men zich bewust te zijn van dit potentiaal, en van de beperkingen van het terrein. Juist de achtergebleven resten van de havenactiviteiten kunnen goed als uitgangspunt dienen voor nieuwe ontwikkeling. Ze geven de grootschaligheid aan die eigen is aan de haven, en vertellen over de geschiedenis. Als deze industriële monumenten – zonder al te veel voorzichtigheid – opgenomen worden in een nieuwe stedelijke leefomgeving, en een adequate structuur van openbare ruimte wordt gevormd, kunnen de havengebieden een succesvol tweede leven beginnen.

5. Amsterdam

De ontwerplocatie voor de living bridge ligt in Amsterdam. De brug verbindt het centrum van de stad met noord, en sluit aan op de beide IJ-oeveren. Deze onderverdeling van centrum, noord en IJ-oeveren wordt hieronder aangehouden. De paragraaf over de oeveren beslaat het grootste deel van het hoofdstuk. Hierin wordt naast de geschiedenis van de oeveren en de huidige situatie ook aandacht besteed aan de plannen voor herontwikkeling van de havengebieden.

5.1 Centrum

Amsterdam is gesticht op de plek waar de Amstel de zee in stroomde. Op deze plek werd een dam gebouwd, die het centrum werd van de handel tussen zee- en binnenvaart. De sterke relatie met het water bestaat nog steeds in het centrum, in de vorm van het uitgebreide grachtensysteem. De relatie met de zeehandel is nog steeds zichtbaar door de rijkdom die zij creëerde. Langs de grachtengordel om het centrum staan de dure residenties van de rijke zeehandelaren uit de zeventiende eeuw. Maar de zeehandel speelt geen grote rol meer in het openbare leven in de stad. Toerisme, winkels en horeca hebben die rol overgenomen.

Het centrum van Amsterdam is een grote toeristentrekker. Dit betekent dat een grote hoeveelheid horeca, musea en entertainment aanwezig is. Grote parken ontbreken echter, en voor de ruimte moet men uit het centrum weg, naar een van de parken buiten de grachtengordel, of naar de IJ-oeveren. De oeveren zijn echter in hun huidige staat, ondanks hun potentieel, niet berekend op grootschalig openbaar gebruik. Een vaste oeververbinding over het IJ maakt ook de noordoeveren beter beschikbaar voor gebruik als groenvoorziening voor het centrum.

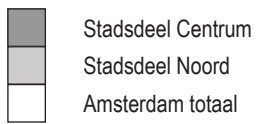
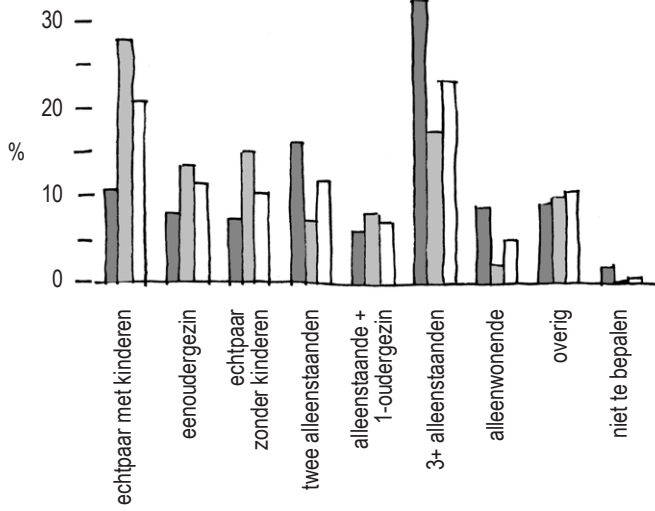
Naast de winkels, horeca en bedrijven beschikt het centrum over relatief veel woonruimte. In het centrum, inclusief grachtengordel en plantage, wonen ca. 80.000 mensen. (Onstat 2004)

De bevolkingsopbouw verschilt in een aantal opzichten met die van de rest van Amsterdam. Er wonen relatief veel mensen tussen de 20 en 60. Het percentage mensen onder de 20 en boven de 60 ligt ver onder het gemiddelde. Het percentage gezinnen ligt relatief laag, tegen een hoog percentage alleenstaanden en woongroepen, zoals studentenhuizen. Opvallend is het lage percentage niet-nederlandse etnische groepen. Over het geheel genomen behoort twintig procent van de bewoners in het centrum tot een etnische minderheid, tegen bijna veertig procent over geheel Amsterdam. Het percentage Turken en Marokkanen is relatief nog veel lager ten opzichte van de gehele stad.

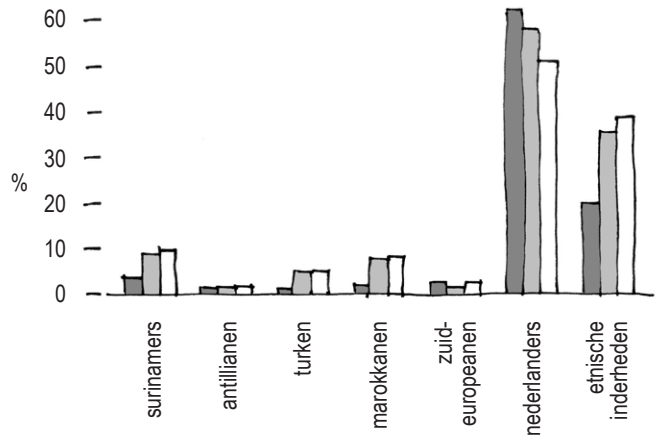


Grachtenpanden aan de Keizersgracht

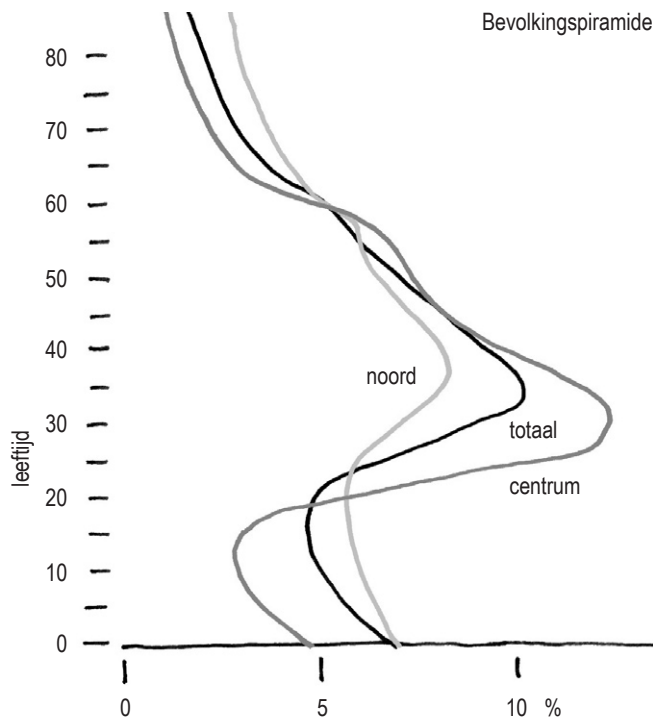
Bevolking naar bewoningstypen



Bevolking naar etnische groepen



Bevolkingspiramide



Statistiek Amsterdam centrum en noord

5.2 Noord

Geschiedenis

De noordoever van het IJ was tot ver in de achttiende eeuw onbebouwd gebied. Amsterdam kreeg echter al in 1393 het zogenaamde recht van ambachtsheerlijkheid over het schiereiland De Volewijk. De stad gebruikte dit stuk land recht tegenover het Damrak slechts voor een galgeput. In 1662 werd aan de IJ-oever een tolhuis gebouwd. (Noord 2005)

Toen in 1876 het Noordzeekanaal werd geopend kreeg de stad snel behoefte aan grotere haventerreinen. Bedrijven als Shell en Ketjen (nu Akzo Nobel) vestigden zich op het nieuw ontgonnen land aan de noordoever van de rivier. Met de groei van de industrie ontstond steeds meer behoefte aan goedkope woonruimte. Vanaf het begin van de twintigste eeuw werden bijna onafgebroken nieuwe woonwijken ontwikkeld. In 1914 werd begonnen met de Vogelbuurt, en rond 1921 werd gestart met de Van der Pekbuurt. Deze twee wijken lagen nog dicht bij het tolhuis. De later gebouwde wijken liggen bijna allemaal verder van het centrum en van het IJ af. Terwijl de IJ-oevers gereserveerd bleven voor havenactiviteiten en industrie, vouwde het woongebied zich langzaam open naar de weilanden erachter. Inmiddels is het bebouwde gebied uitgebreid tot aan de ringsnelweg.

De Vogelbuurt en Van der Pekbuurt zijn traditionele wijken met gesloten bouwblokken. De wijken die daarna zijn gebouwd zijn tuindorpen met kleinschalige woningbouw met twee of drie bouwlagen. Na de oorlog zijn een aantal wijken gebouwd met portiekflats en duplexflats, tot vier bouwlagen. De jaren '70 brachten voornamelijk hoogbouw, gevolgd door de laatste bouw golf met vooral laagbouw.

Bevolkingsopbouw

Hoewel de bevolkingsopbouw van de wijken onderling verschilt, is voor heel noord het percentage gezinnen

en ouderen relatief hoog. Dit komt tot uiting in de cijfers van zowel leeftijdsopbouw als bewoningstype. Er wonen relatief veel mensen van 0 tot 20 jaar, en boven de 60. De groep mensen tussen de 25 en 40 is sterk ondervertegenwoordigd. Ook de percentages twee-oudergezinnen, één-oudergezinnen en echtparen zonder kinderen zijn oververtegenwoordigd, tegenover een laag percentage alleenwonenden en woongroepen. De etnische samenstelling van noord is ongeveer gelijk aan die voor heel Amsterdam. (Onstat 2004)

Masterplan

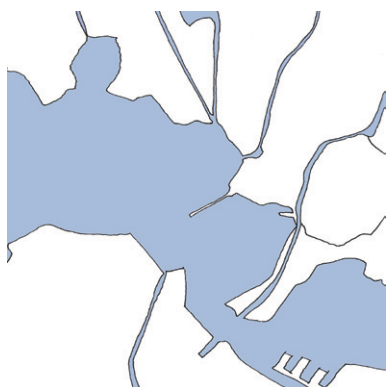
Voor de verdere ontwikkeling van Amsterdam noord is een masterplan ontwikkeld. Het Masterplan Noord aan het IJ is een ontwikkelingsplan voor de komende dertig jaar, en richt zich voornamelijk op de noordelijke IJ-oever, ten westen van de Sixhaven. Het plan heeft drie hoofdstructuren, Groen, Water en Infrastructuur.

Het eerste te realiseren deelgebied is het Shell-terrein en de Buiksloterham. Voor deze twee eilanden liggen al concrete plannen, en er wordt in 2005 begonnen met de bouw van de eerste woningen en voorzieningen. De overige plangebieden worden in een later stadium gerealiseerd. Voor veel van de overige wijken liggen bovendien losse plannen. Deze zijn echter kleinschaliger, en richten zich elk op een wijk.

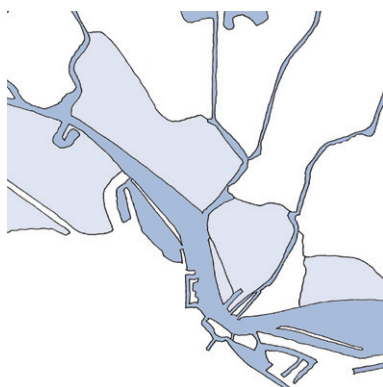
Nieuwe woon- en werkwijken

Het masterplan voorziet in een aantal nieuwe woon- en werkwijken dicht bij het IJ. Hoewel het meeste gebied aan het open water gereserveerd blijft voor bedrijven, wordt door de aanleg van stadsgrachten geprobeerd het water meer te betrekken bij de stadsruimte.

Het Shell-terrein en de Buiksloterham-zuid zijn de eerste gebieden waar woningen, kantoren en winkels gerealiseerd



1800



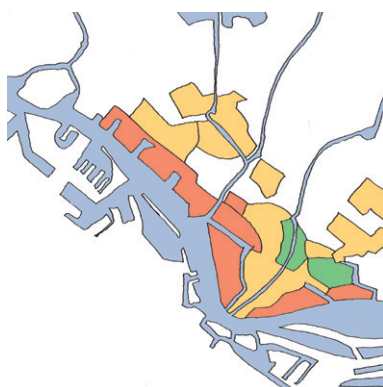
1900



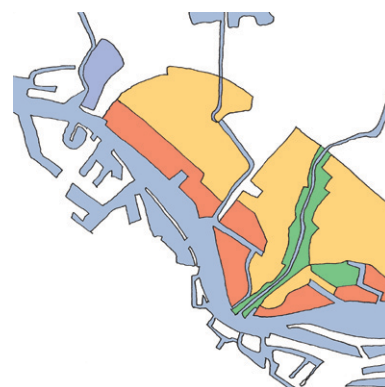
1929



1955



1969

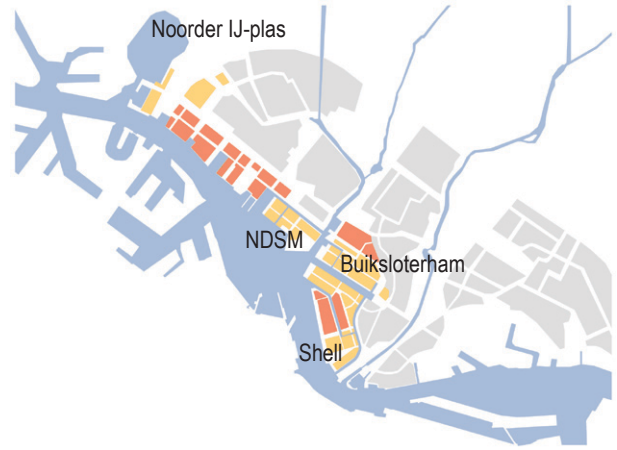


2000

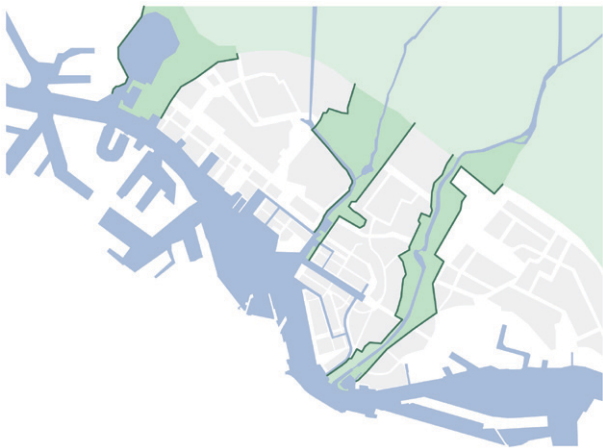
Ontwikkeling van het IJ en Noord



Bestaande woongebieden



Nieuwbouw volgens masterplan,
licht: gemengd programma wonen/werken, donker: bedrijven



Groene corridors

Masterplan Noord aan het IJ



Infrastructuur volgens masterplan,
grijs: doorgaande fietsroutes

worden. Daarna volgen de NDSM-werf en het noordelijke deel van de Buiksloterham. In het noordwesten zal aan de Noorder IJ-plas en op de plaats van de huidige sportvelden worden gebouwd.

Het masterplan voorziet niet in ontwikkeling van het gebied ten oosten van het Noordhollands Kanaal. Er zijn echter plannen voor de aanleg van een nieuw eiland ten noorden van het Java-eiland. In dat geval zal de industrie aan de noordoever moeten verdwijnen in verband met geluids- en stankwetgeving.

Dit gebied zou dan geschikt worden voor verdere ontwikkeling, waarmee de herbestemming van de IJ-oeveren wordt voltooid. Er zijn op het ogenblik echter nog geen concrete plannen voor dit gebied.

Nieuwbouw bedrijven

Shell verdwijnt uit de karakteristieke toren aan de zuidpunt van het Shell-gebied. Het bedrijf verhuist naar de noordkant van het eiland, waardoor ruimte wordt gewonnen voor woningen, kantoren en culturele instellingen zoals het filmmuseum. Meer naar het westen wordt op de plaats van een aantal voormalige werven ruimte vrijgemaakt voor nieuwe grootschalige bedrijven.

Groenstructuur

De groene hoofdstructuur bestaat uit drie corridors van het IJ naar het landelijke achterland van noord. In de strook langs het Noordhollands Kanaal bevinden zich nu al een aantal parken en sportvelden. De drukke weg richting IJ-tunnel ligt echter ook in deze strook. De weg vormt een harde barrière tussen de wijken aan beide zijden ervan, en er is nauwelijks visueel contact tussen beide zijden.

In de plannen voor het Noorderpark wordt gesproken van een samenvoeging van twee parken aan weerszijden van

de weg. Twee nieuwe fietsersbruggen worden geplaatst en de bestaande autobrug wordt verlaagd, om de wijken aan weerszijden visueel te verbinden.

Ook in het Sixhaven-gebied ten zuiden van het Noorderpark vormen de weg en het kanaal een sterke grens. Ook voor dit gebied bestaan plannen, zij het nog in een voorlopige fase. Een betere verbinding van het Shell-gebied met de Nieuwendammerham via de sixhaven zou een belangrijk onderdeel moeten zijn van deze plannen. De twee overige corridors zijn ook bestaande groenstructuren, die doorgetrokken worden naar het IJ.

Infrastructuur

De huidige infrastructuur in noord is voornamelijk ontworpen op het autoverkeer. De bestaande wegen hebben bovendien niet voldoende capaciteit om het extra verkeer door de uitbreidingsplannen op te vangen.

Het masterplan voorziet in een uitbreiding van het verkeersnetwerk, waardoor de verschillende delen van Noord beter met elkaar verbonden worden. Naast de bestaande doorgaande fietsroutes komen er nieuwe fiets- en wandelroutes langs en naar het IJ. Op deze manier wordt getracht een eenduidig fiets- en wandelnetwerk op te bouwen, zodat noord ook voor de fietser en wandelaar aantrekkelijk wordt.

De Noord/Zuidlijn zorgt voor een betere ontsluiting van noord. De metroverbinding wordt onderdeel van een groter openbaar-vervoersnetwerk van bus- en pontverbindingen.

Het netwerk van waterwegen in noord wordt uitgebreid, onder andere met de aanleg van een aantal stadsgrachten. Het recreatief gebruik van water wordt door deze grachten gestimuleerd, maar ook door de aanleg en verbetering van kleinschalige havens.

5.3 IJ-oeveren

“Amsterdam dankt zijn ontstaan aan de ligging aan het IJ.” (IJ-oeveren 2005) De stad is ontstaan als overslaghaven tussen zee- en binnenvaartschepen, en ontwikkelde zich in de Gouden Eeuw tot een van de rijkste steden van de wereld dankzij de scheepvaart.

De havenactiviteiten breidden zich langzaam uit over de zuidelijke - en later ook de noordelijke - IJ-oeveren. Met de plaatsing van het Centraal Station tussen het centrum en het IJ werd de stad afgesloten van het open water. De scheepvaart kreeg een steeds kleinere rol in de stadseconomie, en verplaatste door schaalvergroting naar de westelijke en oostelijke havengebieden. In de loop van de afgelopen eeuw zijn echter ook de meeste havenactiviteiten in het oostelijk havengebied verdwenen.

Veel voormalige havengebieden zijn inmiddels herontwikkeld tot woon- en werkgebieden. De oostelijke eilanden zijn nagenoeg voltooid, en in het gebied rond het Centraal Station en de westelijke eilanden worden momenteel verscheidene projecten ontwikkeld. Op de noordelijke IJ-oeveren is begonnen met de eerste projecten.

Geschiedenis

Oorspronkelijk was het Damrak Amsterdams zeehaven. Deze breidde zich al snel uit naar het IJ. In 1602 ontstond uit een samenwerking van scheepvaartkooplieden de Verenigde Oost-Indische Compagnie. (Koot 1975) De VOC zorgde een eeuw lang voor enorme inkomsten. Amsterdam groeide tussen 1585 en 1700 van 30.000 naar 200.000 inwoners. (Heinemeijer 1987)

De VOC vestigde zich in het Oosterdok. Het Westerdok bood plaats aan allerlei andere handelsmaatschappijen en scheepsbouwers. In het begin van de zeventiende eeuw

werden de palenrijen langs de zuidelijke IJ-oever verstevigd en verdubbeld. De beschoeiing moest bescherming bieden tegen extreme golfslag en ijsgang, en werd later op sommige plaatsen vervangen door vaste dammen.

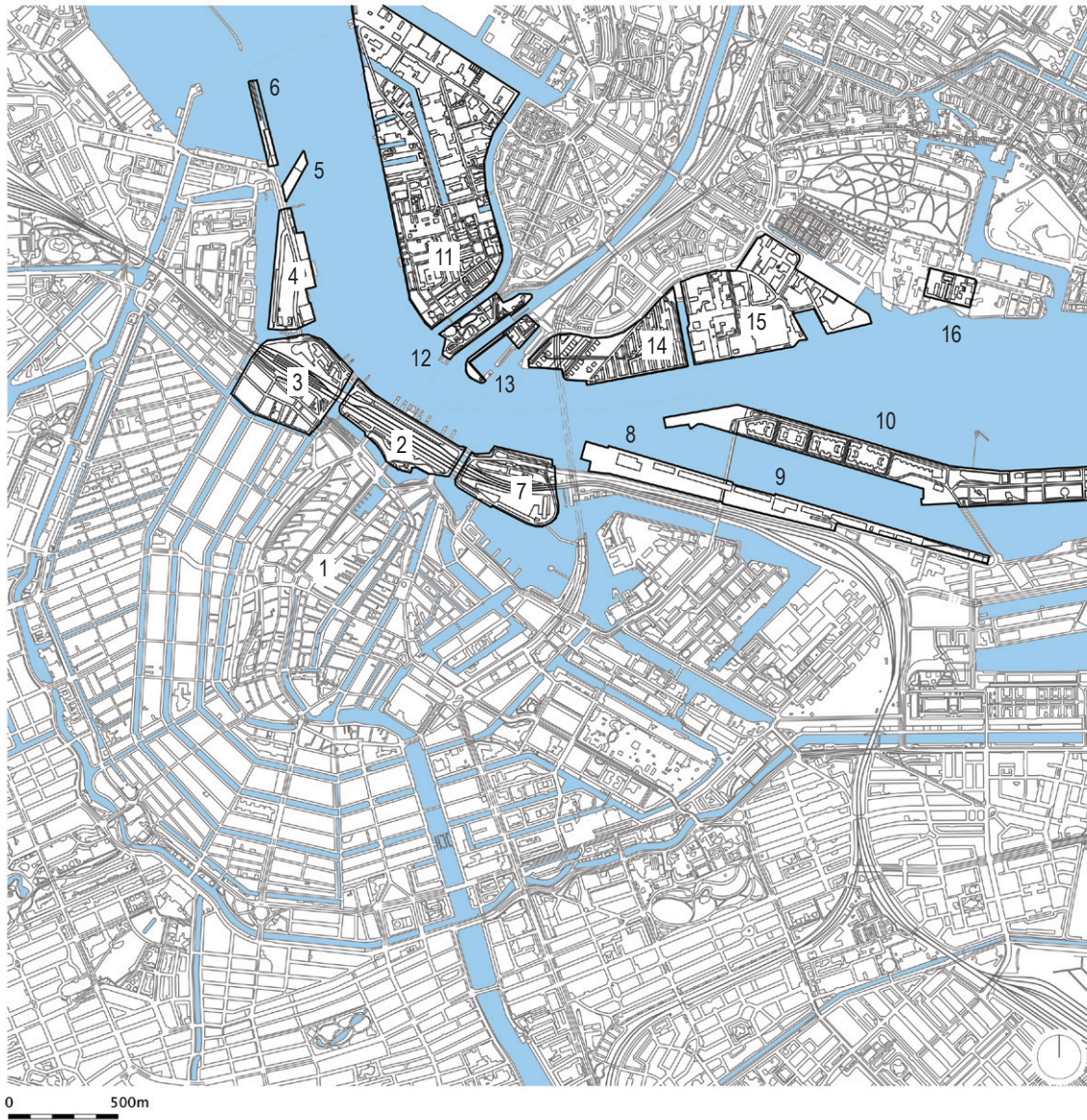
Met de industrialisatie verdween de scheepsbouw en zeehandel van de dokken. De westelijke en oostelijke havengebieden ontwikkelden zich, en vanaf ongeveer 1900 vestigde een aantal grote bedrijven zich op de noordoeveren. De kernactiviteiten van de haven veranderden van handel in voedingsmiddelen naar bulkoverslag en zware industrie.

Oorspronkelijk was het IJ een zeearm en had Amsterdam open zeetoegang. Maar al in de zeventiende eeuw moesten maatregelen genomen worden tegen de steeds erger wordende verzanding van het IJ en de Zuiderzee. Om de haven toegankelijk te houden werd eerst het Noordhollands Kanaal naar Den Helder en later het Noordzeekanaal naar IJmuiden gegraven.

Het Noordzeekanaal maakte het mogelijk dat grotere zeeschepen de haven konden bereiken. Om deze schepen te ontvangen werden de havens verder uitgebreid naar het Westen. De haven begon zich steeds meer te concentreren op de containervaart, en de zware industrie dicht bij het centrum verdween. In 2005 is er nog één vervuilend bedrijf op de noordoever gevestigd ter hoogte van het Java-eiland.

Huidige situatie

De IJ-oeveren liggen momenteel in een tussenfase. Een aantal projecten tot herbesteding is voltooid, een aantal is in uitvoering. Gebieden liggen braak, wachtend op ontwikkeling, en andere terreinen worden nog gebruikt voor industrie. Hieronder wordt een korte samenvatting gegeven van de verschillende gebieden aan de IJ-oeveren. De nummers voor de gebiedsnamen verwijzen naar de kaart op de volgende pagina.



1. Centrum

Hoewel het centrum niet direct aan het IJ ligt, is dit de belangrijkste bestemming voor bezoekers aan Amsterdam. Amsterdam dankt zijn ligging aan het IJ, maar het IJ dankt de aandacht voor zijn bestaan aan het centrum van Amsterdam.

2. Centraal Station

Het stationseiland is het drukste punt langs het IJ. Dagelijks reizen 250.000 mensen over het stationseiland. (Stationseiland 2005) Een aantal ingrijpende veranderingen is momenteel gaande. Het station wordt op verscheidene plaatsen verbouwd, en krijgt bredere voetgangerstunnels. Aan de IJ-zijde van het station wordt een nieuw busstation gebouwd met overkapping. De kade wordt verlegd, en zal plaats bieden aan een wandelboulevard. De pontsteiger is al verplaatst.

Onder het station komt een nieuwe centrale metrohal. Vanuit deze hal is de bestaande metrolijn bereikbaar, en

1. centrum
2. stationseiland
3. westelijk stationseiland
4. westerdoksseiland
5. stenen hoofd
6. silodam
7. oosterdoksseiland
8. PTA
9. oostelijke handelskade
10. java-eiland
11. shell-terrein
12. tolhuisterrein
13. sixhaven
14. ij-plein
15. nieuwendammerham
16. chemische fabriek

Linkerpagina: Amsterdam, IJ-oever

de nieuwe Noord/Zuidlijn. De werkzaamheden voor de Noord/Zuidlijn zijn in volle gang. Het zal volgens planning echter nog tot 2012 duren voor alle werkzaamheden op het stationseiland voltooid zijn.

3. Westelijk Stationseiland

Het Westelijk Stationseiland wordt gedomineerd door de grote hoeveelheid sporen. Een aantal grote gebouwen bepalen daarnaast het beeld van het eiland. Vrijwel het gehele eiland is in dienst van het Stationseiland. De sporen leiden treinen naar het juiste perron, de NS verkeersleiding huist in één van de gebouwen. Slechts de twee kantoorgebouwen aan de noordzijde van het eiland vormen een uitzondering hierop.

4. Westerdoksseiland

De huidige bezetting van het Westerdoksseiland is minimaal. Aan de IJ-zijde staan twee grotere gebouwen, de rest van het eiland is leeg. In deze merkwaardige situatie zo dicht bij station en centrum komt dit jaar echter al verandering, met de bouw van woningen en kantoren.

5. Stenen Hoofd

Het Stenen Hoofd is een in 1905 gebouwde pier die diende als overslaghaven. De pier ligt braak sinds in 1968 de erop gebouwde loods werd afgebroken. Het Stenen Hoofd doet nu dienst als stadsstrand en kermisterrein.

6. Silodam

Op de Silodam zijn de bouwprojecten voltooid, en vormen drie grote gebouwen een bijzonder havenbeeld. Het dichtst bij het station staat een betonnen silo uit 1952, die in 1999 is verbouwd tot woon-werkcomplex. Daarachter staat een bakstenen silo uit 1898, eveneens verbouwd met woningen en kleinschalige bedrijfsruimten. Het laatste gebouw is in 2002 opgeleverd, en grotendeels bestemd voor woonfuncties.

De drie gebouwen zijn ieder een monument van hun tijd, en vormen samen een voorbeeld van de kracht van een herontwikkeld haventerrein.

7. Oosterdokseiland

Het Oosterdokseiland bood tot enkele jaren geleden plaats aan een postdistributiecentrum van de PTT. De hele zuidrand van het eiland is momenteel een bouwput. Op het terrein worden onder meer een bibliotheek, een conservatorium, kantoren, winkels, horeca en een hotel gerealiseerd.

Aan de andere kant van de sporen staat een strook historische bebouwing. Deze is ingeklemd tussen de sporen en de doorgaande weg richting Oostelijk Havengebied. Het is mogelijk langs de kade te lopen, maar er is geen sprake van een levendige boulevard.

8. PTA

De Passengers Terminal Amsterdam ontvangt in de zomermaanden vrijwel dagelijks cruise-schepen. Rond de terminal staan het nieuwe Muziekgebouw, een hotel en een grote kantoortoren.

9. Oostelijke Handelskade

Langs de gehele Oostelijke Handelskade zijn oude pakhuizen gerenoveerd en nieuwe gebouwen bijgebouwd. De kade biedt tijdens het vijfjaarlijkse Sail Amsterdam plaats aan de 'Tall Ships', grote zeilschepen. Hiervoor wordt rond het evenement een deel uit de Jan Schaeferbrug getild om de schepen vrije doorvaart te bieden.

10. Java-eiland

Het Java-eiland is het westelijk deel van het KNSM-eiland. Dit stuk stad is in de jaren negentig gereedgekomen. De vormgeving van de openbare ruimte doet denken aan de grachten in de binnenstad. De straten hebben

hoogteverschillen van enkele meters, om een afwisselend perspectief te creëren. (Soeters 2005)

Hoewel de opzet van het plan historiserend kan worden genoemd, wordt het resultaat over het algemeen geprezen. "In al zijn eenvoud is het plan van grote kwaliteit. Met de monotomie die zoveel nieuwbouwwijken kenmerkt, is radicaal gebroken. [...] Wijken, op deze manier gebouwd, kunnen zonder groot bezwaar een aantal panden van mindere (architectonische) kwaliteit verdragen." (Java-eiland 2005)

11. Shell-terrein

Het grootste deel van de Buiksloterham was tot voor kort in handen van Shell. De markante Shell-toren staat recht tegenover het Centraal Station. Shell voegt binnenkort alle activiteiten samen in één gebouw, aan de noordwestzijde van het eiland. De vrijgekomen grond wordt herontwikkeld.

12. Tolhuisterrein

Het Tolhuisterrein is het oudste deel van de Noordelijke IJ-oeveren. Het Tolhuis stamt uit 1662. Het groene terrein is nu nog grotendeels in handen van Shell. Daarnaast meert de pont vanaf het Centraal Station aan.

13. Sixhaven

De Sixhaven is het enige gebied langs de noordoeveren dat bestemd is voor recreatie. De jachthaven is een bijzondere, afwijkende plek, ingeklemd tussen industrie, autoweg en woningbouw.

14. IJ-plein

Het westelijke deel van de Nieuwendammerham werd in 1980 bebouwd volgens het stedenbouwkundige plan van Rem Koolhaas. Het vroegere terrein van de Amsterdamse Droogdok Maatschappij heeft de binding met het IJ grotendeels verloren. De oriëntatie van de woningen is

dwars op het water, en de straat langs het water fungeert niet als wandelboulevard. De wijk is echter de enige plek waar de woonfunctie direct aan het water grenst.

15. Nieuwendammerham

Het industrieterrein op de Nieuwendammerham bevat voornamelijk kleinere bedrijven. De zware industrie is hier verdwenen, en in het gebied liggen verscheidene stukken grond braak.

16. Chemische Fabriek

Aan de oostzijde van de noordelijke IJ-oever ligt nog één terrein met zware industrie. Door de bestaande geluids- en luchtkwaliteitsnormen wordt verdere ontwikkeling van de gebieden rond deze fabriek tegengehouden. Op de langere termijn zal echter ook deze industrie verdwijnen of verplaatst worden naar de westelijke haven.

Toekomst

Zoals eerder vermeld zijn voor grote delen van de IJ-oever plannen in verschillende stadia van uitvoering. Zowel voor de zuidoever als voor het westelijke deel van de noordoever is er bovendien een masterplan. Hieronder wordt een overzicht gegeven van de plannen, voorzover die nog niet uitgevoerd zijn.

I. Stationseiland

Naast de eerder genoemde plannen op het stationseiland wordt hier nog even ingegaan op de situatie voor voetgangers en fietsers aan de IJ-zijde van het station. Er wordt een nieuwe fietstunnel aangelegd aan de westkant van het station. De tunnel sluit aan op de lijn Singel - pontsteiger.

Autoverkeer achter het station verdwijnt in een tunnel, waardoor fietsers en voetgangers ongehinderd de kade kunnen bereiken. Voetgangers komen op het niveau van de kade uit het station, en vanaf het hogergelegen busstation.

Op de kade achter het station zijn restaurants en voorzieningen voor het watervervoer gepland. De kade wordt onderdeel van een doorlopende boulevard van de Silodam tot aan de oostelijke havengebieden.

II. Westelijk Stationseiland

Op het Westelijk Stationseiland zijn nieuwe kantoren gepland. Bovendien wordt de boulevard langs het IJ voortgezet richting Westerdokseiland. Door de slechte situatie in de kantorenmarkt zijn de plannen echter voorlopig opgeschort.

III. Westerdokseiland

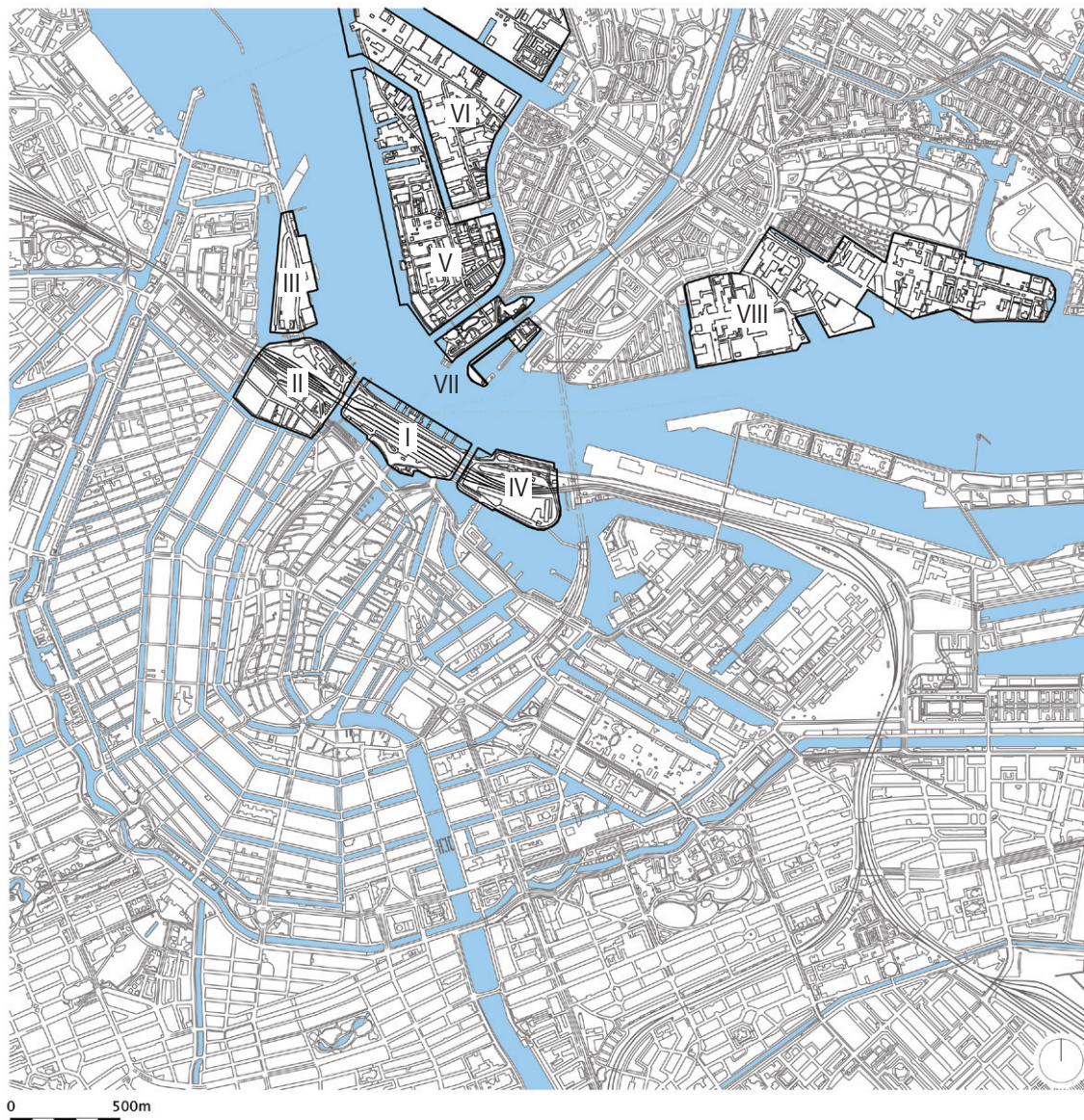
Het Westerdokseiland wordt grotendeels bebouwd met een combinatie van woon- en werkgebouwen. Het gebied aan de stadszijde bestaat uit vier grote bouwblokken, met gemengde woon- en werkfuncties. De kade aan het Westerdok biedt plaats aan woonboten en recreatieve vaart.

Aan de oostzijde van het eiland komt mogelijk op een pier in het IJ een grootschalig complex met gemengde functies. Het bouwblok wordt doorsneden door enkele binnenstraten. Het complex ligt in de veiligheidszone van de doorgaande vaargeul, en het is voorlopig onduidelijk of de bouw door kan gaan.

IV. Oosterdokseiland

De zuidzijde van het Oosterdokseiland wordt volledig bebouwd. Het plan voor een gebied met hoge stedelijke dichtheden bevat onder andere een openbare bibliotheek en een conservatorium. Het nieuwe stedelijke gebied vormt een verbinding tussen het centrum en de oostelijke havengebieden.

Langs de kade komen steigers voor kleine bootjes, en er komen twee pleinen die uitkijken over het oosterdok. Het



westelijke plein vormt het zakelijk middelpunt van het eiland, aan het oostelijke plein komen de bibliotheek, het conservatorium en horeca. Twee bruggen verbinden dit plein met het New-Metropolis-gebouw.

V. Shell-terrein

Het Shell-terrein, dat bijna een heel eiland besloeg, wordt volledig herontwikkeld. Shell trekt zich terug naar het westelijk deel van het eiland. Het meest oostelijke deel krijgt de hoogste bebouwingsdichtheid. De Shell-toren wordt onderdeel van dit complex met meerdere hoge gebouwen. Naast deze strook bebouwing ligt een groenstrook. Op de kop van de groenstrook wordt het filmmuseum gevestigd.

Het overige vrijkomende gebied wordt ingericht als campus. Hier komen woongebouwen van maximaal negen lagen. Langs het IJ is een 'groene oever' gepland. De strook biedt plaats aan een fiets- en wandelpromenade.

Westelijk deel noordoever

Ten noordwesten van het Shell-terrein ligt een aantal gebieden die bestemd zijn voor herontwikkeling. Dit zijn van oost naar west de Buiksloterham, de NDSM-werf, het Cormelis Douwesterrein en de Noorder IJ-plas. De Buiksloterham (VI) is eigenlijk de voortzetting van het Shell-terrein. Dit gebied herbergt momenteel kleinere bedrijven.

- I. stationseiland
- II. westelijk stationseiland
- III. westerdokseiland
- IV. oosterdokseiland
- V. shell-terrein
- VI. buiksloterham
- VII. tolhuisterrein en sixhaven
- VIII. nieuwendammerham

Linkerpagina: Amsterdam, plangebieden IJ-oever

Het plan voor het gebied voorziet in een geleidelijke toename van de woonfunctie, met behoud van de lichte industrie. De brede kanalen vormen een uitgangspunt voor de ontwikkeling van een 'stad aan het water'.

De plannen voor de NDSM-werf zijn deels in uitvoering, deels al voltooid. Op de werf wordt naast wonen en werken plaats gemaakt voor cultuur. Enkele grote loodsen worden gebruikt voor verschillende culturele instellingen. Het gebied behoudt zijn grove havenkarakter door het behoud van de loodsgebouwen.

De plannen voor het Cornelis Douwesterrein en de Noorder IJ-plas zijn nog in een beginfase.

VII. Tolhuisterrein en Sixhaven

Het bijzondere gebied rond het Tolhuis en de sluisen in het Noordhollands Kanaal is de entree van noord. De Noord/Zuidlijn sluit op dit gebied aan, hoewel in de eerste fase van het project de metro nog niet zal stoppen bij het Tolhuis. Wel wordt het station in ruwbouw al gebouwd.

Met het verdwijnen van de Shell van het Tolhuisterrein wordt het gebied een verbindingzone met de achterliggende woonwijken. Tegelijk voorzien de plannen in een groene corridor naar het landelijke achterland van noord.

VIII. Nieuwendammerham

Hoewel er geen concrete plannen liggen voor de verdere ontwikkeling van de oostelijke noordoever, zijn er ideeën om een masterplan op te zetten, vergelijkbaar met dat voor de westelijke noordoever. Ook zijn er ideeën om de ondiepte in het IJ tussen het Java-eiland en de Nieuwendammerham om te vormen tot een nieuw woon-eiland. Deze plannen zullen echter moeten wachten op het verdwijnen van de chemische fabriek op de noordoever. (Koreman 2005, Lange 2005, Stuffers 2005)

6. Projectkader

Hieronder wordt een aantal beperkingen opgesteld voor de vaste oeververbinding over het IJ. De doelgroepen worden bepaald. Er wordt een bandbreedte voor de locatie van de brug opgesteld. Daarnaast worden de grondgesteldheid, het waterverkeer en het verkeer over de brug behandeld.

Er gelden voor zover niet anders vermeld, de gebruikelijke economische, constructieve, uitvoeringstechnische, juridische en veiligheidsrandvoorwaarden. In de eerste stadia van het ontwerp wordt echter in bredere zin naar oplossingen gezocht, en zullen de randvoorwaarden minder zwaar tellen. Enige realiteitszin blijft echter aanwezig.

6.1 Doelgroepen

De living bridge heeft twee primaire doelen. De brug fungeert als verbindend element tussen het centrum en de wijken op de noordoever. De brug is bovendien een publiekstrekker. Dit betekent dat ook de doelgroepen in twee categorieën kunnen worden ingedeeld. De eerste groep is de gebruikers van de infrastructuur, de tweede groep bestaat uit gebruikers van de functies op de brug.

Infrastructuur

De doelgroep die de brug als infrastructuur gebruikt bestaat hoofdzakelijk uit fietsers en voetgangers. De brug wordt niet ontworpen voor autoverkeer of openbaar vervoer zoals bus of tram.

Autoverkeer

Het autoverkeer beschikt over de IJ-tunnel vlak ten oosten van het centraal station, en een aantal tunnels verder van het centrum af. Hoewel de capaciteit van de autotunnels regelmatig ontoereikend is voor het aanwezige verkeer, wordt uitbreiding van het wegennetwerk voor autoverkeer

bewust tegengehouden. (IJ-oever 2005) De boulevards langs het IJ worden bovendien steeds meer gereserveerd voor fietsers en wandelaars. Ter plaatse van het centraal station verdwijnen auto's onder de grond, terwijl de bussen naar het niveau boven de boulevard worden verplaatst. Zo blijven alleen voetgangers en fietsers op het maaiveldniveau. Volgens de plannen worden ook de noordelijke IJ-oever beter geschikt gemaakt voor fiets- en wandelverkeer, en wordt doorgaand autoverkeer langs de oever tegengegaan.

Het toegankelijk maken van de living bridge voor auto's brengt deze slechts op plaatsen waar ze niet gewenst zijn. Geen autoverkeer op de brug betekent bovendien minder geluidsoverlast, stank en op de constructie opgelegde belastingen en trillingen. Een belangrijke voorwaarde voor het functioneren van de brug als living bridge is bovendien de veiligheid en begaanbaarheid van het brugdek. De extra functies op de brug zullen echter bevoorraad moeten worden. Ze stellen hogere eisen aan de veiligheid van de brug, en daarmee de bereikbaarheid voor calamiteitenvoertuigen. Dit soort bestemmingsverkeer wordt wel meegenomen in het ontwerp.

Openbaar vervoer

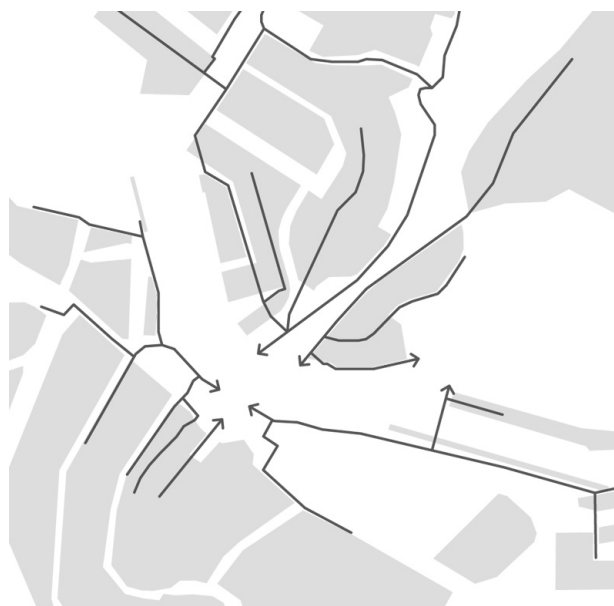
Met de Noord/Zuidlijn ontstaat een uitstekende verbinding van noord met het centraal station en het centrum. Lokaal openbaar vervoer sluit bij de metrostations in noord aan op de lijn. Het geschikt maken van de brug voor trams of bussen is daarom niet noodzakelijk. Bovendien gelden dezelfde negatieve veiligheids- en functionele aspecten als bij autoverkeer op de brug.

Fietsers

Het ontwerp voor de brug richt zich op fietsverkeer uit de wijde omgeving van de brug. De huidige fietsers die

de pont gebruiken komen uit alle wijken in noord, en uit Zaandam. Bewoners van noord gaan naar het centrum om verschillende redenen, zoals werk, bezoek aan winkels, horeca of cultuur of om vanaf het centraal station verder te reizen. De nieuw te ontwikkelen woon-werkwijken langs de noordoever zorgen voor een groeiend aantal potentiële gebruikers.

Fietsers uit het centrum gaan momenteel met de pont voor fietstochten naar het achterland, of naar het groeiende aantal culturele activiteiten in de voormalige havengebieden. Verdere ontwikkelingen van de oeverstroken en parken in noord kunnen zorgen voor een sterke groei van het aantal fietsers vanuit het centrum. De nieuwe werkplekken langs de noordoever zullen bovendien fietsforenzen trekken uit de rest van Amsterdam.



Fietsroutes naar de IJ-oever

Een vereiste voor de bruikbaarheid van de brug voor fietsverkeer is dat de situatie verbetert ten opzichte van de pont. Dit betekent dat de brug een zo groot mogelijk deel van de tijd toegankelijk is voor fietsers. Opengaan van de brug is hierbij een probleem, als het tijdsverlies meer is dan de gemiddelde wachttijd voor de pont. Alternatieven met ingewikkelde procedures voor scheepspassages of veel en lange sluitingstijden zijn daardoor minder interessant.

Alternatieven waarbij fietsers ook in de normale situatie obstakels tegenkomen zoals liften, trappen of steile hellingbanen vallen af omdat daarbij de situatie vergeleken met de pont alleen maar verslechtert. De studies die door de gemeente gedaan zijn, lijken daarom onder deze voorwaarden exploitatietechnisch niet interessant genoeg om verder uit te werken. (DOW 1989, DRO 2004, IBA jaartal onbekend)

Voetgangers

Voetgangersverkeer dat de brug gebruikt als infrastructuur heeft een kleinere reikwijdte. Deze doelgroep bestaat voornamelijk uit mensen die rond het centraal station wonen of werken, en mensen bij wie de oversteek onderdeel is van een langere reisketen. Veel huidige pontgebruikers wonen ten noorden van het IJ en komen met de bus naar de pont. In het centrum wandelen ze naar hun werk of reizen ze verder met het openbaar vervoer. Van de huidige woonwijken in noord liggen alleen de Van der Pekbuurt, de Vogelbuurt en de IJ-pleinbuurt dicht genoeg bij het water om te voet naar en over de brug te lopen. De plannen voor ontwikkeling van de noordoever veranderen echter de situatie. Dan wordt een grote toename verwacht van het aantal voetgangersbewegingen langs en over het IJ.

Naast woon-werkverkeer in beide richtingen (wonen in noord en werken in het centrum, en andersom) zal het recreatieve verkeer sterk groeien. Parken, cultuur en de

ruimte in noord zijn aantrekkelijk voor mensen die in het volle stadscentrum wonen. Het Noorderpark en de oeverparken liggen dicht bij het centrum dan de meeste stadsparken ten zuiden van het IJ. Het Vondelpark, het Sarphatipark en het Oosterpark liggen alledrie voorbij de grachtengordel. De overige parken liggen nog verder van het centrum af.

Cultuur aan beide zijden van het IJ trekt ook bezoekers van beide oevers. De gemeente stimuleert de vestiging van culturele instellingen langs de oevers. Naast Amsterdammers zullen ook toeristen vanuit hun hotel, vanaf het Centraal Station of vanaf de cruise-schepen vaker de oversteek maken.

Voetgangersverkeer is minder gevoelig voor kleine obstakels dan fietsverkeer. Door de langzamere verplaatsingssnelheid van voetgangers betekenen vertragingen een kleiner verlies van afgelegde afstand. Maar ook voor voetgangers geldt dat met de brug de situatie moet verbeteren ten opzichte van de pont. Hellingen zijn minder storend, indien ze zorgvuldig ontworpen worden, i.e. goed lopende trappen, mogelijkheden voor rolstoelgebruikers, overzichtelijke wandelroutes. Opengaan van de brug kan voor mensen zonder haast overigens interessant zijn door het passeren van cruise-schepen en zeilschepen.

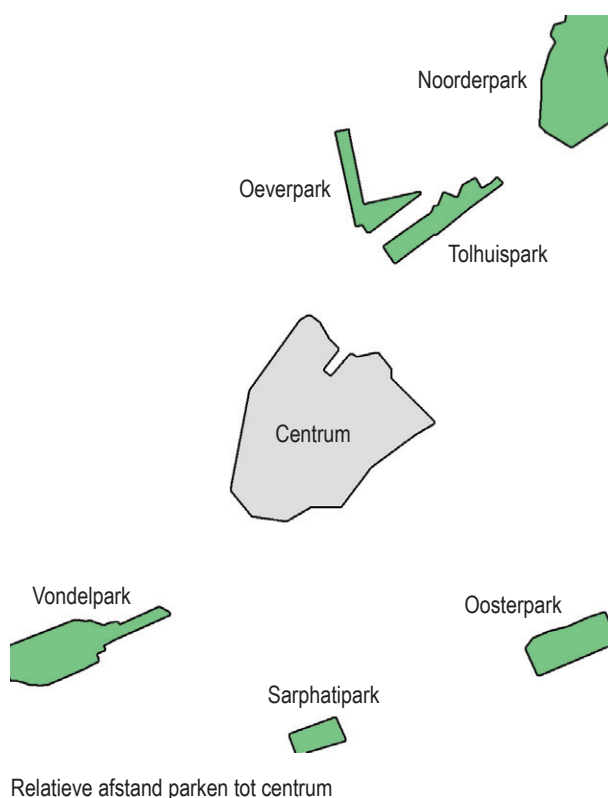
Waterverkeer

Waterverkeer dat de brug passeert is eigenlijk omgekeerd evenredig gebaat bij de mate van aanwezigheid van de brug. Hoe meer brug, des te meer hinder voor de scheepvaart. Behalve als de brug een bestemming wordt voor waterverkeer.

Funcities op de brug

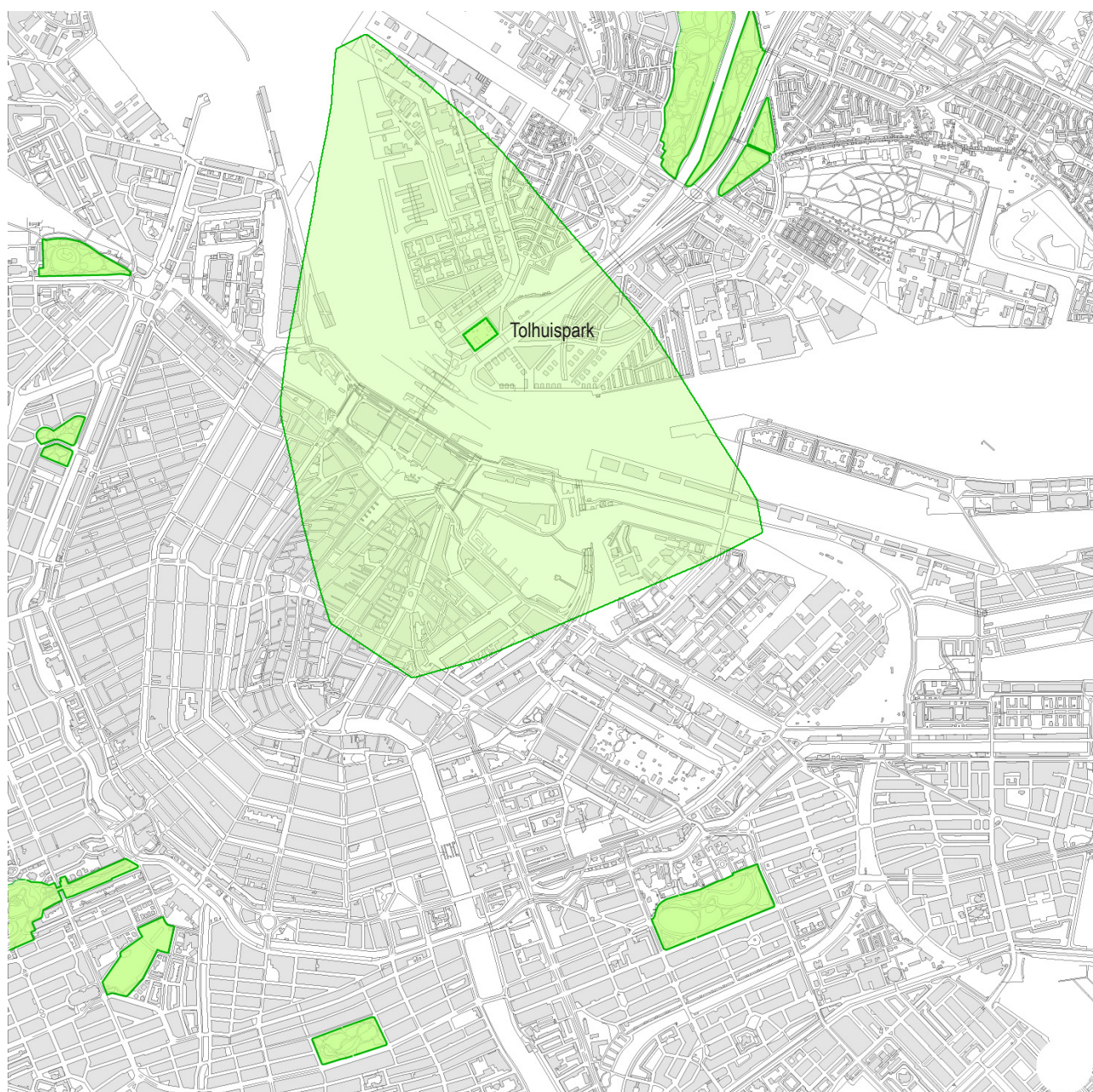
De living bridge wordt onderdeel van de openbare ruimte. In het groeiende systeem van wandelboulevards langs het

water wordt de brug een centraal punt. Daarbij zorgen toegevoegde functies voor extra bezoekers. Voor zowel fietsers, voetgangers als waterverkeer kan de brug een bestemming zijn. Door combinatie van boulevard, extra programma en aanlegmogelijkheid voor kleinere schepen kan zeer waardevolle stedelijke ruimte ontstaan. De doelgroepen hangen af van het extra programma. Zowel programma als preciezere definiëring van deze doelgroepen gebeurt bij de afzonderlijke conceptvoorstellen. Voor alle concepten geldt echter hoe meer overzicht en hoe meer bezetting van de openbare ruimte op elk gebruiksmoment, des te veiliger.





Bestaande parken met afstandcontouren vanaf een punt tot het dichtstbijzijnde park



Gebied vanwaar Tolhuispark het dichtstbijzijnde park wordt



Studie naar looproutes en grootte pleinen

6.2 Locatie

De meest voor de hand liggende locatie voor een oversteek over het IJ is bij het Centraal Station. Het station is de entree van de stad. Het Damrak was van oudsher de entree tot de Dam, het centrale plein van de stad. Met de komst van het station is deze as behouden. Het tolhuisterrein op de noordoever tegenover het Centraal Station is de entree van Noord. De uitbreidingen naar de noordoever begonnen op deze plek, met het graven van het Noordhollands Kanaal. De industrie groeide vanaf het Tolhuis in beide richtingen langs het water. Achter deze strook ontstonden woonwijken, die vervolgens steeds verder van het water af uitwaaierden.

Een brug ter plekke van het Centraal Station zou een veelvoud van extra functies kunnen herbergen. Door de centrale ligging en de optimale bereikbaarheid is vrijwel elke stedelijke functie mogelijk.

Het gebied rond het Centraal Station is echter ook het drukste gebied op het IJ. Zowel de cruise-schepen als de grote zeilschepen tijdens Sail komen hier voorbij. Beide soorten schepen komen tot aan de Oostelijke Handelskade. Een brug voorbij dat punt zou te maken krijgen met een stuk minder waterverkeer.

Wanneer de oostelijke noordoever zich verder ontwikkelen tot woon-werkgebied, en een nieuw eiland ten noorden van het Java-Eiland wordt aangelegd, is dit een logische plek voor de sprong over het IJ. Er zou dan sprake zijn van twee nieuwe bruggen. Een directe oversteek van het Java-Eiland is hier niet mogelijk vanwege de ligging van een tweede zwaaiplaats voor cruise-schepen. Het aansluitende gebied ten noorden van het IJ zal in deze situatie een zelfde verandering moeten ondergaan als de westelijke zijde van de noordoever. De zware vervuilende industrie zal moeten

wijken voor een nieuw programma met gemengde woon- en werkfuncties.

De functie van echte woonbrug ligt op deze tweede locatie meer voor de hand. De bruggen worden dan omringd door woongebieden, en zouden daarop kunnen aansluiten.

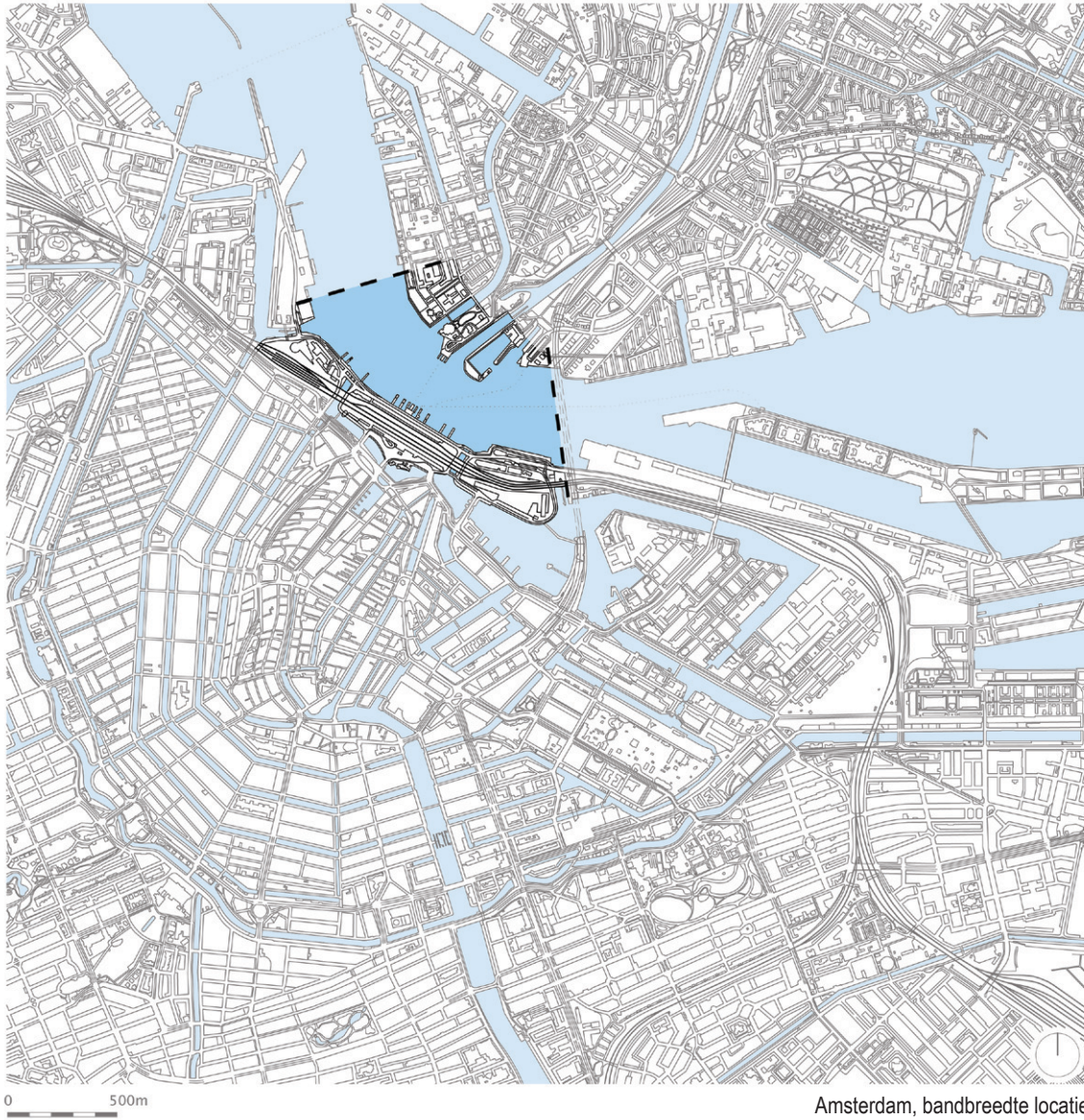
Een combinatie van bruggen op beide locaties is ook mogelijk. Het voordeel van twee oeververbindingen is het ontstaan van een circuit. Een wandelroute waarbij mensen in een cirkel kunnen wandelen en niet dezelfde weg terug moeten is aantrekkelijker dan het heen en weer lopen langs de zelfde weg.

Bandbreedte

In het bovenstaande komen twee mogelijke locaties naar voren. De eerste locatie ligt direct achter het Centraal Station. Van hieruit gaat de brug naar de overkant van het IJ, richting het Tolhuisterrein, het Shell-terrein of de Sixhaven.

De tweede mogelijkheid is een locatie meer naar het oosten. Hoewel de locatie bij het Java-Eiland een interessante mogelijkheid is om de ontwikkeling van de oostelijke noordoever op gang te brengen, wordt deze locatie hier niet verder uitgewerkt. De plannen voor het gebied zijn nog minder duidelijk, en het verwachte aantal gebruikers ligt een stuk lager dan bij een brug vanaf het Centraal Station.

De bruggen zullen een kleinere overspanning hebben, en zijn daardoor exploitatietechnisch minder interessant. Eén van de twee bruggen blijft namelijk in de drukke doorvaartroute liggen. Bij dezelfde vaste doorvaartheogte zal een korte brug veel steiler moeten worden om niet te vaak open te hoeven. Dit is ongunstig voor zowel fietsers als voetgangers.



De locatie die verder uitgewerkt zal worden ligt dus in de buurt van het Centraal Station. Een precieze locatie wordt nog niet vastgelegd. Wel wordt hier een bandbreedte opgesteld. De brug komt binnen een strook van ongeveer 1000 meter. De strook wordt in het westen begrensd door de lijn van de noordzijde van het Koloniaal Etablissement op het Westerdokseiland naar de noordgrens van de geplande groenstrook op het Shell-terrein. Op deze lijn is langs het Westerdokseiland een kantorencomplex gepland. Dit complex kan zo nog dienen als zuidelijk landhoofd. De oostgrens wordt gevormd door de IJ-tunnel.

Dit betekent dat de brug aan de centrumkant kan aansluiten op het Westelijk Stationseiland, het Centrale Stationseiland of het Oosterdokseiland. Aan de noordzijde van het IJ is aansluiting op het Shell-terrein mogelijk, maar ook op de huidige groenstrook rond het Tolhuis, de pier van de Sixhaven en het IJ-Plein. Een combinatie van aansluitingen is ook mogelijk door eventuele splitsing van de brug aan één van de oevers.

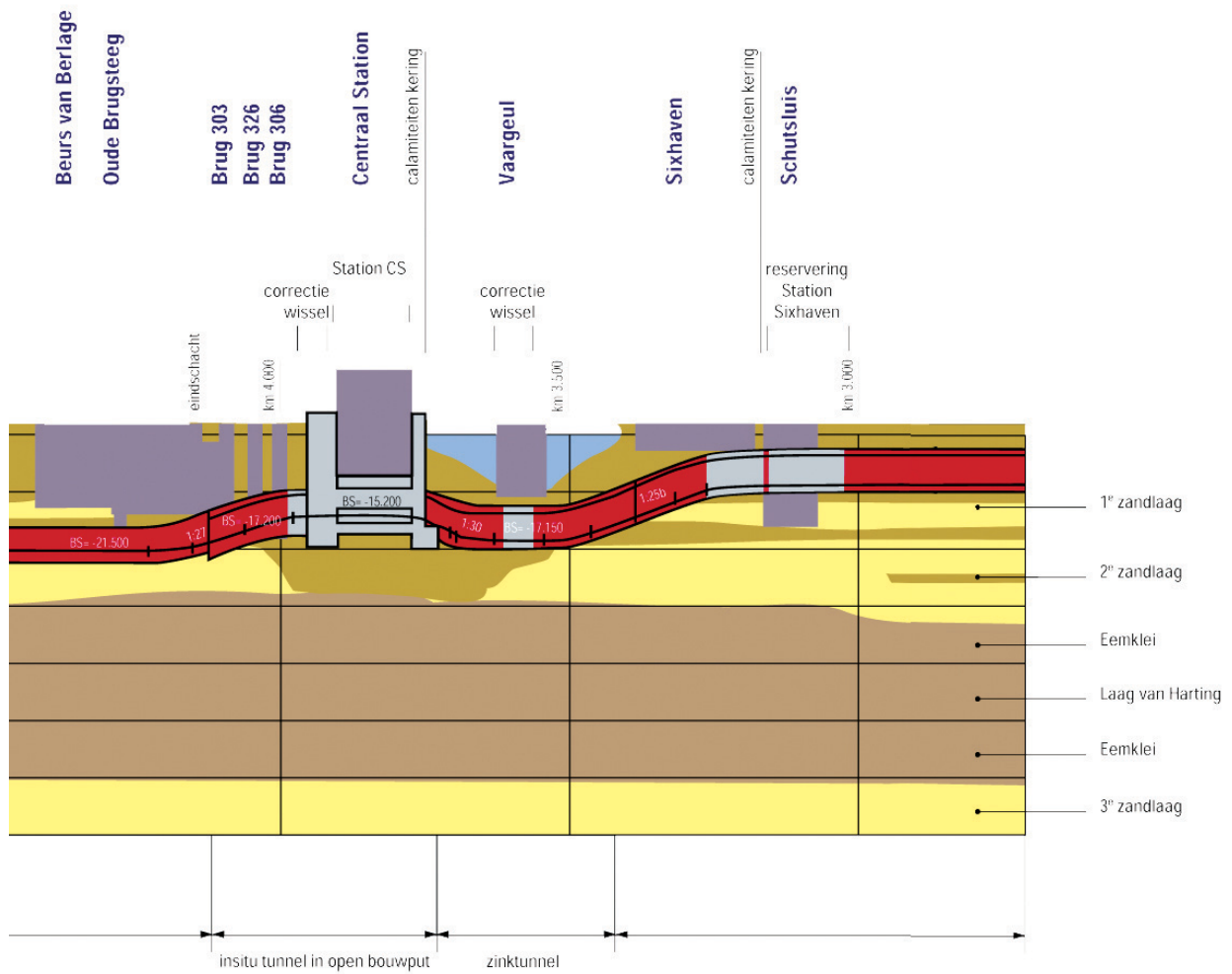
6.3 Bodem

De bodem in het gebied rond Amsterdam bestaat grotendeels uit een pakket klei- en zandlagen met enkele veensporen. Tot een meter of tien onder maaiveld bestaat de grond uit zachte lagen met veel sporen van vroeger gebruik. De eerste zandlaag ligt in het centrum van Amsterdam op ongeveer tien meter onder NAP en is op de meeste plaatsen een aantal meters dik. Daaronder ligt een veenlaag van een paar meter, en vervolgens de tweede zandlaag, op ca. -20 m NAP. De derde zandlaag ligt op -60 m NAP, onder nog dertig meter hoofdzakelijk veen. Er zitten grote kleipakketten in de grond, en nauwelijks zuivere veenlagen.

Een opvallend verschijnsel rond het Centraal Station is het ontbreken van de eerste en op sommige plekken ook de tweede zandlaag. In de periode dat het IJ een open zee-arm was zijn de zandlagen in de oergeul weggespoeld. Dit heeft grote consequenties voor het bouwen rond het IJ. Het Centraal Station staat precies boven een gat in de eerste en tweede zandlaag. Bij de bouw van het station bleken de houten palen geen harde grond te raken. Er is aanvankelijk geprobeerd met koppelstukken twee houten palen op elkaar te zetten, maar daarmee werd nog lang niet de zandlaag op 60 meter bereikt. Vervolgens werd het aantal palen vergroot, zodat de belastingen verspreid zouden worden over meer palen. Uiteindelijk zijn bijna 9000 palen geplaatst. (Gemeentearchief 2005) Als gevolg daarvan is de grond tussen de palen zodanig samengedrukt dat palen en grond samen één geheel vormen waarop het stationsgebouw en de spooroverkappingen als het ware drijven.

De precieze ligging van de oergeul is niet bekend. Wel kan uit sonderingen de globale ligging bepaald worden. (Rebel 2005, IBA 2005) Ter plekke van het Centraal Station ligt de geul onder het stationseiland. Ten westen van het station loopt de geul nog een kort stuk onder de sporen door, om vervolgens naar het noorden af te buigen, onder het IJ. De bouw van de spoorbrug tussen het Stationseiland en het Westelijk Stationseiland ondervond grote problemen door verzakkingen. Uiteindelijk is de brug iets verderop gebouwd. (Van Veldhuizen 2005)

Ten oosten van het station duikt de oergeul vrij snel weer onder het IJ. De IJ-tunnel had weinig last van het ontbreken van de zandlagen, de tunnel is volledig op de derde zandlaag gefundeerd. De Noord-Zuidlijn wordt slechts gedeeltelijk op de derde zandlaag gefundeerd. De metrohal onder het Centraal Station staat op de derde zandlaag, maar de afzinktunnel onder het IJ niet.

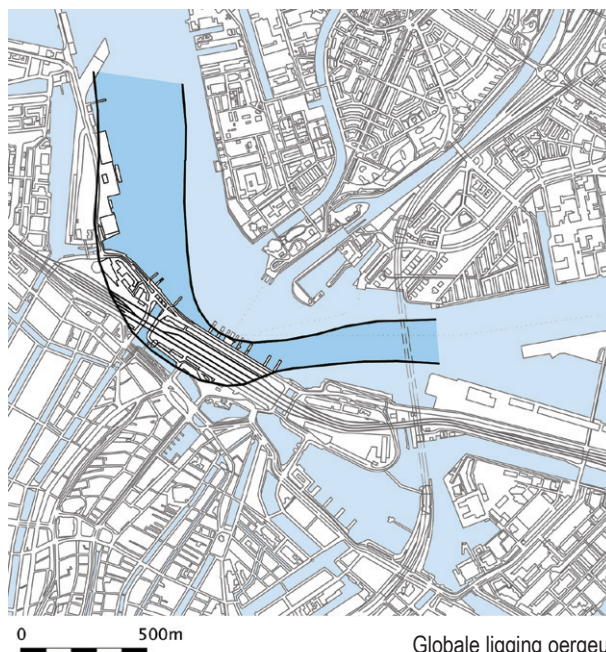


Bodendoorsnede IJ ter plaatse van Noord/Zuidlijn

Bodemdiepte

Het IJ is geschikt gemaakt voor de grootste cruise-schepen. De diepte van de vaargeul bedraagt ter plaatse van het Centraal Station 11.50 meter. Aan beide zijden van de geul ligt een veiligheidszone met een diepte van 10.50 m. Naar de oevers toe loopt de diepte af. Dit is een vorm van aanvaarbeveiliging tegen de grootste (diepst liggende) schepen. De kade voor de Passenger Terminal Amsterdam heeft een waterdiepte van 10.30 m. (Havenbedrijf 2005)

Het gebouw op de kop van het Westerdokseiland is deels gepland in de veiligheidszone naast de hoofdvaargeul. Hier is een aanvaarbeveiliging aangebracht in de vorm van een plaatselijke ondiepte. Deze beveiliging wordt echter niet afdoende geacht voor aanvaring door cruise-schepen. Ook de constructie is niet berekend op dit soort aanvaringen. Het bijbehorende risico is een van de redenen dat de bouw is uitgesteld.



6.4 Ontwerpgebied

Hieronder wordt verder ingezoomd op de ontwerplocatie. Er wordt uitgegaan van een situatie waarbij de plannen voor de verschillende IJ-oeveren worden of zijn uitgevoerd bij de voltooiing van de brug. De inventarisatie gebeurt op het gebied van de openbare ruimte en de aanwezige en geplande bebouwing.

Shell-terrein

Het Shell-terrein zal volgens de plannen uit vijf delen gaan bestaan. (Noord 2005) De strook achter het huidige Shell-gebouw 'Overhoeks' wordt bebouwd met hoogbouw. In dit nieuwe centrum ligt het accent naast wonen en werken op stedelijke voorzieningen.

Op het centrale deel van het eiland is een woongebied ontworpen met appartementengebouwen. De gebouwen staan in groepjes bij elkaar, en vormen een campus-achtige sfeer met rustige binnenhoven.

Tussen deze twee bebouwde gebieden komt een groene wig, over de gehele diepte van het eiland. Een tweede groenstrook is de boulevard langs het IJ. Op het kruispunt van deze twee zones komt het filmmuseum.

Het laatste deel van het eiland blijft in handen van Shell. Het nieuwe complex met onderzoeks- en kantoorfuncties bestaat uit vijf vleugels van zes bouwlagen loodrecht op het IJ.

Openbare ruimte

De opzet van het Shell-terrein is om de openbare ruimte zo veel mogelijk auto-luw te houden. Er liggen geen doorgaande wegen op het eiland, en parkeren zal volgens de plannen voor 95% ondergronds gaan gebeuren.

Er wordt wel geprobeerd doorgaande wandel- en fietsroutes te creëren. Het is de bedoeling dat met het voltooiën van de plannen voor de verschillende eilanden een integrale langzaam-verkeersroute langs het IJ ontstaat. Shell blokkeert echter ook op de nieuwe, compactere locatie deze route. Het park langs de IJ-oever wordt daardoor een eindpunt in een route, en de kans bestaat dat daardoor een minder goed werkende openbare ruimte ontstaat.

De strook achter de Shell-toren krijgt een stedelijk karakter. Dit wordt onder meer bereikt door de hoeveelheid openbare ruimte beperkt te houden. Hierdoor ontstaat een verdichting van de ruimte, die kan leiden tot een levendiger straatbeeld. Dit principe wordt echter meteen weer losgelaten in de groenstrook naast de hoogbouw. Al in de ontwerpschetsen levert dit een saaie ruimte op. Om het gebied echt te laten werken als stedelijke ruimte zou ook deze strook (gedeeltelijk) bebouwd moeten worden.

Gebouwen

De Shell-toren is het meest in het oog springende gebouw op het eiland. Dit gebouw uit 1971, ontworpen door Arthur Staal, blijft behouden als kantoorgebouw. Er is gekeken naar het plaatsen van woningen in de toren. Maar 'de trappenhuisen zijn net te smal om er woningen te maken. Dan zouden we de kern van het gebouw moeten veranderen. En dat zou overeenkomen met sloop'. (Nul20 2005) Het gebouw blijft echter behouden vanwege zijn karakteristieke bouwstijl.

Ook het Groot Laboratorium blijft behouden. Dit grote bakstenen gebouw krijgt een culturele functie. Verder komen er nieuwe gebouwen met onder andere een paar hotels, cafés en andere uitgaansgelegenheden. Wanneer de strip met bebouwing op een goede manier wordt uitgewerkt, kan dit gebied een belangrijke trekker worden voor mensen uit zowel Centrum als Noord.

Net naast de strip komt het filmmuseum. Het gebouw, dat ontworpen zal worden door Delugan Meissl uit Wenen, bevat vier filmzalen. (Filmmuseum 2005)

De campus-achtige bebouwing op het middengebied van het eiland bestaat uit appartementengebouwen van zes tot negen woonlagen. Onder de gebouwen komen parkeerkelders. Voor het ontwerp zijn zes architecten aangetrokken, waaronder Alvaro Siza en Jo Coenen. (Nul20 2005)

Tolhuisterrein

Naast de strip met hoogbouw op het Shell-terrein ligt het Tolhuisterrein. Het groene gebied behoort nu nog grotendeels tot het Shell-complex. Met het verdwijnen van Shell wordt het gebied openbaar toegankelijk. De 'entree' van Noord wordt ontwikkeld tot groene stedelijke recreatiezone.

Het Tolhuisterrein is nu verbonden met het Shell-terrein door twee bruggen. Beide bruggen worden in de plannen langzaam-verkeersbruggen, en er wordt een derde brug

bijgebouwd. Deze nieuwe brug is een voortzetting van de boulevard langs het IJ. Aan de andere kant van het Tolhuisterrein is echter geen nieuwe verbinding voorzien. De sluis blijft de enige plek om het Noordhollands Kanaal over te steken. Dit is een belangrijke hindernis voor de verdere ontwikkeling van de oostelijke noordoever.

Gebouwen

Er staan drie markante gebouwen op het schiereiland. Het (Nieuwe) Tolhuis is het oudste gebouw van Noord dat nog intact is, en dateert van 1859. In het gebouw huist een restaurant. (Tolhuis 2005) Aan de IJ-oever staat het voormalig Ponthuys. Ook dit gebouw wordt nu gebruikt als restaurant.

Tussen de pontsteiger en de Shell-toren ligt het voormalige bedrijfsrestaurant van Shell. Dit paviljoen-achtige gebouw is van dezelfde architect als de Shell-toren, Arthur Staal, en stamt uit dezelfde tijd. Het interieur is sterk georiënteerd op het water, maar het gebouw staat vrij in zichzelf gekeerd in de omgeving, en draagt in zijn huidige vorm niet bij aan de kwaliteit van de openbare ruimte.



Tolhuis



Sixhaven

Sixhaven

Tegenover het Tolhuis ligt de Sixhaven. Deze kleine jachthaven werd in 1922 aangelegd door de Koninklijke Nederlandse Zeil- en RoeiVereniging. (Sixhaven 2005) De jachthaven is een bijzondere plek, en heeft een sterk eigen karakter. Hoewel vlak naast de haven de Noord/Zuidlijn wordt gebouwd, blijft de haven open. Het clubhuis van de haven is wel gesloopt.

Na voltooiing van de metrolijn zal het gebied achter de haven herontwikkeld worden. Tussen het Tolhuisterrein en de Sixhaven bevindt zich een sluis in het Noordhollands Kanaal. De sluis is een historisch element in het gebied, en dient tegelijkertijd als voetgangersverbinding tussen het Tolhuis en de Sixhaven.

IJ-plein

De woonwijk ten oosten van de Sixhaven grenst aan het IJ. Door de oriëntatie van de woonblokken is er echter weinig visueel contact met het water. Afgezien van het restaurant op de kade is er op de boulevard weinig activiteit.

Door de merkwaardige ligging van de wegen in de wijk is er nauwelijks bruikbare stedelijke openbare ruimte. Er is bovendien nauwelijks een verbinding met de Sixhaven en het Tolhuisterrein. Deze zomer wordt het gebied rond de pontsteiger opgeknapt. (IJ-plein 2005)

Gebouwen

De bebouwing in de IJ-pleinbuurt bestaat voornamelijk uit woningbouw. De meeste woonblokken zijn op zichzelf staande gebouwen in pastelkleuren. Een langgerekt woonblok vertoont een interessantere relatie met de omgeving, met onder meer een doorgang door het blok.

Westerdokseiland

Het grootste deel van de geplande bebouwing op het Westerdokseiland ligt aan het Westerdok. (IJ-oever 2005) De doorgaande weg leidt voor de bebouwing langs, en de kade vanaf het Centraal Station loopt langs het IJ door richting Silodam. De kade zal echter levendigheid verliezen doordat ook langs het Westerdok een kade aangelegd wordt, met een plein met voorzieningen.



Westerdokseiland met rechtsboven de Kop

Op de kop van het eiland komt een complex met gemengde functies. Deze ‘stad in het IJ’ sluit aan bij de grootschalige gebouwen langs de gehele zuidelijke IJ-oever. Het is de bedoeling dat de binnenstraat van het complex als openbare ontmoetingsplaats gaat dienen, met een overdekt terras met uitzicht over het IJ.

Westelijk Stationseiland

De kade langs het IJ op het Westelijk Stationseiland is een soort overgangsgebied. Het is een voortzetting van de kade langs het station. De plannen voor het eiland richten zich onder meer op de intensivering van het grondgebruik en de aanpak van de openbare ruimte.

Stationseiland

De IJ-zijde van het stationseiland ondergaat momenteel grote veranderingen. De kade wordt verbreed, het autoverkeer verdwijnt ondergronds en boven de kade wordt een busstation gebouwd. Door dit alles ontstaat een groot gebied op maaiveld dat alleen toegankelijk is voor fietsers en voetgangers. De grote hoeveelheid passanten kan daardoor beter opgevangen worden, en de verkeersveiligheid van het

gebied wordt sterk verbeterd.

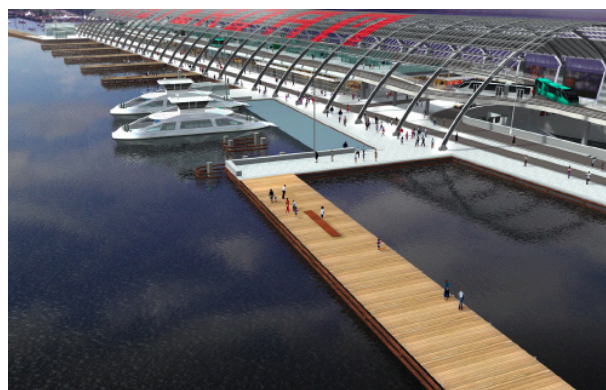
De kade blijft de functie van aanlegsteiger behouden. Behalve de pont kunnen verschillende soorten andere schepen aanmeren. Door de aanwezigheid van schepen als de Supperclub Cruise, een varende restaurant, is ook ‘s avonds bedrijvigheid te verwachten.

De overkapping van het busstation bestaat uit een serie stalen bogen met een glazen pui. De kap beschermt tegen regen en wind, maar laat het zicht op het IJ open. Wachtend op de bus heeft men zo uitzicht over het IJ. Het is echter de vraag of deze zichtrelatie zich voortzet richting treinstation. Zelfs nu is het zicht op het IJ vanaf de perrons zeer beperkt, doordat treinen in de zichtlijn staan. De komst van de bussen zal daaraan weinig verbeteren.

Onder het busstation komt een stationshal met winkels, horeca en andere voorzieningen. Op de oostelijke kop van de kade komt ruimte voor een paviljoen. Hierin wordt waarschijnlijk het kantoor van de NACO-rederij gevestigd, dat in de oude situatie al aan de IJ-kade lag.



Westelijk Stationseiland



Kade Stationseiland met busstation

Oosterdokseiland

De nieuwe situatie van de openbare ruimte op het Oosterdokseiland is vergelijkbaar met die op het Westerdokseiland. Ook hier wordt de binnenzijde van het eiland (grenzend aan het Oosterdok) bebouwd, en blijft de IJ-zijde wat geïsoleerd ten opzichte van deze nieuwe bebouwing.

De historische bebouwing aan de ventweg wordt wel opgeknapt, en de begane grond wordt geschikt gemaakt voor publiekstrekkende instanties. De situatie met een aparte ventweg en wandelkade is echter niet ideaal. Voetgangers zullen eerder geneigd zijn langs de ventweg te lopen, waardoor de kade aan waarde verliest. Eventuele extra functies op de kade kunnen dit gebied verlevendigen, zodat ook een hechtere samenhang gaat ontstaan met de kades van het Stationseiland en de Oostelijke Handelskade.

Oostelijke Handelskade

De wandelboulevard maakt op de kop van de Oostelijke Handelskade een S-bocht, om zich om het Muziekgebouw heen te slingeren. Vervolgens loopt de kade langs het water door langs de Passenger Terminal Amsterdam en verscheidene andere gebouwen. Het verlengde van de kade doet tijdens Sail dienst als aanmeerplaats voor de grote zeilschepen. De Jan Schaeferbrug, die anders de Oostelijke Handelskade verbindt met het Java-eiland, wordt dan tijdelijk opgebroken.

Gebouwen

Het Muziekgebouw, ontworpen door het Deense architectenbureau 3XNielsen, staat op de kop van de Oostelijke Handelskade. Dit gebouw heeft een volledig open gevel naar het IJ. De foyer van het gebouw zal waarschijnlijk één van de beste uitzichtpunten zijn op de te ontwerpen brug.

De PTA ligt wat verscholen achter het Muziekgebouw. Daarachter staat de IJ-toren, met een kantoorfunctie. Tussen de gebouwen achter de toren staan veel herontwikkelde pakhuizen. Daardoor behoudt dit deel van de IJ-oever zijn havenkarakter. De schaal van de gebouwen is iets kleiner dan op de westelijke zuidoever, maar blijft groot genoeg om niet geheel in het niet te vallen bij de cruise-schepen die dit deel van de haven aandoen.

Kop Java-eiland

De kop van het Java-eiland ligt tamelijk ver weg van de ontwerplocatie van de brug. Deze locatie is echter zo bijzonder dat ze hier kort genoemd wordt. De kop van het eiland biedt een geweldig uitzicht over het IJ en de beide oevers. Bovendien is de punt nog onbebouwd.

De bestemming van het stuk grond is een gezichtsbepalend gebouw met een sterke publiekstrekkende functie. Er is echter nog geen ontwerp goedgekeurd.



Muziekgebouw

6.5 Scheepvaart

Afmetingen scheepvaart

Er wordt hieronder onderscheid gemaakt tussen vijf categorieën scheepvaartverkeer.

1. Cruise-schepen

De grootste schepen die het IJ bevaren zijn de passagiersschepen. De cruise-schepen komend van de Noordzee varen een vaste route, van de sluisen in IJmuiden naar de Passagiersterminal aan de Oostelijke Handelskade. De meeste schepen kunnen ter plekke keren, maar ten noorden van het Java-eiland is een tweede, grotere zwaaiplaats. Het profiel van vrije ruimte voor deze schepen geldt dus tot aan deze zwaaiplaats.

Het grootste nu bestaande cruise-schip is de Queen Mary II. Om een idee te krijgen van de enorme grootte van dit schip zijn hieronder enkele afmetingen gegeven.

lengte:	345 m
breedte romp (hull):	40 m
breedte brug:	45 m
hoogte (boven waterniveau):	62 m
diepgang:	9,95 m
drooggewicht:	150.000 ton

(Ship-technology 2005)

De passagiersschepen die Amsterdam aandoen zijn echter minder groot. Hoewel de sluisen in IJmuiden zelfs de Queen Mary II aankunnen, is de grootte van de meeste schepen praktisch begrensd door de Panamax-maten. Dit zijn de maximale maten van de sluisen in het Panama-kanaal: 32,30 m breed, 275 m lang. (Pan canal 2005) De maximale diepgang wordt bepaald door de vaargeul in het IJ.

2. Beroepsgoederenvaart

Het IJ is onderdeel van een internationale vaarroute van

de Noordzee naar het Ruhrgebied (via het Amsterdam-Rijnkanaal). Per dag passeren enkele tientallen schepen het Centraal Station op weg van of naar de Rijn. De hoogte van deze schepen is begrensd door de bruggen in het Amsterdam-Rijnkanaal. Deze hebben een minimale doorvaarthoogte van 9,10 meter boven waterniveau. (Rijkswaterstaat 2005)

Onder de goederenschepen bevinden zich af en toe schepen met gevaarlijke stoffen. De vaarroute over het IJ is een officiële gevaarlijke-stoffenroute. Dit brengt consequenties met zich mee voor een brug over deze route, en voor het plaatsen van extra functies op de brug.

Er is ten oosten van het Centraal Station nog één zeescheepswerf in gebruik. De schepen die hier gebouwd en gereviseerd worden hebben aanzienlijke afmetingen. De hoogte van de schepen is in principe onbegrensd, maar komt in praktijk zelden boven de 10 meter uit. Bovendien komt slechts sporadisch een schip van dit kaliber langs het Centraal Station, in de orde van twee per maand. De werf zal in de toekomst naar de Westelijke Havens verhuizen.

3. Grote zeilvaart

Amsterdam is Sail-stad. Dit brengt grote hoeveelheden zeilschepen naar Amsterdam, waaronder enkele bijzonder hoge zeeschepen. De beroemde 'tall ships' hebben masthoogten tot 50 meter en leggen onder andere aan langs het Java-eiland en de Oostelijke Handelskade. Hiervoor wordt rond Sail een stuk uit de Jan Schaeferbrug getild. (Sail 2005)

Ook buiten het vijfjaarlijkse Sail-evenement passeren regelmatig middelgrote en grote zeilschepen het Centraal Station. Een landelijke staande-mastroute voert van het IJsselmeer via het IJ naar de Ringvaart richting Kagerplassen. De vrije doorvaarthoogte voor deze zeilschepen bedraagt 35

meter. De meeste schepen hebben echter een masthoogte rond de 10 meter.

4. Pont

Hoewel bij de bouw van een brug de directe pontverbinding van het Centraal Station naar het Tolhuis niet meer nodig is, blijft (in mindere mate) de behoefte bestaan voor de overige pontverbindingen. De ponten zijn slechts ca. 4 meter hoog maar zijn overdag in continue-bedrijf. Ze behoeven een permanente vrije doorgang en enige manoeuvreerruimte rond de aanlegsteiger achter het station.

5. Overige vaart

Onder deze categorie valt een veelvoud aan soorten schepen, van roeibootjes en kleine plezierboten tot rondvaartboten en overige beroepsvaart. De maten van deze schepen vallen binnen die van de eerder genoemde klassen, en zijn daarom niet maatgevend.

Doorvaartmaten

De doorvaarthoogte is op dit moment nog niet begrensd. Het wel of niet aanhouden van een maximale doorvaarthoogte is een belangrijke ontwerpparameter en zeer bepalend voor het ontwerp van de brug. Voorlopig wordt hier een doorvaarthoogte van 50 meter boven waterniveau aangehouden. In een later stadium zal verder worden uitgezocht of een onbegrensd vrije doorvaarthoogte gewenst is, en zal een ontwerpafweging gemaakt worden.

Minimale doorvaartmaten:

breedte: 32,30 m (Panamax)

diepte vaargeul: 10,50 m

doorvaarthoogte: 50 m

Snelheden

Op het IJ gelden maximumsnelheden. Deze snelheid hangt af van de diepgang van het schip.

<i>diepgang</i>	<i>snelheid</i>
< 4 m	18 km/u
4 - 8 m	14 km/u
> 8 m	12 km/u

Verkeersintensiteiten over water

Het IJ is een druk bevaren water. Op elk moment van de dag zijn wel meerdere schepen te zien. Om enig inzicht te krijgen wordt hier een globaal overzicht gegeven van de verkeersintensiteiten van de verschillende soorten schepen.

1. Cruise-schepen

In 2005 bezochten zo'n 80 passagiersschepen de Passenger Terminal Amsterdam. Op 1 juni 2005 waren er 45 reserveringen gemaakt voor het jaar 2006, en het maximale aantal te verwachten schepen voor 2006 is 100. Deze bezoeken vinden vrijwel alle plaats in de zomermaanden. Het cruise-seizoen loopt van mei tot september. Op drukke zomerdagen bezoeken twee schepen de terminal. Dit betekent vier scheeps passages per dag.

2. Beroepsgoederenvaart

Hoewel er officiële tellingen zijn gedaan naar de hoeveelheid over het Amsterdam-Rijnkanaal varende schepen, zijn deze gegevens niet openbaar. Grove tellingen leverden een intensiteit van enkele passerende beroepsgoederenschepen per uur op ter plaatse van het Centraal Station.

3. Grote zeilvaart

Sail Amsterdam is een vijfjaarlijks evenement. In de weken rond Sail is het IJ zeer druk bevaren. Enige vorm van verkeersregeling zoals bijvoorbeeld wachtrijen voor te openen bruggen is dan onmogelijk. Door de enorme hoeveelheid schepen is het gehele wateroppervlak van het IJ in gebruik. Dit betekent doorvaartmogelijkheid over de hele breedte van het water.

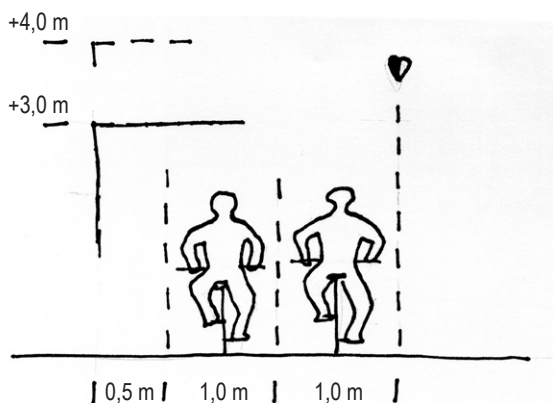
Buiten de Sail-periode passeert in de zomer ongeveer één keer per week een serie zeilschepen het Centraal Station. Dan worden 's nachts de bruggen in de A9 en de spoorlijn Amsterdam-Haarlem geopend, en kan de serie zeilschepen passeren. Ook tussen IJmuiden en het IJ varen zeilschepen met staande mast.

4. Pont

De ponten varen momenteel overdag in continue-dienst. Dit komt erop neer dat ongeveer elke twee tot drie minuten een pont aanmeert bij het station. Met de bouw van een brug zullen vooral de minder intensieve verbindingen (naar Java-eiland, NDSM-eiland) blijven bestaan. De NDSM-pont gaat elk half uur, de Java-pont elk kwartier.

5. Overige vaart

De intensiteit van de overige vaart is aanzienlijk. Rondvaartboten maken regelmatig een rondje om het station, en op een zomerse dag kan de hoeveelheid passerende plezierbootjes behoorlijk oplopen. Kleinere beroepsvaart zoals bijvoorbeeld duwbakken met bouw materieel komt dagelijks voorbij.



Profiel van vrije ruimte fietspad hoofdroute

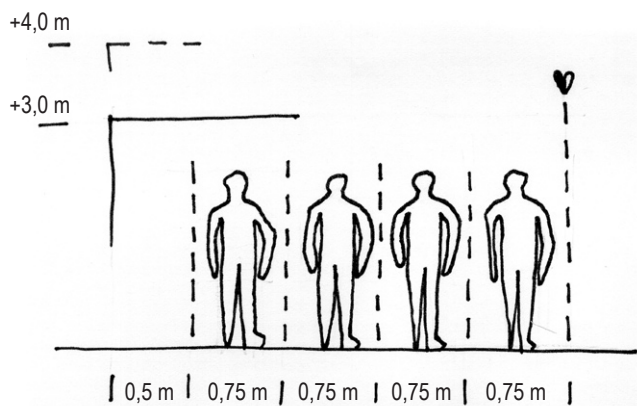
6.6 Fiets- en wandelverkeer

De brug over het IJ wordt ontworpen voor langzaam verkeer. Buiten het eventueel calamiteitenverkeer (ambulance, brandweer) wordt autoverkeer gemeden. In het geval van grootschaligere extra functies zal ook een openstelling voor bevoorradingsvoertuigen overwogen worden.

Afmetingen

De normen voor de breedte van wandel- en fietspaden zijn lang niet toereikend voor een brug die als boulevard moet kunnen fungeren. Vooral de wandelstroken moeten worden overgedimensioneerd. Hieronder wordt een aantal minimale maten gedefinieerd. Er wordt daarbij onderscheid gemaakt tussen de hoofdroute en zijpaden. (Hansen 2001)

	<i>breedte</i>
Fietspad hoofdroute:	2,00 m per rijrichting
Fietspad zijroute:	1,50 m per rijrichting
Wandelpad hoofdroute:	3,00 m per looprichting/ 6,00 m tweerichtingen
Wandelpad zijroute:	2,00 m per looprichting



Profiel van vrije ruimte wandelpad hoofdroute

De minimale doorgangshoogte voor een fietspad hangt af van de werkelijke hoogte van de fietser en van een belevingsfactor van de hoogte van de onderdoorgang. Hoe langer de overkluizing van het fietspad, des te lager lijkt deze. Voor een voetpad geldt hetzelfde, met het verschil dat een voetganger vanaf een zekere verhouding hoogte-diepte de ruimte als interieur gaat zien.

Minimale doorgangshoogte fietspad

Incidenteel:	3,00 m incidenteel
Langere overkluizing:	4,00 m als meer dan over lengte van 4,0 m overkapt

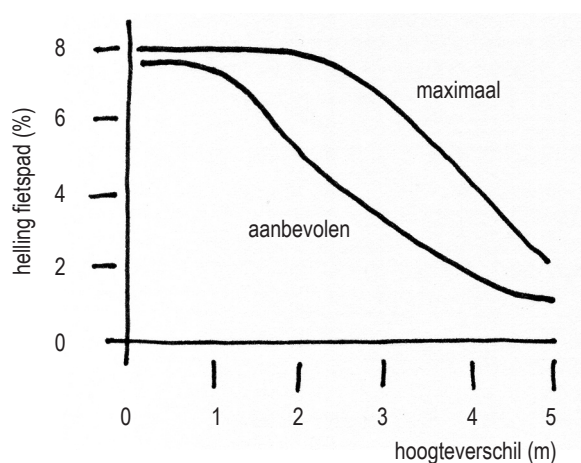
Hellingspercentages (Rona 1986)

Maximale helling wandelpad:	7%
Maximale helling openbare trap:	30%

Maximale helling fietspad

Voor minder dan 2,00 m hoogteverschil:	8%
Voor 5,00 m hoogteverschil:	2%

Zie hieronder.



Maximale hellingspercentage fietspad

Verkeersintensiteiten op de brug

De verkeersintensiteiten voor verkeer over de brug hangen af van de functies op de brug, en van de ontwikkelingen op de oevers. Verwacht wordt dat de plannen voor de herontwikkeling van de verschillende wijken in Noord een aanzienlijke hoeveelheid extra langzaam verkeer opleveren. Naast het feit dat er veel nieuwe woon- en werkplekken worden gerealiseerd, oriënteren veel van de plannen zich op het water. Door de ontwikkeling van de oevers zullen ook mensen die verder van het IJ af wonen, naar de oevers gaan voor recreatie. De plannen zijn sterk gericht op de bevordering van langzaam verkeer.

In de soberste variant fungeert de brug slechts als verbinder. Maar ook in dit geval wordt extra verkeer aangetrokken door de gemakkelijker oversteek. De ontwikkeling van het Shell-terrein moet ook mensen vanuit het centrum naar Noord trekken. Verdere ontwikkeling van de wandelpromenades aan beide IJ-oevers en van de groene strook Tolhuis-Noorderpark trekt nog meer mensen naar Noord.

Wanneer de brug ook andere activiteiten gaat herbergen, zal het aantal bezoekers nog verder toenemen. In dit geval zal echter nog grotere aandacht besteed moeten worden aan het waarborgen van de veiligheid van de openbare ruimte. Het ontwerp moet streven naar een openbaar gebied waar op elk moment van de dag mensen aanwezig zijn, of waar, als niemand aanwezig is, toch een gevoel van veiligheid gegeven wordt, bijvoorbeeld door open overzichtelijke loop- en fietsroutes.

7. Veiligheid

Meervoudig ruimtegebruik brengt extra risico's met zich mee voor de verschillende gebruikersgroepen. Om een afweging te kunnen maken over de veiligheid van de living bridge zal een uitvoerige risico-analyse uitgevoerd moeten worden. In dit stadium van het ontwerp is het echter nog te vroeg om hier diep op in te gaan.

Wel kan een idee verkregen worden welke factoren meespelen in de risico-analyse. Zo kunnen al in een vroeg stadium in het ontwerp enige veiligheidsaspecten meegenomen worden. Hieronder wordt een overzicht gegeven van de verschillende risico's tijdens de bouwfase en exploitatiefase. Vervolgens wordt de vaarweg over het IJ bestudeerd. Hiermee kunnen ten slotte een aantal voorlopige conclusies worden gesteld. Daarbij wordt al vooruitgelopen op de keuze van het concept *verbinder*, dat in hoofdstuk 9 zal worden gekozen.

7.1 Risico's

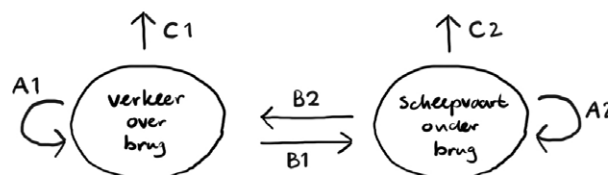
Met risico's voor de gebruikersgroepen bij meervoudig ruimtegebruik worden twee dingen bedoeld. Risico kan de kans op lichamelijk letsel of overlijden betekenen, maar ook de kans op materiële schade. De kans op letsel of overlijden speelt vooral een rol bij de maatschappelijke aanvaardbaarheid van een project. De kans op materiële schade is eerder een financiële afweging. Beide hebben echter invloed op de realiseerbaarheid van een project. Fysieke veiligheid bij meervoudig ruimtegebruik kan worden ingedeeld in drie categorieën. Hierbij wordt elke manier van ruimtegebruik gezien als afzonderlijke risicogroep. In het geval van een brug is het verkeer over de brug een groep, en de scheepvaart onder de brug de tweede groep.

A. Interne veiligheid van de verschillende risicogroepen
Een calamiteit in een van de functies levert risico's op voor de functie zelf. Een brand op een schip dat onder een brug doorvaart kan een gevaar betekenen voor personen op het schip zelf, en op andere schepen in dezelfde vaarweg.

B. Externe veiligheid tussen de risicogroepen onderling
Een ongeluk in een van de functies levert risico's op voor de andere functies. De brand op een schip kan een gevaar betekenen voor gebruikers van de brug. Andersom kunnen vallende voorwerpen van de brug een gevaar opleveren voor het scheepvaartverkeer onder de brug door.

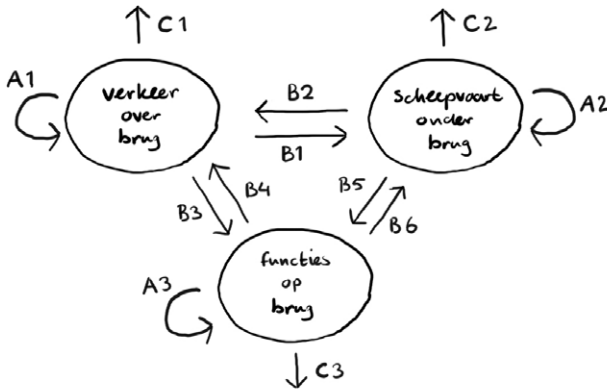
C. Externe veiligheid naar de omgeving
Een calamiteit bij een van de functies kan risico's opleveren voor de omgeving. Een ontsnappende gaswolk bij een brandend schip kan een gevaar vormen voor omwonenden.

Deze drie risicocategorieën kunnen opgesteld worden voor de verschillende fasen in de levensduur van een project. De aard en grootte van de verschillende risico's verschillen per bouwfase. Zo is in de bouwfase het gevaar van vallende voorwerpen boven de vaarweg waarschijnlijk aanzienlijk groter dan in de exploitatiefase.



Risicorelaties bij meervoudig ruimtegebruik, zoals een brug

De living bridge bestaat zelf al uit meerdere functies. Daardoor ontstaat een uitgebreider relatiediagram.



Risicorelaties voor de living bridge

Bouwfase

De risico's tijdens de bouw van de living bridge hangen af van de bouwvolgorde. Wanneer brug en gebouwen op hetzelfde moment gebouwd worden, kunnen de bouwwerkzaamheden als één risicogroep worden gezien. Dat betekent dat er twee hoofdgroepen zijn, de bouwwerkzaamheden en de vaarweg. Dan kan het eerste diagram aangehouden worden.

Wanneer eerst de brug wordt gebouwd, en deze al in gebruik wordt genomen terwijl de bouw van de overige functies nog gaande is, ontstaan drie risicogroepen. Hieronder wordt ingegaan op de eerste situatie, waarbij brug en functies tegelijk worden gebouwd. Daarna worden de bijkomende risico's behandeld voor de tweede situatie, waarbij de brug al in gebruiksfase is, en de functies nog worden gebouwd.

A1. Interne veiligheid brug

Dit betreft de veiligheid op de bouwplaats. De

constructiewijze heeft een grote invloed op de aard van de risico's. Deze is afhankelijk van het ontwerp, maar ook van de voorkeuren van de aannemer. Verder spelen externe invloeden zoals de weersomstandigheden een rol. Over het algemeen is er echter duidelijke regelgeving die, wanneer nageleefd, een zekere veiligheid op de bouw garandeert.

A2. Interne veiligheid vaarweg

Een calamiteit op de vaarweg heeft invloed op de vaarweg zelf. De interne veiligheid van het scheepvaartverkeer kan veranderen bij de aanleg van de brug, wanneer de vaargeul bijvoorbeeld versmald wordt. Ook is het denkbaar dat verkeer op de vaarweg tijdens de bouw gehinderd wordt door extra bouwverkeer over het water.

B1. Externe veiligheid van de brug naar de vaarweg

Ongelukken bij de bouw van de brug kunnen invloed hebben op de veiligheid van het waterverkeer. De grote hoeveelheid waterverkeer over het IJ betekent grotere risico's bij ongelukken. In het ontwerp van de brug spelen daarom de wijze van montage, de mate van prefabricage, en de moeilijkheidsgraad van de uit te voeren bouwactiviteiten een relatief grote rol. Naast risico's moet hierbij ook gekeken worden naar hinder voor de scheepvaart. Geheel of gedeeltelijk afsluiten van de vaargeul resulteert in aanzienlijke financiële schade. Hier zal dus een afweging gemaakt moeten worden tussen te aanvaarden risico's en extra veiligheidsinvesteringen.

B2. Externe veiligheid van de vaarweg naar de brug

Hoewel in de bouwfase de brug nog niet open is voor publiek, werken er wel mensen. Een ongeluk met een schip levert dan risico's op voor de mensen op de bouwplaats. Bovendien is er kans op materiële schade. Al tijdens de bouw is het daarom van belang dat de scheepvaart zo min mogelijk extra risico's ondervindt. Niet alleen voor de scheepvaart zelf, maar ook voor de brug.

C1. Externe veiligheid van de brug naar de omgeving

Een ongeluk op de bouwplaats kan gevaren opleveren voor de omwonenden. Een brand kan bijvoorbeeld overslaan naar de omliggende bebouwing. Hierbij geldt dat er beperkingen gesteld kunnen worden aan de bouwactiviteiten die ter plaatse mogen plaatsvinden. Ook kan een gebied rond de bouwplaats vrijgehouden worden. Hier gelden echter de normale regels voor bouwactiviteiten in bebouwd gebied. Er kunnen echter wel aanvullende eisen worden gesteld door de aanwezigheid van het Centraal Station met haar grote aantal reizigers.

C2. Externe veiligheid van de vaarweg naar de omgeving

De vaarweg wordt door de bouw van de brug waarschijnlijk aangepast. Door deze ingrepen verandert ook het risico van scheepvaart op de vaarweg voor de omgeving. Een smallere vaarweg (zonder extra maatregelen) betekent een grotere kans op aanvaringen. In landelijke risico-analyses van de hoofdvaarwegen wordt voor het IJ een extra berekening uitgevoerd, door de aanwezigheid van het Centraal Station. Naast het individueel risico op overlijden wordt voor dit stuk waterweg ook het groepsrisico bepaald. Dit is de kans dat bij een ongeluk met gevaarlijke stoffen meer dan tien dodelijke slachtoffers vallen.

Wanneer de brug al open is voor het publiek, maar de functies op of rond de brug nog in de bouwfase verkeren, moeten een aantal risicorelaties worden toegevoegd.

A3. Interne veiligheid functies

Voor de interne veiligheid bij de bouw van de behuizing van de aanvullende functies geldt hetzelfde als voor de interne veiligheid van de brug (A1). Doordat de bouw nu niet alleen plaatsvindt boven, maar ook vlak naast een in gebruik zijnde verkeersroute, zullen extra beperkingen worden gesteld voor de bouwactiviteiten. Dit levert mogelijk meer risico op bij de bouw. Eenvoudige montagethoden kunnen

dan bijvoorbeeld niet uitgevoerd worden door gebrek aan ruimte.

B3. Externe veiligheid van de brug naar de functies

Gebeurtenissen op de brug zouden invloed kunnen hebben op de veiligheid op de bouwplaats van de gebouwen. Hierbij kan gedacht worden aan vandalisme, het vallen van voorwerpen van de brug, of in extreme gevallen terrorisme.

B4. Externe veiligheid van de functies naar de brug

Ongelukken op de bouwplaats kunnen van invloed zijn op de veiligheid voor gebruikers op de brug. Doordat de brug en de extra functies direct aan elkaar grenzen, is er weinig bufferafstand tussen de bouwactiviteiten en de verkeersruimte. Brand, explosies of vallende voorwerpen kunnen dan snel een gevaar opleveren voor het verkeer op de brug. Er zal dus bij het bepalen van de bouwvolgorde rekening gehouden moeten worden met extra risico's, wanneer de verkeersroute eerder opengesteld wordt voor het publiek dan de overige functies. Andersom, wanneer de functies eerder worden opgeleverd dan de verkeersroute, is weinig aannemelijk, aangezien de brug fungeert als hoofdontsluiting van de functies.

B5. Externe veiligheid van de vaarweg naar de functies

Hier geldt hetzelfde als bij de externe veiligheid van de vaarweg voor de brug (B2). Wel kan gesteld worden dat de kans op een ongeval tijdens de bouw van de brug anders is dan tijdens de bouw van de functies. Bij de bouw van de brug is het denkbaar dat de vaargeul deels afgesloten moet worden. Wanneer de brug open is voor het publiek, kan aangenomen worden dat ook de vaarweg in haar nieuwe vorm volledig open is voor het publiek. Wel vormt de brug (in gesloten toestand) nu een hoogtebeperking voor de scheepvaart.

B6. Externe veiligheid van de functies naar de vaarweg

Ook de bouw van de functies kan extra risico opleveren voor de scheepvaart. Brand of explosies kunnen overslaan naar passerende schepen, en vallende voorwerpen kunnen schade of letsel aanrichten aan schepen en haar passagiers.

C3. Externe veiligheid van de functies naar de omgeving
Hier geldt weer hetzelfde als bij de risico's bij de bouw van de brug naar de omgeving (C1).

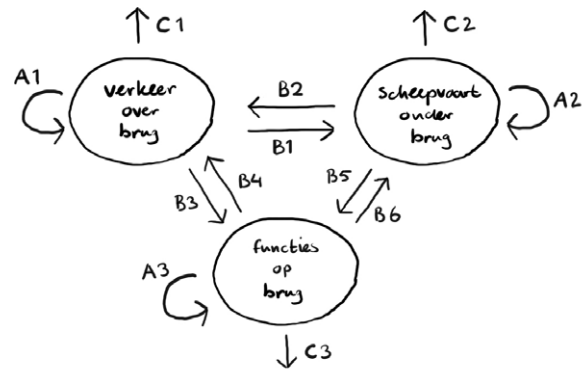
Uit het bovenstaande blijkt dat de bouw van de brug en de extra functies niet alleen eigen risico's met zich mee brengt, maar ook de gebruiksrisico's van de vaarweg beïnvloedt. Er zal dus niet alleen aandacht moeten worden besteed aan de directe risico's bij de bouw, maar ook aan de situatie op de vaarweg. In het ontwerpproces zal de hinder voor de vaarweg, en daarmee de extra kans op ongelukken met schepen, moeten worden meegenomen in de keuze voor de uitvoeringswijze. Het risico van vallende voorwerpen op schepen in de vaarweg is vergelijkbaar met een situatie waarbij boven een weg of spoorweg wordt gebouwd. Hiervoor wordt verwezen naar Suddle (2004) en Roos (2005).

Gebruiksfase

Tijdens de gebruiksfase kan het uitgebreide schema weer aangehouden worden. Hieronder worden nogmaals alle risicorelaties opgesomd, nu wanneer zowel de brug als de extra functies in gebruik zijn.

A1. Interne veiligheid brug

De interne veiligheid op de brug is afhankelijk van het ontwerp van de brug. Een steile brug, of een brug met een beperkt ruimteprofiel is gevoeliger voor ongelukken dan een ruime vlakke brug. Te veel ruimte op de brug kan echter weer sociale onveiligheid veroorzaken. De manier van opengaan is ook van belang voor de interne veiligheid.



Risicorelaties voor de living bridge, in de gebruiksfase

A2. Interne veiligheid vaarweg

In de nieuwe situatie zal de vaarweg versmald zijn. Hoge schepen zullen gedwongen zijn de hoofdvaartgeul te gebruiken, aangezien alleen hier de maximale doorvaarthoogte wordt gehaald. Pijlers en overige bebouwing in of boven het water zorgen voor extra obstakels. Ten slotte zal het verkeer aan meer regels onderhevig zijn door de beperkte openingstijden van de hoofdvaartgeul voor hoge schepen. Wachtrijen en tijdelijk eenrichtingsverkeer vergroten de kans op ongelukken. Al met al zal een zorgvuldig ontwerp gemaakt moeten worden voor de vaarweg.

A3. Interne veiligheid functies

De interne veiligheid van de functies op of langs de brug wordt beïnvloed door de ligging in het IJ. De vluchtroutes zijn beperkt tot de brug en het water. Ook de bereikbaarheid voor hulpdiensten is minder eenvoudig boven water.

B1. Externe veiligheid van de brug naar de vaarweg

Verkeer over de brug kan risico's opleveren voor het verkeer onder de brug door. Het meest voor de hand liggende risico is vallende of gegooidde voorwerpen. Amsterdam is

een stad van bruggen, en van toerisme door de grachten. Ondanks de grote verkeersintensiteiten over de bruggen en over water is er vrijwel nooit een beveiliging tegen het gooien van voorwerpen van de brug. Een brug over het IJ zal echter een grotere hoogte bereiken dan de meeste grachtenbruggen, en met de valhoogte neemt de valsnelheid toe, en daarmee de kans op letsel.

B2. Externe veiligheid van de vaarweg naar de brug

Door de aanpassingen in de vaargeul kan de kans op een ongeval met een schip veranderen. Daarbij verandert ook het risico voor de gebruikers van de brug bij zo'n ongeval. Een goede configuratie van de vaargeul kan echter ook een verbetering brengen in de veiligheid voor schepen, en daarbij voor de brug. Het ontwerp van de brug zelf heeft ook invloed op de uitwerking van een scheepsongeluk voor de gebruikers van de brug.

B3. Externe veiligheid van de brug naar de functies

Een ongeval op de brug heeft directe gevolgen voor de functies langs de brug. Een brand op de brug kan overslaan naar de gebouwen. Een indirect gevolg van een ongeval op de brug is bijvoorbeeld het wegvallen van vluchtroutes.

B4. Externe veiligheid van de functies naar de brug

Ook bestaat de mogelijkheid van slachtoffers op de brug bij een explosie of brand in een van de functies langs de brug. Aangezien de gebouwen ook fungeren als de draagconstructie van de brug, betekent instorten van een van de gebouwen waarschijnlijk ook instorten van de brug. Wanneer een manier wordt gevonden om dit voortschrijdende instorten te voorkomen, zal dit de veiligheid voor de gebruikers van de brug verbeteren.

B5. Externe veiligheid van de vaarweg naar de functies

Gebruikers van de functies lopen net zoals op de brug risico bij een ongeval van een voorbijvarend schip. Een verschil

is hierbij dat schepen onder de brug doorvaren, en langs de gebouwen. Bij een brand op een schip zal de brug eerder gevaar lopen dan de gebouwen. De gebouwen zijn echter weer gevoeliger voor aanvaring, en eventuele risico's die daaruit voortkomen. De huidige veiligheidsnormen stellen voor bebouwing op of langs vaarwegen een veiligheidszone. In deze zone mogen vervolgens geen verblijfsfuncties worden gesitueerd.

B6. Externe veiligheid van de functies naar de vaarweg

Hier geldt weer het gevaar van vallende objecten. Ook explosies of brand in de functies langs de vaargeul kunnen een risico vormen voor de scheepvaart. De veiligheidszone voor vaarwegen zal echter een afdoende buffer naar de hoofdvaargeul bieden. De zijvaargeulen voor kleinere scheepvaart kunnen wel dichterbij, of zelfs onder de functies liggen. Hier zal dus weer een afweging gemaakt moeten worden voor een doorval- of gooibeveiliging.

C1. Externe veiligheid van de brug naar de omgeving

Dit is de kans dat een ongeval op de brug schadelijke gevolgen oplevert voor de omgeving. Dit risico is hoogstwaarschijnlijk vrij klein. Een voorbeeld is een fiets die niet meer kan remmen, die op de oever een aanrijding veroorzaakt.

C2. Externe veiligheid van de vaarweg naar de omgeving

Hier geldt hetzelfde als bij onderdeel C2 in de bouwfase, met het verschil dat de vaarweg nu volledig operationeel is.

C3. Externe veiligheid van de functies naar de omgeving

Wanneer een brand of een explosie plaatsvindt in een van de functies kan dit een gevaar betekenen voor de omgeving. De plaatsing in het water, op enige afstand van de oevers betekent wel dat een bufferzone aanwezig is. Bij bebouwing langs of op de oevers zal de externe veiligheid voor de omgeving wel nauwkeuriger moeten worden onderzocht.

Vervuiling van het water door brand in een van de functies is een ander voorbeeld van een mogelijk risico voor de omgeving.

Het bovenstaande geeft een overzicht van de soorten risico's bij een combinatie van een brug met extra functies. Welke risico's ook echt aanwezig zullen zijn hangt onder andere af van het ontwerp, de uitvoeringswijze en kwaliteit, en een aantal externe factoren. Bovenstaande is dan ook meer bedoeld als achtergrond tijdens het ontwerpproces.

Het maken van een kwantitatieve analyse is in dit verband nog niet aan de orde, gezien de verkennende aard van het ontwerp. Het bepalen en beoordelen van risico's is subjectief. Daarbij hangt veel af van de intenties van de gemeente. Gezien de uiteenlopende standpunten bij de verschillende gemeentediensten is hierover nog weinig concreets te zeggen.

7.2 Vervoer van gevaarlijke stoffen

Voor de Nederlandse hoofdvaarwegen is het vervoer van gevaarlijke stoffen vrij goed gedocumenteerd. Daarnaast is ook de externe veiligheid langs de hoofdvaarwegen in kaart gebracht. Gevaarlijke stoffen worden daarbij ingedeeld in een aantal hoofdklassen. Het eerste onderscheid dat gemaakt wordt is tussen brandbare en giftige stoffen. Binnen deze twee categorieën is een verdere onderverdeling gemaakt:

<i>code</i>	<i>categorie</i>	<i>voorbeeldstof</i>
GF3	Brandbare gassen	propan
GT3	Toxische gassen	ammoniak
LF1	Brandbare vloeistoffen	dieselolie
LF2		benzine
LT1	Toxische vloeistoffen	acrylnitril
LT2		propylamine

Per klasse is te voorspellen wat voor verschijnsel een mogelijk risico oplevert. Dit kan variëren van een plasbrand tot het ontsnappen van een giftige wolk. Uit landelijke registratiegegevens van scheepsongevallen van de afgelopen tien jaar worden gemiddelde frequenties opgesteld van ongelukken per verkeersvak. Wanneer vervolgens ook het aantal transporten van de verschillende klassen gevaarlijke stoffen op een verkeersvak bekend is, kan een schatting gemaakt worden voor de externe veiligheid langs het verkeersvak.

Deze externe veiligheid wordt uitgedrukt in twee maten: het plaatsgebonden risico en het groepsrisico. Het plaatsgebonden risico geeft aan met welke kans het mogelijk is dat door een scheepsongeval met gevaarlijke stoffen een mens op een bepaalde locatie daaraan zou overlijden. Volgens het gangbare overheidsbeleid dient die kans ter plaatse van een kwetsbare bestemming (bijvoorbeeld een woonwijk) kleiner te zijn dan 10^{-6} per jaar. Langs vaarwegen worden contouren gesteld voor de 10^{-6} en 10^{-8} kans.

Het groepsrisico geeft aan met welke kans het mogelijk is dat door een scheepsongeval met gevaarlijke stoffen meer dan 10 dodelijke slachtoffers vallen onder omwonenden langs de vaarweg. Hierbij wordt gesteld dat wanneer het groepsrisico op een bepaalde locatie groter is dan 10% van de landelijke norm, dit risico verder berekend dient te worden.

Amsterdam

Het Noordzeekanaal is een landelijke hoofdvaarroute. De route is ingedeeld in zes verkeersvakken van de Noordzeesluizen bij IJmuiden tot aan de Zeeburgerkeersluizen bij het begin van het Amsterdam-Rijnkanaal. Voor de living bridge zijn twee verkeersvakken van belang.

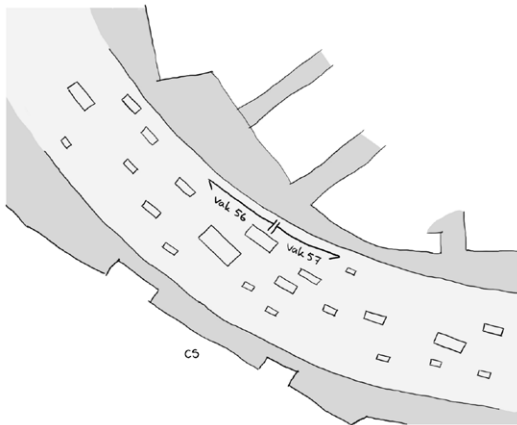
<i>vak</i>	<i>van</i>	<i>tot</i>
56	Mercuriushaven	Noordhollands Kanaal
57	Noordh. Kanaal	Amsterdam-Rijnkanaal

De verkeersvakken vormen samen het IJ, en hebben de volgende afmetingen:

<i>vak</i>	<i>lengte (km)</i>	<i>breedte (m)</i>
56	3,2	270
57	3,5	270

Voor de hoofdvaarwegen wordt de jaarlijkse verkeersintensiteit bijgehouden. Hierbij wordt echter alleen de beroepsvaart geregistreerd. De intensiteit op de verkeersvakken op het IJ bedroeg in 2001:

<i>vak</i>	<i>verkeersintensiteit (1/jaar)</i>
56	78700
57	82424



De huidige vaarweg over het IJ

Het vervoer van gevaarlijke stoffen wordt per verkeersvak bijgehouden door het IVS (Informatie- en Volgsysteem Scheepvaart). Hierbij wordt onderscheid gemaakt in de zes hoofdcategorieën gevaarlijke stoffen. Onderstaande gegevens zijn van 2001, en zijn uitgedrukt in passages per jaar:

<i>vak</i>	<i>GF3</i>	<i>GT3</i>	<i>LF1</i>	<i>LF2</i>	<i>LT1</i>	<i>LT2</i>
56	154	0	53	3253	0	0
57	154	0	53	3260	0	0

Hieruit kan worden opgemaakt dat het vervoer van gevaarlijke stoffen over het IJ beperkt blijft bij brandbare stoffen. Giftige stoffen worden niet vervoerd. Het vervoer van toxische stoffen vindt volgens Heitink (2003) alleen plaats op de routes Rotterdam-Duitsland, Rotterdam-Antwerpen en vanuit Rotterdam en Antwerpen zeeгаand.

De brandbare stoffen worden weer verdeeld in brandbare gassen en brandbare vloeistoffen. Bij de brandbare gassen moet hier opgemerkt worden dat het bij het vervoer over het IJ gaat om LPG, oftewel gekoeld aardgas, en niet om LNG, onder druk vloeibaar gemaakt gas. Bij LNG bestaat het gevaar van een Bleve, een zogenaamde 'Boiling liquid expanding vapour explosion'. Dit gevaar bestaat niet bij LPG, en dus niet bij het gasvervoer over het IJ.

Gegevens over het aantal en de aard van ongelukken per verkeersvak worden bijgehouden in het ONOVIS (Ongevallen en Overtredingen Informatie Systeem). Uit een periode van tien jaar wordt per verkeersvak een scheepsschadefrequentie bepaald. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in zes schadeklassen. Schade wordt ingedeeld van klasse 0 (geen schade) tot 5 (gat in laadruimte, uitstromende lading). Klasse 4 is zeer zware schade, waarbij de laadruimte intact blijft of leeg is.

<i>vak</i>	<i>klasse</i>	<i>klasse</i>	<i>lengte (km)</i>	<i>per km</i>
56	2 t/m 5	4 en 5	3,2	5,03
57	16,4	0	3,5	4,71

In verkeersvak 56 hebben tussen 1982 en 1991 gemiddeld per jaar dus 16,3 ongelukken plaatsgevonden. Per kilometer per jaar komt dat op 5,03 ongelukken.

Aan de hand van deze gegevens is een plaatsgebonden risico uitgerekend als een afstand ten opzichte van het midden van de vaarweg. Hierbij worden de 10^{-6} , 10^{-7} en 10^{-8} contouren gegeven in meters uit het midden van de vaargeul.

<i>vak</i>	<i>breedte (m)</i>	10^{-6} (m)	10^{-7} (m)	10^{-8} (m)
56	270	0	140	150
57	270	0	0	150

In beide verkeersvakken ligt de 10^{-6} contour op nul meter vanaf het midden van de vaargeul. Dit betekent dat in de huidige situatie het externe risico op een dodelijk slachtoffer over de gehele breedte van het IJ onder de landelijke norm ligt. In vak 56 valt de 10^{-7} contour aan beide zijden vijf meter buiten de vaarweg.

De vaarroute over het IJ voert langs het Centraal Station. De aanwezigheid van deze drukke verkeersknoop is aanleiding voor een studie naar het groepsrisico. Daarbij wordt voor het verkeersvak een berekening gemaakt voor het groepsrisico met een zeer hoge bevolkingsdichtheid, 1000 personen per hectare aan beide zijden van de vaarweg, direct op de oever.

Aan een gebied rond de vaarweg wordt daarbij een score toegekend. Deze score is een maat voor de afstand van het groepsrisico tot de oriënterende waarde (landelijke norm).

Score = 0 betekent groepsrisico op de landelijke norm, score = 1 is een factor 10 boven de norm.

<i>vak</i>	<i>score</i>
56	-3,94
57	-4,47

Samengevat

Over het IJ worden ter plaatse van de living bridge geen giftige stoffen vervoerd. Wel worden er brandbare gassen en vloeistoffen vervoerd. Hieronder wordt een overzicht gegeven van de situatie op de ontwerplocatie.

Gemiddeld aantal transporten per dag

Brandbare gassen:	< 1
Brandbare vloeistoffen:	5 tot 20
Toxische stoffen:	geen

Plaatsgebonden risico:	< 10^{-6} per jaar
Groepsrisico:	< 10% oriënterende waarde
10^{-8} contour	tot 25 meter buiten de vaarweg

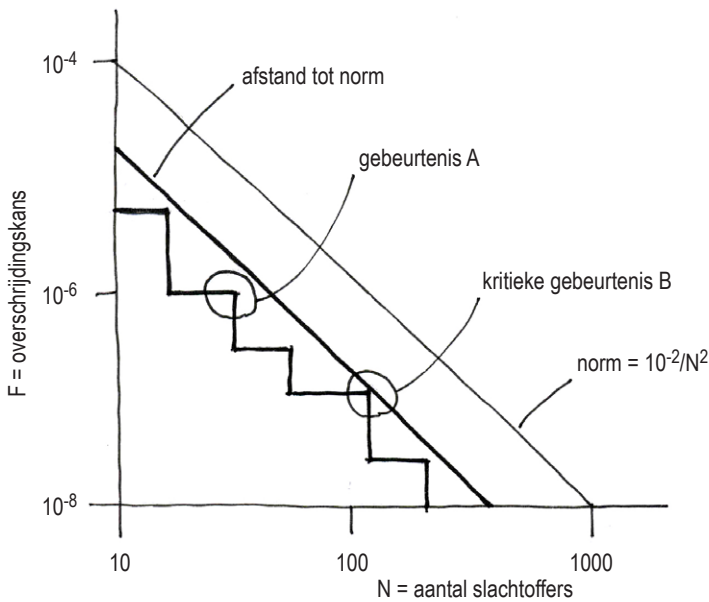
Bij de Zeeburgerkeersluizen bij de ingang van het Amsterdam-Rijnkanaal ligt de 10^{-6} contour plaatselijk op 25 meter rond de sluis.

Risicoanalyse

Om tot een concrete waarde voor het individueel en groepsrisico te komen zal een risicoanalyse gemaakt moeten worden. In dit onderzoek zal vanwege het beperkte tijdsbestek een dergelijke analyse niet gemaakt worden. Wel wordt hieronder een idee gegeven van de opzet van zo'n risicoanalyse.

De eerste stap in de risicoanalyse is het opstellen van een aantal mogelijke gebeurtenissen die tot slachtoffers zouden kunnen leiden. Hierbij kan gedacht worden aan bijvoorbeeld een aanvaring van een schip en een brugpijler, een brand op een schip, of een explosie aan boord.

Voor elk van deze gebeurtenissen wordt een schatting gemaakt van de overschrijdingskans op voorkomen op de bewuste locatie. Hier vindt een scheiding plaats tussen individueel en groepsrisico. Voor het individueel risico, oftewel het plaatsgebonden risico, wordt de overschrijdingskans geschat dat een persoon op een specifieke locatie overlijdt ten gevolge van een gebeurtenis op een onbepaalde plek langs de verkeersader. Het samenvoegen van alle persoonslocaties voor alle bestudeerde gebeurtenissen leidt tot een serie risicocontouren.



Voorbeeld van een F-N-diagram (Jongejan 2005)

Het groepsrisico gaat uit van een gebeurtenis op een specifieke plek, met de gevolgen voor alle personen op elke plaats ten gevolge van die gebeurtenis. Hieruit volgt een totaal aantal geschatte dodelijke slachtoffers per gebeurtenis op die specifieke locatie. Wanneer een aantal gebeurtenissen zijn bekeken kan de kans van voorkomen voor de verschillende gebeurtenissen uitgezet worden tegen het aantal slachtoffers. Deze grafiek wordt de F-N-curve genoemd.

De landelijke norm voor veiligheid onderscheidt twee toetsingsgrootheden, de veiligheidsnorm voor installaties en die voor transportaders. De veiligheidsnorm voor transport bedraagt $10^{-2}/N^2$ per jaar per kilometer. Deze lijn kan uitgezet worden in de tevoren bepaalde F-N-curve. Wanneer de curve de lijn niet overschrijdt, is aan de norm voldaan.

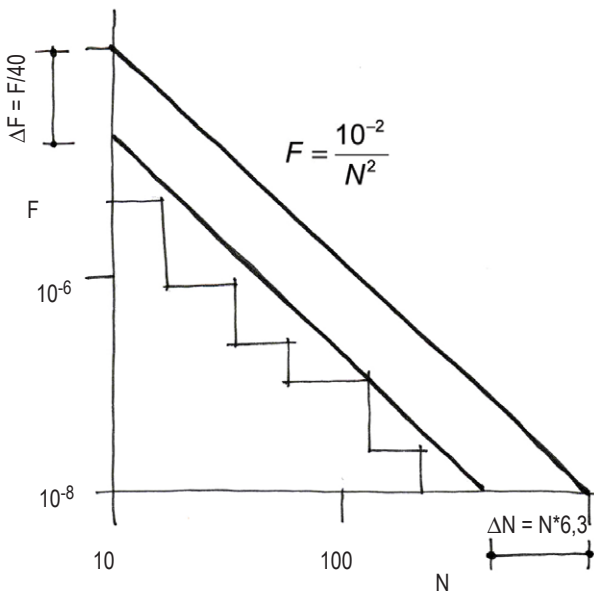
$$F = \frac{10^{-2}}{N^2}$$

Voor het Centraal Station in Amsterdam is een risicoanalyse gedaan, maar deze informatie is niet openbaar. Toch kan aan de hand van de bovenstaande werkwijze iets gezegd worden over het groepsrisico. De Risicoatlas Hoofdvaarwegen Nederland vermeldt een groepsrisico voor verkeersvak 56 (het IJ ten westen van het Centraal Station) van -3,94. Dit betekent dat het groepsrisico een factor $10^{-3,94}$ maal de landelijke norm van $10^{-2}/N^2$ per jaar per km bedraagt.

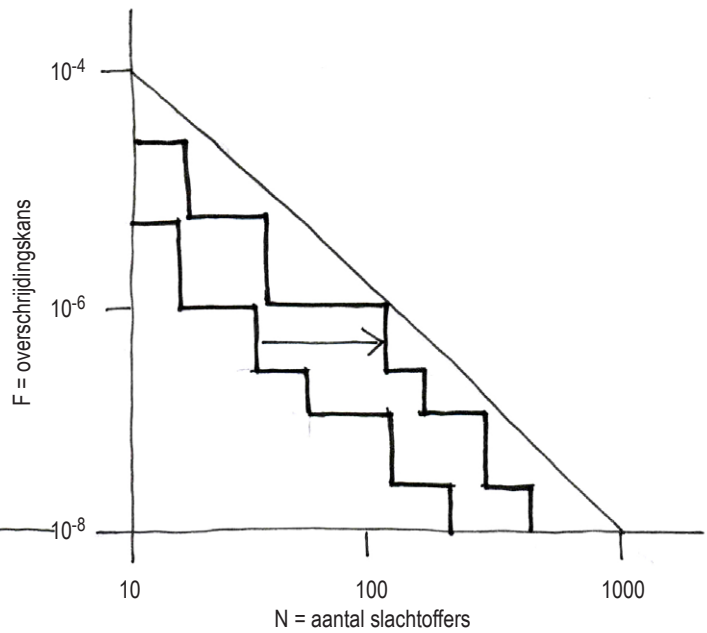
Wanneer gesteld wordt dat in de nieuwe situatie dezelfde gebeurtenissen tot doden leiden, en er dus geen nieuwe gebeurtenissen aan de curve toegevoegd hoeven te worden, kan de plaatsing van de brug in de grafiek worden voorgesteld als een verplaatsing van de curve naar rechts. Bij dezelfde gebeurtenis zullen in sommige gevallen meer slachtoffers vallen.

Een gebeurtenis waarbij 10 doden vallen heeft volgens de norm een maximale jaarlijkse kans van voorkomen van $10^{-2}/N^2 = 10^{-4}$ per kilometer. In de huidige situatie ligt de (maximale) kans voor een gebeurtenis met 10 doden op $10^{-3,94} \cdot 10^{-2}/(N^2) \approx 10^{-8}$. De huidige veiligheidsmarge is dus zeer groot. Wanneer in de nieuwe situatie de curve eenvoudigweg opschuift tot aan de norm (dit is dus een situatie waarbij de kans op een bepaalde hoeveelheid doden 10.000 maal zo groot wordt!), zal dezelfde gebeurtenis met een jaarlijkse kans van voorkomen van 10^{-4} per kilometer maximaal $\sqrt{(10^{-2}/10^{-4})} = 10$ doden opleveren. Dit is gelijk aan de hierboven gestelde norm.

$$N = \sqrt{\frac{10^{-2} \cdot 10^{-3,94}}{10^{-6}}}$$



F-N-diagram met marge tot norm (Jongejan 2005)



F-N-diagram met curve oude en nieuwe situatie (Jongejan 2005)

De stelling dat er geen nieuwe gebeurtenissen aan de curve toegevoegd hoeven te worden is niet helemaal legitiem. Doordat een brug in het IJ wordt geplaatst, is de gebeurtenis van een geringe koersafwijking van een schip in de nieuwe situatie wel van belang, terwijl die in de oude situatie geen slachtoffers opleverde. Door het systeem van aanvaarbeveiliging van de brug is het gevaar voor dodelijke slachtoffers bij deze gebeurtenis echter beperkt.

Bovendien ligt de huidige score voor het IJ zo ver van de landelijke norm af dat gesteld kan worden dat ook nieuwe gebeurtenissen op voldoende afstand van de norm zullen liggen. Een uitvoerige studie van het groepsrisico is echter bij verdere ontwikkeling van de plannen voor een living bridge over het IJ noodzakelijk.

7.3 Nieuwe situatie

In de nieuwe situatie zullen een aantal veranderingen plaatsvinden. Ten eerste wordt de vaarweg versmald en gesplitst in twee of drie gescheiden vaarwegen. Door de versmalling kan dit punt gezien worden als een obstakel. In het ergste geval zal daardoor een situatie ontstaan die vergelijkbaar is met die bij de Zeeburgerkeersluizen. Dan zal de 10^{-6} contour op 25 meter afstand van de vaargeul komen te liggen. Dat wil zeggen dat er in die ruimte geen verblijfsfuncties gesitueerd mogen worden.

De vaargeul wordt momenteel gebruikt door verschillende partijen. Het beroepsverkeer bestaat niet alleen uit Rijnvaart. Er is nog een zeevaartwerf ten oosten van het station. Deze werf wordt echter gesloten, waardoor de cruiseschepen het enige zeegaande beroepsverkeer worden. Ander personenvervoer zijn de ponten, rijncruises en rondvaartboten.

Naast het beroepsverkeer vindt er op het IJ veel pleziervaart plaats. Een verscheidenheid aan zeilschepen gebruikt het IJ als verbindingsroute tussen de Noordzee, het IJsselmeer en de meren in het Groene Hart. Daarnaast zijn er kleinere bootjes uit het centrum en andere woonwijken. Al dit verkeer vaart nu door elkaar. Dit is mogelijk vanwege de grote breedte van de vaarweg. Bij versmalling zal de grote verscheidenheid aan verkeer het risico op ongelukken sterk vergroten.

Het verkeer kan op twee manieren gescheiden worden. Wanneer de vaarweg wordt ingedeeld in twee gescheiden vaargeulen voor verkeer in de twee richtingen, gaat al het verkeer in een vaargeul de zelfde richting op. Dit vergroot de overzichtelijkheid op het water, en daarmee de veiligheid. Bovendien neemt de relatieve maximale snelheid ten opzichte van andere schepen af. Dit betekent minder schade bij aanvaringen.

Het verkeer kan ook gescheiden worden naar doelgroep. Daarbij krijgt het beroepsverkeer bijvoorbeeld een vaargeul toegewezen, en gebruikt de pleziervaart een andere vaargeul. Deze opdeling levert een aantal voordelen op. De geul voor beroepsvaart wordt nu alleen gebruikt door opgeleide schippers. Hierdoor zal de verkeersveiligheid toenemen. Rare ongevallen door onkunde van schippers worden daarmee in deze vaargeul voor een groot deel voorkomen.

Bovendien zal de variatie in scheepstypes kleiner worden per vaargeul. Dat betekent een meer uniforme verkeersstroom, zowel wat betreft grootte van de schepen als vaarsnelheden en wendbaarheid. De gevolgde route is daarnaast voor vrijwel alle rijnschepen gelijk, namelijk van het Amsterdam-Rijnkanaal naar de Westelijke Havengebieden of verder. Pleziervaart heeft een grotere variatie aan routes.

Een oplossing met meer dan twee vaargeulen zal de veiligheid nog meer vergroten. Daarbij worden twee vaargeulen ingericht voor beroepsvaart, elk met eenrichtingsverkeer. De overige vaargeulen worden bestemd voor pleziervaart.

Een goed systeem van verkeersregeling is hierbij echter wel essentieel. Het moet voor elke gebruikersgroep duidelijk welke vaargeul hij of zij moet gebruiken. Bovendien moet de configuratie van de vaargeulen zo zijn dat bij het kiezen van de geul geen verhoging van de risico's ontstaat. Een overzichtelijke invaarroute is dus belangrijk.

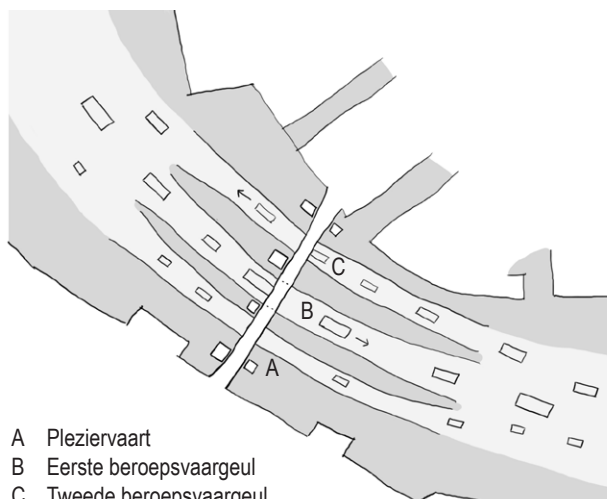
Wanneer bovendien slechts een vaargeul ingericht wordt met een maximale vrije hoogte (50 meter) zal deze vaargeul afwisselend een verschillende vaarrichting hebben. Dat betekent dat schepen niet vanzelfsprekend dezelfde vaargeul kunnen kiezen. Een systeem van verkeerslichten en richtingaanduiding moet het dan duidelijk maken welke geul gekozen moet worden.

Bij een goed systeem van verkeersregeling kunnen de risicocontouren van de vaarweg onveranderd blijven, of wellicht verbeteren. Een aanname kan zijn dat naast de vaarweg dezelfde 10^{-6} contour van 25 meter aangehouden wordt. Dat betekent dat tot 25 meter buiten de vaarweg geen permanente verblijfsfuncties gesitueerd mogen worden.

In de berekeningen voor de huidige situatie werd uitgegaan van continu verkeer, waarbij 's nachts evenveel verkeer plaatsvond als overdag. Dit is echter vrij onwaarschijnlijk. Niet alleen zal overdag meer beroepsvaart plaatsvinden dan 's nachts. Het beroepsverkeer dat 's nachts vaart zal echter ook minder last hebben van overige vaart, aangezien de plezier- en toeristenvaart vrijwel alleen overdag plaatsvindt. Het risico zal daarom 's nachts kleiner zijn dan overdag. Dit kan meegenomen worden in de bepaling van de functies op de brug. De functies die direct aan de hoofdvaarweg grenzen zouden zodanig gekozen kunnen worden dat ze slechts 's avonds of 's nachts grote aantallen bezoekers trekken. Gedacht kan worden aan bijvoorbeeld een theater, bioscoop, restaurant of hotel.

Een andere oplossing om toch functies vlak naast de vaarweg te kunnen situeren is het beperken van het vervoer van gevaarlijke stoffen tot bepaalde dagdelen. De over het IJ vervoerde gevaarlijke stoffen vallen in de categorieën brandbare gassen en brandbare vloeistoffen. Giftige stoffen worden niet over het IJ vervoerd. Het grootste risico van de gevaarlijke stoffen is daarom brand en explosies. Het meest explosiegevoelig is daarbij het vervoer van brandbare gassen. Hiervan vindt echter minder dan één transport per dag plaats. Wanneer dit 's nachts plaatsvindt, blijft slechts het vervoer van benzine en diesel over. Uitvoeriger veiligheidsstudies zullen moeten uitwijzen of deze transporten een te groot risico voor verblijfsfuncties vlak langs de vaargeul opleveren.

Ten slotte wordt hier de mogelijkheid genoemd om de veiligheid van de functies op of langs de brug te vergroten door maatregelen aan de gebouwen zelf. Bescherming van de gevels langs de vaarroute zou het risico van brandoverslag op de functies kunnen beperken. Ook de veiligheid voor de vaargeulen tegen vallende objecten kan zo vergroot worden.



- A Pleziervaart
- B Eerste beroepsvaargeul
- C Tweede beroepsvaargeul

De opgedeelde vaarweg in meerdere vaargeulen bij het concept *verbinder*

Uitgewerkte variant

Gekozen wordt voor een systeem met drie hoofdvaargeulen. De twee noordelijkste worden ingericht voor beroepsverkeer, de zuidelijke vaargeul is bestemd voor pleziervaart. De brug heeft ter plaatse van de middelste geul een hefbaar deel. Wanneer de brug opengaat, is de middengeul exclusief bestemd voor de schepen met hoge doorvaart, cruiseschepen of zeilschepen. Op dat moment vaart er dus geen overig verkeer door deze geul. Dit verhoogt de veiligheid.

Het vervoer van gevaarlijke stoffen kan in twee configuraties voorkomen, in een of twee vaargeulen. Door de brug voor beide situaties geschikt te maken is het ontwerp flexibeler voor latere aanpassingen. De hier voorgestelde configuratie betreft beroepsverkeer in twee gescheiden vaargeulen. Hierdoor vindt in beide geulen eenrichtingsverkeer plaats, en wordt de kans op frontale botsingen verkleind. De norm schrijft voor dat binnen de 10^{-6} -contour geen vaste verblijfsfuncties mogen voorkomen. Wel kan een kantoorfunctie geplaatst worden, wanneer het aantal werknemers per m^2 onder een op te stellen aantal blijft. Volgens Jongejan (2005) zal bij een systeem met gescheiden

vaargeulen de 10^{-6} -contour eerder op 0 meter van de rand van de vaargeul zal liggen dan de hiervoor aangenomen 25 meter. Hierdoor kunnen de twee heftorens ingericht worden als kantoortoren.

Er wordt hierbij wel een aanbeveling gedaan om de schepen voor gastransport alleen 's nachts te laten passeren. Dit zijn er circa 150 per jaar. Hoewel met het systeem van gescheiden vaargeulen theoretisch de 10^{-6} -contour op de rand van de vaargeul ligt, wordt de schade bij een explosie van een gasschip dusdanig hoog geacht dat verblijfsfuncties direct naast de vaargeul tot maatschappelijke bezwaren zouden leiden.



Twee gescheiden vaargeulen voor gevaarlijke stoffen.
De 10^{-6} -contour is hier op 0 meter van de vaargeul weergegeven.

Een alternatieve configuratie is die met één vaargeul voor gevaarlijke stoffen. In dat geval zou al het vervoer van gevaarlijke stoffen alleen 's nachts plaatsvinden, en kunnen de brug en de heftorens overdag normaal functioneren.

In deze configuratie kan een 10^{-6} -contour op 0 meter van de rand van de vaargeul niet gehaald worden doordat de vaargeul in twee richtingen bevaaren wordt. Wel ligt het meest noordelijke eiland nu ver buiten de risicozone, en kan dus voor verschillende functies, waaronder ook wonen, gebruikt worden.

Samengevat: Twee mogelijke configuraties:

1. Twee vaargeulen met gescheiden vaarrichtingen

- Gasschepen alleen 's nachts
- Overig vervoer gevaarlijke stoffen ook overdag
- 10^{-6} -contour op 0 meter van rand vaargeul
- Op alle eilanden in principe dag en nacht
- Verblijfsfuncties mogelijk

2. Eén vaargeul voor gevaarlijke stoffen

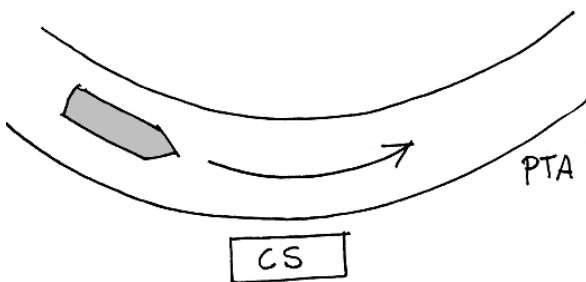
- Vervoer gevaarlijke stoffen alleen 's nachts
- 10^{-6} -contour op 25 meter van rand vaargeul
- Middelste eilanden verblijfsfuncties overdag



Configuratie met één vaargeul voor gevaarlijke stoffen.
 10^{-6} -contour op 25 meter buiten de rand van de vaargeul.

8. Aanvaarbeveiliging

De locatie van de living bridge achter het Centraal Station te Amsterdam brengt het risico met zich mee van aanvaring door schepen. Het IJ is een zeer druk bevaren water, en wordt onder andere door cruiseschepen gebruikt. Deze schepen maken ter plaatse van het station een bocht in de vaarroute. Deze bocht vormt er samen met het enorme gewicht van de cruiseschepen voor dat het risico van aanvaring een serieus ontwerpprobleem is. Na het algemene hoofdstuk over veiligheid (hoofdstuk 8) wordt hier specifiek ingegaan op aanvaarbeveiliging.



8.1 Strategie

Bij het ontwerp van de brug kunnen verschillende veiligheidsstrategieën gekozen worden. De combinatie van de brug met bebouwing langs of op het water leidt tot andere strategieën dan een brug alleen.

Geen maatregelen

In dit geval wordt in het ontwerp geen rekening gehouden met aanvaring. Deze strategie is voor de living bridge vrijwel ondenkbaar, maar zal ter vergelijking van de andere strategieën dienen.

Preventief

Hier wordt ervoor gezorgd dat de kans op een ongeluk minder groot wordt. Maatregelen kunnen bestaan uit verlaging van de maximum snelheid, maar ook uit plaatsing van geleidewerken om de schepen in de goede koers te houden.

Beschermend

Als een schip uit koers is, kan door middel van hulpconstructies de hoofdconstructie beschermd worden. Er wordt hierbij ervan uitgegaan dat de hulpconstructie het schip afremt of afbuigt voordat de hoofdconstructie beschadigt. Verschil met preventieve maatregelen is dat hier schade niet uitgesloten wordt. Gedacht kan worden aan kademuuren of ondieptes zodat het schip strandt.

Op aanvaring berekende hoofdconstructie

In dit geval wordt de hoofdconstructie en al haar onderdelen berekend op aanvaring. Dit betekent dat de constructie zelf een aanvaring van een schip moet kunnen overleven zonder vitale schade. Hiermee wordt bedoeld dat aanvaring niet mag leiden tot bezwijken van onderdelen van de hoofdconstructie, en dat de veiligheid van gebruikers niet in gevaar komt.

Combinatie van bovengenoemde strategieën is mogelijk. Zo kan bijvoorbeeld een geleidewerk berekend worden op koersafwijkingen tot een bepaalde waarde. Hierdoor worden de meeste fouten gecorrigeerd. Is een schip ernstiger uit koers en bezwijkt het geleidewerk, dan zorgt een ondiepte voor afremming van het schip.

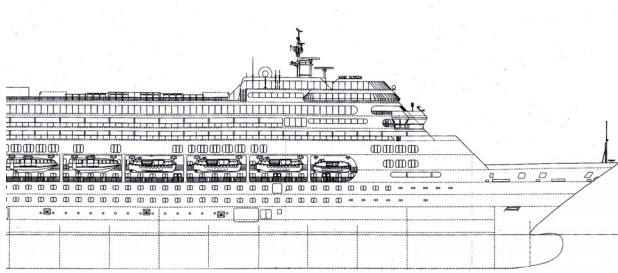
8.2 Waarden schip

In berekeningen voor aanvaring wordt hieronder uitgegaan van het grootste type schip dat het Centraal Station passeert, een cruiseschip. Onderstaande rekenwaarden zijn afgeleid van de lijst van cruises die in 2005 de cruise terminal aandoen. (Havenbedrijf 2005, Cruiseweb 2005) De gebruikte waarden zijn vergelijkbaar met die van het schip Ms Amsterdam, het grootste schip dat dit seizoen Amsterdam aandeed.

Rekenwaarden schip

massa	m	70.000 ton (= 70.10 ⁶ kg)
snelheid	v	3,33 m/s (= 12 km/u)
lengte	l	295 m
breedte	b	32 m
diepgang	d	10 m
blokcoëfficiënt	C_b	0,74

De bovengenoemde snelheid van 6 knopen is de maximum snelheid op het IJ voor schepen met een diepgang van meer dan 8 m. (Havenbedrijf 2005)



Ms Amsterdam, zijaanzicht (deels)

Blokcoëfficiënt

De blokcoëfficiënt geeft aan hoe slank een schip onder water is. De blokcoëfficiënt kan variëren tussen 0 en 1, maar ligt meestal tussen de 0,6 (slanke schepen zoals zeilschepen) en 0,95 (containerschip).

$$C_b = \frac{V}{lbd} \quad [-]$$

waarin:	l	lengte van het schip	[m]
	b	breedte van het schip	[m]
	d	diepgang van het schip	[m]
	V	(volumieke) waterverplaatsing van het Schip	[m ³]

Voor het hierboven gedefinieerde schip is de blokcoëfficiënt op 0,74 gesteld. Gebruikelijke waarden voor cruiseschepen liggen tussen 0,65 en 0,80. (Cruiseweb 2005)

Snelheidsenergie

Aanvaarbelastingen worden meestal berekend aan de hand van de op te nemen energie. Het schip bevat een kinetische of snelheidsenergie:

$$E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2$$

waarin:	E_{kin}	kinetische energie	[kJm]
	m	massa van het schip	[ton]
	v	snelheid van het schip	[m/s]

Meebewegend water

Deze algemene term dient echter op een aantal punten aangepast te worden. Ten eerste wordt aan de massa van het schip een extra massa van het meebewegende water toegevoegd. Als een schip vaart, beweegt door wrijving en 'slip stream' een hoeveelheid water mee. Dit heeft tot gevolg dat de aanvaringsbelasting groter is dan uit de massa van het schip alleen.

Voor de totale massa geldt dan:

$$m = m_s + m_w$$

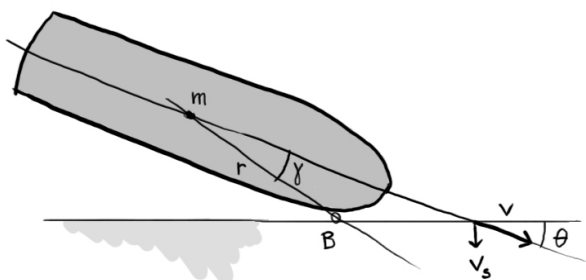
Meestal wordt deze extra massa verrekend in de hydronamische coëfficiënt C_H .

$$C_H = \frac{m_s + m_w}{m_s}$$

De massa van het meebewegende water kan uitgerekend worden met:

$$m_w = \rho l \frac{1}{4} \pi d^2$$

waarin:	ρ	dichtheid van het water	[ton/m ³]
	l	lengte schip	[m]
	d	diepgang schip	[m]



Aanvaarsnelheid

Vervolgens moet de snelheid van het schip (en water) loodrecht op het aangevaren object bepaald worden. Bij frontale botsing is deze aanvaarsnelheid v_s gelijk aan de vaarsnelheid v . Bij aanvaring onder een variabele hoek θ wordt de aanvaarsnelheid:

$$v_s = v \sin \theta$$

Excentriciteitscoëfficiënt

Bij een niet-frontale aanvaring is meestal sprake van excentrische botsing. Het schip botst niet precies op zijn lengte-as tegen een constructie. Daardoor draait het schip bij tijdens de botsing. Door deze draaiing wordt energie opgenomen. Dit wordt verdisconteerd door middel van de excentriciteitscoëfficiënt:

$$C_E = \frac{k^2 + r^2 \cos^2 \gamma}{k^2 + r^2}$$

waarin:	k	traagheidsstraal van het schip	[m]
	r	de straal tussen het zwaartepunt van het schip en het punt waar het schip op de constructie botst	[m]
	γ	de hoek van de straal r met de snelheid van het schip	[°]

De traagheidsstraal van het schip kan worden benaderd met:

$$k = (0,19 C_b + 0,11) l$$

waarin:	C_b	blokcoëfficiënt	[-]
	l	lengte van het schip	[m]

Zachtheidscoëfficiënt

Met de zachtheidscoëfficiënt wordt de elasticiteit van de scheepswand in rekening gebracht. Deze coëfficiënt is afhankelijk van de stijfheid van de scheepshuid en die van de aangevaren constructie. Bij slappe constructies kan de scheepshuid oneindig stijf worden gesteld, want de vervorming van de scheepshuid is verwaarloosbaar. In dat geval is $C_s = 1$.

Bij relatief stijve constructies, zoals een kade met houten gordingen, zal de vervorming van de scheepshuid niet geheel verwaarloosbaar zijn ten opzichte van de constructie. In dat geval kan $C_i = 0,9$ worden aangehouden.

Bij frontale aanvaringen met schade aan het schip wordt een relatief groot deel van de botsingsenergie opgenomen door vervorming van het schip. In dat geval wordt meestal niet meer gerekend met een zachtheidscoëfficiënt, maar wordt een waarde voor de gemiddelde botskracht geschat. Vervolgens wordt de botsenergie uitgedrukt in kracht maal verplaatsing.

$$E = F \Delta x$$

Configuratiecoëfficiënt

Met de configuratiecoëfficiënt wordt de wrijving in de watermassa tussen schip en aangevaren constructie in rekening gebracht. Bij een dichte constructie ontstaat een waterkussen tussen het schip en de constructie dat het schip afremt. Bij een dichte constructie en parallel aanvaren van het schip ($\theta = 0^\circ$) kan dit een reductie van de op te nemen energie van tot 20% geven. Bij kleine aanvaarhoeken neemt de reductie snel af doordat het water tussen wal en schip weg kan stromen. Bij een open constructie treedt geen demping op.

De uiterste grenzen voor de configuratiecoëfficiënt zijn dus $0,8 \leq C_i \leq 1,0$. Deze coëfficiënt is vooral van belang bij aanmeren, en wordt in het geval van een aanvaring veiligheidshalve gesteld op:

$$C_i = 1,0.$$

Gecorrigeerde kinetische energie

Wanneer bovenstaande aanpassingen in acht genomen worden, verschijnt de formule voor de kinetische energie in de volgende vorm:

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m_s v_s^2 C_H C_E C_S C_C$$

waarin: C_H hydronamische coëfficiënt
 C_E excentriciteitscoëfficiënt
 C_S zachtheidscoëfficiënt
 C_C configuratiecoëfficiënt

8.3 Energieopname

De snelheidsenergie van het schip kan op verschillende manieren worden opgenomen. Het schip kan afgeremd of bijgestuurd worden. Hiervoor moet de kinetische energie worden omgezet in een ander soort energie, zoals vervormingsenergie (botsing), wrijvingsenergie of potentiële energie (hoogte).

Vervormingsenergie

Bij een botsing vervormt materiaal. Deze vervorming kost energie. De vervormingsenergie wordt als volgt uitgedrukt:

$$E_{\text{arbeid}} = Fx$$

De termen F en x in deze vergelijking zijn niet onafhankelijk. De energie (of arbeid) die het kost om een materiaal te vervormen hangt af van de stijfheid van het materiaal. Wanneer deze stijfheid lineair wordt gesteld, is de vervorming evenredig met de uitgeoefende kracht, dus $F = kx$. De totale verrichte arbeid volgt dan uit:

$$E_{\text{arbeid}} = \int_0^x F dx = \int_0^x kx dx = \frac{1}{2} kx^2$$

Wrijvingsenergie

De wrijvingsenergie kan net zoals de vervormingsenergie worden beschreven als een kracht maal een afstand.

$$E_{\text{wr}} = Fx$$

De kracht F is de wrijvingskracht, uitgeoefend over een afstand x . De grootte van de kracht hangt af van de schuifspanningen op het contactvlak tussen schip en constructie (of tussen schip en bodem) en van de grootte van dit contactoppervlak.

$$F_{\text{wr}} = \sigma_{\text{wr}} A$$

waarin:	F_{wr}	wrijvingskracht	[kN]
	σ_{wr}	schuifspanning evenwijdig met het contactvlak	[kPa]
	A	contactoppervlak	[m ²]

De grootte van de schuifspanning is gekoppeld aan de spanning loodrecht op het contactvlak. Oftewel, hoe harder twee materialen tegen elkaar gedrukt worden, des te groter is de wrijving tussen de twee materialen. De ruwheid van het oppervlak wordt uitgedrukt door de maximale wrijvingshoek.

$$\sigma_{\text{wr}} = \sigma_v \tan \phi = \sigma_v \mu$$

waarin:	σ_v	spanning \perp contactvlak	[kPa]
	ϕ	wrijvingshoek	[°]
	μ	wrijvingscoëfficiënt = $\tan \phi$	[-]

De volgende waarden voor μ kunnen gevonden worden:

materiaal	μ
staal op staal	0,15
staal op beton	0,35
staal op hout	0,65

Voor grond is de wrijvingshoek niet eenduidig te bepalen. Wel kan een aanname gedaan worden voor een globale waarde. Hiervoor wordt de wrijvingshoek gelijk gesteld aan de inwendige wrijvingshoek van de grond.

Hiervoor geldt:

materiaal	Φ'	$\mu = \tan \Phi$
Zand	30 - 40	0,58 - 0,84
Leem	27,5 - 35	0,52 - 0,70
Klei	17,5 - 25	0,32 - 0,47
Veen	15	0,27

De waarde voor Φ' geeft de representatieve inwendige wrijvingshoek aan van het type grond, volgens NEN 6740. Hierbij moet echter worden opgemerkt dat aanzienlijke afwijkingen kunnen optreden door de voorgeschiedenis van de grond of plaatselijke verstoringen.

Bovenstaande in acht nemende kan gesteld worden:

$$E_{wr} = \sigma_v \mu A x.$$

Potentiële energie

Potentiële energie of hoogte-energie is afhankelijk van de zwaartekracht. Het kost energie om een object met een bepaalde massa omhoog te tillen. Deze energie wordt als het ware opgeslagen in de hoogte. Wanneer het object wordt losgelaten komt de potentiële energie weer vrij, en wordt omgezet in snelheidsenergie.

$$E_{pot} = mgh$$

waarin:	E_{pot}	potentiële energie	[kNm]
	m	verplaatste massa	[ton]
	g	zwaartekrachtversnelling	[m/s ²]
	h	overbrugde hoogte	[m]

De verplaatste massa is niet gelijk aan de droge massa van het schip. Doordat het schip in het water ligt, kost het minder energie om het verticaal te verplaatsen. De rekenwaarde voor de massa bedraagt het verschil in massa verplaatst water tussen de beginsituatie en de opgestuwde situatie:

$$m = \Delta m_{\text{verplaatst water}}$$

met:

$$m_{\text{verplaatst water}} = V_{\text{verplaatst water}} \rho_{\text{water}}, \text{ en}$$

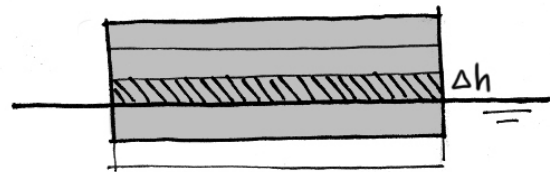
$$V_{\text{verplaatst water}} = lbC_b \Delta h;$$

hierin is:

$m_{\text{verplaatst water}}$	massa verplaatst water	[ton]
$V_{\text{verplaatst water}}$	(volumieke) waterverplaatsing	[m ³]
ρ_{water}	dichtheid (zoet) water	[ton/m ³]

Hieruit volgt voor de term voor de potentiële energie:

$$E_{pot} = lbC_b \rho_{\text{water}} gh^2$$



8.4 Maatregelen - Bodem

De oplossingsmogelijkheden worden hieronder in twee groepen ingedeeld. In de eerste groep maatregelen zorgt de – al dan niet versterkte – ondergrond voor afremming. De tweede groep bestaat uit constructies die het schip afremmen of bijsturen.

Bodem

Wanneer een schip de bodem raakt, wordt het afgeremd. Er zijn verschillende mechanismen die voor afremming kunnen zorgen. Hier wordt ingegaan op drie mechanismen: zwaartekracht, wrijving en grondverplaatsing. In een werkelijke situatie zal meestal een combinatie van deze mechanismen optreden.

Zwaartekracht

Zoals hierboven uiteengezet verliest een schip snelheid wanneer het, door bijvoorbeeld aan de bodem lopen, omhoog wordt geduwd. In onderstaande berekening wordt aanvankelijk een wrijvingsloze situatie beschreven.

Gesteld wordt dat het schip al haar snelheid verliest door hoogtewinning.

$$E_{kin} = E_{pot}$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh$$

Hierin is in de linkerhelft van de vergelijking m de massa van het schip, oftewel de massa verplaatst water:

$$m = lb d C_b \rho_{water}$$

In de rechterhelft van dezelfde vergelijking is m het verschil in massa verplaatst water:

$$m = lb C_b \rho_{water} h$$

$$\frac{1}{2} lb d C_b \rho_{water} v^2 = lb C_b \rho_{water} gh^2$$

$$\frac{1}{2} v^2 d = gh^2$$

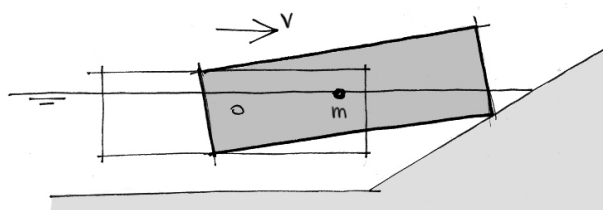
$$h = \sqrt{\frac{v^2 d}{2g}}$$

Met de waarden voor het representatieve schip volgt bij de maximum snelheid van 12 km/u een hoogte van:

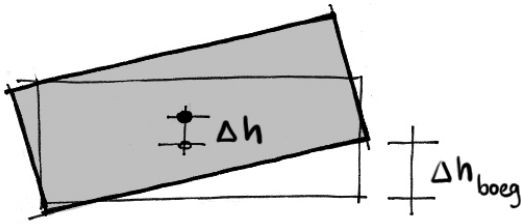
$$h = 2,36 \text{ m.}$$

Er wordt hier echter ervan uitgegaan dat het gehele schip omhoogkomt bij stranding. In de Amsterdamse situatie is het echter aannemelijker dat alleen de voorkant van het schip de bodem raakt en hierdoor omhoog komt. Hiervoor moeten een aantal aannamen gedaan worden.

Ten eerste wordt gesteld dat het zwaartepunt van het schip op de helft van de lengte ligt. Daarnaast wordt gesteld dat de blokcoëfficiënt voor de voorste helft van het schip gelijk is als voor de achterhelft.



Om vervolgens dezelfde hoogte-energie te bereiken zal de boeg twee keer zoveel omhoog moeten komen als het zwaartepunt van het schip.



$$h_{\text{boeg}} = 2h_{\text{schip}} = 2\sqrt{\frac{v^2 d}{2g}}$$

Nu geldt: $h_{\text{boeg}} = 4,71$ m.

Wanneer gesteld wordt dat het met het schip meebewegende water het schip verder omhoogduwt, maar niet mee omhoog komt, verandert de energievergelijking in:

$$\frac{1}{2}(m_s + m_w)v^2 = \Delta m_s gh, \text{ of:}$$

$$\frac{1}{2}m_s v^2 C_H = \Delta m_s gh$$

De hoogte volgt hieruit:

$$h = \sqrt{\frac{v^2 d C_H}{2g}}, \text{ en } h_{\text{boeg}} = 2\sqrt{\frac{v^2 d C_H}{2g}}$$

en in het geval van het representatieve schip wordt de hoogte bij een snelheid van 12 km/u nu:

$$h_{\text{boeg}} = 5,73 \text{ m.}$$

Wrijving

Bij aan de bodem lopen schuift het schip over de ondergrond. Hierbij wordt het schip afgeremd door wrijving tussen scheepsbod en grond. De boeg van het schip komt bovendien omhoog. De grootte van de wrijvingskracht hangt af van de verticale kracht op het contactvlak. Deze verticale kracht hangt weer af van de opgetilde massa en dus van de hoogte h_{boeg} die de boeg van het schip omhoog komt.

$$F_{wr} = \mu F_v$$

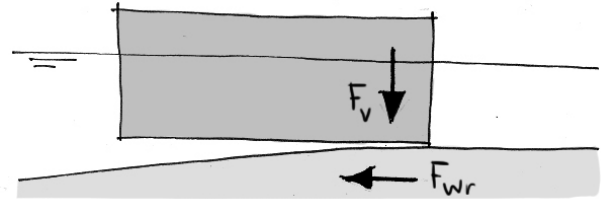
$$F_v = m_{\text{opgetild}} g$$

$$= lb_{\text{zwaartepunt}} C_b \rho_{\text{water}} g = \frac{1}{2} lb_{\text{boeg}} C_b \rho_{\text{water}} g$$

Om hiermee te kunnen rekenen wordt een helling van de bodem aangenomen. Dan volgt:

$$F_v = \frac{1}{2} lb(\alpha x) C_b \rho_{\text{water}} g$$

waarin: a helling bodem, als $\alpha = \frac{dh}{dx}$
 x wrijvingslengte



Voor de totale wrijvingsenergie geldt:

$$E_{wr} = \int_0^x F_{wr} dx,$$

met $F_{wr} = \mu F_v = \frac{1}{2} \mu l b \alpha x C_b \rho_{water} g$

$$\begin{aligned} E_{wr} &= \int_0^x \frac{1}{2} \mu l b \alpha x C_b \rho_{water} g dx \\ &= \frac{1}{2} \mu l b \alpha C_b \rho_{water} g \int_0^x x dx \\ &= \frac{1}{4} \mu l b \alpha C_b \rho_{water} g x^2 \end{aligned}$$

Wanneer de kinetische energie gelijk gesteld wordt aan de wrijvingsenergie, kan de wrijvingslengte gevonden worden om het schip volledig te stoppen.

$$E_{kin} = E_{wr}$$

$$\frac{1}{2} l b d C_b \rho_{water} v^2 = \frac{1}{4} \mu l b \alpha C_b \rho_{water} g x^2$$

$$v^2 d = \frac{1}{2} \mu \alpha g x^2$$

$$x = \sqrt{\frac{2v^2 d}{\mu \alpha g}}$$

Met een helling van 1:100 bedraagt de wrijvingslengte:

$x = 78,1$ m, en komt de boeg van het schip 0,78 m omhoog.

Wanneer ervan uit wordt gegaan dat met het schip meebewegend water het schip verder duwt, wordt de af te remmen massa groter, en volgt:

$$x = 90,2 \text{ m, en } b_{boeg} = 0,90 \text{ m.}$$

Opvallend is hier dat de breedte van het contactvlak niet uitmaakt voor de wrijvingslengte. Oftewel, een smal schip remt even snel af als een breed schip, wanneer de overige parameters gelijk blijven. Dit komt doordat de wrijvingskracht F_{wr} direct afhankelijk is van de opgetilde massa.

De wrijvingskracht is weliswaar afhankelijk van het contactoppervlak, maar wanneer het contactoppervlak A groter wordt, wordt ook de schuifspanning σ_{wr} op het oppervlak kleiner. De schuifspanning σ_{wr} hangt namelijk af van de verticale spanning σ_v , die weer gevonden wordt door de verticale kracht F_v te delen door het contactoppervlak.

$$F_v = mg$$

$$\sigma_v = \frac{F_v}{A}, \text{ met } A = b_{boeg} x$$

$$\sigma_{wr} = \mu \sigma_v = \mu \frac{F_v}{A}$$

$$F_{wr} = \sigma_{wr} A = \mu \frac{F_v}{A} A = \mu F_v$$

Zwaartekracht en wrijving

In het bovenstaande zijn zwaartekracht en wrijving beide afzonderlijk uitgewerkt. Bij het aan de bodem lopen van een schip zullen echter zowel zwaartekracht als wrijving werken. Dan wordt de kinetische energie omgezet in potentiële energie en wrijvingsenergie:

$$E_{kin} = E_{pot} + E_{wr}$$

Aangezien de potentiële energie en de wrijvingsenergie beide afhangen van de opstuwhoogte h_{boeg} , kan deze vergelijking opgelost worden. Hieruit volgt:

$$x = 87,7 \text{ m}, h_{\text{boeg}} = 0,88 \text{ m.}$$

De potentiële energie heeft hier nauwelijks invloed. Als de helling echter steiler wordt, neemt het aandeel van de potentiële energie toe. Met een helling van 1:10 volgt:

Zonder invloed potentiële energie:

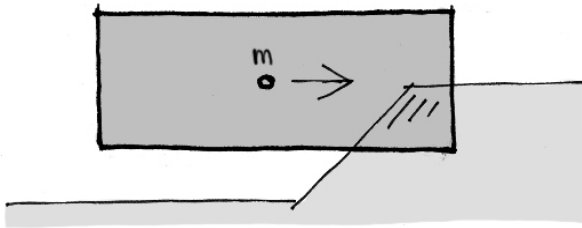
$$x = 28,5 \text{ m}, h_{\text{boeg}} = 2,85 \text{ m}$$

Met invloed potentiële energie:

$$x = 25,3 \text{ m}, h_{\text{boeg}} = 2,53 \text{ m}$$

Grondverplaatsing

Grond gedraagt zich bij grotere belastingen niet meer als een lineair elastisch materiaal. Wanneer de grondspanningen een bepaald niveau overschrijden, schuiven de korrels langs elkaar. Een aan de grond lopend schip ploegt dan als het ware door de grond heen. Deze grondverplaatsing kost energie, waardoor het schip afgeremd wordt.



De verhouding tussen kracht en verplaatsing is hier echter vrij onduidelijk. Hoewel er geen standaard vergelijkingen zijn, is enig onderzoek naar aanvaring van schepen op grondlichamen uitgevoerd door de TU Delft.



Centrifugeproef van een aanvaring tussen een schip en een zandlichaam, uitgevoerd door de TU Delft

In een centrifugeproef is een model van een scheepsboeg met een bepaalde massa en snelheid in een dijklichaam geduwd. De botsing vond loodrecht op het dijklichaam plaats. De proeven werden uitgevoerd in het kader van een onderzoek naar aanvaarbescherming van een brug in Hong Kong. Het beoogde scheepstype was een schip met een massa van 10.000 ton, en een snelheid van 3,0 m/s. Aan de hand van het kracht-verplaatsingsdiagram van het centrifugemodel is een uitspraak gedaan over het beoogde één op één schip.

Het model had de volgende eigenschappen:

b_{boeg}	25 mm	breedte boeg
h_{boeg}	35 mm	hoogte boeg
F_{max}	1200 N	maximale horizontale belasting
n	100 g	versnelling centrifuge

Verder bestond de bodem uit zand met een gemiddelde dichtheid, met $\theta = 33^\circ$, $E = 15.000 \text{ kPa}$ en $\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$.

De tests resulteerden in een horizontale indringdiepte:

$$s_{\text{max}} = 80 \text{ mm, bij } F_{\text{max}} = 915 \text{ N}$$

Hierbij bleek dat de horizontale belasting onafhankelijk was van de indringdiepte, als ervan uit werd gegaan dat de indringdiepte ten minste de hoogte van de boeg bedroeg.

Het bij de proeven beoogde representatieve schip had onderstaande eigenschappen:

m_s	10.000 ton	massa schip
v_0	3,0 m/s	beginsnelheid schip
b_{boeg}	2,5 m	breedte boeg
h_{boeg}	3,5 m	hoogte boeg

Opschalen van het centrifugemodel leverde:

F_{max}	1200 kN	maximale horizontale belasting
s_{max}	10,4 m	maximale indringdiepte

In de Amsterdamse situatie is de massa van het schip 70.000 ton. De afmetingen van de boeg worden gelijk gesteld aan die van het bij het model beoogde schip. Bij de centrifugetests bleek dat de snelheid weinig invloed had op de weerstand van het grondlichaam. De verhouding tussen massa en horizontale belasting kan daarom voor een snelheid van 3,33 m/s gelijk gesteld worden aan de in de proeven gestelde verhouding.

Opschalen levert:

m_s	70.000 ton
F_{max}	$7 \cdot 1200 = 8400 \text{ kN}$
s_{max}	$7 \cdot 10,4 = 72,8 \text{ m}$

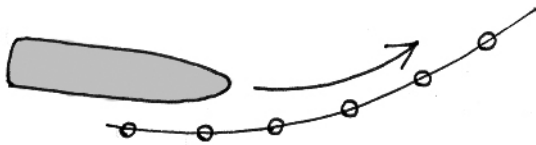
Het moge duidelijk zijn dat het bovenstaande slechts een grove indicatie geeft van de werkelijk optredende krachten en verplaatsingen. Opmerkelijk is echter wel dat de waarde voor de maximale indringdiepte groter is dan de hiervoor berekende afremlengte bij wrijving en opstuwing. Bij de centrifugetests is echter de verticale verplaatsing op nul gehouden. Er werden dan ook aanzienlijke verticale krachten gemeten (tot de helft van de waarde voor de horizontale krachten). Die zullen in werkelijkheid leiden tot een opstuwing, hetgeen extra energieopname betekent en dus een kortere remweg.

8.5 Maatregelen - Constructies

Naast maatregelen in de bodem, is het ook mogelijk schepen af te remmen of bij te sturen door middel van constructies. Hieronder wordt een drietal constructieve maatregelen behandeld: het remmingswerk, de afglijconstructie en de noodmuur.

Remmingswerk

Remmingswerken hebben als hoofddoel schepen bij te sturen zonder dat daarbij schade aan schip of constructie ontstaat. Wanneer een schip te ver uit koers is, en schade niet voorkomen kan worden, zorgt een remmingswerk toch voor enige afremming. Remmingswerken absorberen energie door vervorming. Grotere vervorming betekent een kleinere maximale contactkracht, en dus minder kans op schade.



Er zijn verschillende typen remmingswerken, van enkele meerpalen tot zware samenwerkende constructies. Hieronder komen achtereenvolgens een enkele paal, een paalgroep en een verbonden palenrij aan bod.

Enkele paal

De massa en snelheid van het schip worden weer gesteld op:

m_s	70.000 ton
v	3,33 m/s

Nu wordt echter gesteld dat het schip niet loodrecht op de paal aanvaart, maar onder een kleine hoek $\theta = 0,5^\circ$. Er wordt hier uitgegaan aan een rij palen, die samen het schip

in de goede richting sturen, en elk het schip $0,5^\circ$ moeten afbuigen. Daarnaast wordt ervan uitgegaan dat eventuele grotere beginafwijkingen worden opgevangen door een verstevigde constructie.

De vergelijking voor de kinetische energie is weer de onderstaande:

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m_s v_s^2 C_H C_E C_S C_C$$

Waarin: m_s	massa van het schip	[ton]
v_s	snelheid van het schip loodrecht op de constructie	[m/s]
C_H	hydronamische coëfficiënt	[-]
C_E	excentriciteitscoëfficiënt	[-]
C_S	zachtheidscoëfficiënt	[-]
C_C	configuratiecoëfficiënt	[-]

m_s	70.000 ton
v_s	0,029 m/s (= 3,33 sin $0,5^\circ$)
C_H	1,33
C_S	1,0
C_C	1,0

De traagheidsstraal van het schip kan worden benaderd met:

$$k = (0,19 C_b + 0,11) l = 73,9 \text{ m}$$

Met de straal tussen zwaartepunt en botspunt $r = 91,4 \text{ m}$ en $\gamma = 10,1^\circ$ volgt:

$$C_E = \frac{k^2 + r^2 \cos^2 \gamma}{k^2 + r^2} = 0,98.$$

Hieruit volgt:

$$E_{kin} = 38,4 \text{ kNm}$$

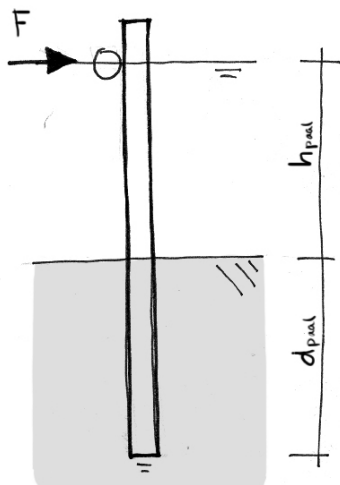
Voor de paal, een rond stalen kokerprofiel, worden de volgende eigenschappen gekozen:

D	0,50 m
t	40 mm
I_p	$15,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$
W	$6,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
A	$5,8 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$
E_{staal}	$2,1 \cdot 10^8 \text{ kN/m}^2$

Om de buigstijfheid van de paal te kunnen berekenen, moet de afstand van belasting tot inklemming bekend zijn. Aangezien funderen in grond geen volledige inklemming levert, wordt gerekend met een fictieve inklemmingslengte l_i , waarbij ervan uitgegaan wordt dat het schip de paal raakt op de waterlijn.

$$l_i = \text{fictieve inklemmingslengte} = h_{\text{paal}} + 0,65 d_{\text{paal}}$$

waarin: h_{paal} = lengte paal van bodem tot aangrijpingspunt belasting [m]
 d_{paal} = inheidiepte paal vanaf bodem [m]



Gesteld wordt:

h_{paal}	11,5 m
d_{paal}	11,5 m
l_i	19,0 m

Voor de buigstijfheid van de paal geldt nu:

$$k_{\text{paal}} = \frac{3EI_p}{l_i^3} = 141,5 \text{ kN/m}$$

Bij aanmeerconstructies is het gebruikelijk de constructie te voorzien van fenders. Dit zijn stootkussens of hulpconstructies die een deel van de botsenergie opnemen. Hier wordt voorlopig gerekend zonder de invloed van deze fenders.

De maximale stootkracht volgt uit:

$$F_{\text{st}} = F_{\text{paal}} = k\Delta x = \sqrt{2kE_{\text{kin,max}}}$$

$$= \sqrt{2 \times 141,5 \times 38,4} = 104,4 \text{ kN}$$

Hierbij is de maximale verplaatsing van de paal:

$$\Delta x = \frac{F_{\text{paal}}}{k} = \frac{104,4}{141,5} = 0,74 \text{ m}$$

Er moet hierbij worden nagegaan of de spanningen in de paal niet groter zijn dan de toelaatbare spanningen, en er moet worden gecontroleerd of de horizontale kracht op de paal niet te groot is voor de passieve weerstand van de grond rondom de paal.

Het moment $M = F l_i = 1,98 \cdot 10^3 \text{ kNm}$ levert een maximale spanning in de paal van:

$$\sigma = \frac{M}{W} = 322 \cdot 10^3 \text{ MPa}$$

Dit is groter dan de maximum toelaatbare spanning $\sigma_{max} = 235 \cdot 10^3 \text{ MPa}$. De paal voldoet dus niet.

Wanneer vervolgens een fender aan de paal geplaatst wordt met een vergelijkbare stijfheid als die van de paal: $k_f = 150 \text{ kN/m}$, dan volgt voor de totale stijfheid:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_{paal}} + \frac{1}{k_{fender}}$$

$$k = 72,8 \text{ kN/m}$$

Dan volgt:

$$F_{st} = 74,9 \text{ kN}$$

$$\Delta x = 1,03 \text{ m}$$

$$\sigma = 231 \cdot 10^3 \text{ MPa}$$

Grond

De maximaal door de grond opneembare kracht volgt uit:

$$P = \gamma' K_p \frac{t_0^3}{24} \cdot \frac{t_0 + 4b}{t_0 + h_{paal}} \quad \text{met} \quad t_0 = \frac{d_{paal}}{1,2}$$

waarin:	γ'	effectief volumegewicht (onder water)	[kN/m ³]
	K_p	passieve gronddrukcoëfficiënt [-]	
	t_0	diepteligging van het momentennulpunt	[m]
	b	breedte van de paal	[m]

Voor de hoofdzakelijk uit veen bestaande grond onder het IJ geldt:

Φ'_{veen}	15°
K_p	1,6984 \approx 1,7
γ'	2 kN/m ³
t_0	9,58 m

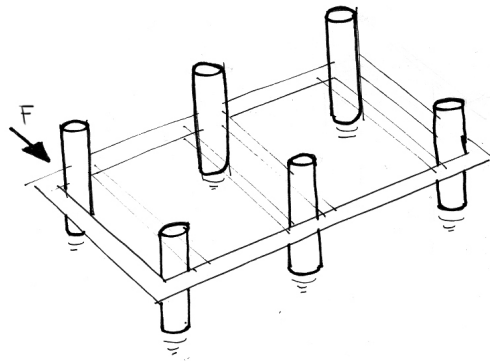
De maximaal opneembare kracht is:

$$P = 68,4 \text{ kN} < 74,9 \text{ kN}$$

De grond voldoet dus niet. Met deze maat paal en aanvaarhoek zal grondverbetering toegepast moeten worden. Er is hier echter uitgegaan van een volledig veenpakket. Wanneer naar de sonderingen gekeken wordt, is te zien dat de grond onregelmatiger is opgebouwd, met variërende mengingen. Hierdoor zal de werkelijke weerstand van de grond hoger uitvallen.

Paalgroep

Wanneer een aantal palen met elkaar verbonden wordt, werken de palen samen als groep. Bij aanvaring nemen alle palen energie op. Daarnaast kan in sommige gevallen extra energie worden opgenomen door verdraaiing van de paalgroep.



Hieronder wordt een berekening gedaan met een groep van zes palen. De aanvaarhoek wordt op 1° gesteld. Het deel van de kinetische energie van het schip loodrecht op de constructie bedraagt dan:

$$E_{kin} = 153,5 \text{ kNm}$$

De palen hebben een diameter $D = 0,50 \text{ m}$, en een wanddikte $t = 0,03 \text{ m}$. De afstand tussen twee palen bedraagt in beide richtingen 4 m . Hieruit volgt:

$$\begin{aligned} I_p &= 12,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4 \\ W_p &= 4,9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \\ A_p &= 4,4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 \\ k_p &= 112,8 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$k_{6p} = 6 \times k_p = 677 \text{ kN/m}$$

$$I_{6p} = \sum k_p \cdot (x_i^2 + y_i^2)$$

$$= 112,8 \times (4 \times 4^2 + 6 \times 2^2) = 9926 \text{ kNm}$$

$$\frac{1}{k_{st}} = \frac{1}{k_{6p}} + \frac{e^2}{I_{6p}}$$

waarin: e excentriciteit aanknopingspunt

$$k_{st} = 324 \text{ kN/m}$$

Met een fender met $k_f = 200 \text{ kN/m}$ volgt:

$$\frac{1}{k_{tot}} = \frac{1}{k_{st}} + \frac{1}{k_f}$$

$$k_{tot} = 124 \text{ kN/m}$$

$$F_{st} = \sqrt{2kE_{kin,max}} = \sqrt{2 \times 124 \times 153,5} = 195 \text{ kN}$$

De totale verplaatsing van steiger en fender samen bedraagt:

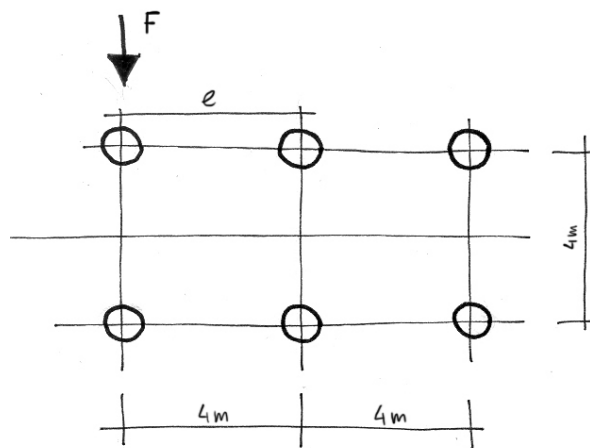
$$\Delta x = \frac{F_{st}}{k_{tot}} = 1,57 \text{ m}$$

met:

$$\Delta x_{st} = \frac{F_{st}}{k_{st}} = 0,60 \text{ m} \quad \text{vervorming paalgroep}$$

$$\Delta x_f = \frac{F_{st}}{k_f} = 0,97 \text{ m} \quad \text{vervorming fender}$$

Om de kracht op de buitenste paal te berekenen moet de invloed van de verdraaiing van de steiger meegenomen worden. Hiervoor moet de excentriciteit van het aangrijpingspunt van de belasting (e) bekend zijn.



De kracht op de buitenste paal wordt gesplitst in twee richtingen:

$$F_y = \frac{F_{st}}{n} + \frac{F_{st} e a_y}{I_{6p}} = \frac{195}{6} + \frac{195 \times 4 \times 4}{9926} = 32,8 \text{ kN}$$

$$F_x = \frac{F_{st} e a_x}{I_p} = \frac{195 \times 4 \times 2}{9926} = 0,16 \text{ kN}$$

$$F_p = \sqrt{F_y^2 + F_x^2} = 32,8 \text{ kN}$$

$$M = F l_i = 32,8 \times 19 = 623 \text{ kNm}$$

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{623}{4,9 \times 10^{-3}} = 127143 \text{ kPa}$$

De paal voldoet ruim aan de buigbelasting.

Ook de grond voldoet hier ruim met de maximaal opneembare kracht $P = 68,4 \text{ kN} > 32,8 \text{ kN}$. Hierbij is echter wel het effect van de paalgroep verwaarloosd. Doordat de palen relatief dicht bij elkaar staan, wordt de draagkracht van de grond per paal gereduceerd. Deze reductie kan in dit geval oplopen tot 30%.

Deze paalgroep kan het referentieschip met een snelheid van 3,33 m/s maximaal 1,8 graden afbuigen. Dan is $F_p = 59,1 \text{ kN}$ en $\sigma_{max} = 229 \times 10^3 \text{ kPa}$.

Gekoppelde palenrij

Een veel voorkomend type remmingswerk is de gekoppelde palenrij. Hierbij wordt een rij palen verbonden door een horizontale buis, die zelf een buigstijfheid bezit. De stijfheid van de buis en de afzonderlijke buigstijfheden van de palen leveren de totale stijfheid van de constructie.

De palen hebben een diameter $D = 0,50 \text{ m}$ en een wanddikte $t = 0,03 \text{ m}$. De verbindingsbuis heeft dezelfde maten, en is doorlopend verondersteld, en scharnierend

verbonden met de palen, die om de 5 meter in de grond staan.

De berekening voor een eindige ligger die elastisch ondersteund is, is vrij complex. Daarom wordt hier gesteld dat de ligger zo lang is dat de lengte geen rol speelt in de berekening. Bovendien wordt het punt van belasting op voldoende afstand van de rand gesteld, zodat de kracht naar beide zijden opgenomen kan worden.

Er is een lineair verband tussen de verplaatsing van de constructie en de maximaal optredende spanningen in buis en palen. Om de spanningen binnen de materiaalgrenzen te houden, is een kleine verplaatsing nodig. Dit betekent veel materiaal. Schepen zijn echter gebaat bij grotere verplaatsingen, omdat dan met een minder grote kracht dezelfde energie opgenomen kan worden. Minder grote kracht betekent minder schade aan het schip.

Uit berekeningen blijkt dat de diameter van de palen vrij veel invloed heeft in de totale verplaatsing van de constructie. De maximale spanning in de palen verandert daarbij echter weinig. Deze buigspanning in de palen is in de meeste gevallen wel maatgevend, en hangt veel sterker af van de wanddikte van de palen.

Zowel diameter als wanddikte van de buis hebben aanzienlijke invloed in de maximale spanningen in de palen. Er is echter een grote diameter en wanddikte nodig voor de buis, om de spanningen binnen de materiaalgrenzen te houden.

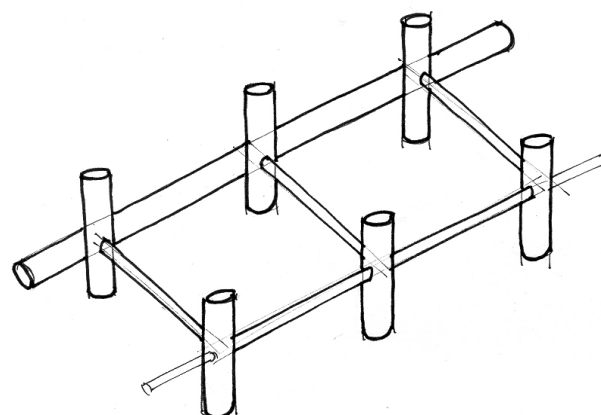
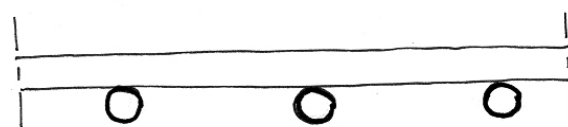
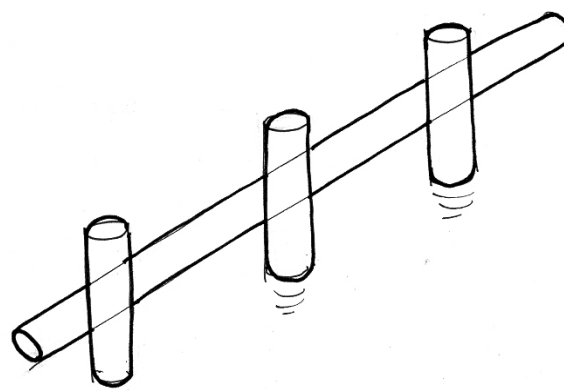
Veel materiaal in de buis is minder duur dan veel materiaal in de palen, omdat er slechts een buis nodig is, en veel palen. Er wordt ervan uitgegaan dat de lengte van de palen groter is dan de afstand tussen twee palen.

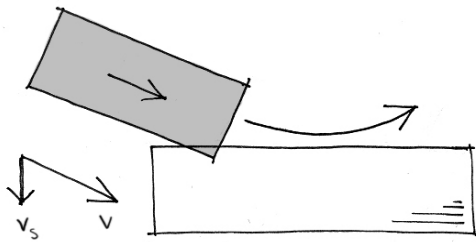
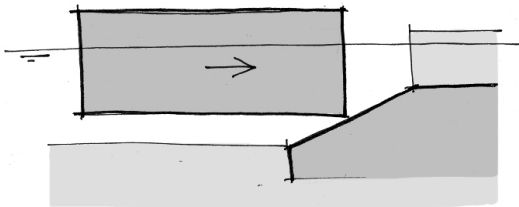
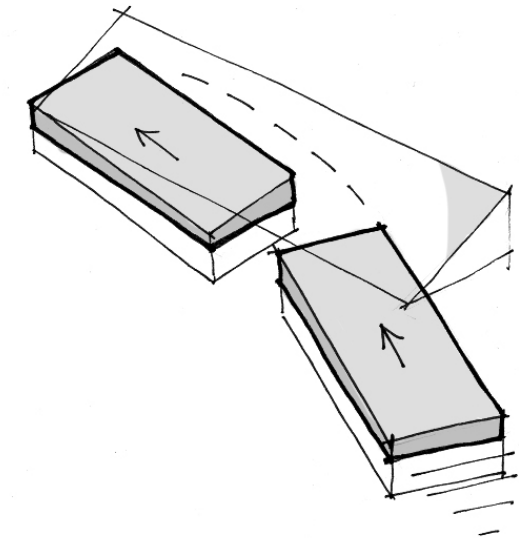
Hieronder is een voorbeeld gegeven voor een constructie die voldoet:

	<i>Palen</i>	<i>Buis</i>
Diameter:	0,50 m	1,60 m
Wanddikte:	0,03 m	0,10 m
Afstand palen:	5 m	

Dit zijn erg grote afmetingen. Meestal worden dan ook niet enkele palen gekoppeld, maar dubbele rijen palen. Berekeningen leveren dan bijvoorbeeld de volgende configuratie:

	<i>Palen</i>	<i>Buis</i>
Diameter:	0,50 m	0,70 m
Wanddikte:	0,03 m	0,03 m
Afstand palen:	5 m (in beide richtingen)	





Afglijconstructie

Remmingswerken dienen hoofdzakelijk om schepen bij te sturen, zonder dat daarbij schade aan schip of constructie ontstaat. In extreme gevallen kan het echter voorkomen dat het remmingswerk niet meer voldoet, en schade niet meer te voorkomen is. Vaak zal het schip dan over korte afstand tot stilstand gebracht moeten worden of van richting veranderd moeten worden, om schade aan de brug of op de kade te beperken.

Een van de mogelijke oplossingen is de afglijconstructie. Hierbij wordt het schip door een zware constructie met behulp van de zwaartekracht van richting veranderd. De bodem van het schip stuit op de constructie, en wordt daardoor opgetild. Door de vorm van de constructie glijdt het schip in een gewijzigde richting weer van de constructie af.

Hier wordt uitgegaan van een betonnen constructie met een helling van één op drie, waarbij het schip onder een hoek van tien graden op de constructie aanvaart.

Voor de kinetische energie wordt gevonden:

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m_s v_s^2 C_H C_E C_S C_C$$

Met:

m_s	70.000 ton
v_s	0,58 m/s (= 3,33 sin 10°)
C_H	1,33
C_S	1,0
C_C	1,0

$$E_{kin} = 15.346 \text{ kNm}$$

Vanaf het punt van botsing komt het schip omhoog. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat de betonnen constructie intact blijft. Kleine beschadigingen door overschrijding van de drukspanning zijn toegestaan, maar de constructie als geheel moet haar vorm behouden.

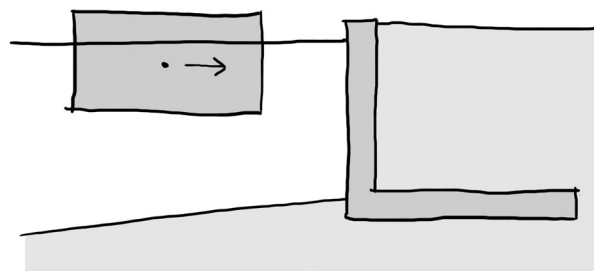
Naast hoogte-energie is hier ook sprake van contactwrijving tussen schip en constructie. Hierbij wordt een wrijvingscoëfficiënt μ voor contactwrijving tussen beton en staal aangehouden van 0,35.

Bij een helling van de constructie van 1:3 en een aanvaarhoek van 10° komt het schip 0,65 meter omhoog. De totale lengte waarover het schip over de constructie schuift is in dit geval 33 meter. De maximale 'indringdiepte' is hier 2 meter.

De maximale contactkracht bedraagt daarbij $24,2 \cdot 10^3$ kN. Dit moet opgenomen worden door de constructie. Deze constructie bestaat uit een massief betonnen element, dat op palen staat. Er worden hier geen constructieberekeningen uitgevoerd, maar een dergelijke kracht kan opgenomen worden door ruwweg één vierkante meter beton. Dit is aanzienlijk minder dan het aangenomen contactvlak van 25 m^2 . Afdracht naar de grond zal met afdoende afmetingen van de palen ook geen probleem zijn.

Noodmuur

Wanneer alle andere maatregelen niet meer voldoen, zal het schip op de constructie botsen. Een laatste veiligheidsmaatregel is dan een kademuur die als buffer optreedt. De kademuur vangt dan de klap op voordat de constructie geraakt wordt. Deze oplossing kan vaak eenvoudig in het ontwerp opgenomen worden, en is bruikbaar als openbare ruimte, of bijvoorbeeld als terras. Er wordt daarbij gesteld dat in het geval van een aanvaring de mensen op de kade het schip aan zien komen, en tijdig weg kunnen komen.



Hieronder wordt slechts een eenvoudig rekenvoorbeeld gegeven. Er wordt gesteld dat het schip door andere remmingswerken al enige snelheid heeft verloren. Er wordt gesteld:

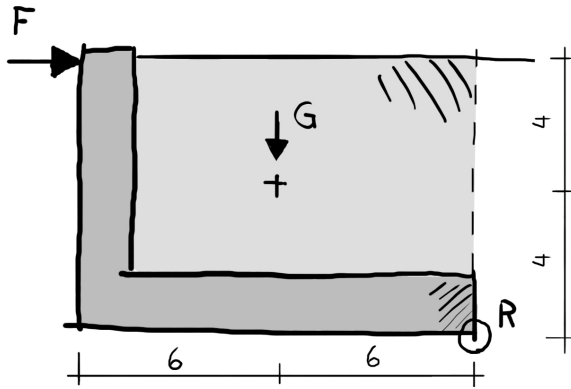
$$\begin{aligned} v_s &= 2 \text{ m/s} \\ E_{kin} &= 186.200 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Bovendien wordt gesteld dat het schip en de constructie bij aanvaring samen een schadelengte hebben van 5 meter, oftewel, schip en constructie worden samen vijf meter ingedeukt. Hieruit volgt de gemiddelde stootkracht:

$$E = F \Delta x$$

$$F = E / \Delta x = 37.240 \text{ kN}$$

De kadeconstructie bestaat uit een betonnen kademuur, afgevuld met zand als ballast. Om te zorgen dat de constructie niet kantelt, moet het gewicht van muur plus zand een groter moment om rotatiepunt R leveren dan dat van de stootkracht. Er wordt gesteld dat door aanwezigheid van fenders en houten stootbalken de maximale kracht op de kadeconstructie gelijk is aan de gemiddelde stootkracht.



$$G \cdot 6 > F \cdot 8$$

$$G > 50.000 \text{ kN}$$

$$m > 5.000 \text{ ton}$$

$$m = l \cdot b \cdot \rho$$

Hier wordt gemakshalve gesteld dat $\rho_{\text{grond}} = \rho_{\text{beton}}$ zodat het zwaartepunt in het midden van de constructie ligt. Dan volgt:

$$m = l \cdot 12 \cdot 8 \cdot 2,0 = 192 \cdot l \text{ ton}$$

$$l = 26 \text{ m}$$

De grond achter de muur moet vervolgens de constructie op haar plaats houden. De horizontale kracht op de grond om deze grond in beweging te brengen volgt uit de vergelijking voor passieve gronddruk:

$$F_{\text{grond}} = \frac{1}{2} \gamma h^2 K_p + 2ch\sqrt{K_p}$$

waarin: F_{grond} horizontale kracht op de grond waarbij deze bezwijkt, per meter [kN]
 γ volumegewicht droge grond [kN/m³]
 h hoogte belaste grondvlak [m]
 K_p coëfficiënt passieve gronddruk [-]

$$K_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}$$

Achter de constructie wordt zand gestort. In dit geval, met los zand, geldt:

γ 17 kN/m³
 h 8 m
 Φ 30°
 K_p 3
 c 0 (zand vertoont geen cohesie)

Dan volgt:

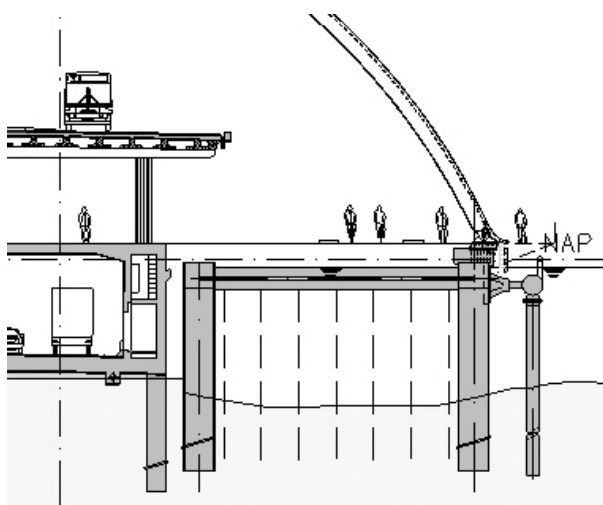
$F_{\text{grond}} = 1.632 \text{ kN/m}^1$ strekkende meter. Met de stootkracht $F = 37.240 \text{ kN}$ is een contactvlak tussen grond en constructie nodig van 22,8 meter lengte. Dit is minder dan de benodigde lengte tegen kantelen.

Ook hier moet weer in acht genomen worden dat deze berekeningen slechts grove indicaties zijn van het werkelijke gedrag van de constructie en de grond. Het gaat hier dan ook slechts erom enig inzicht te krijgen in de ordegrottes van oplossingen.

8.6 Voorbeeldgevallen

Station

Langs de kade voor het centraal station zijn enkele maatregelen genomen tegen schade bij een aanvaring. De hoofdvaargeul is ca. 50 meter naar het noorden gelegd, waarmee de afstand van de vaargeul tot de stationskade vergroot is. Op tekeningen van de kade is echter te zien dat de bodem van het IJ langs de kade niet veel ondieper wordt dan in de oude situatie. (DIVV 2004, DIVV 2005) De doorsneden geven een diepte van ongeveer negen meter aan.



De kadeconstructie bestaat uit een kademuur, met daarachter een aanvaarbeveiliging in de vorm van een dubbele rij palen, gekoppeld door een stootbuis. De palen hebben een diameter van 1,60 m, de stootbuis van 1,10 m. Wanneer de buisdikten worden aangenomen kan een schatting gemaakt worden voor de op te nemen belasting.

Er wordt gesteld:

	<i>palen</i>	<i>buis</i>
diameter	1,6 m	1,1 m
wanddikte	0,03 m	0,01 m

Met deze waarden wordt een op te nemen kinetische energie gevonden van:

$$E_{kin} = 28 \text{ kNm}$$

Dit komt overeen met een schip van 56 ton dat frontaal met 1 m/s op de kade botst. Oftewel een vrij geringe beveiliging tegen aanvaringen van grotere schepen.

De grond achter de kademuur zal een extra beveiliging van de achterliggende autotunnel en het busstation opleveren. De overkapping van het busstation sluit echter vrijwel op de rand van de kade aan. Dit betekent dat bij lichte aanvaringen de boogconstructie al zal verplaatsen. Bij het constructief ontwerp van de overkapping is hier rekening mee gehouden door de aanvaarkans te accepteren, en in het ontwerp te zorgen dat het risico van vallende glasplaten verminderd werd. Echt afdoende lijkt deze ontwerpstrategie echter niet.

Hierbij moet wel nog worden opgemerkt dat over de volledige lengte van de kade pieren het IJ in zullen steken. Deze pieren en eventueel aangemeerde schepen zullen bij aanvaring een deel van de botsenergie opnemen. Dit maakt bij aanvaring door een cruiseschip echter weinig verschil.

Muziekgebouw

Het muziekgebouw is niet uitgerekend op aanvaarbelaasting. Ook de parkeergarage onder het gebouw is niet berekend op cruiseschepen. Wel ligt hier langs het gebouw een vergelijkbare kadeconstructie als langs de stationskade, die losstaat van de garage en het gebouw.

De kelderwand van de parkeergarage is deels tegen een verloren damwand aangestort. Deze damwand moest door ruimtegebrek ook worden gebruikt om de bolders (waar de schepen hun kettingen aan leggen) te verankeren. De bolders zijn echter met de wand verbonden door middel van kettingen, met een breekvoorziening. De verbinding breekt zodra het schip wegvaart maar nog niet los ligt. Zo wordt voorkomen dat de kelder beschadigd wordt. (Krijgsman 2005)



Muziekgebouw

8.7 Oplossingen

Strategie

Bij de living bridge over het IJ zal omgegaan moeten worden met aanvaarrisico's. De veiligheidsstrategie bij het ontwerp is de volgende. Aangezien de brug niet alleen fungeert als verkeersdrager, maar ook andere functies behuist, is schade aan de brug zeer ongewenst. Er wordt dan ook gesteld dat de hoofdconstructie van de brug, met name ter plaatse van de verblijfsfuncties schadevrij moet blijven bij een aanvaring, van elk type schip.

In principe wordt gesteld dat schade aan het schip voorkomen moet worden. Geringe afwijkingen in koers moeten dus worden gecorrigeerd zonder dat daarbij schade aan het schip ontstaat.

Wanneer een schip een te grote koersafwijking heeft, zal het moeten worden afgeremd voordat het schade kan berokkenen aan brug en gebouwen. Dit kan bijvoorbeeld door een plaatselijke ondiepte naast de ingangen van de vaargeulen. De situatie bij het centraal station is voor een cruiseschip lastig, vanwege de smalle vaargeul en de boog in de route.

In het geval van te grote koersafwijkingen wordt daarom schade aan het schip niet uitgesloten. De veiligheid van de gebruikers van de brug wordt daarbij belangrijker geacht dan het schadevrij houden van schip en eventuele hulpconstructies.

Maatregelen

Uit deze strategie volgt een aantal te nemen maatregelen. Geen schade aan de brug betekent een smalle vaargeul, waarbij de cruiseschepen weinig snelheid kunnen ontwikkelen loodrecht op de vaargeul. Kleine afwijkingen kunnen zo opgevangen worden zonder schade.

Binnenvaartschepen hebben minder last van de smalle vaargeul. Tweerichtingsverkeer voor binnenvaartschepen in deze vaargeul is daarom wel mogelijk. Wellicht zal de doorvaartsnelheid verlaagd moeten worden, vanwege de anders te grote stuur marge die aanwezig moet zijn. Wanneer gekozen wordt voor gescheiden verkeersrichtingen zal er dus een tweede vaargeul voor beroepsvaart aangelegd moeten worden.

Bij het invaren van de beschermde vaargeul zullen grotere koersafwijkingen moeten worden opgenomen. Schepen moeten daar in de juiste richting worden gestuurd, echter nog steeds liefst zonder schade aan schip of constructie. Dit betekent geleidewerken die zich geleidelijk vernauwen tot de uiteindelijke breedte van de geul.

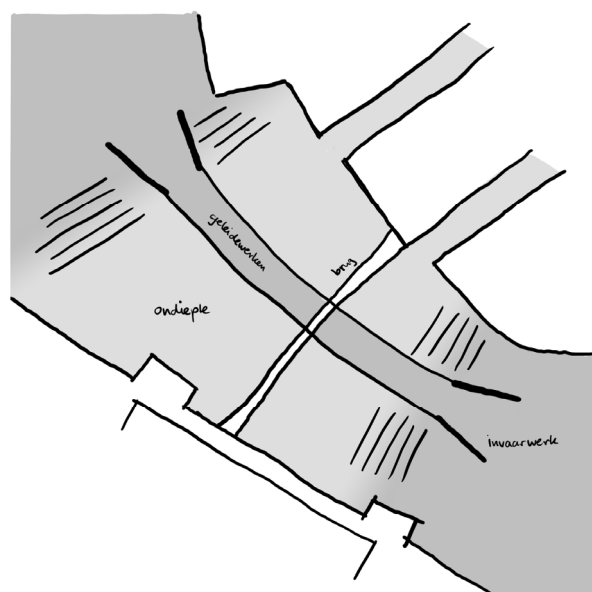
Wanneer een schip naast de ingang van de vaargeul terechtkomt, of met een te grote hoek op de ingangswerken aanvaart, zal het volledig tot stilstand gebracht moeten worden. In het verlengde van deze koers liggen namelijk de brug en de verblijfsfuncties. Schade aan het schip is in dit geval te verkiezen boven een botsing van het schip met de brug.

Om een cruiseschip volledig te stoppen, zijn aanzienlijke maatregelen nodig. Om echter de overige breedte op het IJ niet volledig te stremmen, is een beperkte ophoging van de bodem de meest voor de hand liggende oplossing. De beroepsbinnenvaart heeft een maximale diepgang van 4,50 meter. (Groenveld 1999)

De enige schepen behalve de cruiseschepen die een diepgang van meer dan 5,00 meter hebben, zijn de grote zeilschepen, die voornamelijk tijdens SAIL de haven aandoen. Deze schepen zijn echter ook zo hoog dat ze automatisch door de hoofdvaargeul zullen moeten varen. Voor de overige doorgangen wordt niet de maximale doorvaarthoogte van 50 meter aangehouden.

Een bodemverhoging tot 6 à 7 meter diepte is al voldoende om de grote cruiseschepen te laten vastlopen. De grootste klassen cruiseschepen hebben een diepgang van 9 tot 10 meter, de kleinere klassen rond de 8 meter.

Het pakket aan maatregelen voor de cruiseschepen is hieronder weergegeven. Wanneer een tweede vaargeul voor beroepsvaart naast de hoofdvaargeul wordt gesitueerd, zullen ook hier aanvaarbeveiligingen worden aangebracht. Ook zullen overal waar de brug in het water staat kleinschaliger maatregelen moeten worden getroffen.



DEEL II

9. Concepten

9.1 Conceptideeën

In dit hoofdstuk worden vier concepten onderzocht voor de living bridge over het IJ. De concepten zijn gevormd met als uitgangspunt het samenspel tussen de infrastructuurfunctie en de extra functies die de brug zal vervullen. Aan de hand van deze vier structuurconcepten worden ideeën gevormd over het functioneren van de brug op gebieden van verkeer, openbare ruimte, programma en constructie.

Verbinder

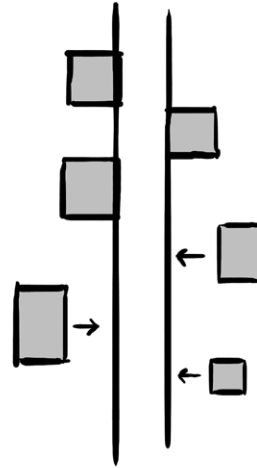
De traditionele living bridge, zoals bekend van de voorbeelden in Italië, gaat uit van een stuk infrastructuur met daaraan toegevoegd extra functies. De aanbouwen hebben zowel in constructieve als in programmatische zin een toevoegende aard. Zonder deze extra functies zou de brug nog steeds als element in het stedelijke stratenpatroon kunnen functioneren.

Deze traditionele opbouw van de living bridge vormt de basis van het eerste concept. Er wordt uitgegaan van een verkeersader, waaraan vervolgens extra functies worden opgehangen.

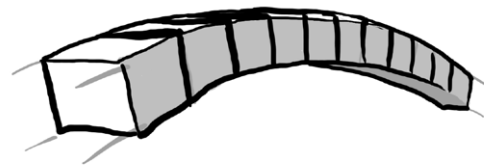
Stromende ruimte

In het tweede concept vormen de verschillende toegevoegde functies de basis van de brug. De functies worden als een ketting aan elkaar gekoppeld, en vormen zo samen een oversteek over het water. De openbare ruimte stroomt door de functies heen, en wordt onderdeel van deze functies.

De brug wordt met de nieuwe functies een onderdeel van de stad, en trekt zelf bezoekers. Door een vervaging van de grenzen tussen de verschillende functies worden beide oevers betrokken bij de nieuwe ruimte.



Concept verbinder

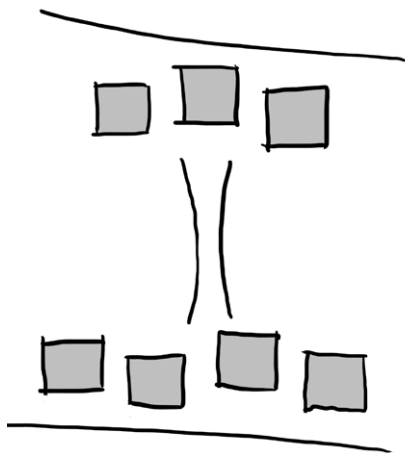


Concept stromende ruimte

Stad aan de oevers

In dit concept wordt de sprong van het centrum naar noord opgesplitst in meerdere kleinere sprongen. Hierdoor wordt gepoogd de barrière naar noord te verkleinen. Het gebied tussen het Centraal Station en het IJ wordt ingericht als een stuk stad, met dichte bebouwing en uiteenlopend programma. Aan de noordoever wordt een vergelijkbaar stuk stad aan het water gebouwd.

De barrière die het station en het water samen vormen wordt opgeknipt, en met de nieuwe stukken stad aan het water worden het centrum en noord overburen. Deze visuele verbinding brengt de beide oevers dichter bij elkaar.

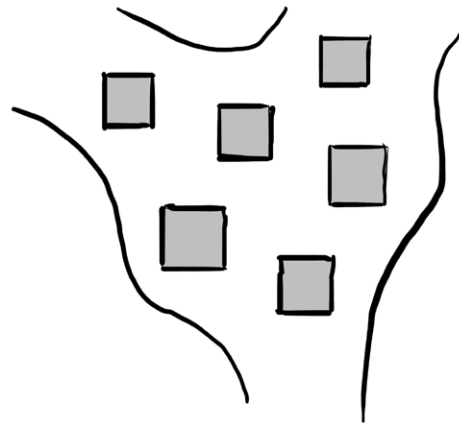


Concept stad aan de oevers

Stad in het IJ

Het vierde concept heeft als uitgangspunt een stedelijke opbouw van ruimten en plekken. De stad wordt doorgetrokken tussen de twee oevers, waardoor een nieuw stuk Amsterdam ontstaat. Door dit tussenliggende stadsdeel wordt de oversteek naar noord vrijwel ongemerkt gemaakt.

Het verschil met het concept van de stromende ruimte is dat hier de verkeersfuncties en overige functies gescheiden blijven. Waar in de stromende ruimte de functies doorstromd worden om naar de overkant te komen, kiest hier de voetganger of wandelaar zijn eigen route, en passeert daarbij de functies.

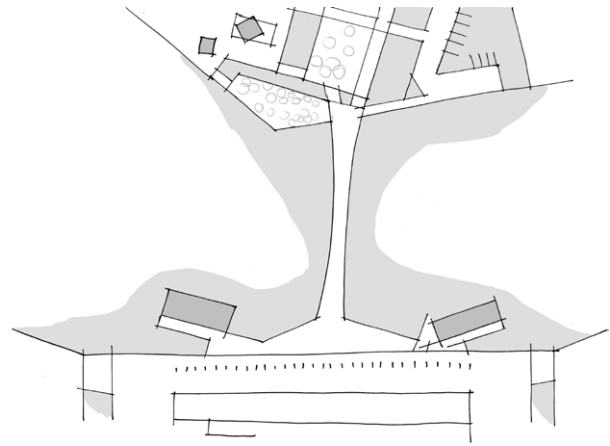


Concept stad in het IJ

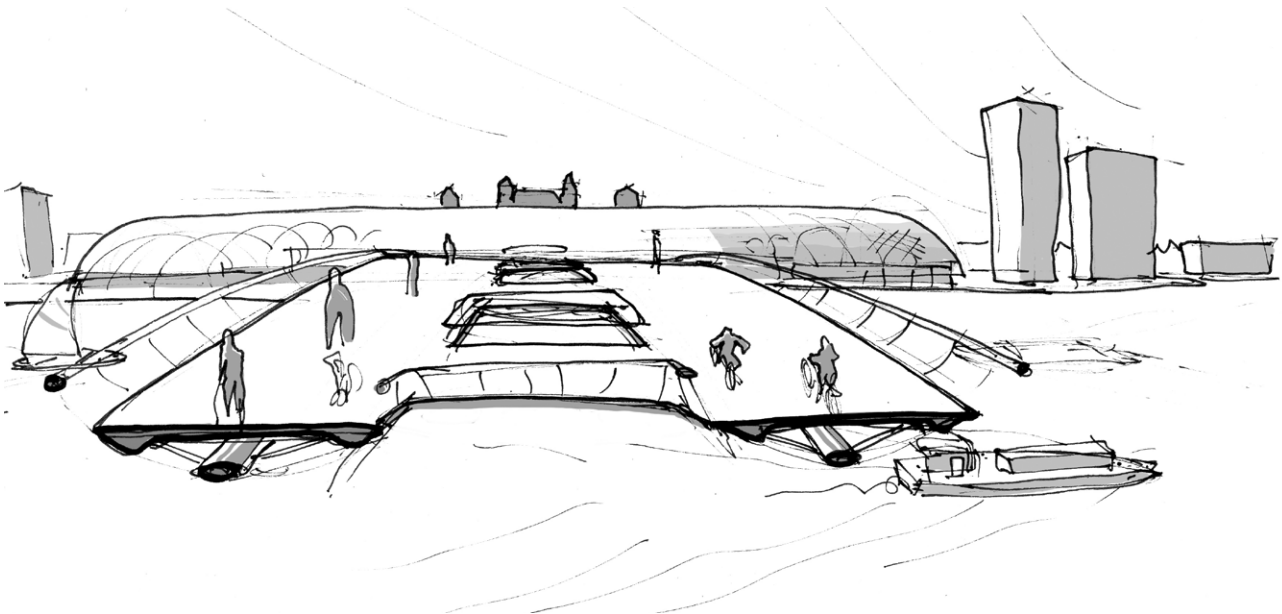
Minimaal

Voordat de concepten verder besproken worden, wordt een minimale variant opgesteld. Deze variant wordt genoemd als reflectievariant voor de overige concepten. Door de living bridges te vergelijken met een gewone brug kan de waarde van de verschillende concepten beter ingeschat worden.

Dit concept gaat uit van een minimale ingreep. Er worden geen of zo min mogelijk tussensteunpunten in het water geplaatst, en de scheepvaart met grote doorvaarthoogten wordt slechts gehinderd door eventuele wachttijden bij opengaan van de brug. Extra functies kunnen eventueel op de oevers geplaatst worden.



Brug zonder extra functies. Wel kunnen functies langs de oevers worden toegevoegd, zoals een park (noord) en wonen (zuidoever)



Impressie richting centraal station

9.2 Verbinder

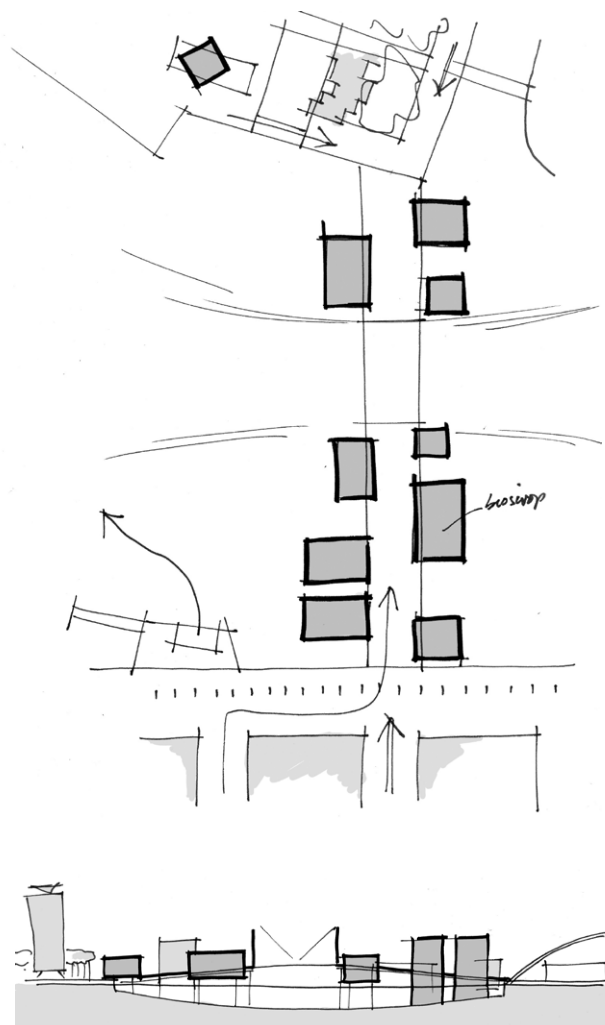
Het belangrijkste onderdeel van de verbinder is de brug zelf. De brug voorziet in een oversteek voor voetgangers en fietsers, en brengt zo de twee oevers dicht bij elkaar. De ligging van de brug is echter zo aantrekkelijk dat extra functies een groot economisch potentieel hebben. Vlak naast het Centraal Station, twee minuten van het centrum, en naast het nieuw te ontwikkelen Shell-terrein is de locatie ideaal voor verschillende functies. De brug zou een ideale uitvalsbasis vormen voor toeristen, maar ook voor bedrijven. Het water vormt een extra aantrekkingskracht voor bijvoorbeeld woningen en horeca.

Verkeer

Zoals vermeld dient de brug in de eerste plaats als oversteek voor voetgangers en fietsers. Mensen die nu in noord wonen en per pont naar het centrum gaan, nemen voortaan de brug. Door het terugbrengen van de wachttijd wordt het aantrekkelijker om de fiets te nemen, ook voor mensen die wat verder van de brug afwonen.

Mensen uit het centrum zullen eerder de fiets nemen om naar noord te gaan, voor de parken, of voor een bezoek aan het Shell-terrein met haar musea en horeca. Ook voor toeristen wordt het logischer om de oversteek te maken. Zeker wanneer de wandeling gepaard gaat met het bezoek van winkels, horeca of cultuur op de brug.

De ingreep in het waterverkeer wordt minimaal gehouden, dat wil zeggen zo min mogelijk ondersteuning in het water, en zo goed mogelijk behouden van bestaande zichtlijnen voor de navigatie. Dit betekent twee dingen. De brug zelf, oftewel het verkeersgedeelte, dient slank ontworpen te worden. En de toegevoegde functies dienen zo geplaatst te worden dat ze het zicht voor de scheepvaart zo min mogelijk in de weg staan.



Situatie en langsaanzicht

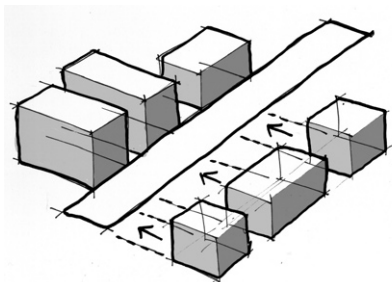
Een slanke brug betekent snel een niet te brede brug. Voor het optimaal functioneren van de verkeersfunctie blijven de andere functies gescheiden van de verkeersader. Hierdoor ontstaat een 'aankliksysteem' van functies aan de brug.

De brug werkt alleen als het brugdek niet te veel hoeft te stijgen. Meer dan tien meter stijging wordt voor sommige fietsers al hinderlijk. Om toch doorgang voor de scheepvaart te garanderen zal een deel van de brug open moeten. Een vereiste voor het systeem van opengaan is dat het snel gebeurt. Als de totale wachttijd verder oploopt, verslechtert de situatie bij opengaan ten opzichte van de pont.

Programma

Het toegevoegde programma huist in een aantal afzonderlijke elementen. Dit betekent dat elk element enige mate van zelfstandigheid bezit. De programma's kunnen hierop afgestemd worden. Zo kan aan elk blok één bepaalde functie worden toegekend, zoals kantoorblok, woonblok, winkelblok, horecablok. Ook kan elk blok gezien worden als een gebouw aan de straat, met een publieke of commerciële functie op de begane grond (brugniveau) en de andere niveaus als woon- of werkfuncties.

Wanneer aan enkele blokken een publieke of culturele functie wordt toebedeeld, en in de andere ook gewoon en



Aankliksysteem

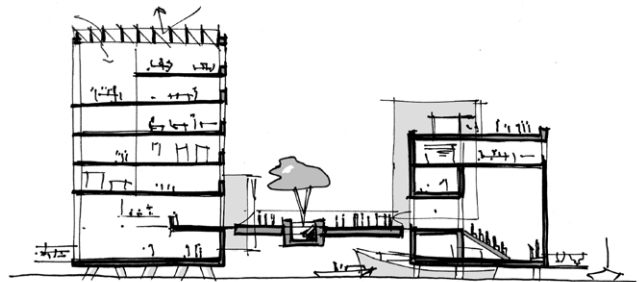
gewerkt wordt, wordt de hoeveelheid mensen op de brug evenwichtig verdeeld over de dag. Door combinatie van functies is ook 's avonds de brug druk genoeg om veilig over straat te gaan.

Constructie

De grootste vraag in constructieve zin is of de brug de functieblokken draagt, de blokken de brug dragen of dat brug en blokken constructief gescheiden zijn. In het eerste geval zal de brug zwaarder geconstrueerd moeten worden. De blokken hangen immers aan de brug. De constructie van de beginsituatie legt bovendien beperkingen op aan de plaatsing van de blokken.

Wanneer de blokken fungeren als steunpunten van de brug kan de brug slank blijven. De overspanningen blijven bovendien beperkt. Wel wordt relatief veel in het IJ gebouwd, elk blok heeft een fundering nodig. Dit betekent een grotere hinder voor de scheepvaart.

Wanneer constructie van brug en blokken gescheiden blijven blijft de hinder voor de scheepvaart relatief groot. Een voordeel van het scheiden is de flexibiliteit. Brug en blokken zijn niet afhankelijk van elkaar, en in een later stadium kunnen blokken verwijderd of bijgebouwd worden zonder consequenties voor de constructie van de brug.



Dwarsdoorsnede over brug en blokken

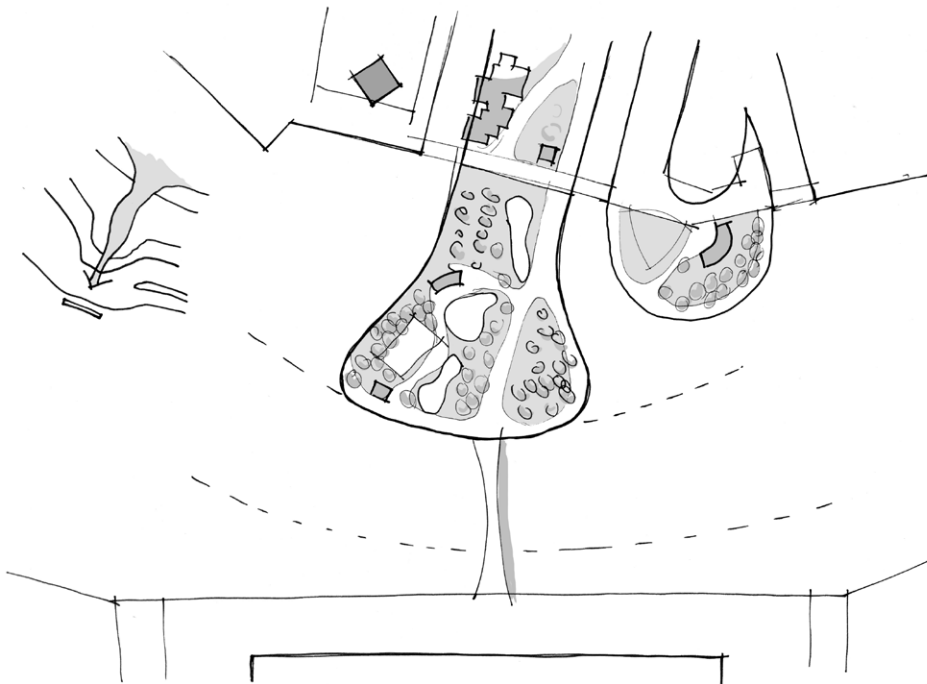
9.3 Stromende ruimte

In het concept van de stromende ruimte worden verblijfsplekken gekoppeld om de oversteek over het IJ te maken. De openbare ruimte stroomt het IJ in, al dan niet onderbroken door een doorgang voor de scheepvaart. De brug bestaat uit een aantal lagen, waarvan de bovenste als een deken over de binnenfuncties ligt. Deze deken bevat openbare parken en pleinen. De binnenfuncties kunnen bestaan uit theaters, musea, bioscopen en horeca. Door de geringe lichtinval is de ruimte op het eerste gezicht minder geschikt voor woningen of kantoren.

Het idee om de gehele bovenste laag te gebruiken als park sluit aan bij het masterplan voor de noordelijke IJ-oever. Het plan voorziet in het stimuleren van de groene assen tussen het IJ en het achterland. De belangrijkste groene as in dit plan zijn de groene oevers van het Noordhollands Kanaal. Langs deze oevers liggen het Noorderpark en het Tolhuispark. De brug is een voortzetting van deze as, en brengt het groene gebied tot vlak voor het centrum.

Verkeer

De voetgangers en fietsers bewegen zich zoals door een park. De fietspaden slingeren tussen pleinen, terrassen en groene weiden door. Wandelroutes lopen over het gras, onder bomen door, uitkijkend over het water.

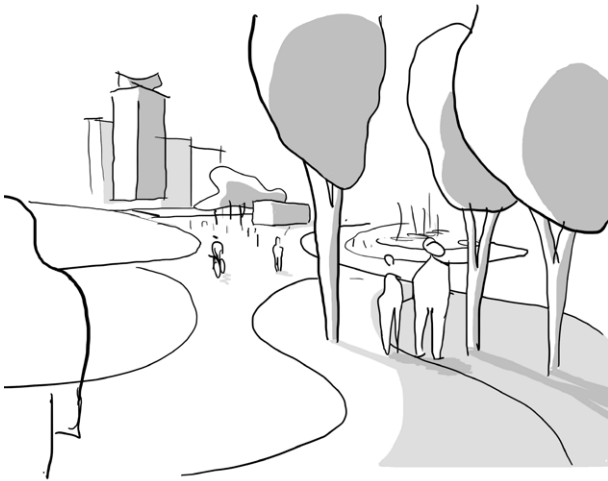


De brug als voortzetting van Tolhuispark

Het waterverkeer wordt door het grote bebouwde oppervlak boven het water meer gehinderd dan bij de andere concepten. De grote doorstroming over de brug betekent minder doorstroming er onderdoor. Een volledig doorlopende brede strook openbare ruimte lijkt irrealistisch. De cruise-terminal wordt daarmee volledig afgesloten. Verplaatsen van de terminal naar de westoever lost dit probleem op, maar niet dat van de doorgaande staande mastroute over het IJ.

Programma

De grote hoeveelheid groene stedelijke ruimte op de brug is vooral voor mensen uit het centrum een waardevolle aanwinst. De functies onder het dek zijn voor zowel noord als het centrum interessant.

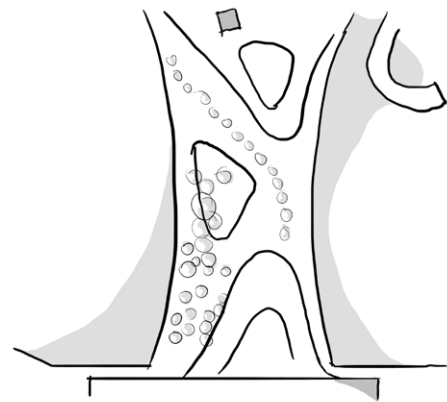


De brug als doorlopende groene ruimte

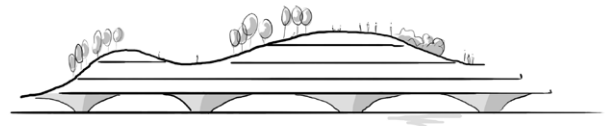
De groene ruimte op het dek ligt dicht bij het centrum dan de meeste stadsparken. Voor bewoners van het centrum is de brug slechts een paar minuten lopen, en de combinatie van ruimte, groen en water is een sterke tegenhanger voor het compacte centrum.

Constructie

De brug moet bestaan uit een vlak dat boven het water zweeft. Doordat de brug niet lijnvormig is, maar zich in twee dimensies uitstrekt is een lineair draagsysteem minder geschikt. Gedacht kan worden aan een verspreid aantal puntvormige ondersteuning, waartussen de brug zich in meerdere richtingen uitstrekt. Boog- of schaalconstructies ondersteunen de bovenliggende verdiepingen.



Volledig doorlopend dek

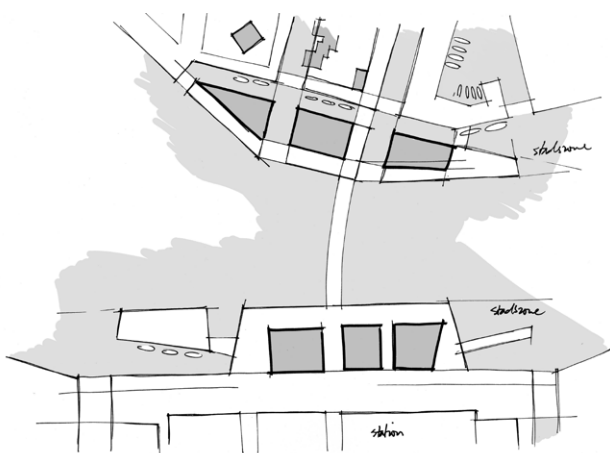


Opbouw met boogconstructie, verdiepingen en dek

9.4 Stad aan de oevers

In dit concept wordt de sprong van het centrum naar noord opgesplitst in een aantal kleinere stappen. Na de eerste barrière - het Centraal Station - komt men in een nieuw stuk stad langs het water. Deze bebouwing hoort qua programma nog bij het centrum, zodat de stad aan het water komt te liggen.

De volgende stap is de sprong over het IJ. Deze korte brug verbindt de wijk op de zuidoever met een tweede nieuwe wijk langs de noordoever. Deze bebouwing wordt een onderdeel van noord, en is een voortzetting van de Shell-strip. Zo komen centrum en noord tegenover elkaar te liggen.



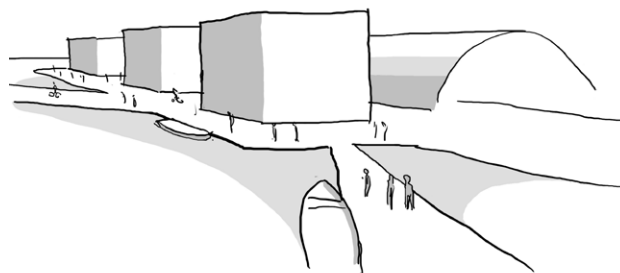
Stad aan de oevers

Verkeer

De nieuwe wijken langs de oever vormen een nieuw systeem van stedelijke infrastructuur. De straten liggen grotendeels langs het water, en kunnen gebruikt worden door fietsers, voetgangers en bestemmingsverkeer. De oversteek over het water blijft gereserveerd voor langzaam verkeer.

Voor de brug kan weer gekozen worden voor het omhoogbrengen van al het verkeer, of voor een te openen doorgang. De beschikbare vaarbreedte wordt verkleind door de bebouwing op beide oevers. De hoofdvaargeul kan echter min of meer op de huidige breedte blijven.

Doordat de bebouwing met de bocht mee wordt geplaatst kunnen grote schepen hun bestaande pad volgen. Wel zal moeten worden onderzocht of de versmalling van de open zichtlijn nadelige gevolgen heeft voor de manoeuvreerbaarheid van de cruise-schepen.

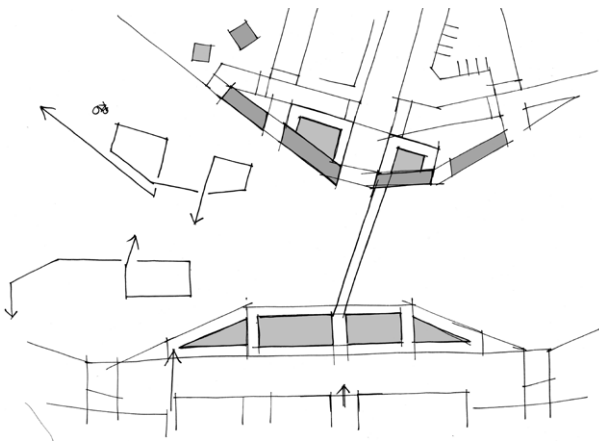


Zicht op zuidoever en stationskap

Programma

De twee stroken bebouwing worden gezien als uitbreidingen van de beide stadsdelen. Zo is de zuidoever onderdeel van het centrum, en wordt ook het programma hierop afgestemd. Het gebied krijgt een gevarieerd programma met horeca, winkels en cultuur. Waarborging van voldoende drukte over de gehele dag is van groot belang voor de sociale veiligheid, ook omdat het gebied vlak achter het station ligt.

Het programma voor de bebouwing aan de noordzijde is minder veeleisend. Door de ligging is dit een ideale plek voor woningbouw, met zonnige terrassen die uitkijken over het water. Net als aan de zuidoever kunnen ook hier horecaterassen langs het water liggen, waar ook schepen kunnen aanmeren.

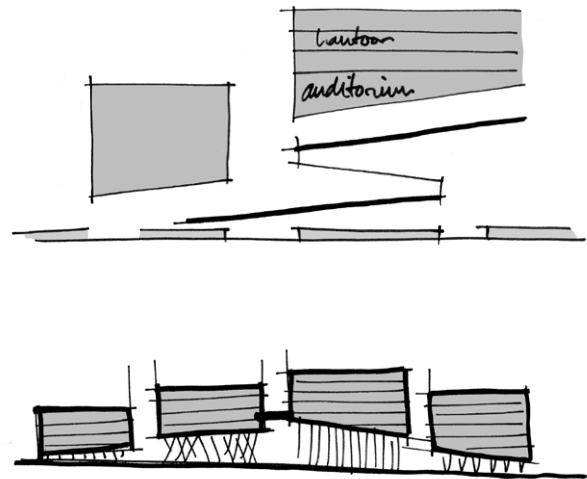


Bebouwde IJ-oeveren met stijgingslussen op beide oevers

Constructie

De constructie van de brug is relatief eenvoudig. De brug is korter, en heeft met de bebouwing solide landhoofden. Bovendien schuift het zuidelijke landhoofd verder weg van het station, en daarmee van de ontbrekende zandlagen. De bebouwing ligt wel deels in dit gebied. De vele bebouwing vlak langs de vaargeul is bovendien kwetsbaar voor aanvaringen.

Een manier om de fietsers naar boven te brengen is het gebruik van een aantal stijgingslussen. Elke lus brengt de fietsers een aantal meters hoger, terwijl voetgangers het hoogteverschil via trappen overbruggen. Wanneer bebouwing ook boven de fietspaden geplaatst wordt kan de onderste laag met zijn schuine vloer dienen als theater of auditorium.

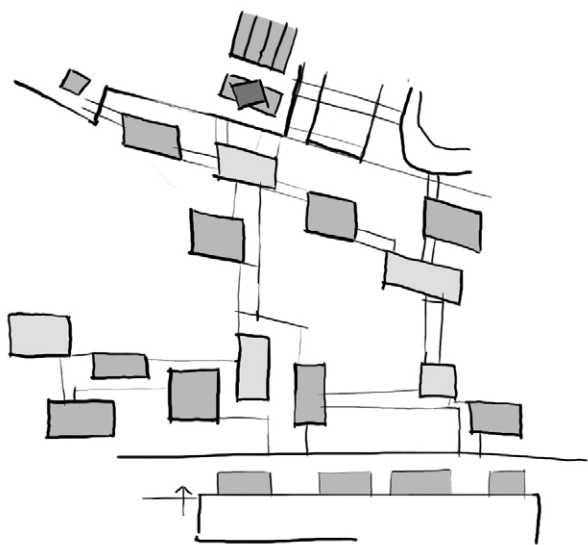


Aanzicht bebouwing noordoever

9.5 Stad in het IJ

Het vierde concept voorziet in een nieuwe stad in het IJ. Hier wordt over een aanzienlijke breedte een stedelijk patroon van straten, pleinen en gebouwen aangelegd, waarbij de relatie met het water een belangrijk onderdeel blijft. De infrastructuur verspreidt zich tussen de plekken door, die zowel gebouwen als pleinen en parken kunnen zijn.

Het waterverkeer wordt weliswaar versnipperd, maar blijft een belangrijke rol spelen in de configuratie van het stadsdeel. Door meerdere punten van oversteek te maken wordt de kans op vertraging bij een open brug verkleind.

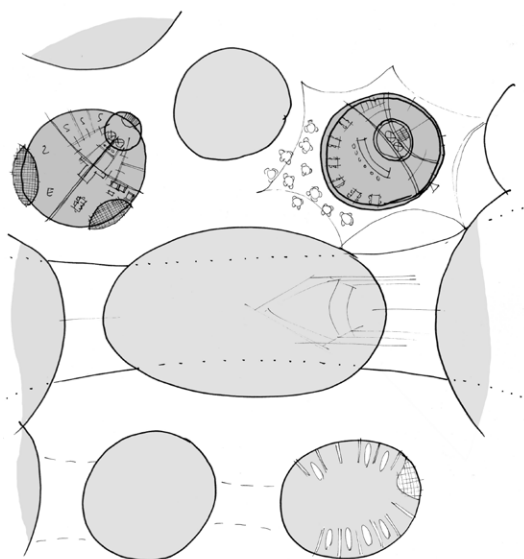


Stad in het IJ

Verkeer

Het verkeer kiest zijn eigen route, net zoals in een bestaand stedelijk stratenpatroon. Hierdoor ontstaat de mogelijkheid telkens een nieuw deel van de stad te zien. Dit geldt ook voor de scheepvaart, die tussen de bouwblokken en pleinen door kan varen. Wandelaars en fietsers stemmen hun route af op de beschikbaarheid van oversteekpunten, en kiezen een andere route wanneer een brug openstaat.

De verkeersroutes slingeren tussen de overige functies door. Een voetganger of fietser kan tijdens de oversteek pauzeren bij een terras, een bezoek brengen aan een park, of de havenactiviteiten bekijken. Andere mensen wonen en werken boven het water, en gaan juist van de brug af om bijvoorbeeld boodschappen te doen.



Verkeersruimte slingerend tussen de functies door

Programma

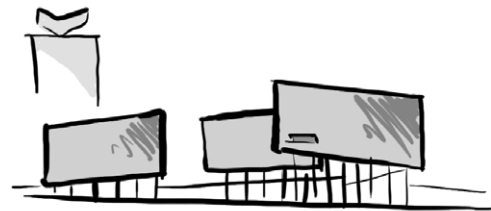
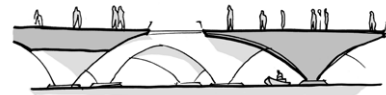
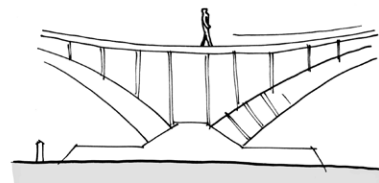
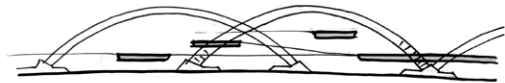
Het programma van dit concept is gericht op het functioneren van het gebied als op zichzelf staande stedelijke ruimte. Elk onderdeel heeft een of enkele functies en vormt een eigen bouwblok. De heterogene verkeersruimte in combinatie met een groot aantal verschillende functies zorgt ervoor dat het stadsdeel boven het water op zichzelf kan functioneren, en daarnaast een waardevolle aanvulling is voor de omliggende stadsdelen.

Constructie

Doordat dit concept niet bestaat uit een eenvoudige lijnvormige overspanning, zal net zoals bij de variant stromende ruimte een meerdimensionale constructieve oplossing gevonden moeten worden. Gedacht kan weer worden aan een systeem van boog- of schaalconstructies. Maar een oplossing als een mangrovebos, waarbij alle onderdelen boven het water staan op een systeem van palen, en door onderlinge samenwerking horizontale stabiliteit garanderen, is ook denkbaar.



De boogconstructie is interessant als referentie naar de stationskappen. Hierbij vormt de boogvorm een kader voor het trein- en waterverkeer loodrecht op de bogen. Het overstekende verkeer volgt juist de boogbeweging. Wel beweegt het verkeer ter plaatse van het station onder de bogen door, en dienen de boogconstructies ter beschutting. Over de brug vormen de bogen de ondersteuning voor de oversteek.

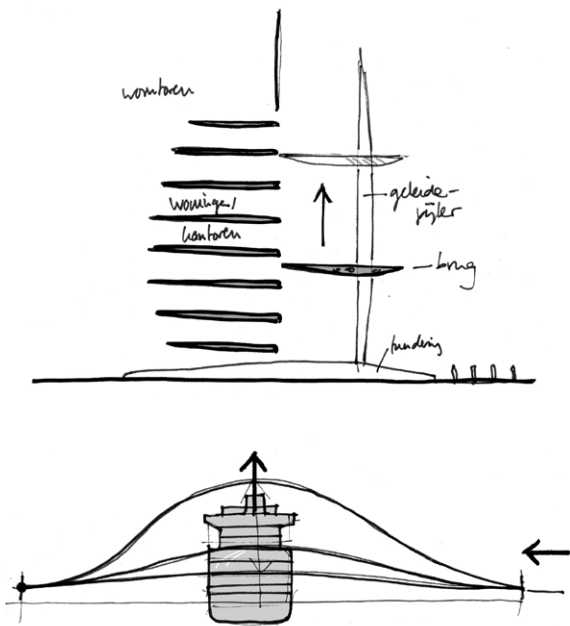


Ideeën boogconstructie, mangrove-concept

9.6 Rups

Het eerste concept, de verbinder, wordt hier nogmaals behandeld, in een variant. Hoewel de uitgangspunten van de verbinder hetzelfde blijven, zijn hier enkele aspecten dusdanig verbeterd ten opzichte van het oorspronkelijke concept dat deze rups-variant apart besproken wordt.

Uitgangspunt is dat tot een hoogte van vijftig meter scheepvaart ongehinderd door kan varen, terwijl de functies op de brug (in mindere mate) bereikbaar blijven. Dit betekent verhoogde veiligheid door intact blijvende vluchtwegen, en minder wachttijd voor een opengaande brug.

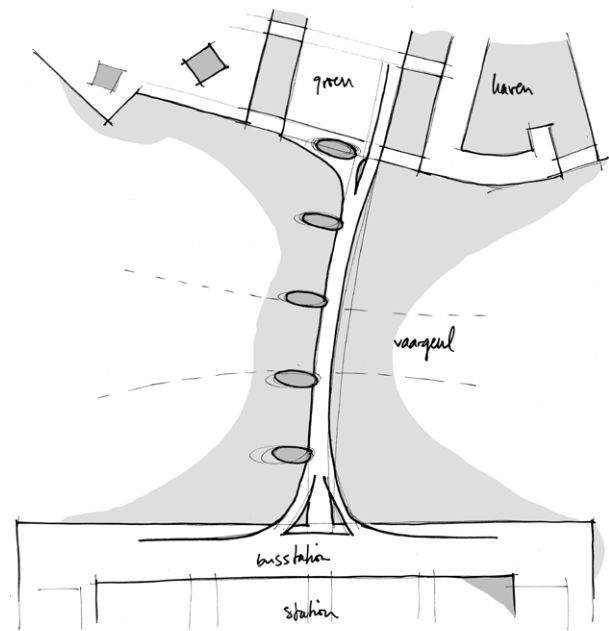


Opkrullend brugdek bij passerende schepen

Verkeer

De brug wordt langs in het water staande pijlers opgetild, waardoor de doorvaarthoogte traploos regelbaar wordt. De brug krult zich daarbij op als een lopende rups. Door dit systeem blijft de brug begaanbaar voor fietsers bij het passeren van kleinere zeilboten, en voor voetgangers tot de maximale doorvaarthoogte.

Afhankelijk van de fysieke gezondheid en beschikbare tijd kan men bij de verschillende hoogtes kiezen of men oversteekt, of even wacht tot de brug terug is op een lagere stand.



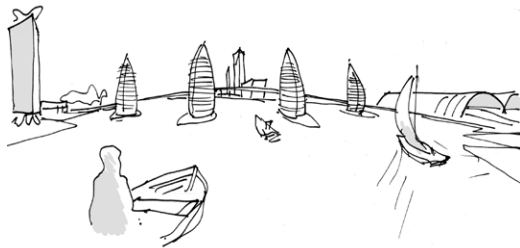
Situatie

Programma

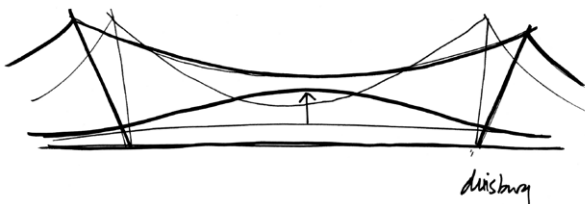
De extra functies vormen hier de pijlers van de brug. Elke pijler kan een eigen karakter krijgen, met bijvoorbeeld een museum en horeca, woningen, of kantoren. Op het laagste niveau is ruimte voor terrassen en mogelijkheid tot aanmeren.

Constructie

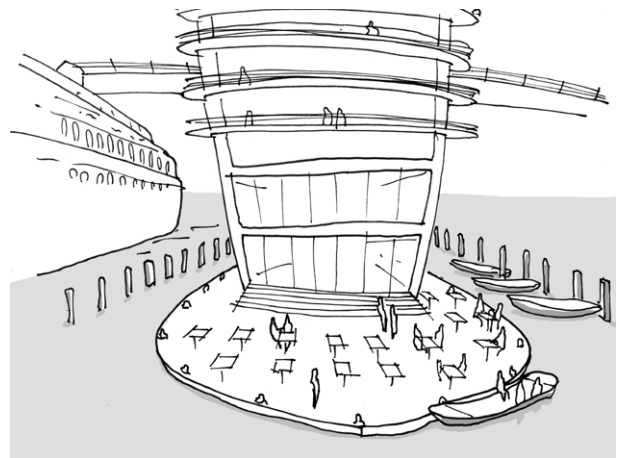
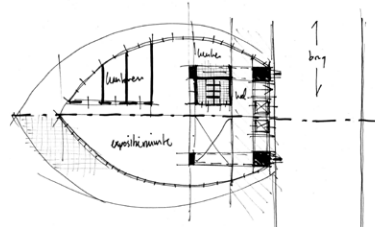
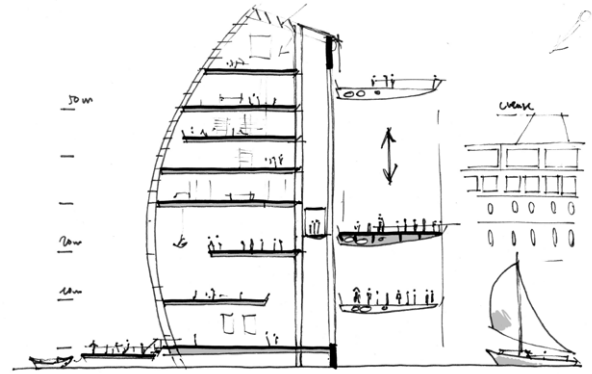
Deze variant is constructief misschien wel de meest interessante. Het realiseren van een in gebruik beweegbare brug is een constructieve uitdaging. De brug moet stijf genoeg zijn om gebruiksvriendelijk te blijven, ook tijdens veranderen van vorm, maar moet tegelijk kunnen vervormen.



Het idee is vergelijkbaar met een brug van Jörg Schlaich in Duisburg. In dat geval wordt het brugdek van de hangbrug voor voetgangers bij het passeren van schepen opgetild doordat de pylonen naar buiten toe kantelen. In dit geval is de brug echter in 'geopende' stand niet toegankelijk.



Boogbrug Duisburg



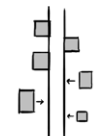
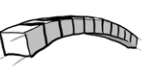
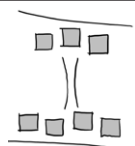


Impressies pijler

9.7 Vergelijking

Hieronder worden de concepten nog eens naast elkaar gezet, en op verschillende punten vergeleken. Naast de vier concepten wordt ook de rups-variant weergegeven ter vergelijking. Er wordt nog geen direct waarde-oordeel verbonden aan de verschillende onderdelen, dit gebeurt in de volgende fase.

Keuzeprocess

In de volgende fase wordt een keuze gemaakt voor één van de concepten. In het keuzeprocess worden naast programmatische en verkeerskundige overwegingen ook een constructieve afweging gemaakt. De mate van geschiktheid voor een interessant constructief ontwerp als deel van het afstudeeronderzoek kan hierbij een argument zijn voor keuze van een alternatief.

Concept	Schets	Kernwoorden	Fietsers/voetgangers	Doorvaart	Extra functies
Verbinder		<ul style="list-style-type: none"> - verkeer als hoofdfunctie - minimale hinder scheepvaart 	<ul style="list-style-type: none"> - doorgaande route - wachttijden bij opengaan 	<ul style="list-style-type: none"> - beweegbare brug - ruime vrije doorvaart kleine schepen 	<ul style="list-style-type: none"> - als toevoeging - afzonderlijke elementen
Stromende ruimte		<ul style="list-style-type: none"> - groene as tot centrum - koppelen van verblijfsplekken 	<ul style="list-style-type: none"> - verkeer als door park - eigen route kiezen - licht glooiende routes 	<ul style="list-style-type: none"> - doorvaarthoogte beperkt - zicht beperkt 	<ul style="list-style-type: none"> - park op dek - cultuurfuncties onder dek
Stad aan de oevers		<ul style="list-style-type: none"> - oeverstad - verkleinen van sprong naar noordoever 	<ul style="list-style-type: none"> - twee wijken met stratenpatroon - korte brug, wachttijden - evt. stijngslussen 	<ul style="list-style-type: none"> - versmallen IJ - hoofdgeul behouden 	<ul style="list-style-type: none"> - stroken bebouwing - functies behorend bij oever
Stad in het IJ		<ul style="list-style-type: none"> - nieuw stuk stad - waterstad 	<ul style="list-style-type: none"> - verschillende routes - veel ruimte langs water 	<ul style="list-style-type: none"> - versnipperd - grachtensysteem 	<ul style="list-style-type: none"> - veel verschillende functies - autonoom functionerende wijk
Rups		<ul style="list-style-type: none"> - altijd doorgaand verkeer - functionaliteit en integratie 	<ul style="list-style-type: none"> - ongehinderde oversteek - eigen keuze wachttijd 	<ul style="list-style-type: none"> - ongehinderde doorvaart - goede zichtlijnen door weinig bebouwing 	<ul style="list-style-type: none"> - functies in pijlers - elke pijler eigen karakter

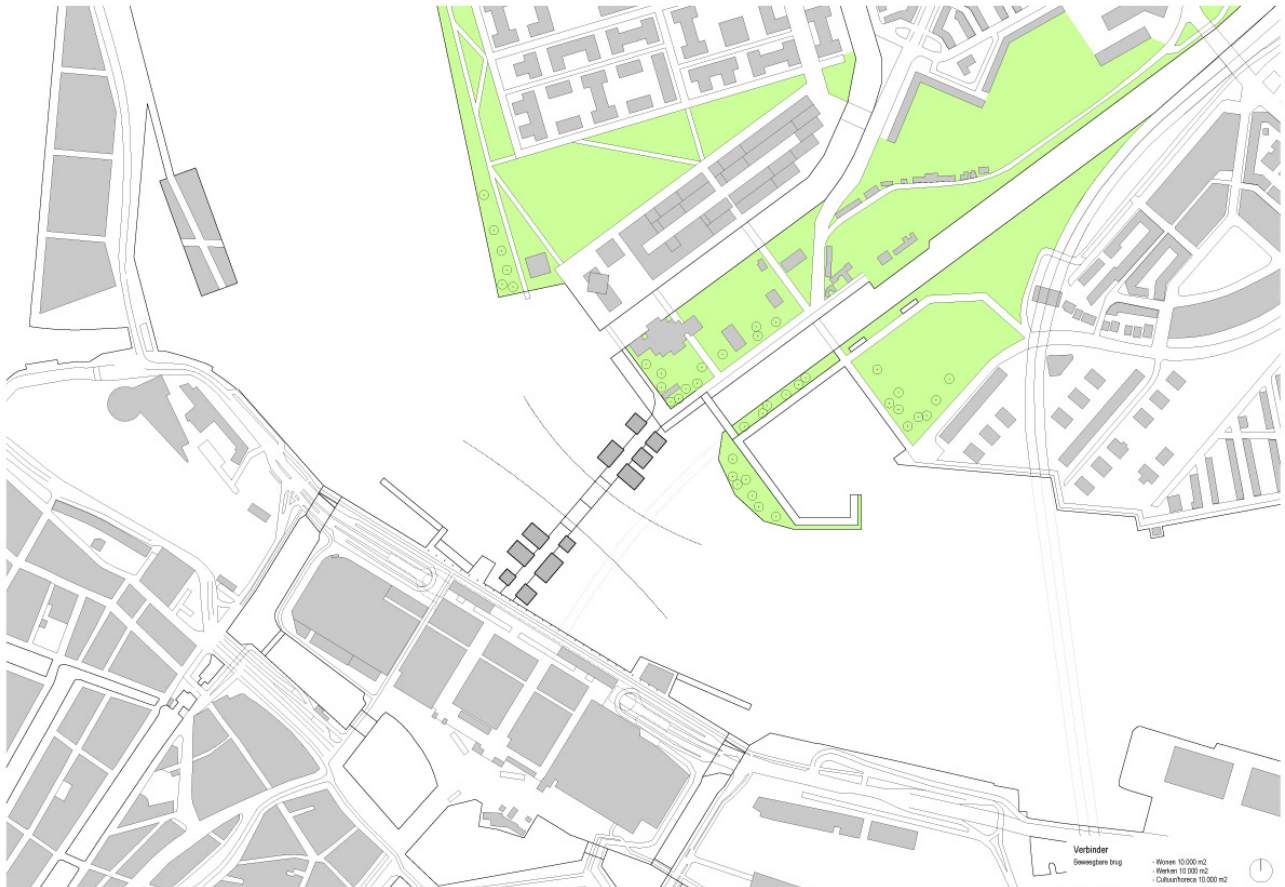
10. Ruimtelijk Ontwerp

10.1 Inleiding

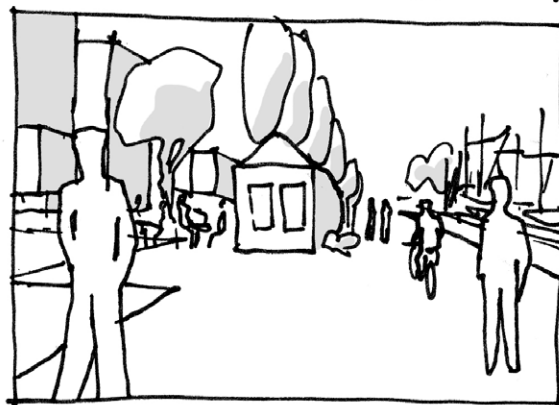
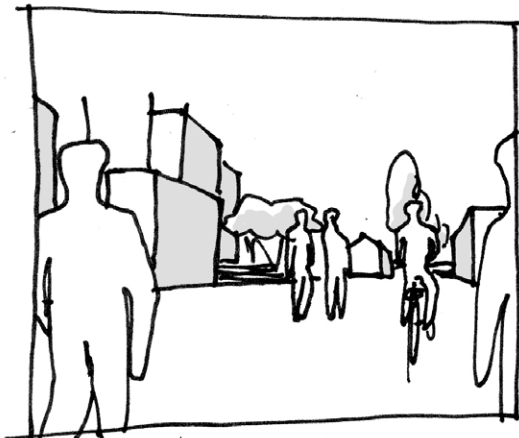
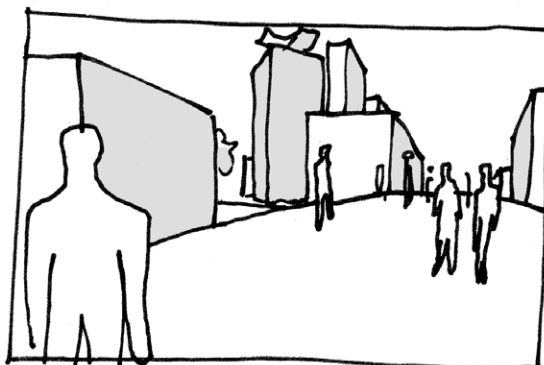
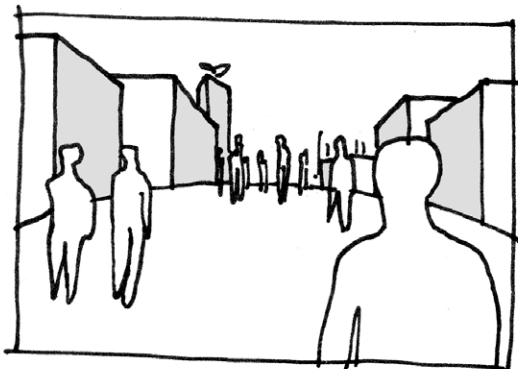
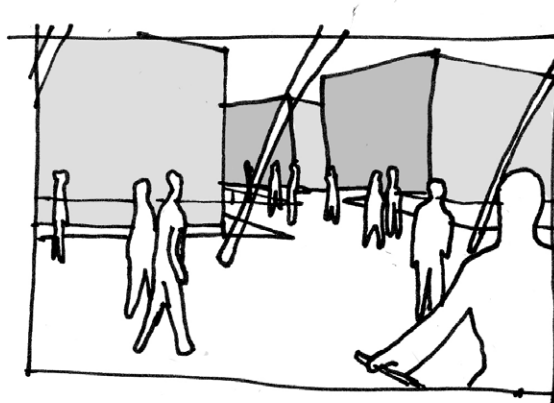
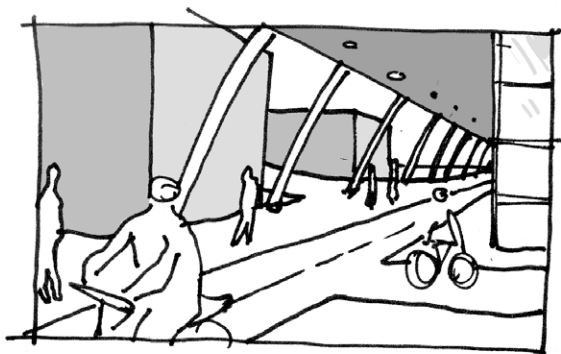
Uit de studie naar de verschillende ontwerpconcepten voor de verbinding tussen Amsterdam Centrum en Noord is het concept verbinder geselecteerd. De verbinder lijkt het meest interessante concept om verder uit te werken. Niet alleen is dit het meest uitvoerbare concept in verband met de scheepvaart, ook lijkt hierbij het meest interessante

constructieve ontwerp te kunnen worden ontwikkeld.

Na een terugblik op wat het concept verbinder inhield, wordt het vervolgens verder uitgewerkt. De beschrijving richt zich voornamelijk op stedenbouwkundige en verkeerskundige aspecten. Met dit ruimtelijk ontwerp kan vervolgens een constructief concept worden gevormd voor de living bridge.



Concept verbinder, situatie



Het ruimtelijk ontwerp voor de verbinding bestaat uit drie onderdelen. Het centrale deel van het ontwerp is de living bridge over het IJ. Daarnaast behoort de aansluiting op beide oevers ook tot het ontwerpgebied.

De brug wordt een verbinding voor langzaam verkeer. Autoverkeer wordt in principe niet toegelaten op de brug. De route over de brug voert langs verschillende functies. De behuizing van deze functies zal waar mogelijk een onderdeel worden van het constructieve systeem van de brug. De functies op de beide oevers zullen waar nodig versterkt worden om het oevergebied tot een samenhangend geheel om te vormen.

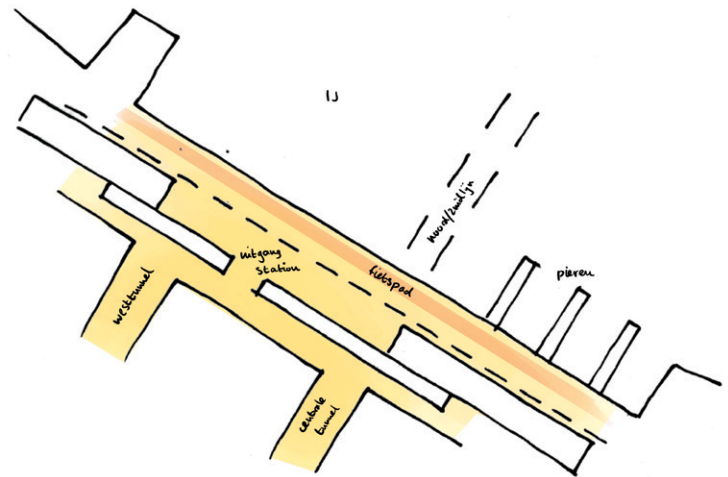
Het scheepvaartverkeer wordt via een aantal vaargeulen langs de brug gevoerd. Daarbij zal de hoofdvaargeul op bepaalde momenten een doovaarhoogte moeten garanderen van 50 meter. De permanente vrije doorvaarthoogte van de hoofdvaargeul bedraagt 9,10 meter, de maximumhoogte van rijnvaart. Daarnaast wordt een secundaire vaargeul voor

beroepsvaart ingericht, met een nog nader te bepalen vrije doorvaarthoogte. De overige vaargeulen worden bestemd voor recreatief verkeer.

10.2 Station

In de huidige plannen voor de stationskade verdwijnt het autoverkeer in een tunnel. Het busstation komt op een verhoogd platform boven het voetgangersgebied. Met de komst van de living bridge zal het voetgangers- en fietsverkeer op de boulevard verder toenemen. De kade blijft zich concentreren op de verkeersfunctie, en er worden daarom geen grootschalige extra functies aan de boulevard toegevoegd.

De kade ligt op ongeveer een meter boven het waterniveau. Het busplatform ligt op zes meter boven de kade. De aansluiting op de living bridge kan op beide niveaus plaatsvinden. Hieronder worden voor verschillende situaties de voor- en nadelen onderzocht.



Stationskade, nieuwe situatie zonder brug

Linkerpagina: concept verbinder, beeldverhaal van oversteek van centraal station naar noord.

Aansluiting op de boulevard

In de huidige plannen wordt de kade gebruikt door voetgangers en fietsers. Aansluiting van de brug op de kade levert de meest logische situatie op. Al het verkeer komt uit op de kade. Dit betekent echter ook dat al het verkeer vanaf het niveau van de kade ongeveer 9 meter moet klimmen tot de maximale hoogte van de brug. Wanneer de hoofdvaargeul in het midden van de oversteek wordt geplaatst heeft de brug een stijging van 7 procent. Voor voetgangers is dit geen probleem. De maximaal toelaatbare helling voor fietsers is voor zo'n groot hoogteverschil echter slechts 2 procent. Dit kan opgelost worden door stijgingspauzes in te lassen in de vorm van een stuk horizontaal fietspad. Door de stijgingsroute op te delen in kortere stukken kan een fietser een grotere helling aan.

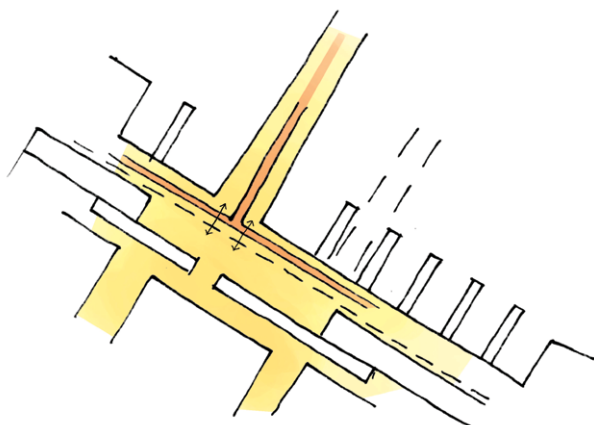
Een ander nadeel van gemengd voetgangers- en fietsverkeer op de kade is de verkeersveiligheid. Vanaf de brug zullen fietsers met aanzienlijke snelheid door de helling op de kade aankomen. Vervolgens zullen ze links of rechts afslaan. Het grootste deel van de voetgangers zal echter rechtdoor

lopen, om het station binnen te gaan. Dat betekent kruising van verkeersstromen op het drukste punt van de route.

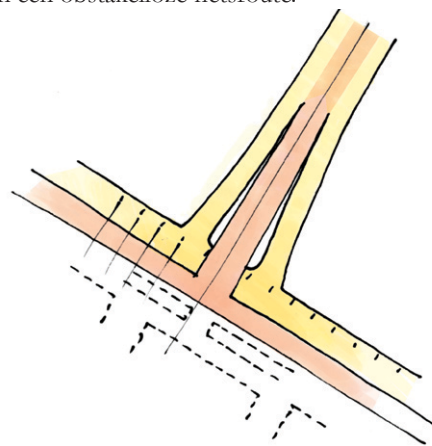
Aansluiting fietsers op busniveau, aansluiting voetgangers op kadeniveau

Naast het busplatform is aan de waterzijde nog enige ruimte voor een fietspad. Wanneer fietsers al op een eerder moment op het niveau van het busstation worden gebracht, wordt het drukke aansluitpunt aan de kade ontlast. Alleen fietsers met een route evenwijdig aan de kade blijven op het kadeniveau.

Het hoogteverschil van kade tot brug wordt hiermee bovendien opgeknipt in twee etappes. De fietser klimt eerst tot busniveau, waar hij vervolgens enige afstand horizontaal aflegt. Hierdoor krijgt hij de mogelijkheid nieuwe energie op te doen voor het tweede deel van de klim. Bij deze variant zal wel aandacht moeten worden besteed aan de manier waarop de fietser naar het busniveau wordt gebracht. Dit kan door een helling langs de gevel, of in het verlengde van het busstation. Een lift of roltrap is niet gewenst door de eis van een obstakelloze fietsroute.



Stationskade, aansluiting brug op kadeniveau



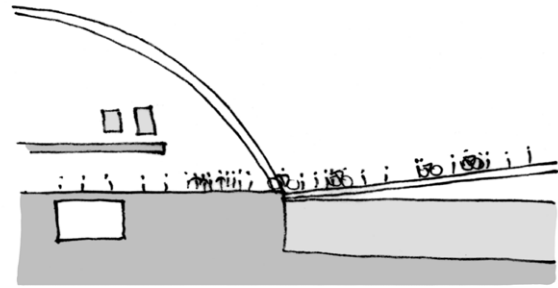
Stationskade, aansluiting brug op gescheiden niveaus

Aansluiting fietsers op busniveau, voetgangers omhoogbrengen

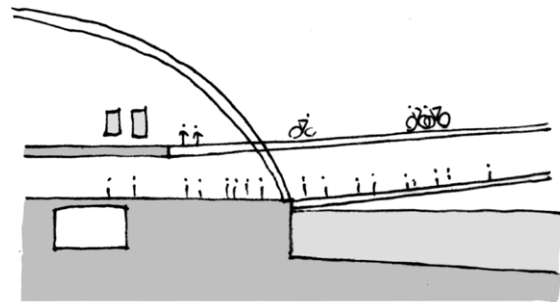
Wanneer de hoofdroute van de brug op een hoger niveau wordt getild, wordt de scheepvaart minder gehinderd. Voetgangers zullen dan echter naar dit hogere niveau moeten worden gebracht. De situatie voor fietsers is vergelijkbaar met de vorige variant. De voetgangers kunnen bijvoorbeeld door middel van roltrappen naar boven worden gebracht. Dit kan al op de kade, maar ook ter plaatse van de eerste ondersteuning van de brug. Voordeel van deze variant is een eenvoudiger uitgangspunt voor het constructiesysteem. De voetganger zal echter minder natuurlijk de brug opwandelen. Een trap of roltrap is een geringe, maar toch aanwezige barrière.

Andere oplossingen

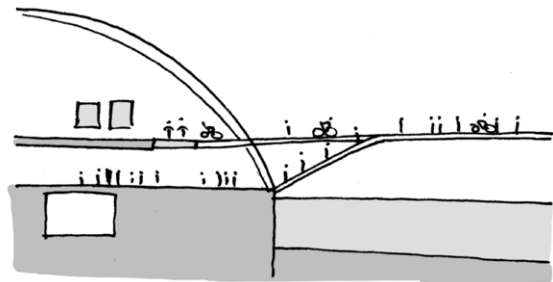
Andere mogelijkheden, zoals het naar het busniveau brengen van al het verkeer, leveren weinig voordeel op.



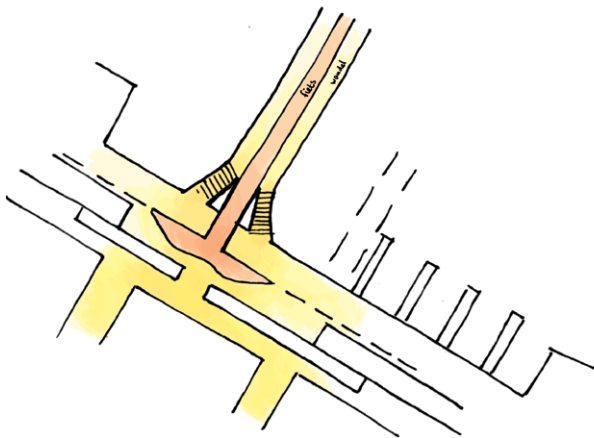
Aansluiting brug op kade



Aansluiting brug op twee verschillende niveaus



Aansluiting hoofdconstructie brug op busniveau



Stationskade, hoofdconstructie brug op busniveau



Herinrichting Noordoever met brug

10.3 Noordoever

Bij de noordoever wordt uitgegaan van de situatie zoals die wordt gepresenteerd in de huidige plannen van de gemeente. In deze situatie worden echter een aantal aanpassingen voorgesteld om de aansluiting op de living bridge te verbeteren. De bestaande plannen voor Noord zeggen bovendien niets over het gebied ten oosten van het Shell-gebied. Daarom wordt ook voor dit gebied een voorstel gedaan.

Zonering

Zowel in de huidige situatie als in de plannen voor Noord is een duidelijke zonering te herkennen loodrecht op de oever. De oever bestaat in de gemeentelijke plannen achtereenvolgens uit: campus – groenstrook – strip – Tolhuisterrein – Sixhaven – IJ-pleingebied. Dit betekent dat elk bebouwd gebied grenst aan een groengebied.

De vraag is echter of een gebied als de strip zich in deze vorm kan ontwikkelen tot een levendig centrum, zoals de gemeente voor ogen heeft. De grote hoeveelheid groengebied rond de strip zorgt ervoor dat de strip een eiland vormt binnen een groter gebied met lagere dichtheden. Bovendien zal door de overvloed aan groen geen enkele groenzone kunnen uitgroeien tot een echt stadspark.

Hier wordt voorgesteld om de groene wig tussen de campus en de strip te bebouwen. Dit gebied vormt dan een stedelijk overgangsgebied tussen de hoogstedelijke strip en de rustiger campus. Het groen wordt geconcentreerd langs de oever van het Shell-terrein en op het Tolhuisterrein.

Dit Tolhuisterrein vormt nu al de toegangsroute tot het achterliggende woongebied van Noord. Het vormt dan ook een logisch aansluitingspunt voor de brug. De



Noordoever, plannen gemeente



Noordoever, voorgestelde situatie

landtong wordt dan het centrale ontsluitingspunt van zowel de westelijke als de oostelijke noordoever. Het Tolhuispark wordt sterker afgebakend, en wordt zo omgevormd tot een echt stadspark.

De ligging direct achter de brug maakt het park ook interessant voor bewoners van het centrum. De aansluiting van de brug vormt een speciaal punt op het Tolhuisterrein. Dit punt is het centrale verdeelpunt van mensen die vanaf de brug komen. Het punt zal de drukste schakel langs de noordelijke boulevard worden, en leent zich daarom voor functies zoals horeca, terrassen of een openluchttheater.

Het gebied ten oosten van het Noordhollands Kanaal richt zich voornamelijk op de woonfunctie. De Sixhaven vormt daarin een interessant gegeven voor ontwikkeling. Door de woonfunctie naar het water te brengen kan een aantrekkelijke woonomgeving ontstaan. Zo kunnen woningen aan de haven geplaatst worden, maar ook aan het IJ.

De nieuwe zonering is dan als volgt:

<i>zone</i>	<i>hoofd functie</i>	<i> karakter</i>
campus	wonen/werken	kleinschalige bedrijven aan huis, rustig wonen.
wig	wonen/werken	levendiger wijk met wonen en werken in hogere dichtheden.
strip	werken	stedelijk centrum van de noordoever.
Tolhuis	ontsluiting	stedelijk recreatiegebied, plein met terrassen, stadspark.
IJ-plein	wonen	woongebied, wonen aan het water.

Versterking functies naar de oever

In de huidige situatie wordt het IJ nauwelijks betrokken bij het leven in Noord. De zonnige waterkant en de visuele verbinding met het centrum bieden echter mogelijkheden voor een aantrekkelijke oeverzone. Daarvoor wordt geprobeerd de functies in de verschillende zones naar de IJ-oever toe te richten.

De zones langs de oever worden met elkaar verbonden door een serie kleine bruggen. Zo ontstaat een aaneengesloten boulevard. Deze verbindt een aantal publieke verblijfsruimtes met elkaar, waardoor het wandelverkeer langs het water gestimuleerd wordt. Van west naar oost voert de boulevard langs het oeverpark, de punt van het Shell-gebied met het filmmuseum, het stadsplein aan de strip, het Tolhuisplein, de Sixhaven en de kade langs de IJ-pleinbuurt.

Bewoners van de campus en de wig hebben de beschikking over een groenstrook langs het IJ. Op de zuidwestpunt van de wig wordt het filmmuseum gesitueerd.



Stadsplein tussen het Shell-gebouw en de strip

De strip wordt naar het water toe afgesloten door het Shell-gebouw. Hoewel het gebouw het directe zicht op het water afsluit, zorgt het ook voor een beschutter plein erachter. Eventuele overkapping van het plein beschermt het tegen grotere windsnelheden door de hoge bebouwing eromheen. Vanaf het plein is er nog wel doorzicht naar het water aan beide zijden van het Shell-gebouw.

Het plein op het Tolhuisterrein is directer op het IJ gericht. Er is opener zicht over het water, maar de vorm van het plein en plaatsing van een openluchttheater aan een zijde van het plein zorgt voor beschutting.

Het woongebied ten oosten van het Noordhollands Kanaal wordt sterk op het water gericht. Het gebied rond de Sixhaven wordt woongebied met hoge dichtheden. De kade ten oosten van de haven wordt eveneens bebouwd, met naar het oosten toe afnemende dichtheden. Zo wordt het IJ-plein weer op het water gericht.



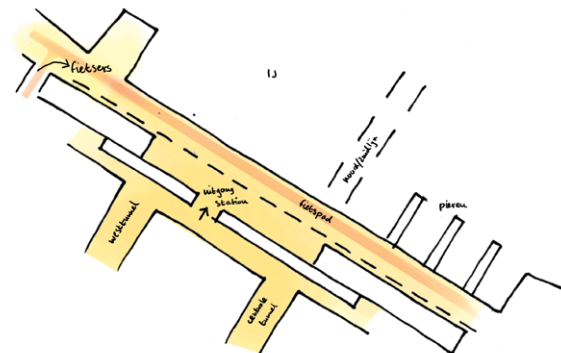
Terrassenplein op het Tolhuisterrein

10.4 De brug

Locatie

De living bridge blijft in dit ontwerp beperkt tot één oversteek, met daarlangs een aantal functies. Door het maken van slechts één sprong over het IJ wordt al het verkeer op deze as geconcentreerd. Dit betekent een drukke verkeersroute op elk moment van de dag. Het gebied rond het Centraal Station is altijd een kwetsbaar gebied geweest voor kleine criminaliteit. Stille hoekjes en onoverzichtelijke ruimte zouden de gevoeligheid voor drugscriminaliteit en kleine geweldsmisdrijven negatief beïnvloeden. Bovendien is een relatief kleine ingreep in de vaarweg voor de scheepvaart te verkiezen boven uitgebreidere bebouwing in het IJ.

De brug zal aansluiten op het Centraal Station. Het meeste voetgangersverkeer komt vanuit de westtunnel en de centrale tunnel het station uit. In de plannen voor de IJ-zijde van het station moeten voetgangers uit beide tunnels door één uitgang het station uit. Rechtdoor lopen vanuit de tunnels is niet mogelijk, door twee vides naar het onderliggende metrostation. Wanneer de brug op deze centrale uitgang aansluit, ontstaat een logische looproute direct de brug op.



Stationskade, nieuwe situatie zonder brug

De meeste fietsers vanuit het centrum komen meer westelijk onder de sporen door. Daarnaast zullen fietsers vanaf beide zijden van de boulevard de brug op gaan. Aansluiten op de fietstunnel is een mogelijkheid. Fietsers zullen echter gemakkelijker extra afstand tot de brug afleggen dan voetgangers. Wanneer bovendien het fietsverkeer van te voren op het busniveau gebracht wordt, is hiervoor een bepaalde afstand langs de kade voor nodig. Een aansluiting te veel naar het oosten zal problemen opleveren door de ligging van de Noord/Zuidlijn. Deze ligt onder de centrale tunnel.

Aan de noordoever kan de brug aansluiten op de strip, het Tolhuisterrein of de Sixhaven. De strip moet een centrumfunctie gaan vervullen op de noordoever. Directe aansluiting van de brug op de strip zou deze centrumfunctie versterken. De oostelijke noordoever en de achterliggende woonwijken profiteren dan echter minder van de brug.

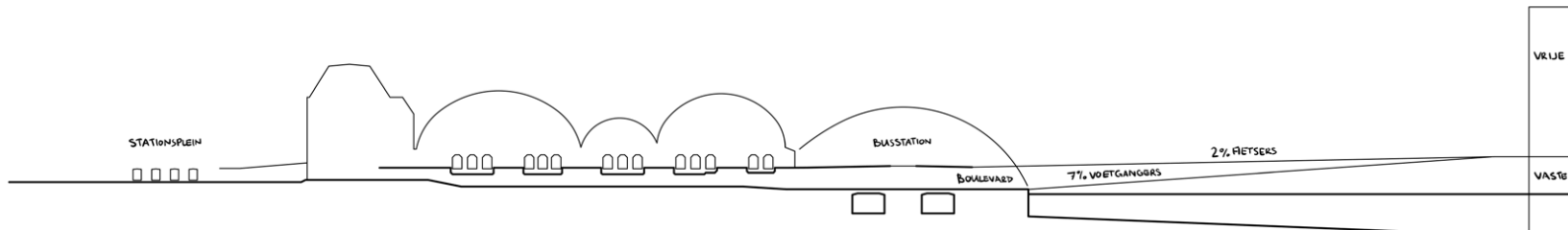
Zoals al eerder vermeld is het Tolhuisterrein de entree tot Noord. In dit gebied ligt een verkeersas die naar de achterliggende wijken voert. Het terrein is het eerst ontwikkelde gebied in Noord. Van hieruit is de stad verder noordwaarts gegroeid. Bovendien kan door toevoeging van een aantal kleine bruggen zowel het westelijke als het oostelijke deel van de noordoever gemakkelijk bereikt worden vanuit het Tolhuisterrein.

Aansluiten op de Sixhaven is met de opgestelde plannen minder gunstig. De brug sluit dan aan op woonwijken, die niet gebaat zijn bij grote hoeveelheden extra bezoekers, terwijl het gebied rond de strip juist wel behoefte heeft aan extra impulsen van buiten het gebied. Wanneer de brug op de Sixhaven aansluit worden bovendien de ontwikkelingsgebieden achter de strip minder goed ontsloten.

Een oversteek vanaf de centrale uitgang van het station naar het Tolhuisterrein lijkt hier het meest voor de hand liggend. Langs deze route is de oversteek bovendien het kortst.

Voetgangers

De voetganger betreedt de brug vanaf de stationskade. Van daaraf stijgt de route tot een vrije doorvaarthoogte van 9,10 meter is bereikt. Dit betekent ongeveer 9 tot 10 meter stijging voor het voetgangersverkeer. Het IJ is net breed genoeg om met één hoofdvaargeul de voetganger aan beide oevers weer op kadeniveau te brengen. Wanneer echter twee vaargeulen permanent met een doorvaarthoogte van 9,10 meter worden ingericht, zal de helling steiler worden. In dat geval zal aan één of beide zijden een deel van het hoogteverschil door middel van trappen of roltrappen overbrugd moeten worden.



Een hoogteverschil van 9 meter is een aanzienlijke mentale drempel. Een voetganger zal eerder geneigd zijn deze barrière te nemen wanneer de helling opgedeeld wordt in kleinere etappes. De functies op de brug kunnen fungeren als rustpunt op de route. Door de activiteiten onderweg deelt de voetganger zijn weg dan op in kortere stukken.

Op de noordoever komt de voetganger direct op de kade uit. Hij kan vanaf het plein aan deze kade kiezen om door te lopen naar het park of verder, of langs de kade aan één van beide zijden. De kade wordt voetgangersgebied, en dus niet toegankelijk voor fietsverkeer.

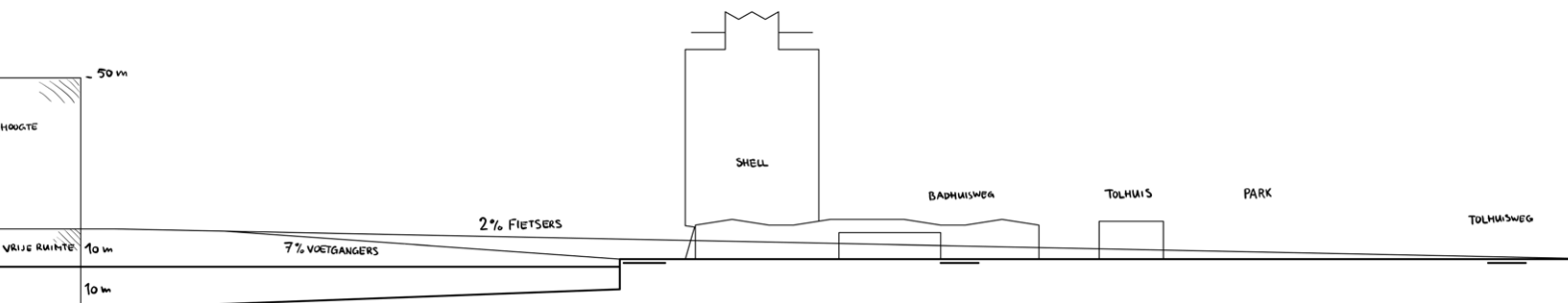
Fietsers

De maximale hellingen voor fietsverkeer zijn zijn minder steil. Daardoor is een langer traject nodig om op de benodigde hoogte te komen. Wanneer de fietser vanaf het busniveau start, bereikt hij ongeveer op dezelfde plek de benodigde hoogte voor doorvaart als de voetganger. Aan de noordoever moet de fietser echter tot kadeniveau dalen, en heeft daar aanzienlijk meer afstand voor nodig. Wanneer de helling aan één stuk wordt ontworpen, komt de fietser

ter hoogte van het einde van het Tolhuispark op maaiveld. Wanneer rustpunten (horizontale stukken in het fietspad) worden ingericht, wordt deze afstand verkort tot ongeveer het begin van het park.

Vanaf het punt dat de fietser weer op maaiveld is, kan een verbinding gemaakt worden met de aangrenzende zones. De fietser blijft daarbij op enige afstand van de oever, om de wandelzone te beschermen. Bovendien is beschutting tegen de wind voor fietsverkeer belangrijker dan voor voetgangers. Er zal aan beide oevers aandacht moeten worden besteed aan de veiligheid van de aansluitingen. Fietsers die van de brug komen kunnen een aanzienlijke snelheid opbouwen door de helling.

Autoverkeer wordt in principe niet op de brug toegelaten. Het gebied langs de noordoever kan daarom deels als autovrij gebied worden ingericht. Om het gebied toch bereikbaar te houden met de auto, wordt parkeergelegenheid geboden, bijvoorbeeld in een parkeergarage onder het Tolhuispark. Evenwijdig aan de oever ontstaan zo een voetgangerszone, een grens voor fietsverkeer en een grens voor autoverkeer.



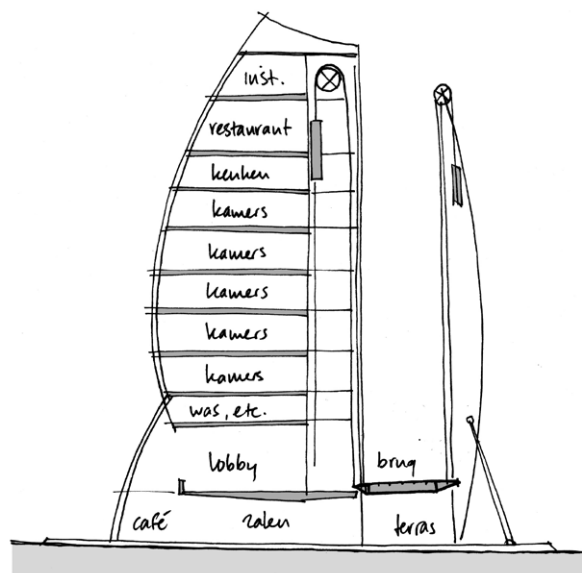
Funcities aan de brug

De functies onderweg zorgen voor levendigheid op de brug. Ze moeten daarom publiek trekken. Verkeer over de brug kan dan gebruik maken van de functies. Bezoekers van de functies op de brug hebben voordeel van de locatie op de brug door haar ligging. Niet alleen ligt de brug zeer centraal in Amsterdam, ze is ook uitstekend bereikbaar met het openbaar vervoer. En de ligging op of boven het water biedt extra mogelijkheden, zoals het uitzicht over de stad en de bereikbaarheid over water.

De drukke vaarroute levert echter ook beperkingen. Direct langs de hoofdvaargeul kunnen door het vervoer van gevaarlijke stoffen geen permanente verblijfsfuncties worden gesitueerd. Een minimale afstand van 25 meter tot de vaargeul levert een vergelijkbare veiligheidscontour als bij de Zeeburgerkeersluis. Het verbieden van vervoer van gevaarlijke stoffen op bepaalde delen van de dag is een andere mogelijkheid. Zo kan het vervoer beperkt worden tot de nacht. (zie hoofdstuk 7)

De brug zal plaats bieden aan zowel binnen- als buitenfuncties. De behuizing van de binnenfuncties zal tegelijk onderdeel zijn van het constructiesysteem van de brug. Om tot een geïntegreerd ontwerp te komen, zal de aard en de grootte van de binnenruimten dus afhangen van de vorm van de constructie. Dit betekent waarschijnlijk beperkte afmetingen van de ruimten, en eerder verticale schakeling van ruimten. Functies die daarin passen zijn bijvoorbeeld een hotel, museum, wonen of een kleiner theater.

De buitenfuncties kunnen nog directer profiteren van het grote aantal voorbijgangers en van het water. De landhoofden van de brug kunnen bijvoorbeeld ingericht worden als openluchttheater, horecaterras of jachthaven. Aanlegmogelijkheid biedt de functies op de brug extra klandizie. En met evenementen als SAIL biedt de brug een prachtig uitzicht.



Voorbeelddoorsnede over brug en pijler met hotelfunctie

Samenvatting ruimtelijk ontwerp

Vaargeulen

Totale breedte vaarweg:	300 m		
	<i>Breedte</i>	<i>Vaste door- vaarthoogte</i>	<i>Open door- vaarthoogte</i>
Pleziervaargeul	35 m	2,70 m	
Hoofdvaargeul	35 m	9,10 m	50 m
Tweede vaargeul	35 m	9,10 m	

Frequentie openen brug: max. 2 x per dag (zomer)

Brug

Brug wordt toegankelijk voor voetgangers en fietsers.

Autoverkeer wordt niet toegelaten, behalve een calamiteitervoertuig.

Voetgangers

Maximale helling	7 %
Breedte wandelpad	5 m per looprichting

Fietsers

Maximale helling	2 % (voor grotere hoogteverschillen)
Breedte fietspad	2 m per rijrichting

Gebouwen langs brug

Hoogte gebouwen	50 - 70 m
-----------------	-----------

11. Constructieve concepten

Hieronder worden voor een aantal brugtypologieën de mogelijkheden onderzocht voor het gebruik van de brug als living bridge. Daarvoor wordt de mogelijkheid bedoeld om de onderdelen van de brug te gebruiken voor andere functies dan alleen die van verbinder. Er wordt uitgegaan van de in het vorige hoofdstuk besproken conceptontwerp. Dat gaat uit van een enkelvoudige oversteek over het IJ, waarlangs in, op of boven het water de extra functies worden toegevoegd.

Kokerligger

De meest eenvoudige manier van overbruggen is de plank over de sloot. Bij grotere overspanningen komt dit principe neer op een zelfdragend brugdek. De brug bestaat alleen uit brugdek en de ondersteuning daarvan. Aangezien de overspanningen beperkt blijven, zal het aantal steunpunten groot worden.

Het brugdek kan bij korte overspanningen vrij eenvoudig gebruikt worden voor extra functies. Bebouwing met een of meerdere verdiepingen levert daarbij de mogelijkheid tot het vormen van een kokerligger. De verschillende vloeren werken daarbij constructief samen. Ook kan de brug zonder bebouwing gebruikt worden als openbare leefruimte met terrassen of parken.

Ook de steunpunten kunnen functies bevatten. Door de vrije doorvaarthoogte is ruimte nodig tussen water en brugdek. Hier kunnen eenvoudig functies met aanzienlijke hoogte geplaatst worden. De ligging direct aan het water biedt extra mogelijkheden voor aansluiting van de functies op een terras of jachthaven.

Wanneer de steunpunten bebouwd worden tot boven het brugdek, kunnen functies gestapeld worden tot torens. Hierbij heeft de extra hoogte echter geen directe constructieve functie voor de brug.

Vakwerkbrug

Grotere overspanningen kunnen worden behaald wanneer het onder- en bovenzijde van de koker verder uit elkaar gebracht worden. De twee gescheiden vlakken kunnen beide gebruikt worden als brugdek. Het is daarbij mogelijk om een van de twee in te richten als park, of als ander soort verblijfsruimte. De koker kan ook hier worden ingericht als binnenruimte. Dan ontstaat bijvoorbeeld een vergelijkbare situatie als bij de bruggebouwen over de Utrechtse Baan in Den Haag. Door de grotere afmetingen van de constructie neemt deze eerder een prominente rol aan in het uiterlijk van de brug.

Boogbrug

Bij de boogbrug worden de onder- en bovenstaven van de constructie nog verder uit elkaar gebracht. Bij een gelijkmatige belasting ligt het grootste buigend moment in het midden van de overspanning. Op dit punt liggen de beide staven het verst uit elkaar. Aan de opleggingen, waar de momenten naar nul naderen, komen de staven bij elkaar.

Echte boogwerking ontstaat wanneer de spatkrachten uit de boog worden opgevangen door de ondergrond. Om deze aanzienlijke krachten op te kunnen nemen, worden de oplegpunten vaak verzwaard. Door het aanbrengen van een extra verticale belasting vormt de horizontale spatkracht een kleiner deel van de totale kracht op de ondergrond, en kan deze eerder door wrijving opgenomen worden. De spatkracht kan ook opgenomen worden door een trekstang, die de beide uiteinden van de boog met elkaar verbindt. Vaak wordt deze trekstang uitgevoerd als brugdek.

De bovenstaaf van de boogbrug is op zichzelf minder geschikt om extra functies te herbergen. Door de kromming is de boog lastig in te richten als bruikbaar oppervlak. De grote hoogte van de boog biedt wel mogelijkheden voor een wandelroute. Doordat de boog geleidelijk van het niveau van het brugdek stijgt tot de maximale hoogte, volgt de wandelaar een aaneengesloten pad naar het hoogste punt. Vanaf de top van de boog kijkt men uit over de hele stad.

Bij een niet constructief doorlopend brugdek is extra verzwaring nodig van de oplegpunten. Plaatsing van extra functies op deze punten levert verticale belasting op. De toegevoegde functies houden dan de boog op zijn plaats. Ook hier kan het brugdek weer uitgevoerd worden als verblijfsruimte.

Hangbrug

Een hangbrug bestaat uit een hoofdkabel, waaraan via verticale secundaire kabels het brugdek is opgehangen. De hoofdkabel dient hooggelegen ophangpunten te hebben, om de verticale belastingen te kunnen opnemen.

De hangbrug is slecht bestemd tegen lokale belastingen. Slechts wanneer het brugdek enige stijfheid heeft, kan een ongelijkmatig verdeelde belasting opgenomen worden. Bij de beperkte overspanning van het IJ betekent dit echter dat het brugdek zo stijf wordt dat de constructieve bijdrage van de hangkabels vrij beperkt blijft. Het brugdek kan dus wel als verblijfsruimte worden ingericht, maar de toevoegingen moeten daarbij beperkt blijven. De hangbrug is daarbij ook gevoelig voor trillingen.

De hoge ophanging van de kabels biedt wel mogelijkheden voor het onderbrengen van functies in de pylonen. Dit kan zelfs zo ver gaan dat de brug wordt gezien als twee gebouwen met een kabel ertussen.

Tuibrug

Bij de tuibrug hangt het brugdek aan kabels die direct opgehangen zijn aan een pyloon. Hierbij gelden grofweg dezelfde beperkingen als bij de boogbrug. Wel is een tuibrug minder gevoelig voor trillingen.

De pyloon kan constructief wel een grotere rol krijgen dan alleen maar verticale krachtsafdracht. Wanneer de tuien op verschillende hoogten aan de pyloon worden bevestigd, zullen buigende momenten in de pyloon ontstaan.

Beweegbare bruggen

Bij beweegbare bruggen is de manier van opengaan vaak leidend principe voor de constructie. Daarom wordt hieronder een aantal typen beweegbare bruggen onderzocht.

Ophaalbrug

De ophaalbrug is een brug die door middel van een of meer kabels omhooggetrokken wordt. Daarbij blijft een zijde van het brugdek op haar plaats, en scharniert het dek om dit punt omhoog. Het dek van de ophaalbrug kantelt. Daardoor is het plaatsen van functies op het dek slechts beperkt mogelijk. De kabel moet echter omhooggetrokken worden. Daarvoor is een constructie op enige hoogte boven het brugdek nodig. Hier zijn dus weer mogelijkheden voor het stapelen van functies in een pyloon.

De ophaalbrug heeft meestal een beperkte overbruggingslengte. Grotere overspanningen zijn echter wel mogelijk, met de voorwaarde dat de pyloon een grotere hoogte krijgt. Dit betekent dus weer meer mogelijkheden tot plaatsing van functies.

Basculbrug

Het dek van de basculbrug kantelt ook, maar wordt in evenwicht gehouden door een contragewicht achter het draaipunt. Meestal zijn brugdek en contragewicht samen een constructieonderdeel. Bij de meeste basculbruggen ligt het contragewicht onder het niveau van het brugdek, vaak verscholen in een basculekelder. De basculbrug heeft dus geen pylonen. De basculekelder kan echter wel gebruikt worden om functies in te plaatsen. Er is vaak een grote kelder nodig om het contragewicht kwijt te kunnen. Door slimme configuratie van de kelder kan een groot deel van de ruimte gebruikt worden voor binnenfuncties.

Draaibrug

De draaibrug bestaat uit weinig meer dan een brugdek en een draaipunt. Het brugdek blijft bij opengaan echter horizontaal, en kan dus gebruikt blijven worden voor allerlei functies. Er moet daarbij wel rekening gehouden worden met trillingen en versnellingen bij opengaan. Het brugdek vormt in geopende stand een goed uitzichtpunt op de passerende schepen. De overspanningen van draaibruggen zijn beperkt, zeker wanneer er extra functies op de brug geplaatst worden. Dan moet ook in de geopende situatie, en tijdens het draaien, elke belastingsituatie opgenomen kunnen worden. Aangezien de brug tijdens openen uitkraagt vanuit het draaipunt, is een relatief zware constructie nodig.

Hefbrug

De hefbrug biedt verschillende mogelijkheden tot het plaatsen van functies. Het brugdek blijft horizontaal, en blijft aan beide zijden ondersteund. Dit betekent dat vrij eenvoudig functies kunnen worden toegevoegd aan het dek. Doordat het dek zich omhoog verplaatst bij het openen, biedt het de bezoeker uitzicht over de stad. Hierdoor wordt het wachten minder storend. Extra functies kunnen dit nog versterken.

De heftorens kunnen ook benut worden voor extra functies. Een voordeel van de hefbrug is dat hij de voetganger in geopende stand nog steeds de mogelijkheid biedt om over te steken. Ook wanneer de brug langere tijd open staat, blijft de verbinding dus in stand.

Rolbrug

De rol- of schuifbrug trekt zijn dek in bij opengaan. Het te openen deel van het dek verplaatst daarbij naar de oeverzijde, om zo een opening voor de scheepvaart te creëren. Ook hier blijft het brugdek min of meer horizontaal. Functies op het dek zouden dus ook bij open stand benut kunnen worden.

De constructie van de rolbrug kraagt over de hele overspanning uit tijdens het openen. In gesloten stand kan de brug rusten op het tegenoverliggende landhoofd, en bij geheel geopende stand kan de brug over de gehele lengte ondersteund worden. Maar tijdens openen en sluiten is de krachtverdeling vrij oneconomisch. Dit legt beperkingen op aan de functies.

Beweging in andere brugtypen

De living bridge zal doorgang moeten bieden aan cruiseschepen en zeilschepen. Hieronder wordt naast de bestaande typen beweegbare bruggen een aantal andere mogelijkheden tot opengaan onderzocht. Daarvoor worden de normale brugtypen nogmaals bekeken.

Hangbrug

Wanneer de hangkabel van de hangbrug wordt aangetrokken, en het brugdek daarbij enige bewegingsvrijheid krijgt, zal de brug omhoogkomen. Een brug in deze vorm is uitgevoerd in een voetgangersbrug in Duisburg. Hierbij kantelen de pylonen naar buiten, waardoor de brug omhoog komt. Wanneer dit principe opgeschaald wordt naar de Amsterdamse situatie, ontstaan echter problemen.

De stijfheid van het brugdek dient niet te groot te zijn, aangezien de brug anders niet geopend kan worden. Maar door de grotere overspanning is een grotere stijfheid nodig in de gebruikssituatie. Er zal dus een oplossing gevonden moeten worden waarbij de stijfheid van de brug tijdelijk verminderd kan worden. De brug is dan in geopende stand niet open voor publiek.

Tuibrug

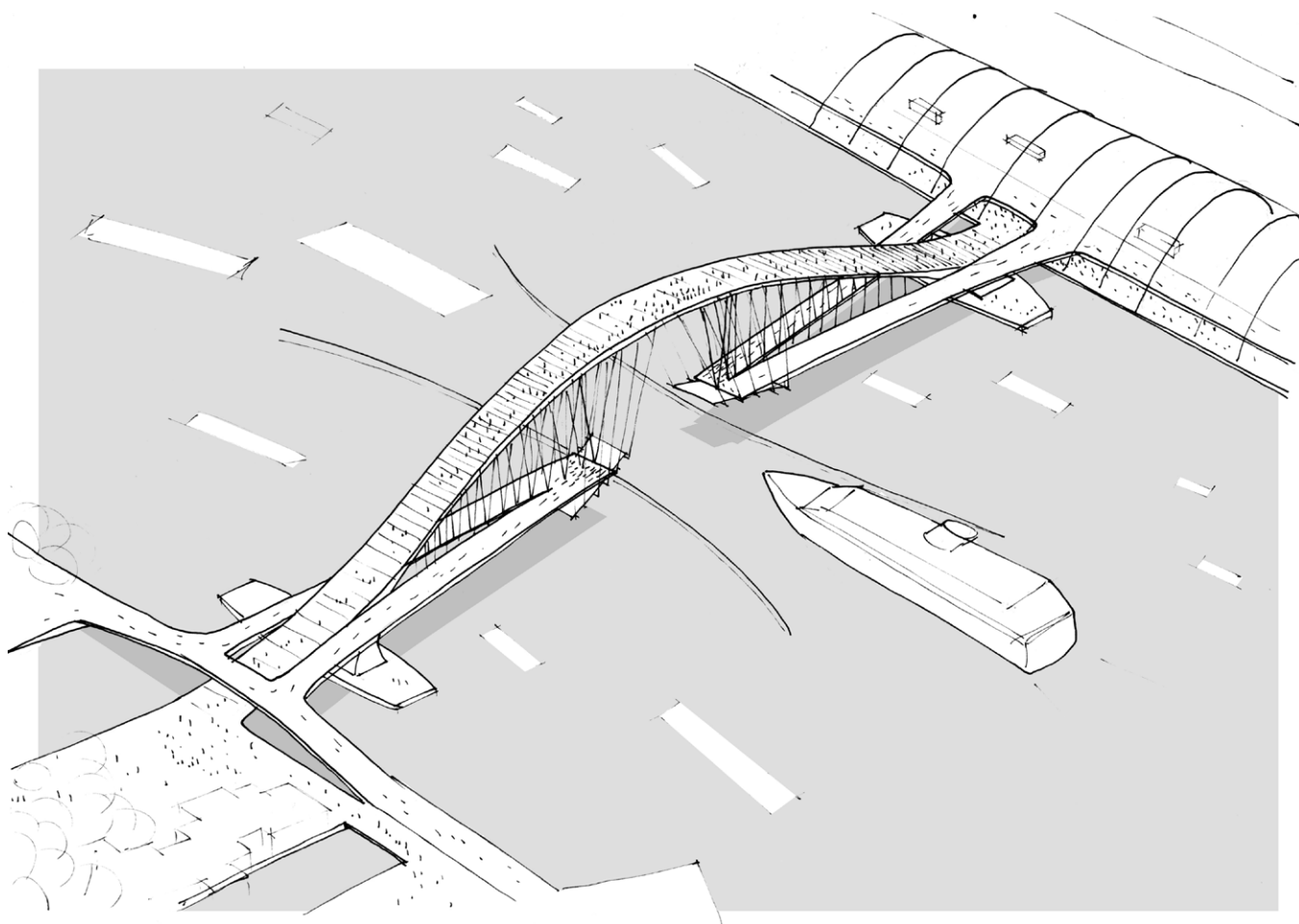
Het omhoogbrengen van het brugdek is in het geval van de tuibrug gecompliceerder, omdat alle tuien afzonderlijk aangestuurd moeten worden. De tuibrug kan echter relatief eenvoudig ingericht worden als draaibrug. Het brugdek en de tuien zwenken dan om de pyloon opzij. Daarbij kan het brugdek op dezelfde hoogte blijven.

Boogbrug

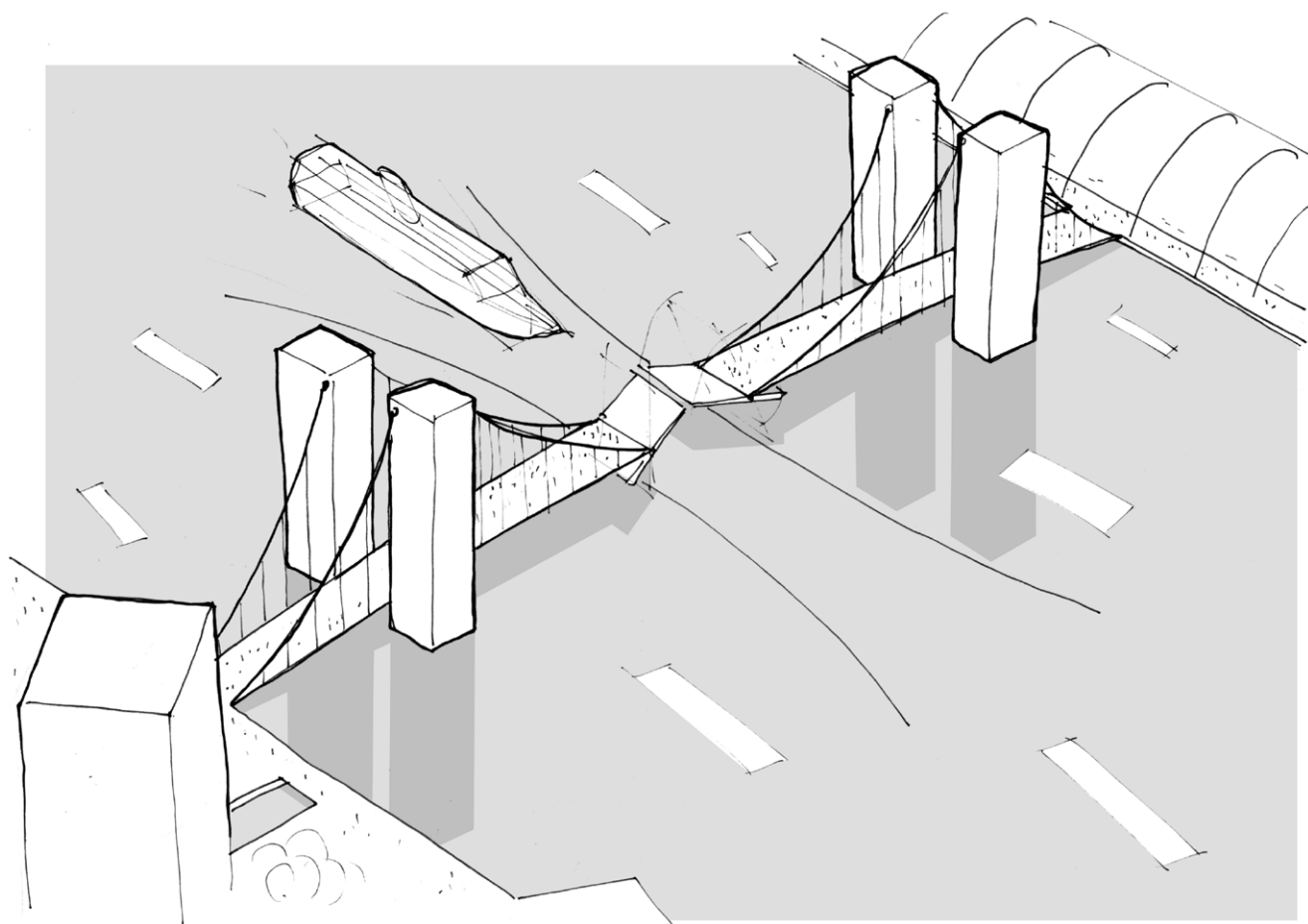
Wanneer de boogbrug haar spatkrachten afdraagt naar de ondergrond, speelt het brugdek geen rol meer als trekband. Dan kan het dek onderbroken worden. Deze situatie levert echter een constructief onlogische oplossing.

Opkrulbrug

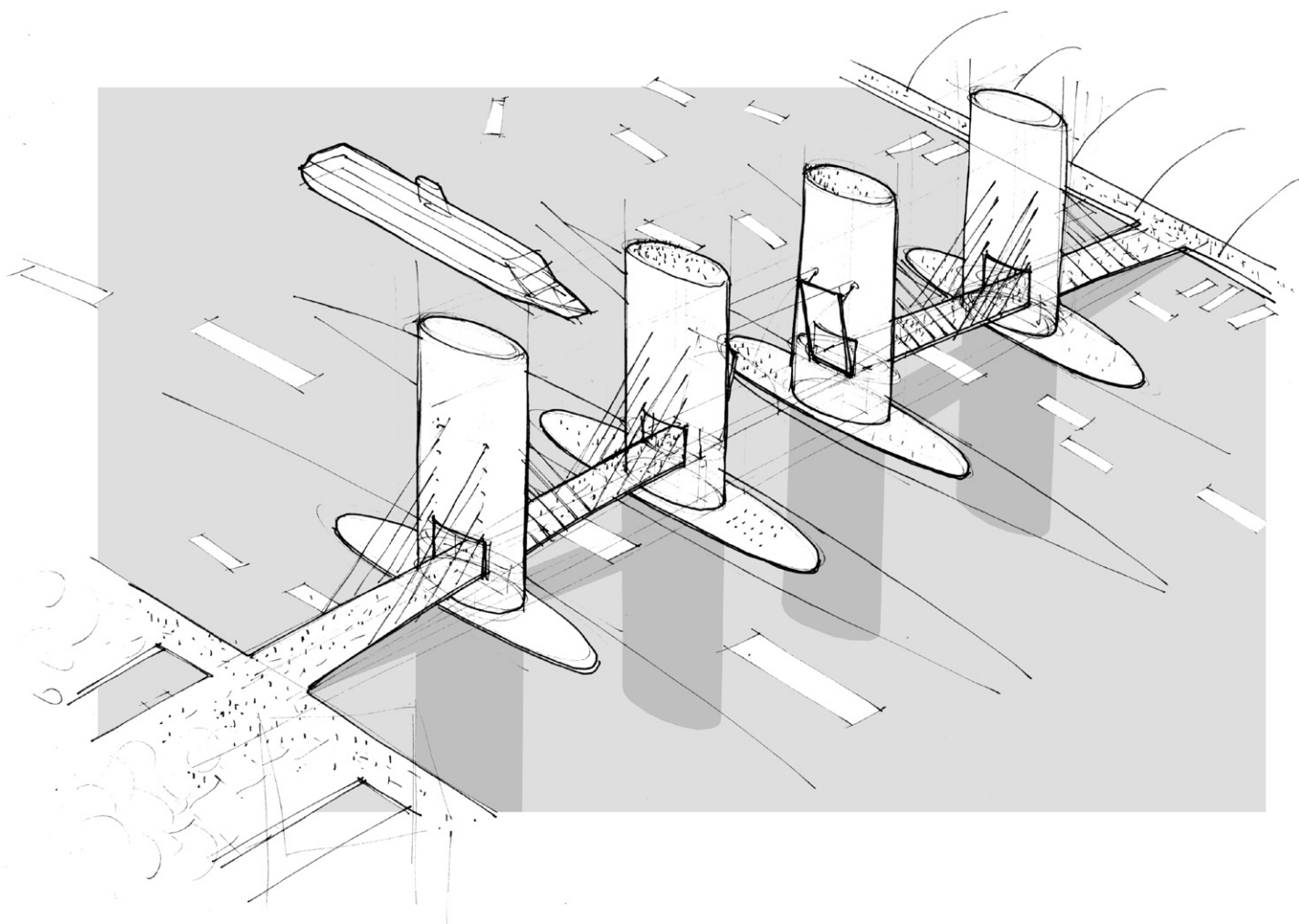
Wanneer het idee van de hefbrug wordt uitgebreid ontstaat de opkrulbrug. Daarbij blijven de twee uiteinden van het brugdek op hun oorspronkelijke niveau. Het midden van de brug komt volledig omhoog, en het dek verloopt in geopende stand geleidelijk van maaiveld tot de hoogste stand. Zo blijft de mogelijkheid bestaan om het water over te steken. Ook hier geldt echter dat een manier gevonden zal moeten worden om het brugdek stijf genoeg te houden, en tegelijk beweeglijk genoeg om het openen toe te staan.



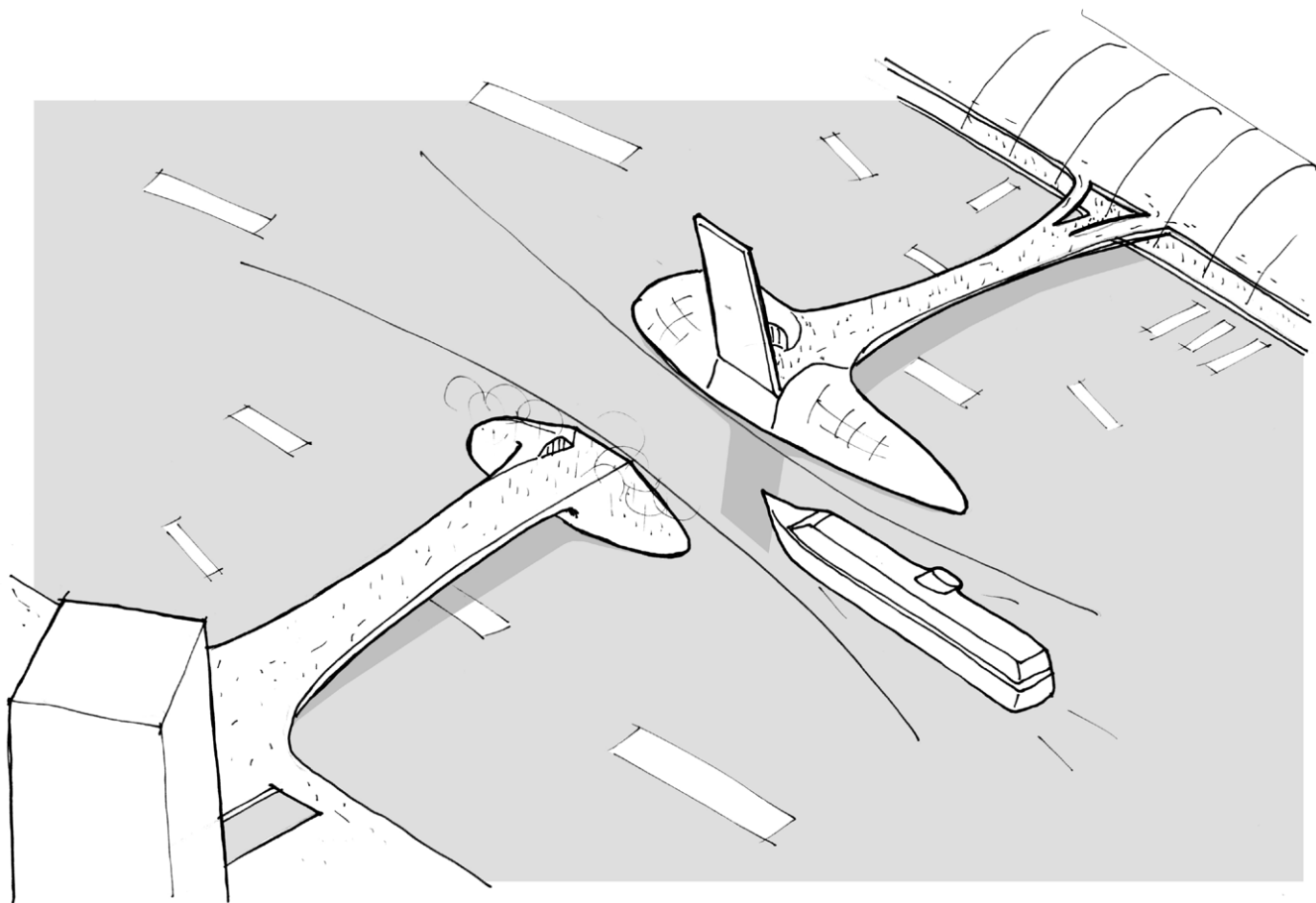
Boogbrug



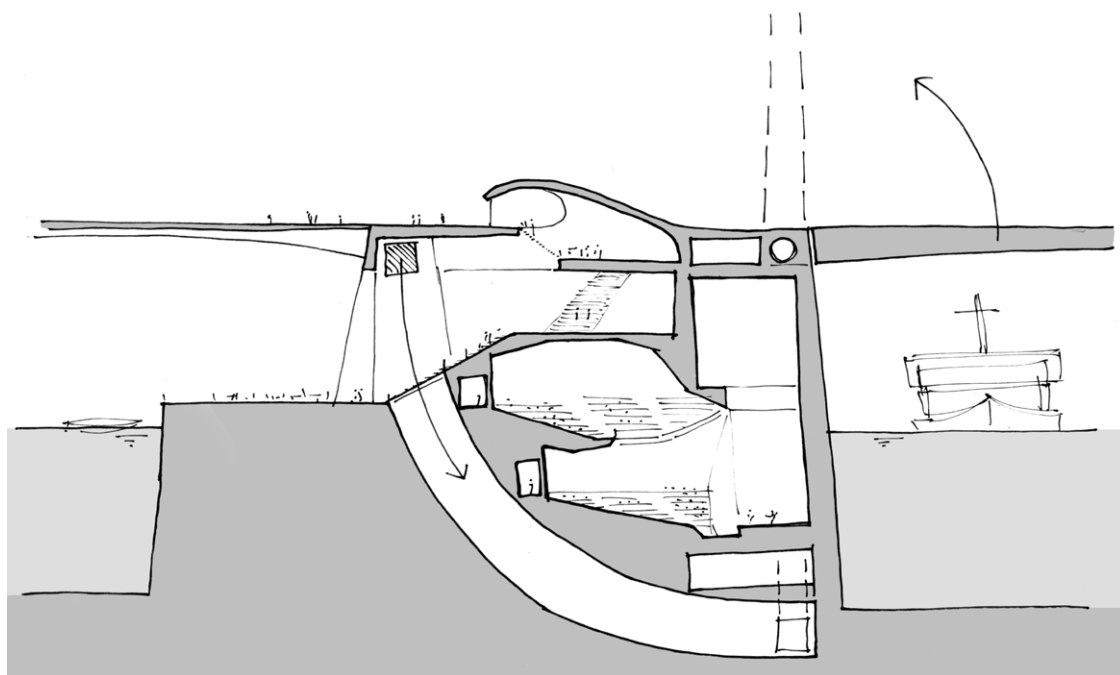
Hangbrug



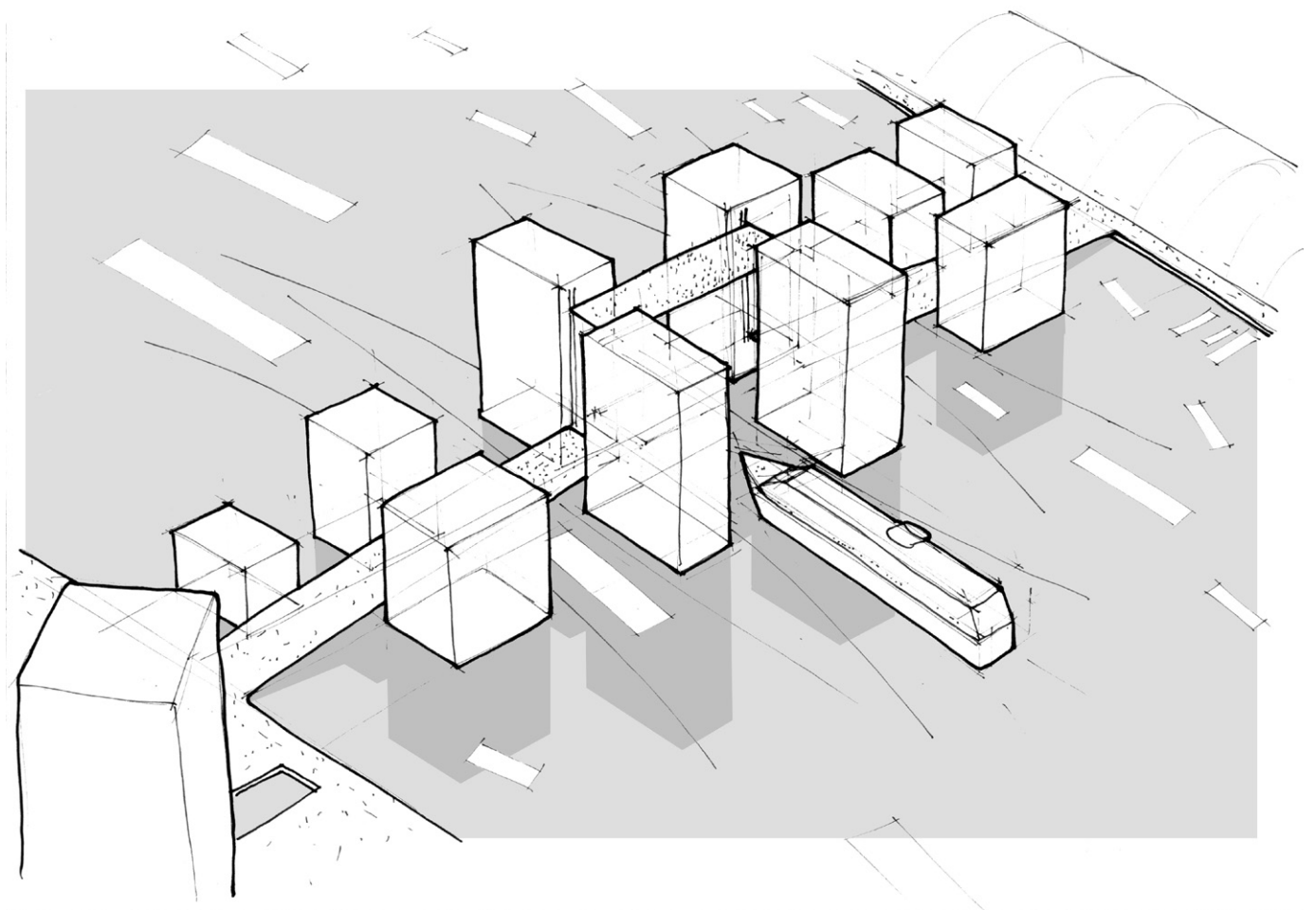
Tuibrug



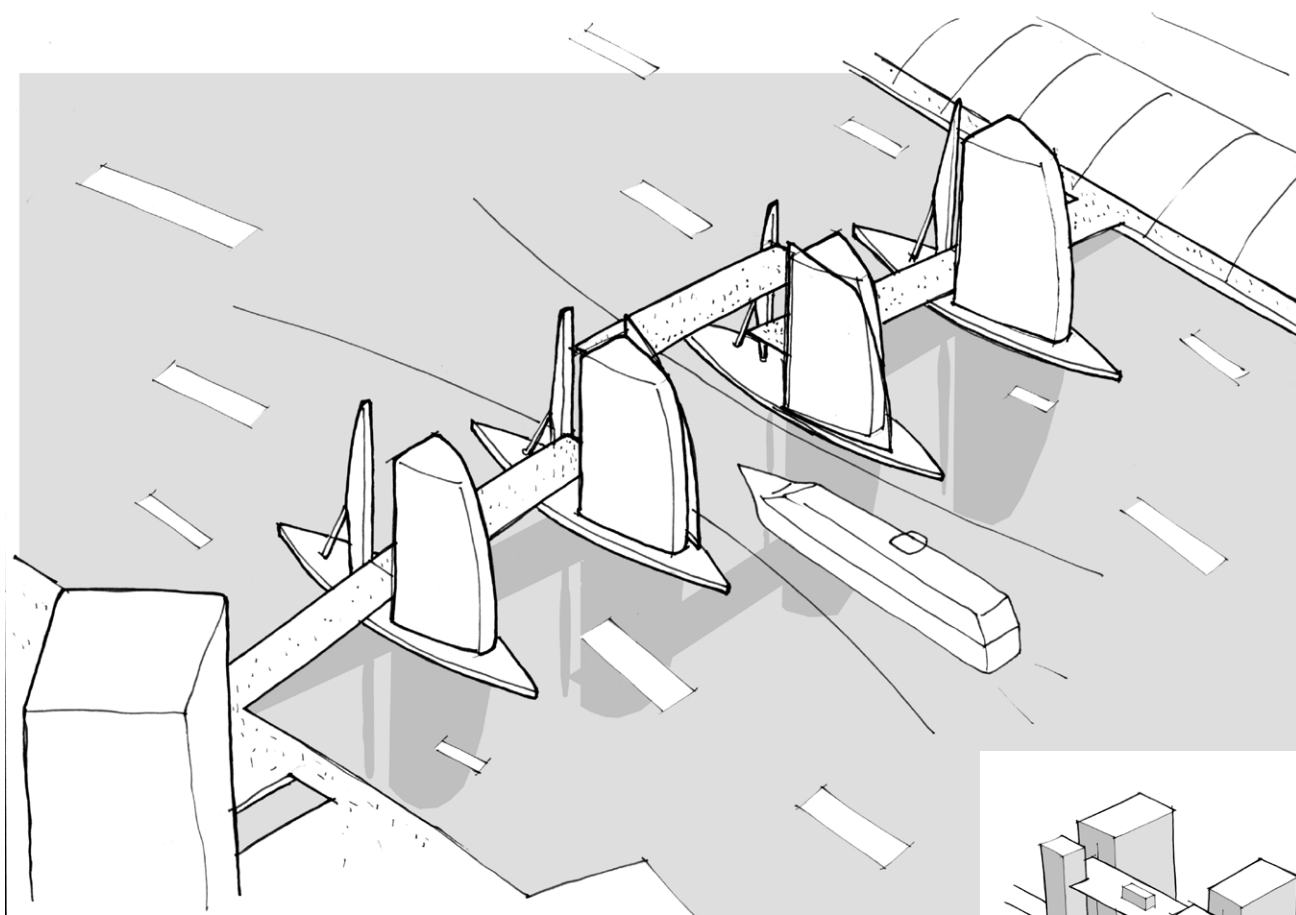
Basculebrug



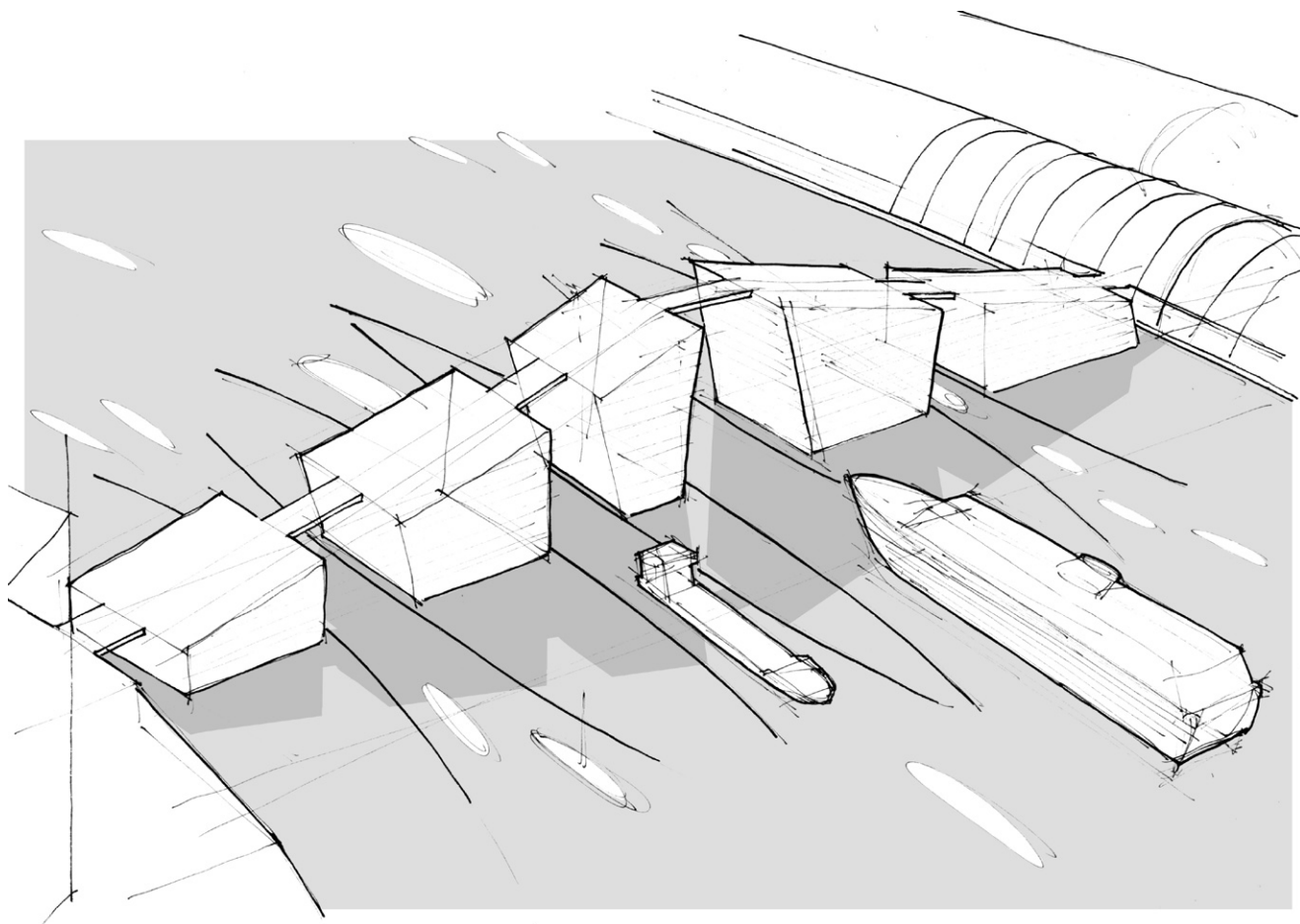
Doorsnede basculekelder met theater



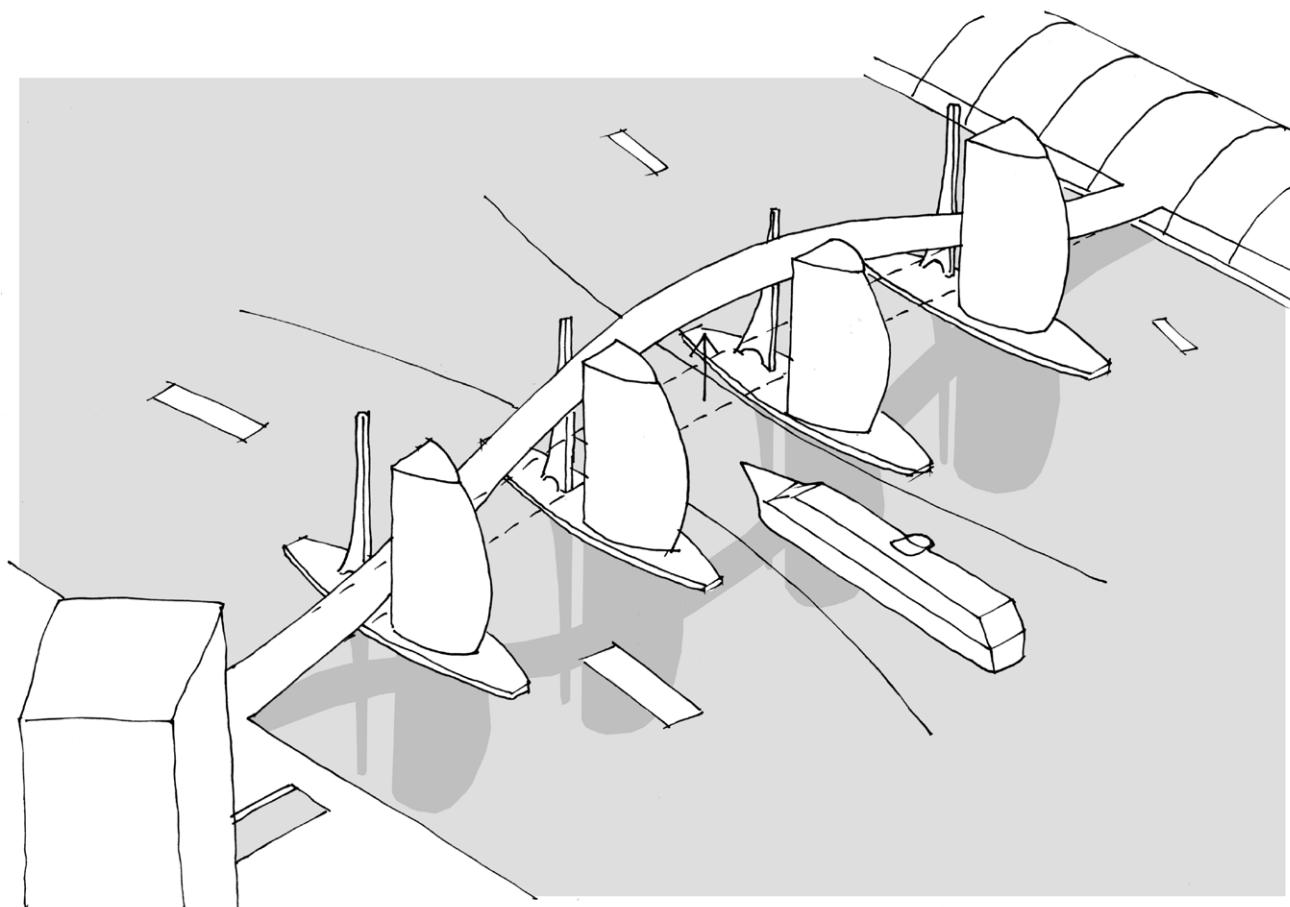
Hefbrug, functies aan beide zijden



Hefbrug, functies aan een zijde



Vaste brug



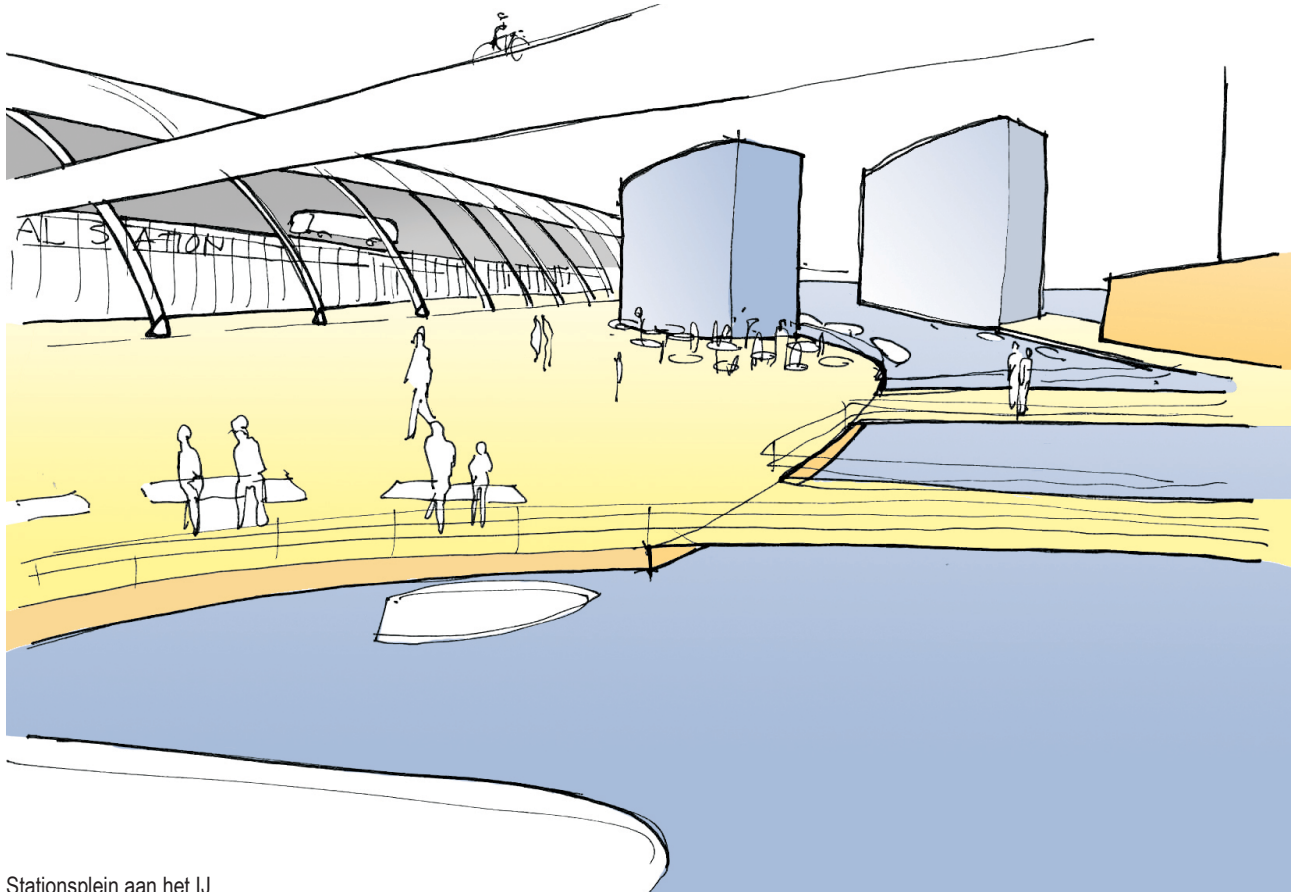
Opkrulbrug

12. Masterplan

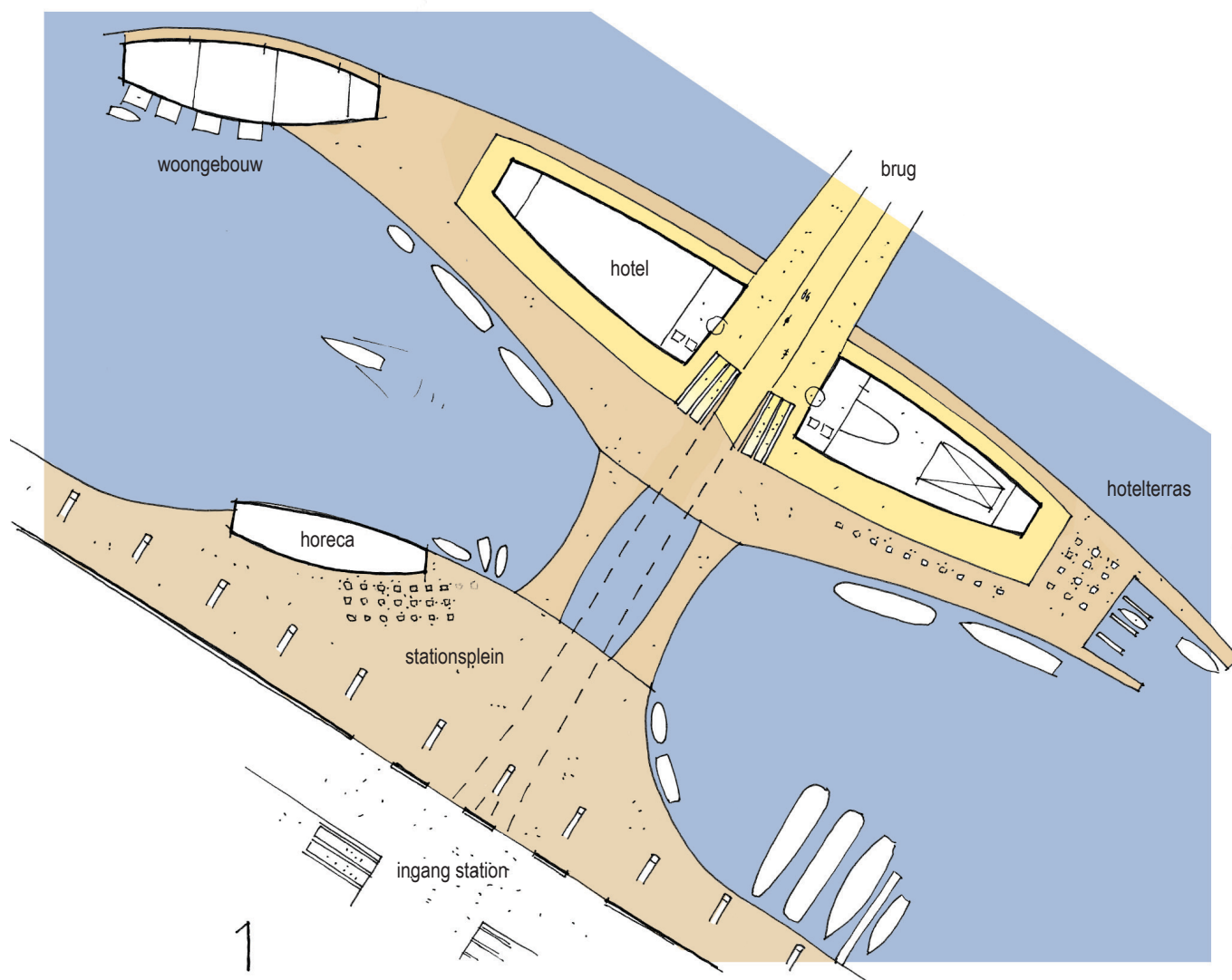
In dit hoofdstuk wordt het uitgewerkte plan besproken voor de living bridge en het gebied op de aansluitende oevers. Op de volgende pagina's wordt een overzicht getoond van het masterplan. Vervolgens wordt voor elk plandeel een beknopte beschrijving gegeven van de functies en het karakter van het gebied.

12.1 STATIONSPLEIN

Waar het huidige station aan de achterzijde niet aansluit op een duidelijk verblijfsgebied, zal met de komst van het nieuwe busstation een aantrekkelijkere IJ-kade ontstaan. De brug sluit aan op deze kade, die plaatselijk verbreed wordt. Daardoor ontstaat een bescheiden plein rond de

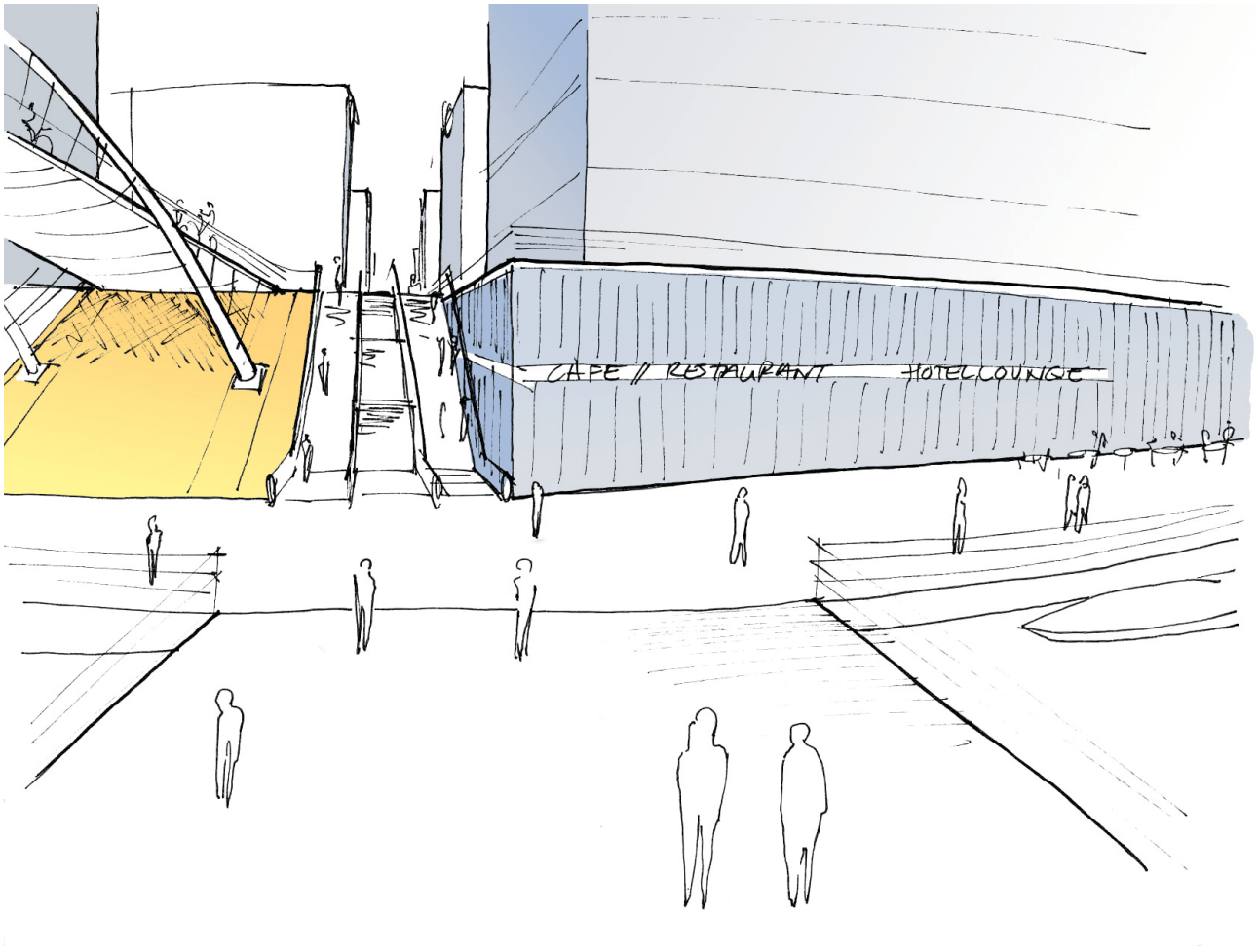


Stationsplein aan het IJ

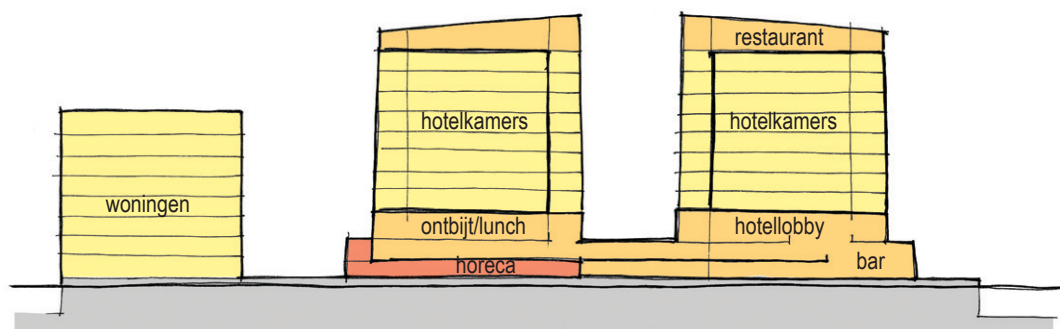


1

Stationsplein en eerste eiland



Entree van de looproute over de brug



Doorsnede eerste eiland

uitgang van het station, hieronder aangeduid met de naam stationsplein. Een horecagebouw sluit het plein aan de noordzijde af, waardoor terrassen beschut liggen, maar toch binding hebben met het water.

Fietsers vanuit het centrum worden over een hellingbaan langs de stationsgevel naar het busniveau gebracht. Boven de ingang van het station worden de fietsers over een eigen brug naar het eerste eiland gebracht. Doorgaand fietsverkeer hoeft daardoor niet over het plein geleid te worden. Bovendien krijgt de fietser zo een langere aanloop om het hoogteverschil te overwinnen.

Autoverkeer wordt geweerd over de gehele boulevard. Voor het hotel is echter beperkte toegang van autoverkeer nodig.

Aan de stationskade liggen aanlegsteigers voor grotere schepen, zoals de bruine vloot. Vanaf het plein kijkt men uit over de schepen.

12.2 EERSTE EILAND

De living bridge voert over vier eilanden. De eilanden bevatten de extra functies die de brug tot living bridge maken. Bovendien wordt de oversteek door de eilanden opgedeeld in een aantal etappes, en daarmee ook de barrière om de oversteek te maken. Elk eiland bestaat uit een kade, een plint en een opbouw. De kade en de plint bevatten

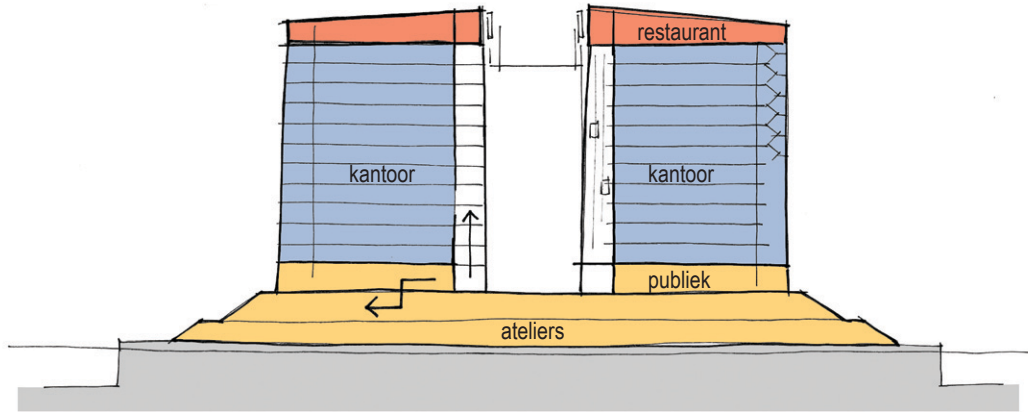
(semi-) openbare functies zoals horeca. In de opbouwen bevinden zich woon- en werkfuncties.

Het eerste eiland vanaf het station is een voortzetting van het stationsplein. Op de kade van dit eiland liggen terrassen, die gefaciliteerd worden vanuit de plint. Het noordelijke deel van de plint bevat zelfstandige horeca. Het zuidelijke deel is onderdeel van het hotel, dat verder de twee torens van de opbouw in beslag neemt.

Aan de noordelijke kop van het eerste eiland ligt een woongebouw dat eenzelfde beschuttende werking heeft als het horecagebouw op het stationsplein. Het stuk eiland tussen de hoofdbebouwung en dit gebouw kan worden gebruikt als speelplein of collectief terras voor de aangrenzende woningen.

De woningen op het onderste niveau hebben een eigen aanlegsteiger voor kleine bootjes. Langs de beide lange zijden van het eerste eiland kunnen verder kleine tot middelgrote plezierboten aanleggen. De zuidelijke kop van het eiland is een miniatuurhaventje, voor gasten van het hotel en de terrassen op de kop.

Doorgaand voetgangerverkeer wordt met een serie roltrappen naar plintniveau gevoerd, om vanaf daar de oversteek te maken naar het tweede eiland. Fietsverkeer vanaf het station sluit vanaf de eigen brug aan op dit plintniveau, en gaat vervolgens over de tweede brug verder. Deze tweede brug is dus een gemengde voet- en fietsbrug.



Doorsnede tweede en derde eiland

12.3 TWEEDE EILAND

De brug sluit op het tweede eiland eveneens op plintniveau aan. In deze plint ligt horeca en is ruimte voor ateliers en andere expositieruimten.

Het gebied op de plint is openbaar, en kan bijvoorbeeld gebruikt worden als uitzichtplatform. Op de eerste laag van de opbouw bevinden zich de entrees van de bovenliggende kantoren, en er is verder nog ruimte voor een kleinere publieke functie.

De strook voor doorgaand verkeer verbreedt zich ter plaatse van het eiland door middel van twee nissen in de opbouwen. De verbreding zet zich voort op het volgende brugdeel, de hefbrug. Deze extra zones vormen een uitzichtplatform voor wanneer de brug geheven wordt. Bovendien ligt het hefdeel halverwege de route over het IJ. Mensen kunnen hier pauzeren om bijvoorbeeld even uit te rusten.

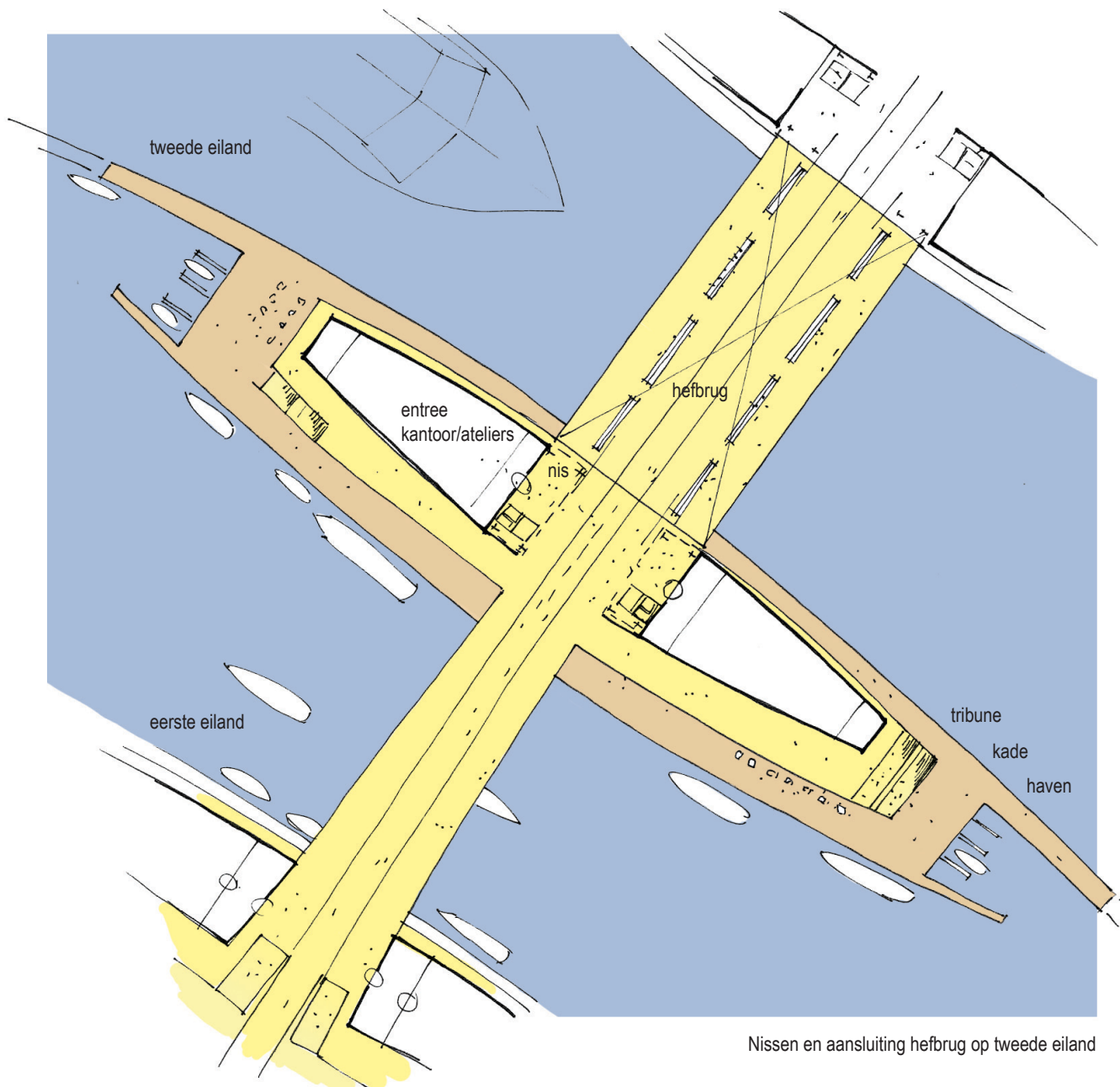
In geheven stand is de brug bereikbaar via een aantal liften in de nissen tussen de twee opbouwen. Deze liften kunnen geschikt gemaakt worden voor fietsen, zodat mensen met haast niet hoeven te wachten tot de brug weer gezakt is. Met de liften is de bovenste verdieping van de opbouwen bereikbaar, waar een restaurant met dakterras ligt.

De ruimte in de nissen biedt bovendien plaats aan de contragewichten van de hefbrug.

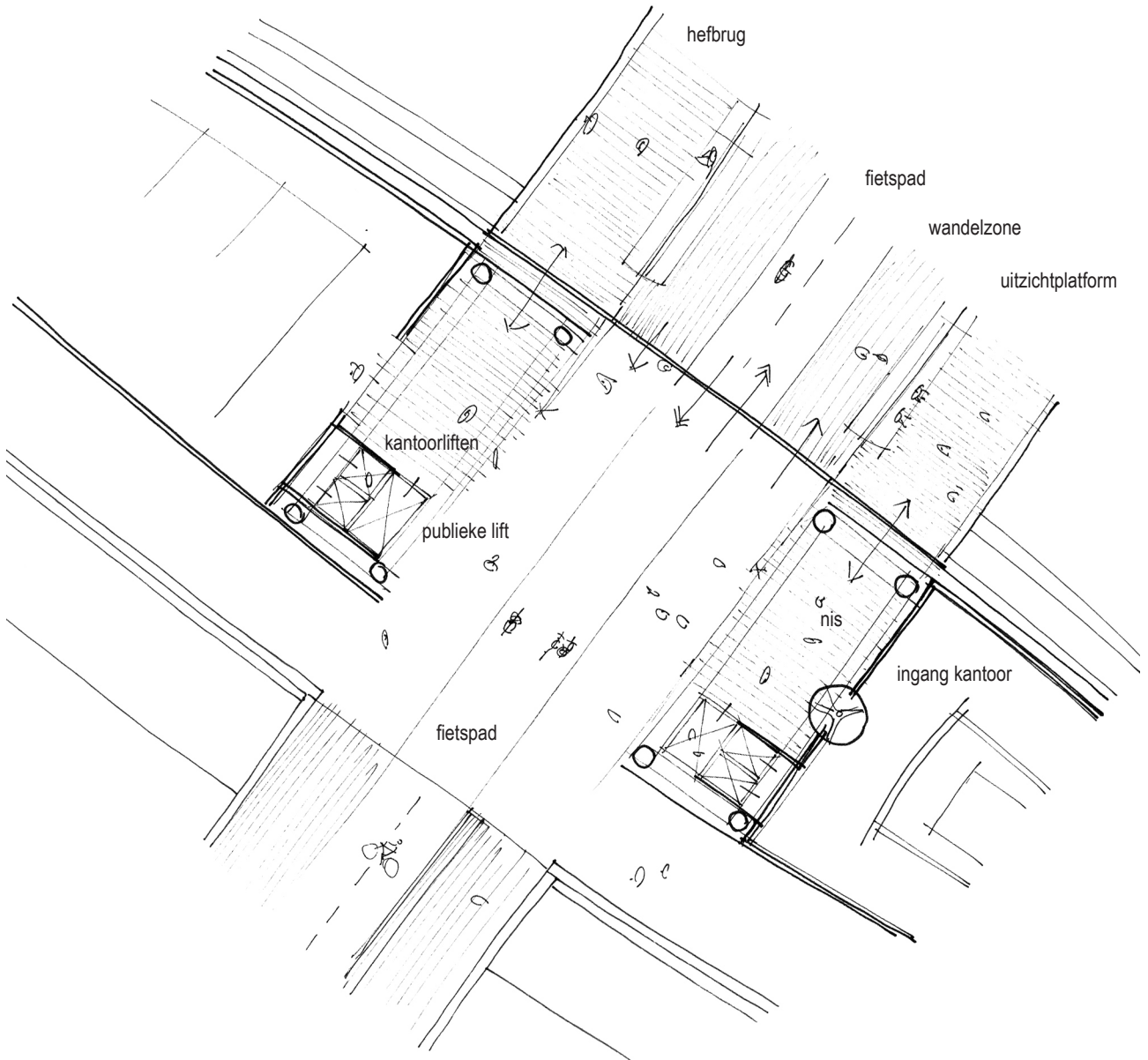
Het tweede eiland grenst aan de zuidwestzijde aan de vaargeul voor pleziervaart. Langs deze kade is mogelijkheid voor aanmeren. De andere kade grenst aan de hoofdvaargeul, en onder deze beloopbare kadestrook ligt de aanvaarbeveiliging voor cruiseschepen. Aan beide koppen van het eiland ligt weer een klein beschut haventje. Vanaf de koppen klimt een trap tot aan het plintniveau. Deze trappen zijn openbare ruimten, als een soort stedelijke tribune.

12.4 DERDE EILAND

Het derde eiland is vergelijkbaar met het tweede eiland. Het grootste verschil is dat aan beide zijden van het derde eiland beroepsvaart langs kan komen (Afhankelijk van de configuratie van de vaargeulen). Bij het tweede eiland is dat slechts aan een zijde. De veiligheidseisen zijn dan ook anders voor beide eilanden. Bij het derde eiland kunnen beide gevels worden blootgesteld aan een eventuele gasexplosie. Bovendien is dit eiland minder gemakkelijk bereikbaar voor pleziervaart. Beide lange kades zijn ongeschikt voor aanmerende plezierboten, vanwege de geringe ruimte tussen kade en vaargeul. Aan beide koppen is aanmeren echter wel mogelijk, in de twee beschutte haventjes. Boten moeten om hier te komen wel een van de twee vaargeulen oversteken.



Nissen en aansluiting hefbrug op tweede eiland



Nissen en aansluiting hefbrug op tweede eiland

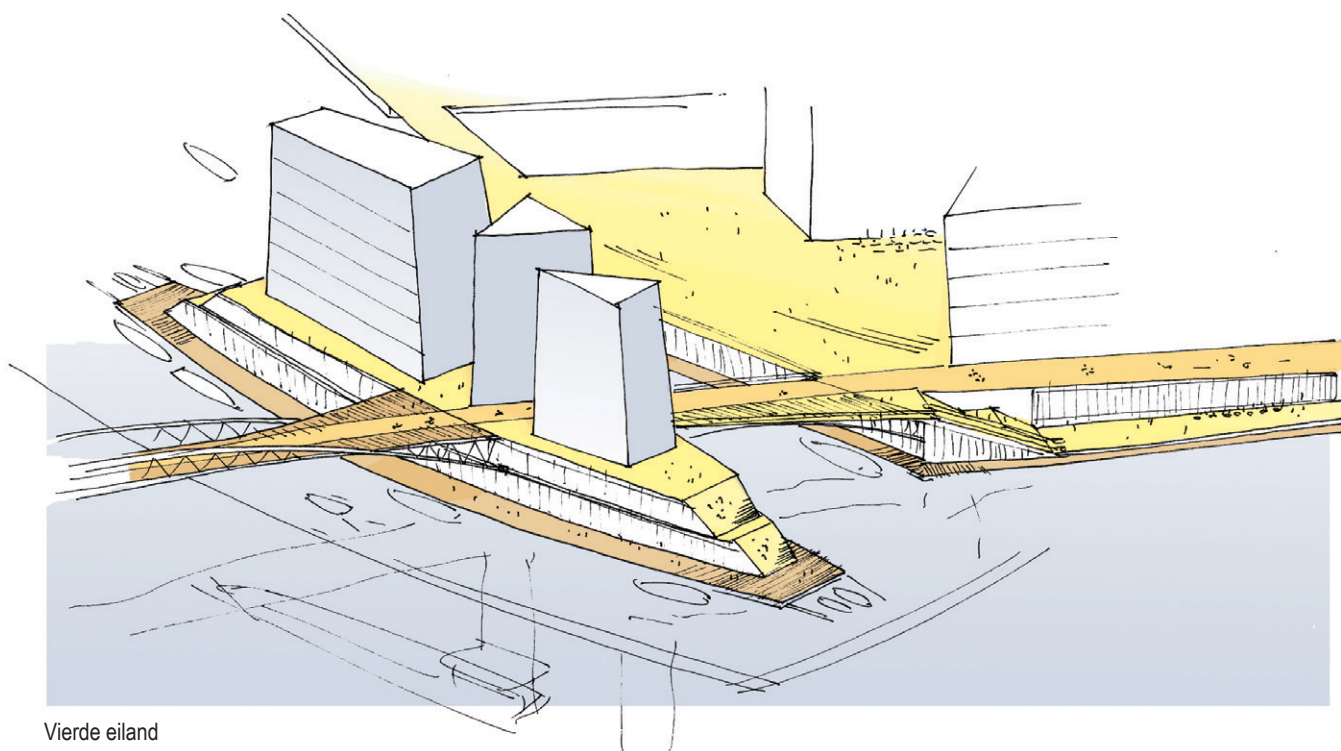
De plint van dit derde eiland is dus minder geschikt voor publieke functies die van het water te bereiken zijn. Functies die gerelateerd zijn aan de kantoren op de eilanden kunnen hier wel goed geplaatst worden. Gedacht kan worden aan sport- en fitnessruimten en een kinderdagverblijf. In dit laatste geval zal wel een uitvoeriger studie gedaan moeten worden naar de exacte configuratie van de risicocontouren.

Tussen het derde en vierde eiland ligt weer een vast brugdeel. Hier heeft de brug een vaste doorvaarthoogte van minimaal 9,10 meter, de rijnvaarthoogte. De brug is wat langer dan de overige sprongen, om een extra veiligheidszone van 25 meter tot de bebouwing van het vierde eiland te waarborgen.

12.5 VIERDE EILAND

Het laatste eiland in de oversteek ligt net buiten de 25-meter-zone, en kan dus zonder problemen woonfuncties bevatten. Dit eiland is daarom het minst publieke eiland, met woningen in de plint en in de noordelijke opbouw. De zuidelijke opbouw bevat een kantoor van de havenautoriteit.

De looproute splitst zich op dit eiland in twee gescheiden routes. Eventueel kan tussen de twee routes een derde opbouw worden geplaatst. Dit gebouw, dat als centraal element in de zichtlijn al vanaf het centraal station zichtbaar is, kan een representatieve functie krijgen, maar ook een commerciële.



Vierde eiland



Vierde eiland en Tolhuisplein

Fietsers kunnen via de oostelijke tak geleidelijk afdalen tot straatniveau. Tussen dit eiland en de noordoever ligt een laatste vaargeul, bestemd voor kleine, niet doorgaande pleziervaart. Bewoners van het vierde eiland kunnen langs de kade rondom het eiland aanmeren. Ook kunnen eventueel enkele woonboten aan noordzijde van het eiland liggen.

12.6 TOLHUISPLEIN

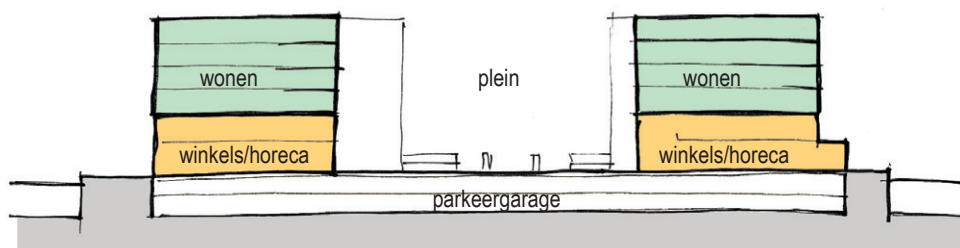
De brug sluit op de noordoever aan op het Tolhuisplein. Doorgaand fietsverkeer kan langs de oostzijde van het 'schiereiland' geleidelijk afdalen naar straatniveau, dat ter plaatse van de oostpunt van het Tolhuispark bereikt wordt. Voetgangers kunnen in twee richtingen van de brug afkomen. De voetgangersroute naast het fietspad daalt bij aankomst op de noordoever gelijk af tot kadeniveau. Langs het water is een wandelstrook.

Onder het fietspad ligt een gevelstrook van het achterliggende bouwblok. Hier kunnen ingangen van winkels geplaatst worden, of terrassen. De twee grote bouwblokken op de kop van het schiereiland definiëren het plein, samen met de brede trap die vanaf de brug tot het plein afdaal. Boven een (dubbele) laag winkels en horeca bevatten de bouwblokken vier tot vijf lagen woningen. De winkels worden bevoorradt vanuit de kelder onder het plein. Hier is ook parkeerruimte voor bewoners.

12.7 TOLHUISPARK

De vierde pleinzijde wordt begrensd door de ingang van het Tolhuispark. Het park wordt omsloten door een afscheiding in de vorm van een lage muur en een hekwerk. Zo ontstaat langs de noordwestzijde een dichte parkrand. Aan de twee korte zijden zorgt de bebouwing samen met de hekwerken voor een gesloten parkgevel. De zuidoostzijde wordt begrensd door het fietspad vanaf de brug. Hier volstaat een lage muur als afscheiding, samen met de ophoging van de parkvloer tot aan het niveau van het fietspad. De sterke grenzen geven het park de uitstraling van een stadspark. Door de ligging direct achter de brug is het park ook aantrekkelijk voor bewoners van het centrum.

Het bestaande Tolhuis wordt opgenomen in het nieuwe park. Het Tolhuis kan naast haar huidige horecafunctie ook dienen als een van de entrees van de onderliggende parkeergarage. Deze garage waarborgt de bereikbaarheid per auto van de brug en het aansluitende gebied op de noordoever. Naast het Tolhuis heeft de garage voetgangersingangen op de noord- en oosthoeken en onder de opgeheven zuidpunt van het park. De in- en uitgang voor auto's bevindt zich aan de noordoostzijde van het park. Verder zuidwestelijk worden op het schiereiland geen auto's toegelaten op maaiveld. Grotere beplanting wordt geplaatst in verzonken grondbakken langs de randen van het park.



Doorsnede Tolhuisplein



Tolhuispark



12.8 SHELL-TERREIN

De strook ten noordwesten van het Tolhuisterrein zal volgens de plannen van de gemeente omgevormd worden tot een 'Strip' met bebouwing van hoge dichtheid. Hier worden deze plannen overgenomen, met een paar aanpassingen. Onder de Shell-toren, waar waarschijnlijk woningbouw in zal komen, bevindt zich momenteel nog een rechthoekige laagbouw. Deze blijft behouden, en krijgt een marktfunctie. Het gebouw vormt een afsluiting van het Shell-plein erachter, dat daardoor beschut ligt tegen wind vanaf het IJ. Een toegevoegd gebouw vormt de derde pleinwand aan de noordwestzijde van het Shell-plein. Dit gebouw bevat een warenhuis of supermarkt en andere winkels.

Vanaf het Shell-plein voert een wandelstraat in noordoostelijke richting. Deze binnenstraat verbindt het plein met de Van der Pekstraat, een bestaande winkelstraat.

De hogere verdiepingen en de buitenranden van de bouwblokken bevatten een combinatie van woon- en werkfuncties.

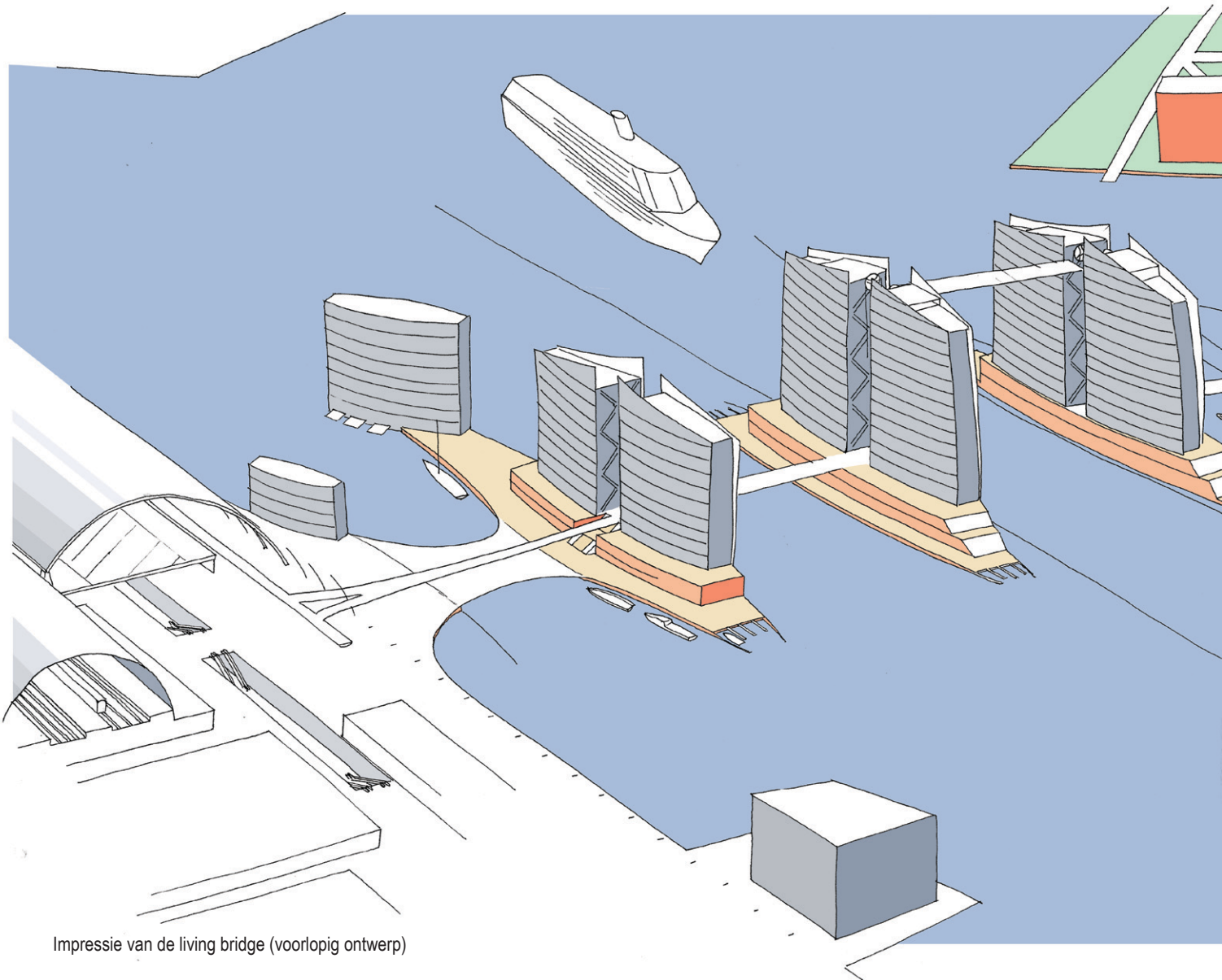
Aan de IJ-oever wordt een stadsstrand geplaatst. Dit is in de zomermaanden een grote publiekstrekker. Ten noorden van het strand komt het filmmuseum, en daarachter een groene oeverstrook, vooral bestemd voor bewoners van het Shell-terrein.

Autoverkeer wordt beperkt tot een rondgaande straat om de Strip heen.

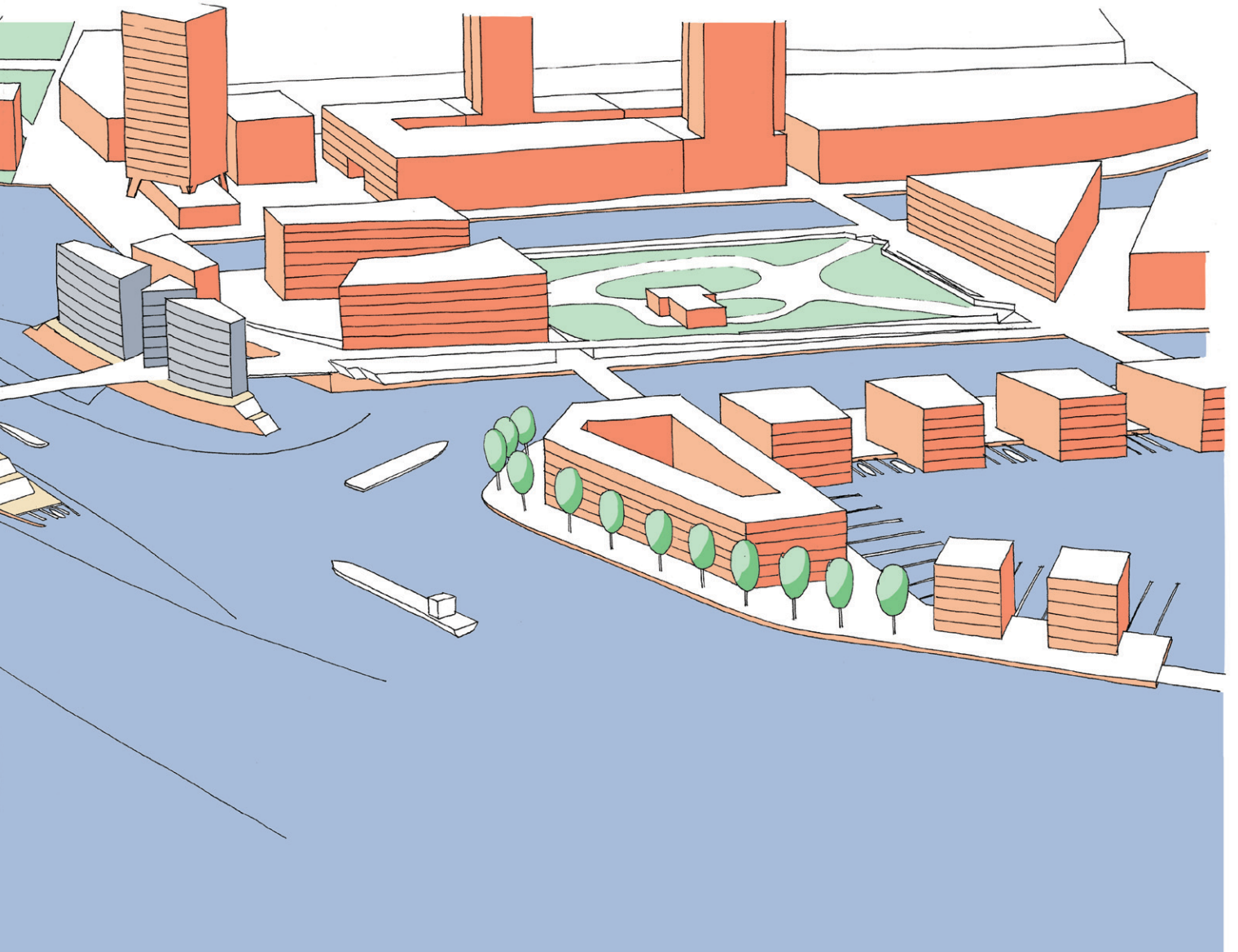
12.9 SIXHAVEN

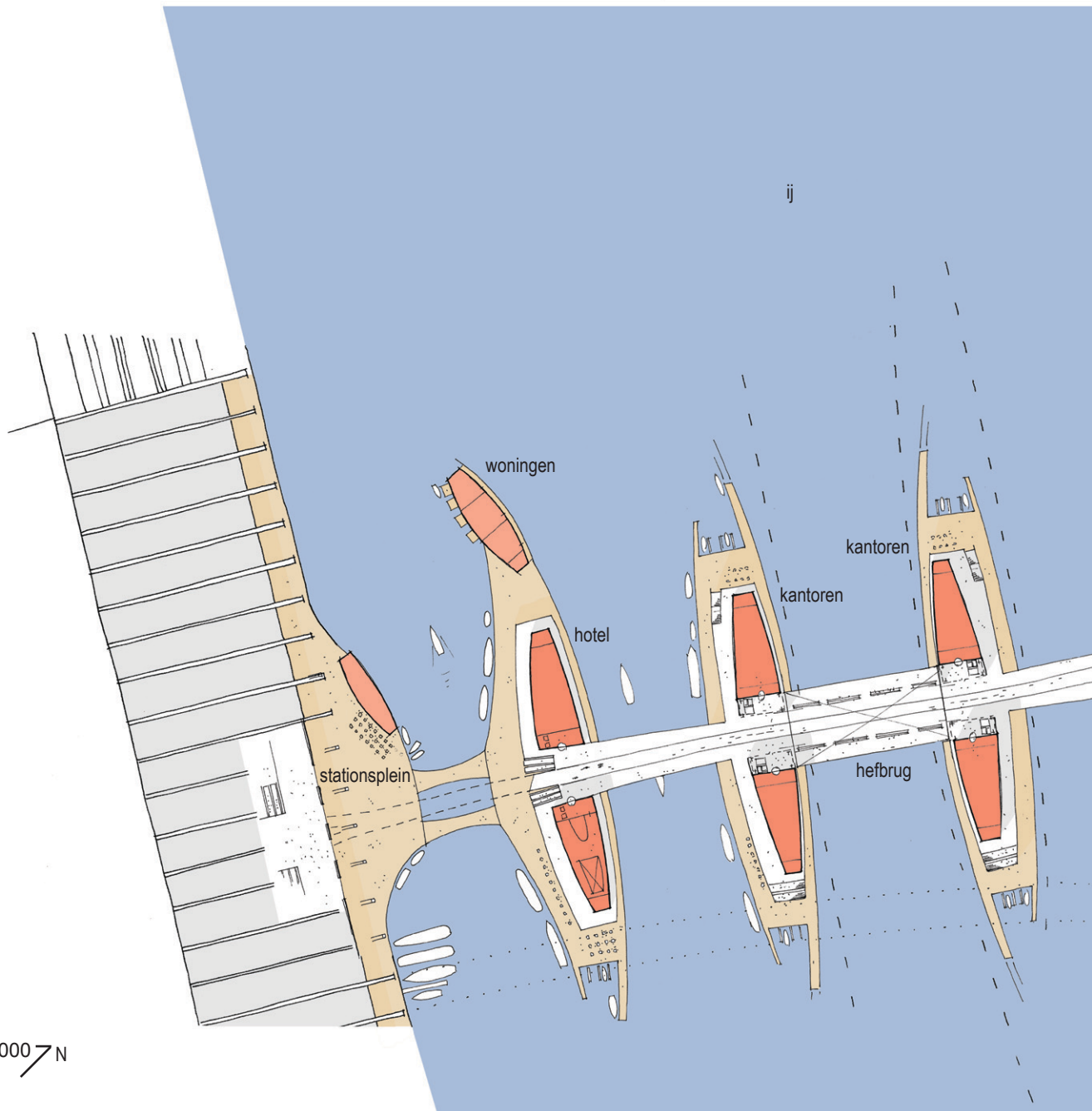
Het gebied rond de Sixhaven wordt ingericht als woongebied aan het water. Dit gebied verbindt de brug met de IJ-pleinbuurt. De IJ-oever wordt omgevormd tot een wandelboulevard, waardoor het IJ betrokken wordt bij de achterliggende woonwijken.


Het station Sixhaven van de Noord/Zuidlijn ligt in dit gebied. Dit metrostation maakt het gebied langs de noordoever beter bereikbaar.

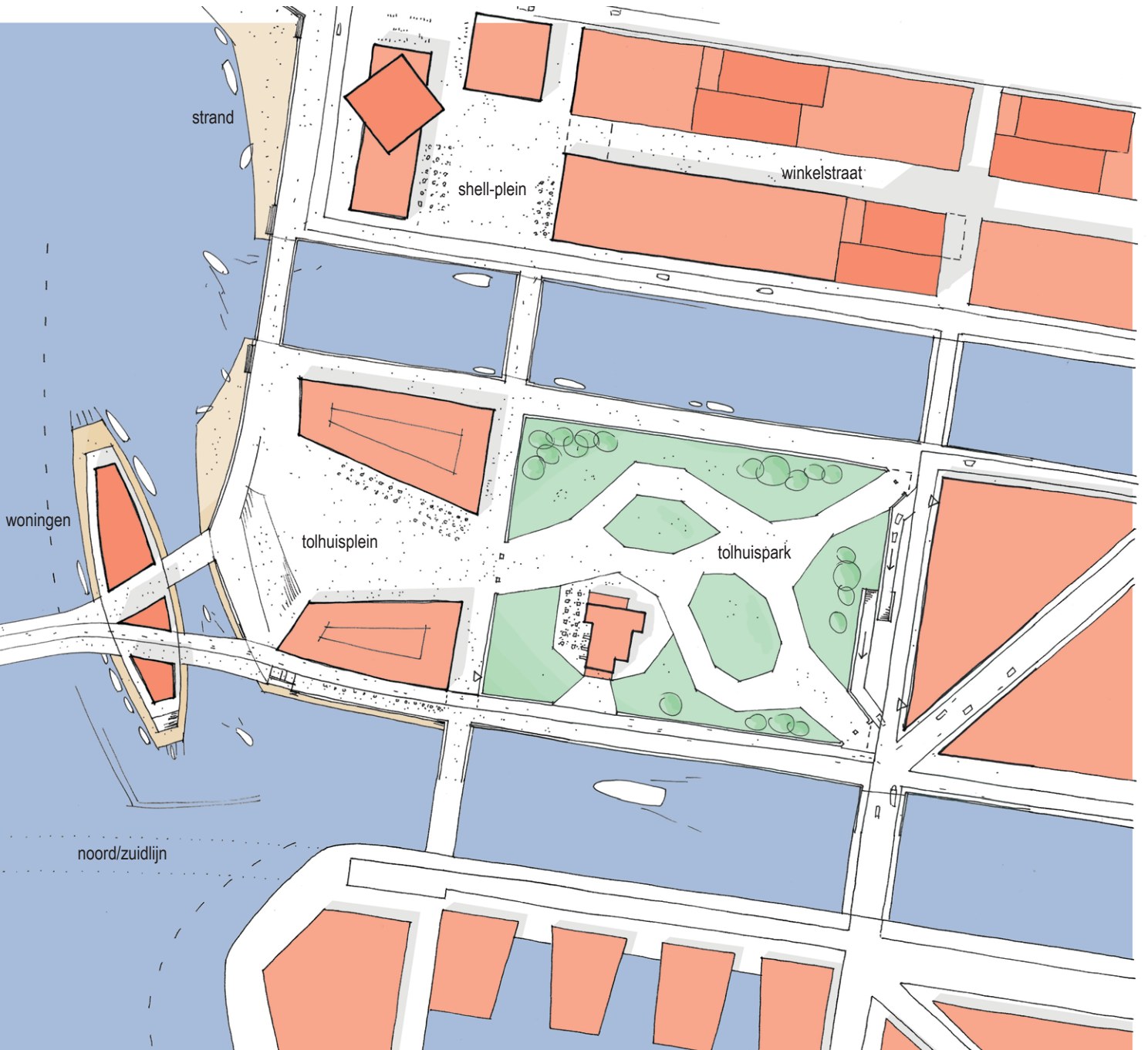


Impressie van de living bridge (voorlopig ontwerp)





Situatie 1:2000  N



DEEL III

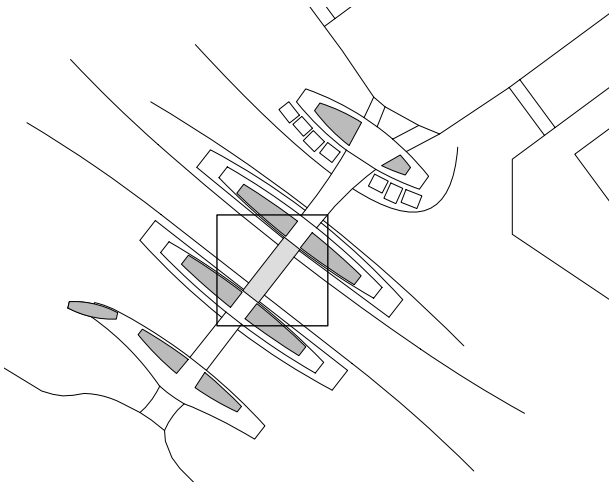
13. Ontwerp hefbrug

Het ontwerp voor het beweegbare deel van de brug is maatgevend voor de verdere uitwerking van de torens en de overige brugdelen. In dit hoofdstuk zal een aanzet worden gegeven tot een constructief ontwerp voor het beweegbare deel van de brug. Daarbij wordt onderscheid gemaakt in een eerste en een tweede ontwerp. Het eerste ontwerp gaat uit van een vlak brugdek en een boogconstructie boven het brugdek. In het tweede ontwerp wordt het brugdek licht gekromd, en vormt het de bovenboog van een lenslijger. Daarna wordt ingegaan op het hefmechanisme.

13.1 Eerste ontwerp - Functioneel ontwerp

Globale afmetingen

Het beweegbare deel van de brug bevindt zich boven de hoofdvaargeul, tussen het tweede en derde eiland. De hoofdvaargeul heeft hier een netto breedte van 35 meter. Inclusief de ruimte voor remmingswerken en kade komt de hoofdoverspanning van de brug op ca. 50

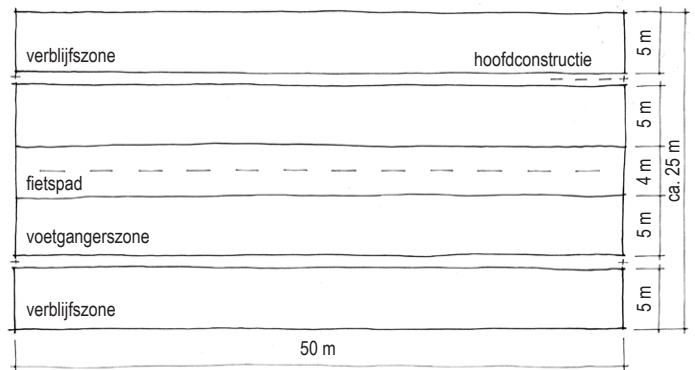


Situatie beweegbare brug

meter. De doorvaarthoogte in gesloten stand is 9,1 meter (Rijkswaterstaat 2005), de maximale hoogte voor rijnvaart. In geopende stand bedraagt de doorvaarthoogte voor het eerste ontwerp 50 meter.

In het eerste ontwerp bestaat het dwarsprofiel van de brug uit vijf zones. In het midden van de brug ligt de fietserszone, met twee rijrichtingen van elk 2 meter. Aan beide zijden van het fietspad ligt een wandelzone van 5 meter breed. Dit is het profiel van de gehele brug van oever tot oever. Twee plaatsen van de hefbrug wordt aan beide zijden een 5 meter brede zone toegevoegd, als extra gebruiksruimte. Deze zone kan dienen als uitzichtplatform, of als recreatieve zone. De totale breedte van het brugdek komt daarbij op 24 meter.

De hoofdconstructieassen liggen tussen het verkeersgebied en de twee verblijfszones. Op die manier worden de verblijfszones fysiek gescheiden van de verkeerszone. De brug wordt aan beide zijden opgehangen aan een gebouwenkoppel. De in totaal vier gebouwen fungeren als heftorens.



Afmetingen beweegbare brug

Toegang tot de brug tijdens bewegen

Een normale hefbrug wordt alleen in gesloten stand gebruikt. In het geval van de living bridge zou het brugdek echter ook in geopende situatie, en zelfs tijdens het bewegen opengesteld kunnen worden voor het publiek. Hier wordt onderscheid gemaakt in vier situaties.

1. Gesloten stand

In gesloten stand is de brug in de eerste plaats een stuk infrastructuur. Het fiets- en voetgangersverkeer kan zonder oponthoud het IJ oversteken. De uitzichtplatforms op de bovenste verdieping van de heftorens zijn bereikbaar met publieke liften.

2. Geopende stand

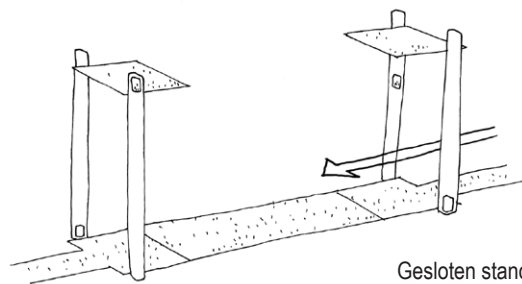
In geopende stand fungeert de brug voornamelijk als uitzichtplatform. De verkeersfunctie blijft echter ook bestaan, via de liften aan beide zijden. De brug is dus te betreden, en zal vast worden ondersteund door middel van wegneembare oplegpunten. De belastingen op de brug in geopende situatie worden zo direct op de torens overgebracht.

3. Tijdens beweging (1)

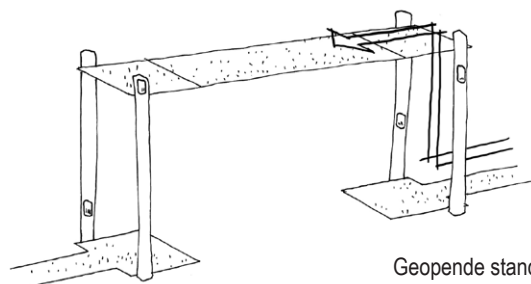
Tijdens het openen en sluiten van de brug wordt het brugdek volledig gedragen door het aandrijf/ophangsysteem. In deze situatie wordt toegelaten dat personen op de brug kunnen blijven staan tijdens de bewegingscyclus. Tijdens de beweging kunnen ze het brugdek echter niet verlaten. In een noodsituatie zal het brugdek via bijvoorbeeld een noodtrap geëvacueerd moeten kunnen worden.

4. Tijdens beweging (2)

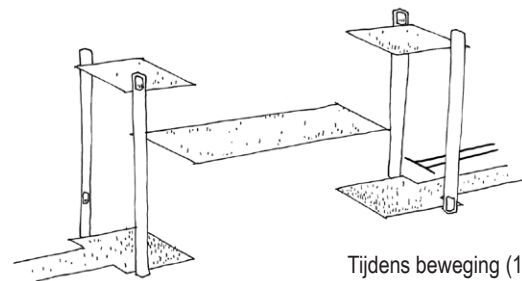
In dit laatste geval is het brugdek te ook betreden terwijl het beweegt. De liften moeten dan met het brugdek meebewegen tijdens in- en uitstappen. In deze situatie bedraagt de totale wachttijd slechts de wachttijd op de lift.



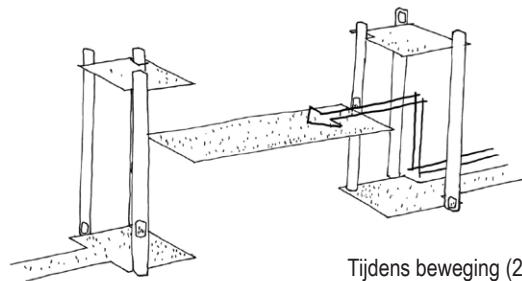
Gesloten stand



Geopende stand



Tijdens beweging (1)



Tijdens beweging (2)

Toegang tot de brug in geopende stand

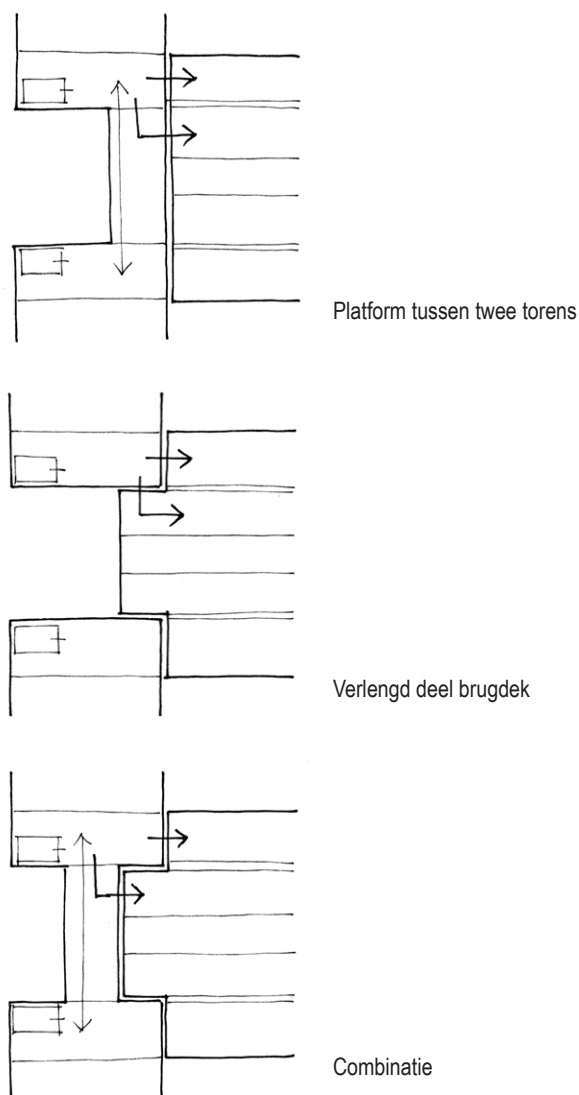
In het eerste ontwerp is de brug verbreed met twee verblijfszones. Op beide aangrenzende eilanden is het wegprofiel eveneens verbreed. Hierdoor is het mogelijk om de brug te betreden vanaf de verkeerszone en vanaf de verblijfszones. Verkeer met haast neemt de doorgaande fiets- of wandelroute, terwijl mensen die van het uitzicht willen genieten direct de verblijfszone betreden.

In geopende stand kan eenzelfde systeem van betreden worden gebruikt. In het geval van evenementen is het echter wellicht handiger om de volledige verblijfszone te kunnen gebruiken als uitzichtplatform. In dat geval zal de brug alleen betreden kunnen worden vanaf de verkeerszone. Een andere mogelijkheid is om beide opties open te houden, en het publiek zelf te laten kiezen hoe ze de brug betreden. Een definitieve keuze zal later worden gemaakt aan de hand van constructieve en functionele argumenten.

Om de mogelijkheid open te houden om de brug over de gehele breedte te betreden, zal een verbinding gemaakt moeten worden tussen de twee heftorens op een eiland. Dit kan door de verkeerszone van de brug een paar meter uit te laten steken tussen de twee torens in. Een tweede mogelijkheid is het verbinden van de torens zelf met een platform.

Een voordeel van deze tweede mogelijkheid is dat ook wanneer de brug niet in de hoogste stand is, een verbinding gemaakt wordt tussen de (publieke) hefverdieping van de twee torens. Zo kunnen bezoekers oversteken om van het restaurant naar het uitzichtterras te gaan. In geval van brand in een van de twee torens kan de andere toren gebruikt worden voor evacuatie van mensen vanaf de hefverdieping.

Een voordeel van de uitsteek aan de brug is dat vanaf hier in elke positie gemakkelijker te evacueren is. Een combinatie van uitstekende brug en verbindingsplatform is ook een optie. Verderop in dit hoofdstuk wordt hierop teruggekomen.



Varianten toegang hefbrug in geopende stand

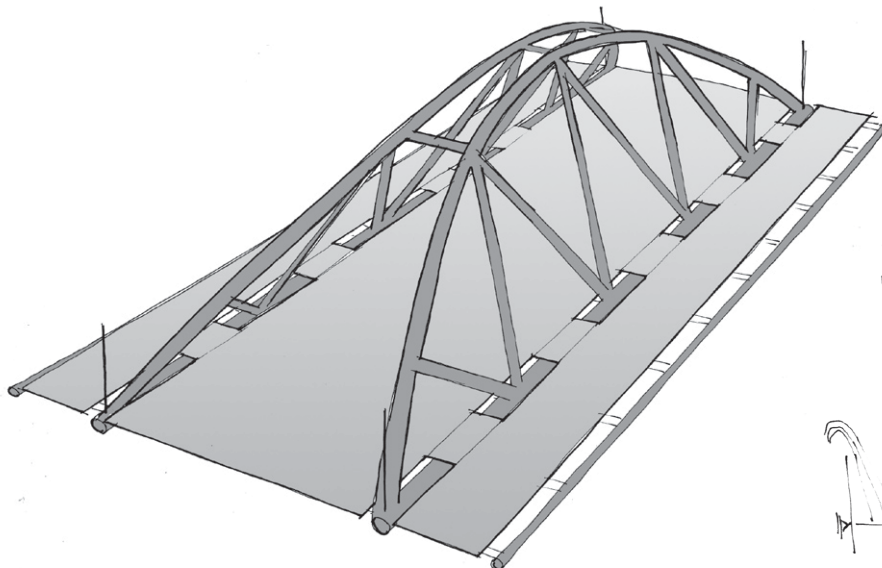
Hoofdconstructie

Er wordt uitgegaan van een stalen hoofdconstructie. Het ontwerp is gebaat bij een zo klein mogelijke constructiehoogte onder het brugdek. Met een minimale vaste doorvaarthoogte van 9,10 meter over de gehele breedte van de hoofdvaargeul betekent elke vergroting van de hoogte onder het brugdek een extra te overwinnen hoogteverschil voor het verkeer op de brug.

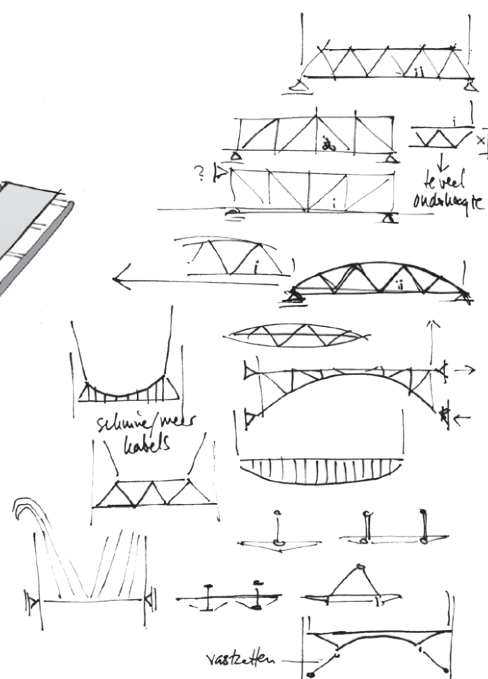
De overspanning van 50 meter lijkt daarbij te groot voor het volledig verwerken van de constructie onder het brugdek. De constructie zal dus deels boven het brugdek geplaatst worden. Wanneer de hoofdconstructie aan de beide zijken van het brugdek geplaatst wordt, is de

secundaire overspanning 24 meter, oftewel bijna de helft van de hoofdoverspanning. Een efficiëntere configuratie is het meer naar binnen plaatsen van de hoofdconstructie. Om het verkeer op het brugdek niet te veel te hinderen wordt de hoofdconstructie geplaatst tussen de verkeerszone en beide verblijfszones.

Een vakwerkconstructie ligt om gewichtsredenen voor de hand. Bovendien kan men dan tussen de staven oversteken van de verkeerszone naar de uitzichtplatforms. Een boogvorm volgt de momentenlijn van een gelijkmatige belasting, en refereert bovendien aan de bogen van het Centraal Station en het busstation.



Hoofdconstructie hefbrug



Studie brugvormen

13.2 Eerste ontwerp - Belastingen

Belastingen

De belastingen op het beweegbare deel van de brug kunnen worden bepaald aan de hand van de voorschriften voor het ontwerpen van beweegbare bruggen. (NEN 6786) De norm maakt onderscheid in vier bedrijfstoestanden: brug gesloten, brug niet-gesloten, tijdens de bewegingscyclus en buiten de bewegingscyclus.

Eigengewicht

Uitgegaan wordt van een stalen hefbrug. Het brugdek zal echter bestaan uit een betonnen toplaag, als bescherming tegen brand van onderaf. Op het brugdek wordt naast brugleuningen mogelijk ook straatmeubilair aangebracht. Dit zal worden meegenomen in de berekening van het eigengewicht.

Wind

De brug wordt door wind belast zowel in geopende als gesloten toestand. De representatieve waarde van de windbelasting is:

$$p_{w,rep} = C_{dim} \cdot C_t \cdot \phi_w \cdot p_w$$

waarin: C_{dim} factor die de afmetingen van de brug in rekening brengt, $C_{dim} = 0,95$
 C_t windfactor, voor draaibruggen:
 +/- 1,2 voor horizontale windbelasting
 +/- 0,4 voor verticale windbelasting
 p_w stuwdruk, zie hieronder
 ϕ_w dynamische vergrotingsfactor,
 $\phi_w = 1,15$

Stuwdruk

Voor de berekening van de stuwdruk moet een uurgemiddelde windsnelheid worden aangehouden. Deze windsnelheid hangt af van het maximale aantal

dagen per jaar dat de brug niet beschikbaar is ten gevolge van wind. Oftewel, de brug wordt in geopende stand slechts getoetst aan de maximale windbelasting waarbij de brug te openen is. Het IJ is een hoofdtransportas, de brug mag daardoor maximaal 1 dag (24 uur) per jaar niet beschikbaar zijn door wind (NEN 6786, tabel 1).

De stuwdruk kan vervolgens bepaald worden volgens:

$$p_w = \frac{1}{2} \rho \cdot \left[U_R \cdot \frac{\ln\left(\frac{h}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_{ur}}{z_0}\right)} \right] \cdot \left[1 + \frac{7}{\ln\left(\frac{h}{z_0}\right)} \right]$$

waarin: p_w stuwdruk
 ρ volumieke massa lucht, $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$
 U_R uurgemiddelde windsnelheid op 10 m hoogte, $U_R = 14,8 \text{ m/s}$ (NEN 6768, tabel 3)
 h afstand hoogste punt val (beweegbare brugdeel) tot waterstand. Hierbij wordt uitgegaan van een constructiehoogte van het beweegbare deel van de brug van 10 meter. Daarbij komt de waarde van h op 60 meter (geopende stand) en 20 meter (gesloten stand).
 z_0 ruwheidslengte, $z_0 = 0,2$ (gebied II, volgens NEN 6768, tabel 3)
 z_{ur} hoogte waarop de uurgemiddelde windsnelheid is bepaald, $z_{ur} = 10 \text{ m}$.

Voor de geopende stand wordt een stuwdruk gevonden van:

$$p_w = 648,2 \text{ N/m}^2 = 0,65 \text{ kN/m}^2.$$

De horizontale winddruk op de brug bedraagt dan:

$$p_w = +/- 0,95 * 1,2 * 1,15 * 0,65 = +/- 0,85 \text{ kN/m}^2.$$

De verticale winddruk bedraagt hierbij:

$$p_w = +/- 0,95 * 0,4 * 1,15 * 0,65 = +/- 0,28 \text{ kN/m}^2.$$

Voor de gesloten stand wordt een stuwdruk gevonden van:

$$p_w = 381,9 \text{ N/m}^2 = 0,38 \text{ kN/m}^2.$$

De horizontale en verticale winddruk op de brug bedraagt dan respectievelijk:

$$p_w = +/- 0,50 \text{ kN/m}^2 \text{ en } +/- 0,17 \text{ kN/m}^2.$$

Sneeuw

De belasting door sneeuw bedraagt:

$p_{sn,rep} = 100 \text{ N/m}^2$ voor elektromechanisch en hydraulisch bewogen bruggen. Deze belasting is dusdanig klein dat ze in de eerste globale berekeningen niet meegenomen wordt.

Verkeersbelasting

De hefbrug wordt beschouwd als een brug voor voetgangers- en fietsverkeer. Verkeersbelastingen op de brug kunnen daardoor bepaald worden aan de hand van NEN 6706, verkeersbelastingen op bruggen.

Gelijkmatig verdeelde belasting

Voor een voetgangers- en fietsbrug wordt een gelijkmatig verdeelde belasting per oppervlak voorgeschreven van:

$$q_{fk} = 5,0 \text{ kN/m}^2$$

Voor overspanningen groter dan 10 m kan ook met de volgende waarde worden gerekend:

$$q_{f,k} = 2,0 + \frac{120}{L_{s,j} + 30} \text{ kN/m}^2$$

waarbij geldt: $2,5 \text{ kN/m}^2 \leq q_{f,k} \leq 5,0 \text{ kN/m}^2$

waarin: $L_{s,j}$ lengte van de overspanning

Deze waarde levert een reductie op ten opzichte van de

eerder gestelde belasting. Het beweegbare deel van de hefbrug is echter ook een uitzichtplatform. Daarom wordt hier niet met de gereduceerde waarde gerekend. Er kan zelfs overwogen worden om met een nog hogere waarde te rekenen, bijvoorbeeld $q_{fk} = 7,0 \text{ kN/m}^2$, als de belasting voor een openbaar plein.

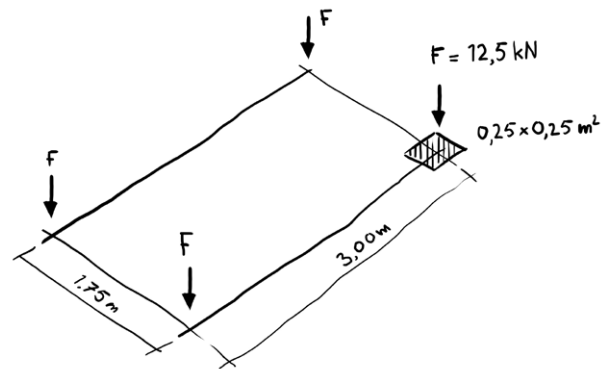
Geconcentreerde belasting

De karakteristieke waarde van de geconcentreerde belasting bedraagt:

$Q_{f,wk} = 7,0 \text{ kN}$, aangrijpend op een vierkant met zijden van 0,10 m. Deze belasting hoeft niet in het globale belastingsmodel meegenomen te worden, wanneer bij de toetsing ook lokale belastingeffecten zijn onderscheiden.

Belasting door dienstvoertuig

In gesloten stand zal het beweegbare deel van de brug ook gedimensioneerd moeten worden op belasting door een dienstvoertuig. Het gestandaardiseerde voertuig heeft de volgende kenmerken:



Belastingen door dienstvoertuig

In geopende stand zal het brugdek niet worden belast door een dienstvoertuig.

Horizontale belastingen

De karakteristieke waarde van de horizontale belasting door verkeer is gelijk aan de grootste waarde van de volgende twee bepalingen;

- a) 10 % van de totale gelijkmatig verdeelde verkeersbelasting, zie boven;
- b) 30 % van het totale gewicht van het relevante dienstvoertuig

Bijzondere belastingen*Aanvaring*

Het beweegbare deel van de brug zal bestand moeten zijn tegen aanvaring door een mast van een zeilboot. Aanvaring door de romp van een schip kan alleen bij cruiseschepen. De belasting door een cruiseschip is dusdanig groot dat hierop niet ontworpen kan worden. Een systeem van seinen zal in de meeste gevallen voorkomen dat een cruiseschip de vaargeul al invaart wanneer de brug nog niet volledig geheven is. In geval van aanvaring wordt ervan uitgegaan dat voetgangers en fietsers op de brug het schip kunnen zien aankomen en snel genoeg de hefbrug kunnen verlaten.

Brand

Wanneer een brandend schip onder de brug doorvaart moet het verkeer tijdig de brug kunnen verlaten. Dit betekent dat ook wanneer de brug halverwege open- of dichtgaan stilvalt, de mensen de brug in een noodgeval moeten kunnen verlaten. Daarnaast moet de brug brandwerend beschermd worden, zodat het vuur niet eenvoudig op de brug kan overslaan. Een open brugdek (met bijvoorbeeld stalen roosters) is daarom minder geschikt dan een betonnen deklaag.

Explosies

Voor een explosie op een onder de brug doorvarend schip geldt grofweg hetzelfde als voor brand. In geopende situatie zal de brug worden ondersteund door extra opleggingen, zodat gedurende de doorvaart van schepen de brug niet

alleen aan de kabels hangt.

Overige belastingen

Door het bewegen van de brug ontstaan allerlei bijkomende belastingen, zoals wrijving, rotatiebelastingen, draai-belasting van de kabels, en dynamische belastingen. Bij de dynamische belastingen wordt gerekend met een versnellingstijd van 12 seconden. Dit betekent dat de brug in 12 seconden van stilstand tot maximale snelheid versnelt, en in 12 seconden van maximale snelheid tot stilstand komt.

Wanneer gesteld wordt dat de brug een maximale (hef-) snelheid $v_{\max} = 0,2$ m/s heeft, kan de maximale versnelling uitgerekend worden:

$a_{\max} = 0,2 / 12 = 0,017$ m/s². De vergrotingsfactor voor de verticale belastingen bedraagt dan:

$$n = \frac{g + a}{g} = \frac{9,81 + 0,017}{9,81} = 1,0017$$

Dit is in eerste instantie verwaarloosbaar. Het duurt bij deze maximale snelheid circa drieëneenhalve minuut om de brug te openen of te sluiten.

Een hogere maximale snelheid van bijvoorbeeld $v_{\max} = 0,5$ m/s geeft de volgende waarden:

a_{\max}	0,042 m/s ²
n	1,004
t_{openen}	ca. 90 sec

Belastingen op de bovenbouw

De bovenbouw van de brug bestaat uit het val (het beweegbare deel van de brug), de contragewichten en de heftorens inclusief mechanische installaties. In het geval van de living bridge worden de belastingen uit het val dus doorgegeven aan de gebouwen die als heftorens dienen. Bij

een normale hefbrug functioneert het val alleen in gesloten toestand als normale brug. In niet-gesloten toestand spelen voor de belastingen alleen het eigengewicht en de wind een rol. Bij de living bridge moet echter in alle gevallen gerekend worden met extra belastingen door voetgangers- en fietsverkeer.

Belastingfactoren

De belastingen door eigengewicht van de constructiedelen die in trilling kunnen raken door verkeersbelasting, moeten worden vermenigvuldigd met een trillingsfactor van 1,25 en/of 0,75.

Belastinggevallen en combinaties

Voor het val worden de volgende mogelijk maatgevende belastinggevallen gedefinieerd:

<i>geval</i>	<i>belastingfermen</i>
1) gesloten situatie (wind neerwaarts)	eigengewicht (incl. trillingsfactor) verkeersbelasting verdeeld dienstvoertuig wind neerwaarts
2) gesloten situatie (wind opwaarts)	eigengewicht (incl. trillingsfactor) wind opwaarts
3) open situatie (wind neerwaarts)	eigengewicht (incl. trillingsfactor) verkeersbelasting verdeeld wind neerwaarts
4) open situatie (wind opwaarts)	eigengewicht (incl. trillingsfactor) wind opwaarts
5) versnellen tijdens openen / afremmen tijdens sluiten	eigengewicht (excl. trillingsfactor) ¹ versnellingsbelasting neerwaarts verkeersbelasting verdeeld ² wind neerwaarts
6) versnellen tijdens sluiten / afremmen tijdens openen	eigengewicht (excl. trillingsfactor) ¹ versnellingsbelasting opwaarts wind opwaarts

1) Er wordt ervan uitgegaan dat tijdens het openen en sluiten de meeste mensen op de brug stilstaan. Daarom wordt bij deze belastinggevallen niet gerekend met de trillingsfactor.

2) Voorlopig wordt aangenomen dat de brug tijdens bewegen toegankelijk blijft voor personen.

Belastingen op aandrijfmechanisme

(volgens NEN 6786, paragraaf 8.4.2)

Het aandrijfmechanisme neemt het verschil op tussen de belastingen uit het val en het contragewicht. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen elektromechanisch en elektrohydraulisch aangedreven brugbewegingsmechanismen. Voor beide mechanismen moet een aantal situaties gecontroleerd worden, in verschillende grenstoestanden, zoals vasthouden op elke stand, noodstop op volle snelheid, aandrukken op opleggingen, etc. Belastingfactoren zijn voor deze berekeningen hoger dan bij overige berekeningen.

Belastingen op contragewichtkabels

(volgens NEN 6786, paragraaf 8.4.3)

Indien de aandrijving niet via de contragewichtkabels plaatsvindt, dan geldt:

$$F_{f,d} = \gamma_o \cdot \phi_v \cdot F_{eg,rep}$$

waarin: $F_{f,d}$	rekenwaarde van de som van de krachten in de contragewichtkabels per contragewicht
$F_{eg,rep}$	representatieve waarde van de som van de krachten in de contragewichtkabels door het eigengewicht van het contragewicht, kabels en andere onderdelen
Φ_v	dynamische vergrotingsfactor, $\Phi_v = 1 + 0,45 \varepsilon$
ε	massafactor, hier gesteld op $\varepsilon = 1$
γ_o	belastingfactor, $\gamma_o = 1,5$ voor uiterste grenstoestand overbelasten

Het eigengewicht van de contragewichten wordt gelijkgesteld aan het eigengewicht van het val. Dit betekent dat het hefmechanisme in evenwicht is wanneer de brug onbelast is door externe belastingen. Dit betekent bovendien dat het

aandrijfmechanisme zowel in opwaartse als in neerwaartse richting belast kan worden door de brug.

13.3 Eerste ontwerp - Ontwerp staalconstructie**Resultaten belastingenstudie**

Eigengewicht brug	3618 kN (361,8 ton)
Eigengewicht per m ²	300 kg/m ²

De maximale verkeersbelasting is aanzienlijk groter dan de eigengewichtsbelasting (500 kg/m²).

De twee maatgevende verticale belastingcombinaties zijn:

- III Open situatie, wind neerwaarts
- IV Open situatie, wind opwaarts

De totale belasting van het brugdek bedraagt hierbij:

III	14.938 kN
IV	1931 kN

In alle belastinggevallen is de resulterende verticale belasting neerwaarts gericht. Wel is het verschil tussen de twee uiterste belastinggevallen groot: een factor 7,7.

De extra belasting uit versnellen en vertragen van de brug is verwaarloosbaar. Met de eis voor de minimale versnellingsstijd (NEN 6786) en de gestelde maximale snelheid van de brug wordt een vergrotingsfactor voor de belastingen gevonden van 1,0017.

Maximum snelheid tijdens verplaatsen	0,2 m/s
Minimum versnellingsstijd	12 s
Maximum versnelling	0,017 m/s ²
Vergrotingsfactor belastingen	1,0017

Horizontale belastingen

De maximale horizontale belasting op het brugdek is hieronder weergegeven als de resulterende kracht op alle opleggingen samen. In beide richtingen is ook hier de brug in geopende stand maatgevend.

Loodrecht op overspanningsrichting	512 kN
Evenwijdig op overspanningsrichting	916 kN

Bij de bepaling van de horizontale belastingen moeten enkele aantekeningen gemaakt worden. Horizontale verkeersbelasting is alleen in langsrichting meegenomen. Daarbij wordt ervan uitgegaan dat het niet waarschijnlijk is dat alle personen op de brug gelijktijdig in dwarsrichting bewegen. In langsrichting is dit aannemelijker. Bij een uitgebreidere studie zal horizontale verkeersbelasting echter in beide richtingen nader gespecificeerd worden.

Daarnaast is bij de horizontale belastingen nog niet gerekend met vergrote belastingen door trillingen, zoals voor de verticale belastingen wel is gedaan. Het is onduidelijk in hoeverre trillingen de horizontale belastingsituatie beïnvloeden.

Om een indicatie te geven van de benodigde maten van de brug is een eerste aanzet gedaan tot dimensioneren. Hieruit volgen de onderstaande afmetingen van de constructiedelen van de brug.

Configuratie hefbrug

Er wordt voorlopig uitgegaan van een stalen hefbrug, bestaande uit twee bogen met boven- en onderligger en diagonaalverbanden, dwarsliggers, secundaire liggers en een brugdek. Hieronder zijn de afmetingen gegeven van de belangrijkste constructieonderdelen van de brug. Voor een uitgebreidere dimensionering wordt verwezen naar de bijlagen.

Hoofdboog

Bovenligger	$\varnothing = 800 \text{ mm,}$	$t = 12 \text{ mm}$
Onderligger	$\varnothing = 800 \text{ mm,}$	$t = 12 \text{ mm}$
Diagonalen	$\varnothing = 500 \text{ mm,}$	$t = 10 \text{ mm}$

Dwarsliggers

Kokerligger	$\square 800 \times 100 \text{ mm,}$	$t = 5 \text{ mm}$
	(aan uiteinden verlopend tot 500×100)	

Randligger

Buis	$\varnothing = 400 \text{ mm,}$	$t = 10 \text{ mm}$
------	---------------------------------	---------------------

Brugdek

Onderplaat, geprofileerd staalplaat,	$t = 3 \text{ mm}$
Betonnen dek	$d_{\text{gem}} = 60 \text{ mm}$

Leuningen

Staal, totaalgewicht leuningen per strekkende meter in overspanningsrichting: $P = 1,0 \text{ kN/m}^1$

Meubilair

Totaalgewicht:	$P = 1,0 \text{ kN/m}^1$
----------------	--------------------------

13.4 Eerste ontwerp - Aanpassingen ontwerp

In het voorgaande werd ervan uitgegaan dat personen op het brugdek kunnen blijven staan tijdens het openen en sluiten van de brug. Dit uitgangspunt levert echter aanzienlijke complicaties. Ten eerste werd voor de belastingen tijdens beweging afgezien van een trillingsfactor met de statische veiligheidsfactoren gerekend. Veiligheidsfactoren voor liften hanteren een factor 20 (Remery 2006). Hoewel hier waarschijnlijk met een lagere factor volstaan kan worden, moet met aanzienlijk grotere belastingen worden gerekend dan hiervoor gedaan is. Resultaat is een nog zwaardere brug, terwijl in het voorgaande ontwerp al buisdiameters van 800 mm werden gebruikt.

Daarnaast moet op elk moment het publiek het brugdek kunnen verlaten in geval van nood. Dit betekent dat men vanaf de brug op de torens moet kunnen overstappen. Een eenvoudige brandtrap voldoet hier niet, vanwege het grote aantal mensen dat op de brug aanwezig kan zijn.

Ten slotte zal bijzondere aandacht moeten worden geschonken aan het hefmechanisme. De kabels en de motor zullen grote belastingwisselingen aan moeten aankunnen. Ook zal rekening moeten worden gehouden met vermoeïing.

Om bovenstaande redenen wordt hier een ontwerpvoorstel gedaan, waarbij personen de brug niet mogen betreden tijdens beweging. Wanneer de brug volledig geheven is, worden de opleggingen gezekerd. Daardoor kan de hefbrug in geheven stand geschematiseerd worden als een brug met vaste opleggingen.

Er wordt hier gerekend met een stalen brugdek met geprofileerde onderplaat en een vlakke bovenplaat. Voor de rest blijft het basisontwerp ongewijzigd.

Hiernaast wordt een nieuw overzicht gegeven van de belastingcombinaties.

Belastinggevallen en combinaties

Voor het val worden de volgende mogelijk maatgevende belastinggevallen gedefinieerd:

<i>geval</i>	<i>belastingvormen</i>
1) gesloten situatie (wind neerwaarts)	eigengewicht (incl. trillingsfactor) verkeersbelasting verdeeld dienstvoertuig wind neerwaarts
2) gesloten situatie (wind opwaarts)	eigengewicht (incl. trillingsfactor) wind opwaarts
3) open situatie (wind neerwaarts)	eigengewicht (incl. trillingsfactor) verkeersbelasting verdeeld wind neerwaarts
4) open situatie (wind opwaarts)	eigengewicht (incl. trillingsfactor) wind opwaarts
5) versnellen tijdens openen / afremmen tijdens sluiten	eigengewicht (excl. trillingsfactor) versnellingsbelasting neerwaarts wind neerwaarts
6) versnellen tijdens sluiten / afremmen tijdens openen	eigengewicht (excl. trillingsfactor) versnellingsbelasting opwaarts wind opwaarts

Resultaten belastingenstudie

Eigengewicht brug	2195 kN (220 ton)
Eigengewicht per m ²	183 kg/m ²

Ook hier zijn de maatgevende belastingcombinaties:

III	Open situatie, wind neerwaarts
IV	Open situatie, wind opwaarts

De totale belasting van het brugdek bedraagt:

III	12.804 kN
IV	970 kN

Horizontale belastingen op de brug blijven ongewijzigd.

De veranderingen in belastingen hierboven zijn vooral te danken aan het vervangen van een betonnen door een stalen brugdek. Grotere veranderingen doen zich echter voor bij de dimensionering van contragewichtkabels, contragewicht en motor.

Configuratie hefbrug

Hieronder zijn de nieuwe afmetingen gegeven van de belangrijkste constructieonderdelen van de brug. Bij het tweede ontwerp is getracht de diameter van de buizen te beperken. In het eerste ontwerp werd gerekend met een verhouding tussen wanddikte en buisdiameter van ca. 1:60. Hieronder wordt gerekend met ca. 1:20, een gebruikelijker maat. Gevolg hiervan is dat de verbindingen tussen de buizen in het vakwerk als K-verbindingen met tussenruimte kunnen worden uitgevoerd, in plaats van overlappend. Dit vereenvoudigt de montage.

De bogen worden in het tweede ontwerp licht naar elkaar toe gebogen. Hierdoor kunnen ze eenvoudiger bovenin gekoppeld worden. Bij de eerste berekeningen wordt deze kanteling verwaarloosd. Later zal het effect echter wel meegenomen moeten worden. Voor een uitgebreidere dimensionering wordt weer verwezen naar de bijlagen.

Hoofdboog

Bovenligger	Ø = 500 mm,	t = 30 mm
Onderligger	Ø = 500 mm,	t = 30 mm
Diagonalen	Ø = 300 mm,	t = 10 mm

Dwarsliggers

Kokerligger	□ 700 x 100 mm,	t = 5 mm
	(aan uiteinden verlopend tot 400 x 100)	

Randligger

Buis	Ø = 300 mm,	t = 10 mm
------	-------------	-----------

Brugdek

Onderplaat, geprofileerd staalplaat,	t = 3 mm
Bovenplaat, vlakke staalplaat,	t = 3 mm

Leuningen

Staal, totaalgewicht leuningen per strekkende meter in overspanningsrichting: P = 1,0 kN/m¹

Meubilair

Totaalgewicht: P = 1,0 kN/m¹

Dimensionering hoofdconstructie

Hieronder wordt in een aantal voorbeeldberekeningen de hoofdconstructie van de brug getoetst. Er moet bij deze berekeningen vermeld worden dat ze niet compleet zijn, en eerder een indicatie geven van de te volgen dimensioneringsstrategie.

In het tweede ontwerp wordt de buisdiameter van de boven- en onderligger van de bogen gesteld op 500 mm, met wanddikte 30 mm.

D	500 mm
t	30 mm
A	44.296 mm ²

I_{zz} 1,23x109 mm⁴
 z 8 m

Belasting per boog:
 q 128 kN/m

Trek onderligger boog

M_{max} 40.011 kNm
 $F_{t,d}$ 5001 kN
 Controle: $A_{ben} \leq A$
 A_{ben} 21.283 mm² ($A_{ben} = F/f_v \leq 44.296$ mm² (ok))

Knik bovenligger boog

De bovenliggers van beide bogen worden ter plaatse van de middelste drie bovenknooppunten van de diagonalen met elkaar verbonden. Hierdoor wordt de kniklengte uit het vlak van de boog gereduceerd. Deze kniklengte wordt hier gesteld op 20 meter.

l_k 20.000 mm
 F_E 6364 kN ($F_E = \pi^2 EI / l_k^2$)
 N_d 10.410 kN
 λ_{rel} 1,28 ($\lambda_{rel} = \sqrt{N_d / F_E}$)
 ω_{buc} 0,49 (NEN 6772, tabel 24)
 Controle: $F_{c,d} / \omega_{buc} \times N_d \leq 1$
 5001 / (0,49 x 10.410) = 0,98 ≤ 1 (ok)

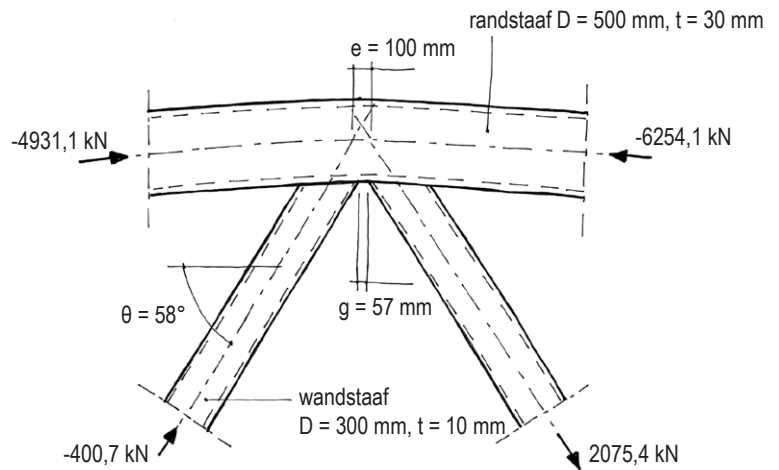
Toetsing bovenknoop

Als voorbeeld voor toetsing van de vakwerkknoopen wordt hier een berekening getoond voor de bovenknoop midden bovenin de boog. Gerekend wordt met een asymmetrische belasting van de brug. Aangenomen wordt dat deze belasting maatgevend is voor de bovenknoop.

De knoop bestaat uit een symmetrische K-verbinding met tussenruimte. De randstaaf is licht gebogen, maar wordt hier als recht gesteld. De krachten uit de scheefstand worden wel meegenomen. Door middel van een eenvoudig

model worden de staafkrachten in de knoop bepaald. (Bijlage berekening middenknoop) Dit model is een eenvoudige schematisering van de constructie, waarbij de knopen zijn geschematiseerd als scharnieren, en tweede-orde effecten niet meegenomen zijn. De berekening is dan ook slechts bedoeld als indicatie. Er wordt gerekend zonder trillingsfactor.

	P (kN/m)	γ_f	P_{rep} (kN/m)
<i>Belasting links</i>			
Eigengewicht	43,9	0,9	39,5
<i>Belasting rechts</i>			
Eigengewicht	43,9	1,2	52,7
Verkeersbelasting	120,0	1,5	180,0
Totaal			232,7



F_1	-4931,1 kN	d_0	500 mm
F_2	-6254,1 kN	t_0	30 mm
F_3	400,7 kN	$d_1=d_2$	300 mm
F_4	2075,4 kN	t_1	10 mm
		e	100 mm
		g	57,7 mm
		$\theta_1 = \theta_2$	58°

Onderstaande berekening is afgeleid van NEN 6772.

$$\beta = \frac{d_1 + d_2}{2d_0} = \frac{300 + 300}{2 \times 500} = 0,60;$$

$$\gamma = \frac{d_0}{2t_0} = \frac{500}{2 \times 30} = 8,33;$$

$$g_r = \frac{g}{t_0} = \frac{57,7}{30} = 1,92$$

In de randstaaf heerst een drukspanning.

$$n = \frac{N_0}{A_0 f_y} = \frac{-6254}{44.296 \times 235} = -0,60;$$

$$f(n) = 1 + 0,3n - 0,3n^2 = 0,71;$$

$$f(\gamma, g_r) = \gamma^{0,2} \left(1 + \frac{0,024\gamma^{1,2}}{e^{0,5g_r - 1,33} + 1} \right) = 1,71$$

Voor de bepaling van de sterkte wordt de verbinding getoetst op vloeï van de randstaaf en op pons van de randstaaf door de wandstaaf.

Vloeï randstaaf:

$$N_{1,u,d} = \frac{f_y t_0^2}{\sin \theta_1} \left(1,8 + 10,2 \frac{d_1}{d_0} \right) f(\gamma, g_r) f(n) = 2051,1 \text{ kN}$$

Pons:

$$N_{1,u,d} = \frac{f_y}{\sqrt{3}} t_0 \pi d_1 \frac{1 + \sin \theta_1}{2 \sin^2 \theta_1} = 4563,7 \text{ kN}$$

Voor de verbinding geldt dat $\theta_1 = \theta_2$ en $d_1 = d_2$, zodat $N_{2,u,d} = N_{1,u,d} = 2051,1 \text{ kN}$ (maatgevend).

Toetsing van de verbinding:

$$\frac{N_{1,s,d}}{N_{1,u,d}} = \frac{2075,4}{2051,1} = 1,01 > 1 \text{ (voldoet niet!)}$$

De verbinding voldoet echter bijna. Naast het vergroten van de diameter van de wandstaven of de wanddikte van de randstaaf kan ook gekozen worden om de tussenruimte tussen de aansluiting van de wandstaven te verkleinen. Wanneer de aansluitafstand tussen de hartlijnen van de staven (e) verkleind wordt tot 80 mm, en daarmee de tussenruimte (g) verkleint tot 36,8 mm, bedraagt de waarde voor $N_{1,s,d}/N_{1,u,d} = 0,99 < 1$. Hierbij voldoet de verbinding dus net. Verdere verkleining van de afstand levert problemen bij het lassen van de staven.

Er kan hierbij geconcludeerd worden dat de gehanteerde maten maar net voldoen, terwijl vrij veel aannamen gedaan zijn. Ook kan men zich afvragen of bij een ontwerp met verkleinde tussenruimte deze maat in de praktijk ook echt onder de gestelde waarde zal blijven. Het kan waarschijnlijk niet uitgesloten worden dat door maatonvolkomenheden of gemak bij het lassen de maat toch vergroot wordt. Dan voldoet het in theorie kloppende ontwerp alsnog niet. Een gedegener constructieve studie zal daarom in een later stadium zeker nodig zijn. Hier wordt echter volstaan met deze kanttekening.

13.5 Tweede ontwerp - Functioneel ontwerp

Bezwaren eerste ontwerp

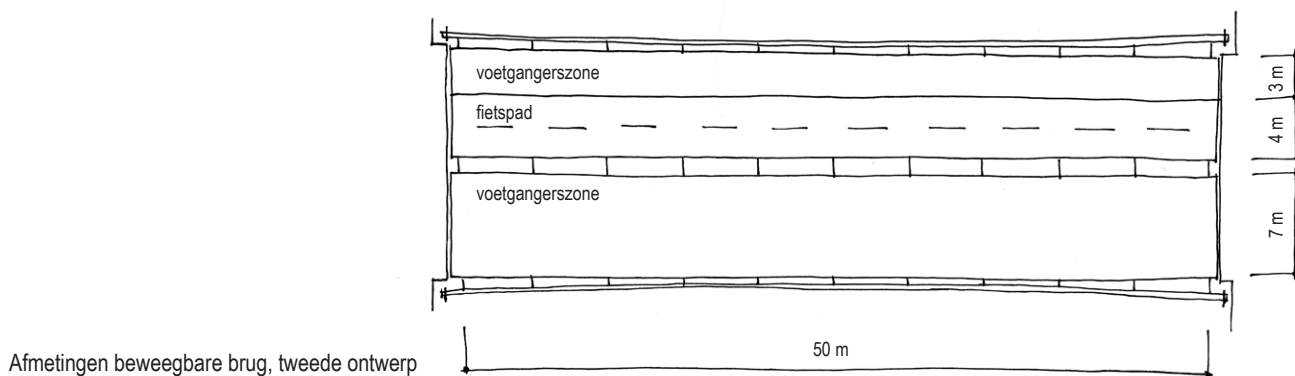
Het eerste ontwerp voor de hefbrug voldoet dus in grote lijnen aan de constructieve eisen, wanneer wordt gesteld dat de brug tijdens bewegen niet toegankelijk is voor publiek. Functioneel zijn er echter een aantal bezwaren aan het ontwerp. De grote breedte van de brug zorgt voor grote belastingen op de constructie, met name door personen en wind. Bovendien kan men zich afvragen of de verblijfszones op de brug niet gaan concurreren met de publieke verdieping van de heftorens. Daarbij wordt terugverwezen naar het gekozen concept, *verbinder*. (paragraaf 7.2) Voor het optimaal functioneren van de verkeersfunctie werden bij dit concept de overige functies gescheiden van de verkeersader.

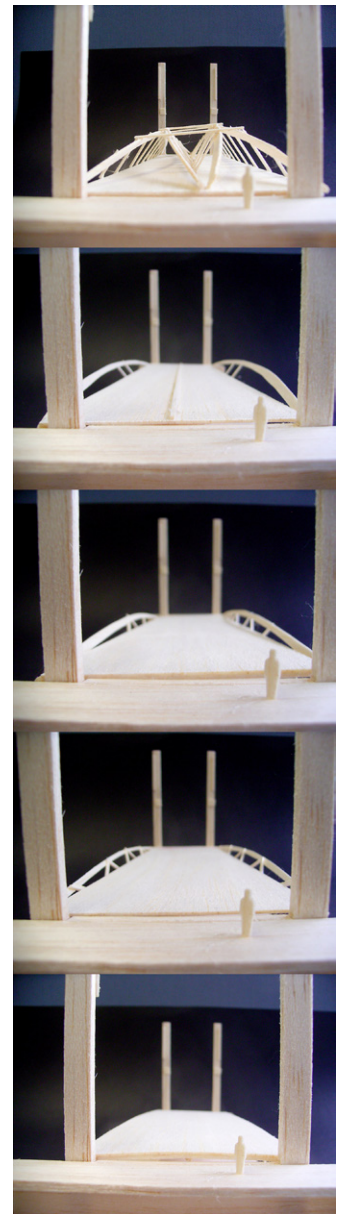
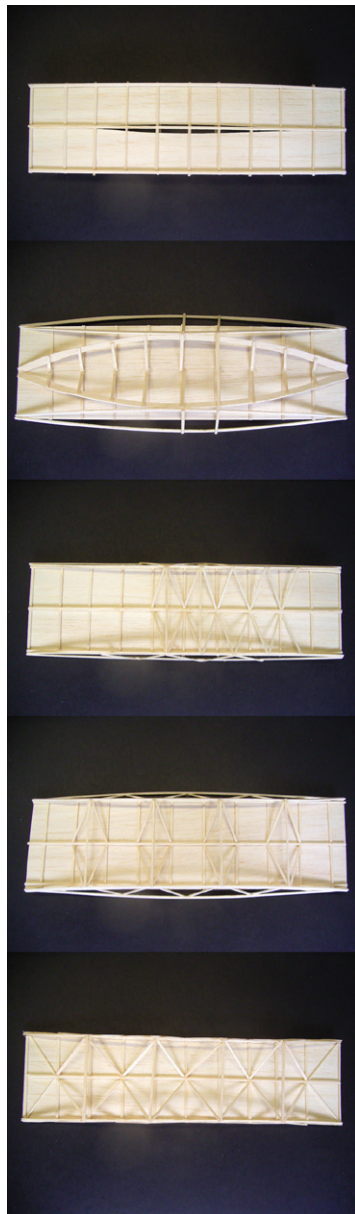
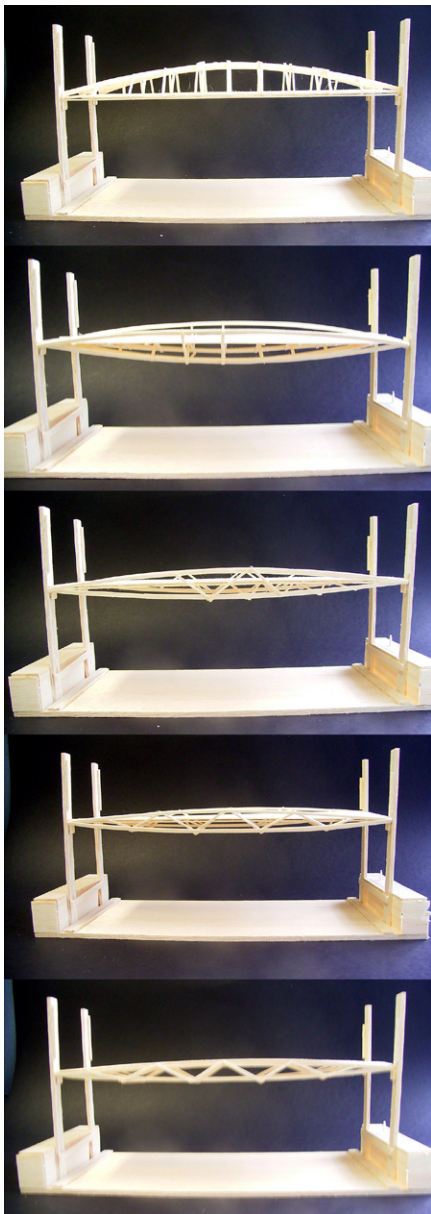
Een ander bezwaar bij het eerste ontwerp is eerder een esthetische tekortkoming. Op zichzelf kan de vakwerkboog een interessante brug opleveren. Door de grote hoogte van de boog doet de brug echter weinig elegant aan, en past hij niet zeer goed bij het ontwerp voor de torens. (zie volgende hoofdstuk) Bovendien is aan de vorm van de brug niet direct afleesbaar dat hij opgehangen wordt aan hefkabels. Wanneer de twee verblijfszones worden verwijderd, is een minder grote constructiehoogte benodigd, waardoor een elegantier ontwerp kan worden gemaakt.

Aanpassingen programma van eisen

Er wordt hierbij ook een aanpassing gemaakt in het programma van eisen, ten behoeve van de doorvaarthoogte. Uit een studie naar de afmetingen van de zogenaamde Tall Ships die SAIL Amsterdam bezoeken blijkt dat de doorvaarthoogte in geopende stand van 50 meter te veel beperkingen legt aan het evenement. (zie bijlage: Afmetingen schepen SAIL 2005) In de lijst van schepen die SAIL 2005 bezochten zijn vijf van de achttien Tall Ships en één replica hoger dan de gestelde doorvaarthoogte. De doorvaarthoogte in geopende stand wordt daarom vergroot tot 60 meter. In dat geval kunnen alle schepen die SAIL 2005 bijwoonden passeren.

Een andere aanpassing is de positie van het fietspad. Voor wandelaars is de oostzijde van de brug interessanter dan de westzijde. De voetgangerszone wordt daarom aan deze zijde verbreed. De brug wordt zo verdeeld in twee even brede delen, met aan de westzijde het fietspad (4 m) en een smal wandelpad (3 m) en aan de oostzijde een breed wandelpad (7 m). Ook wordt ervoor gekozen het brugdekniveau iets te verhogen (tot 11,5 m boven waterniveau), waardoor er meer ontwerprijheid ontstaat voor de bruggen.



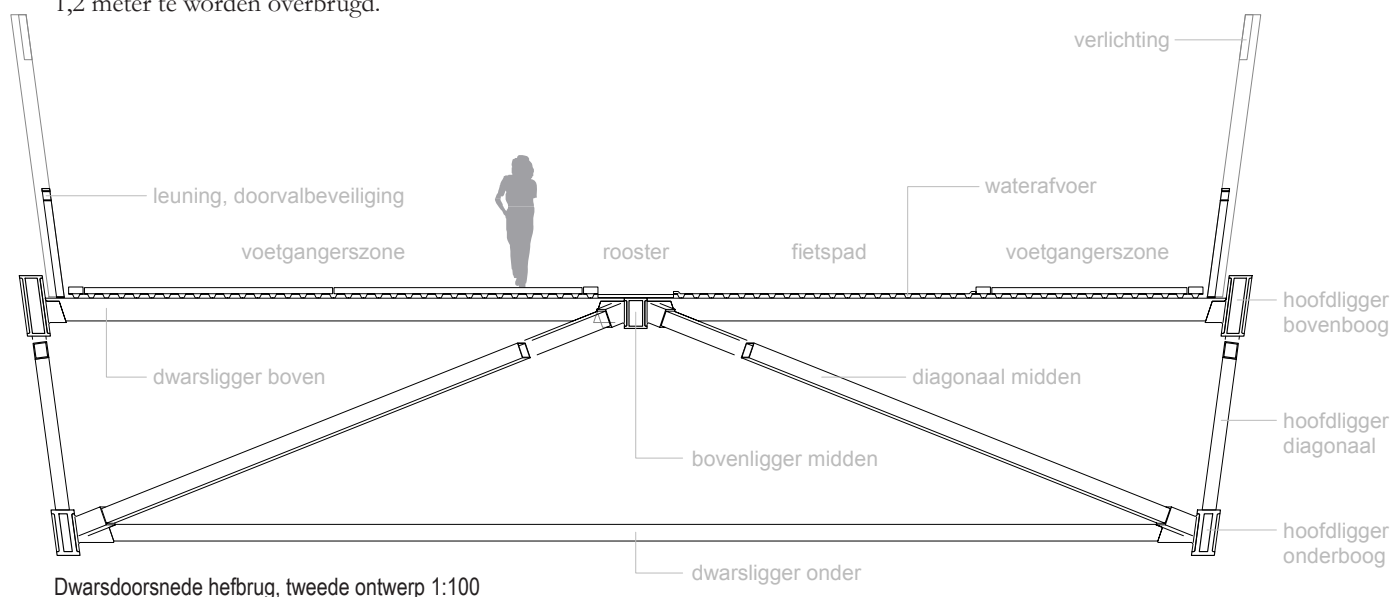


Hoofdconstructie

Er is voor het tweede ontwerp getracht de visuele constructiehoogte van de brug te beperken, en tegelijk een ontwerp te verkrijgen dat meer tot uiting brengt dat de brug wordt opgetild. Om dit laatste te bereiken wordt de onderligger (of onderliggers) gebogen. Daardoor is de overgang van brug naar kabels vloeiender. Hierbij speelt weer dezelfde afweging als bij het eerste ontwerp, namelijk dat hoe meer constructiehoogte zich aan de onderzijde van het brugdek bevindt, des te hoger het te overbruggen hoogteverschil voor voetgangers en fietsers wordt. Door echter ook de bovenligger gekromd uit te voeren, wordt de constructiehoogte verdeeld over beide krommingen. Uit een aantal studiemodellen is een model gekozen waarbij het brugdek meekromt met de bovenboog. De extra te overbruggen hoogte is 1,5 meter vanaf het eiland tot aan het midden van de brug. Deze stijging kan nog verminderd worden door het brugdek minder te laten krommen dan de bovenboog. Daardoor hoeft slechts een hoogteverschil van 1,2 meter te worden overbrugd.

De hoofdconstructie van de brug bestaat in het tweede ontwerp uit rechthoekige stalen buisprofielen. De hoofdliggers aan de zijkanten van de brug zijn gekromd. Voor een dynamischer beeld wordt de brug in het midden licht ingesnoerd, waardoor de breedte aan de opleggingen iets groter is dan in het midden. Hierdoor wordt getracht uitdrukking te geven aan het feit dat de brug opgehangen wordt aan de kabels. De liggers worden gevormd uit samengestelde, aan elkaar gelaste strips, zodat de juiste kromming van de ligger bereikt kan worden. Daarbij wordt de ligger in dwarsdoorsnede gevormd als een parallellogram, zodat de 'flenzen' horizontaal blijven, en de 'lijven' meekantelen met de diagonale verbindingsstaven.

Het brugdek bestaat uit een geprofileerde-staalplaatvloer, met daarop een vlakke staalplaat, bedekt met een bitumendek ter plaatse van het fietspad. Bij de wandelpaden wordt direct op de geprofileerde staalplaat een houten dek aangebracht, dat behandeld wordt tegen gladheid.



13.6 Tweede ontwerp - Belastingen

De belastingssituatie ondergaat in het tweede ontwerp een aantal wijzigingen. Allereerst is de brug minder breed, en zal met name de grootte van de totale verkeersbelasting afnemen. De belasting per m² blijft echter gelijk. De situatie van de windbelasting verandert wel. Er veranderen twee dingen. De brug zal in geopende stand een hoger niveau boven maaiveld bereiken. Daardoor neemt de waarde voor de belasting toe. Daarnaast is het ontwerp zodanig veranderd, dat de wind niet meer op een heel verticaal vlak aangrijpt. Bij het eerste ontwerp bevond zich langs de zijkanten van de brug een glazen doorvalbeveiliging, die veel wind ving. In het nieuwe ontwerp ontbreekt deze glazen wand, en wordt de doorvalbeveiliging gewaarborgd door een stalen spijlenwerk. Afgezien van de kleinere onderhoudsgevoeligheid vangt dit spijlenwerk ook minder wind. Er kan daarom de oude waarde voor de windbelasting worden gehandhaafd.

Het eigengewicht verandert ook. Hierop wordt in de volgende paragraaf verder ingegaan.

Belastinggevallen

De belastinggevallen veranderen deels ook. Waar er bij het eerste ontwerp (in eerste instantie) nog sprake was van mogelijke belasting door personen tijdens de bewegingscyclus, wordt bij het tweede ontwerp gesteld dat de brug alleen betreden kan worden wanneer deze in rust is. Dat betekent in gesloten stand en in geopende stand. De belastinggevallen veranderen daarmee in de volgende:

<i>geval</i>	<i>belastingvormen</i>
1) gesloten situatie (wind neerwaarts)	eigengewicht (incl. trillingsfactor) verkeersbelasting verdeeld dienstvoertuig wind neerwaarts
2) gesloten situatie (wind opwaarts)	eigengewicht (incl. trillingsfactor) wind opwaarts
3) open situatie (wind neerwaarts)	eigengewicht (incl. trillingsfactor) verkeersbelasting verdeeld wind neerwaarts
4) open situatie (wind opwaarts)	eigengewicht (incl. trillingsfactor) wind opwaarts
5) versnellen tijdens	openen / afremmen tijdens sluiten eigengewicht (excl. trillingsfactor) ¹ versnellingsbelasting neerwaarts wind neerwaarts
6) versnellen tijdens	sluiten / afremmen tijdens openen eigengewicht (excl. trillingsfactor) ¹ versnellingsbelasting opwaarts wind opwaarts

1) Er wordt nu ervan uitgegaan dat tijdens beweging in het geheel geen personen op de brug aanwezig zijn.

Geval 3 (open, wind neerwaarts) is weer maatgevend.

13.7 Tweede ontwerp - Ontwerp staalconstructie

Bij de berekeningen voor het tweede ontwerp wordt gebruik gemaakt van het programma GSA. Daarbij wordt de volgende methode aangehouden. Allereerst wordt voor de staafdoorsneden een massieve vierkante staaf gekozen, staalkwaliteit S235, waarbij bij belastingen de maximale drukspanning onder de 100 N/mm^2 blijft, en de maximale trekspanning onder de 235 N/mm^2 . Aangezien het programma knik niet in rekening brengt, wordt deze marge aangehouden. Na de eerste optimalisatieronde worden hierbij de benodigde staafdoorsneden gevonden, die als basis kunnen dienen voor de keuze van de elementen.

Vervolgens wordt voor elk van de elementen een elementtype en de afmetingen gekozen, en wordt daarbij het eigengewicht van de constructie bepaald. Er moet ervoor worden gezorgd dat dit gewicht kleiner is dan het staalgewicht van de hiervoor gekozen elementen. Met de nieuwe elementen wordt een berekeningsronde gedaan, waarna handmatig een toets wordt uitgevoerd. Hierbij wordt naast een doorsnedetoets ook een knikberekening uitgevoerd (voor de elementen op druk) en een berekening voor buigspanningen (voor elementen met weinig opgelegde krachten). Waar de elementen niet voldoen wordt een nieuwe doorsnede gekozen, waarna de berekening nogmaals wordt doorlopen.

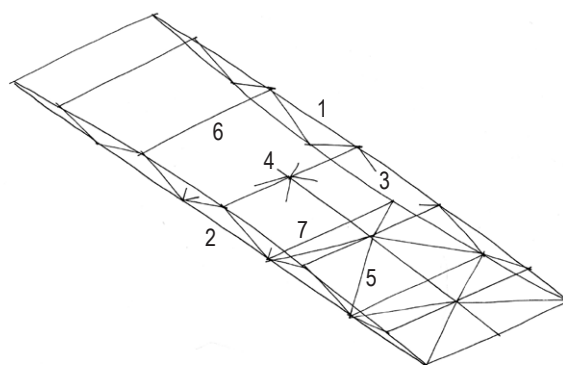
Hieronder wordt een kort overzicht gegeven van de verschillende stappen.

1. Invoer geometrie

De kromming van de bogen wordt als volgt gesteld:

<i>uitwijking:</i>	<i>horizontaal</i>	<i>verticaal</i>
bovenboog	0,5 m	1,5 m
onderboog	1,0 m	1,5 m

Er wordt onderscheid gemaakt in zeven elementtypen:



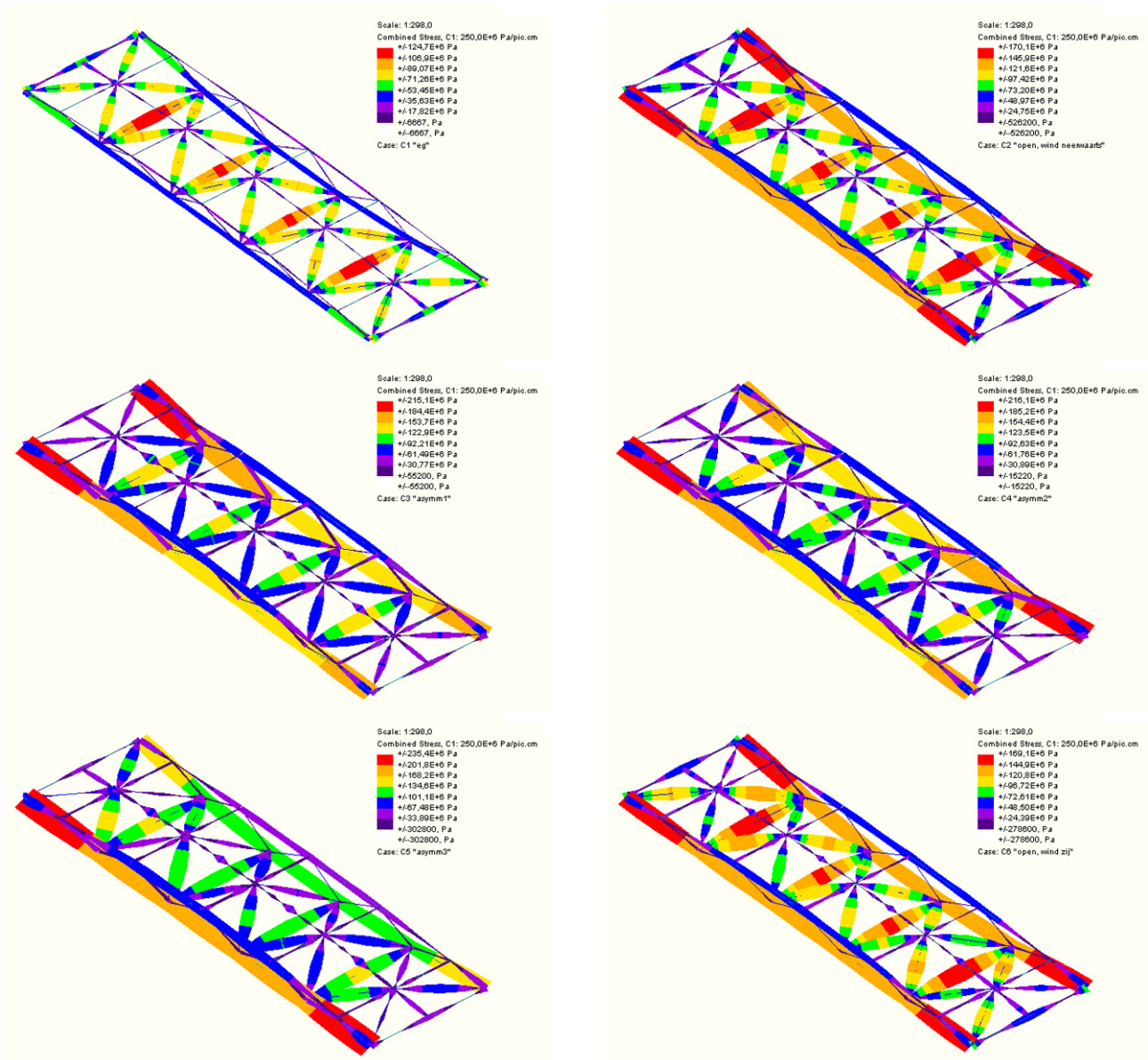
Elementen hefbrug

- 1 Bovenboog hoofdligger (randen)
- 2 Onderboog hoofdligger (randen)
- 3 Diagonaal hoofdligger
- 4 Bovenboog (midden)
- 5 Tussendiagonaal (tussen onderboog hoofdligger en bovenboog midden)
- 6 Dwarsligger boven
- 7 Dwarsligger onder

Voor elk type wordt nu een (massieve) doorsnede bepaald, zodanig dat de spanningen in de doorsnede onder de hiervoor gestelde waarden blijven. De constructie wordt hierbij getoetst in zes verschillende belastingcombinaties, waarbij ook horizontale windbelasting en asymmetrische verkeersbelasting worden meegenomen.

De bekeken belastingcombinaties zijn:

- C1 eigengewicht
- C2 open, wind neerwaarts
- C3 idem, asymmetrisch belast (alleen linkervelden)
- C4 idem, asymmetrisch belast (blokbelasting)
- C5 idem, asymmetrisch belast (alleen voorste velden)
- C6 open, wind neerwaarts, wind van voren



Uitvoer GSA, gecombineerde buig- en drukspanningen, eerste ronde

Hieruit volgen de volgende maten voor de (massieve) doorsneden:

	<i>lengte</i>	<i>doorsnede</i>
1 bovenboog	5,0 m	0,37 x 0,37 m ²
2 onderboog	10,0 m	0,30 x 0,30 m ²
3 diagonaal	6,0 m ¹	0,15 x 0,15 m ²
4 middenboog	5,0 m	0,05 x 0,05 m ²
5 tussendiagonaal	9,0 m	0,05 x 0,05 m ²
6 dwarsligger boven	7,0 m	0,05 x 0,05 m ²
7 dwarsligger onder	14,0 m	0,10 x 0,10 m ²

1) De diagonalen hebben verschillende lengten. De hier vermelde lengte is een (ruim) gemiddelde.

2. Keuze elementtype en afmetingen

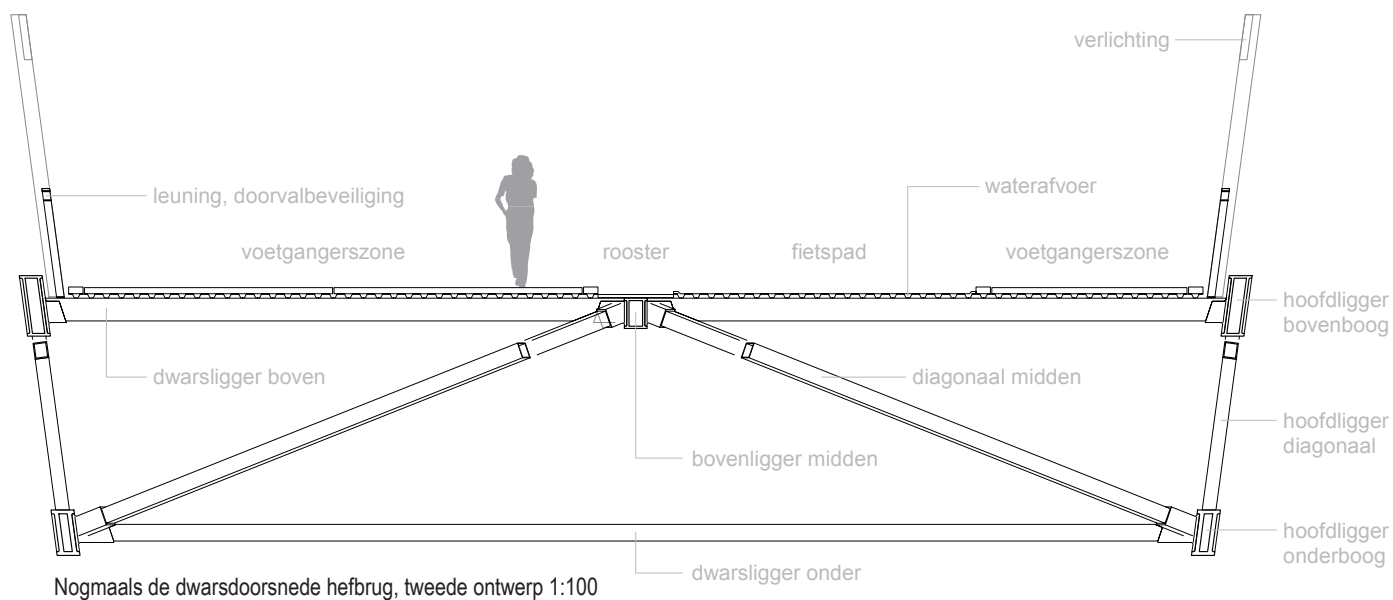
Met de waarden voor de doorsnede-oppervlakken uit deze eerste berekeningsronde worden nu elementtypen en maten gekozen. Daarbij wordt nu wel rekening gehouden met de oriëntatie van de elementen en de richting van de

elementkrachten. Er wordt ervoor gekozen alle elementen uit te voeren als rechthoekige buisprofielen. De maten worden vermeld in millimeters, in de volgorde: hoogte x breedte x dikte wand.

	<i>afmetingen (mm)</i>
1 bovenboog	800 x 300 x 35
2 onderboog	600 x 300 x 45
3 diagonaal	180 x 180 x 12
4 middenboog	400 x 300 x 30
5 tussendiagonaal	160 x 160 x 5
6 dwarsligger boven	300 x 120 x 30
7 dwarsligger onder	220 x 220 x 5

3. Handberekening

De hierboven gekozen elementen worden met de hand getoetst op druk, knik en buiging. (afhankelijk van de belasting) De belasting volgt uit de opnieuw uitgevoerde berekeningsronde in GSA, met bovenstaande profielgrootheden.



Als voorbeeld wordt hier de toets voor de bovenboog (1) weergegeven.

F_u	15.530 kN	DRUK
$l_{k,z}$	10.000 mm	
$l_{k,y}$	5.000 mm	
F_E	$(\pi EI / l_k^2)$	$110,8 \times 10^3$ kN
F_d	$(A f_y)$	$16,9 \times 10^3$ kN
λ_{rel}	$(\sqrt{F_d / F_E})$	0,39
ω_{buc}		0,95 (NEN 6770, tabel 24)

Toets doorsnede:

$$F_u / F_d = 0,92 < 1; \text{ok.}$$

Toets knik:

$$F_u / (\omega_{buc} F_d) = 0,96 < 1; \text{ok.}$$

Voor de toets van de overige elementen wordt verwezen naar de bijlage Dimensionering hefbrug tweede ontwerp.

Uit de handberekeningen volgen een aantal wijzigingen:

ad 3.

De diagonalen worden niet alle even zwaar belast. Daarom kan voor alle diagonalen behalve de buitenste worden volstaan met een profiel van 180 x 180 x 10.

ad 7.

Ook de dwarsliggers onder worden niet alle even zwaar belast. Met name de buitenste liggers, die de afsluiting van de constructie vormen, worden vrij zwaar belast (op druk). De overige worden minder zwaar en hoofdzakelijk op trek belast. Hier volstaat een kleiner profiel, 180 x 180 x 5.

4. Tweede berekeningsronde

Met de bovenstaande waarden wordt ook nieuwe berekeningsronde uitgevoerd in GSA, waaruit blijkt dat ook hier een aantal elementen niet voldoen.

ad 2.

De onderboog voldoet niet. Deze wordt daarom versterkt tot 600 x 300 x 60/50. (De verticalen hebben wanddikte 60 mm) Dan voldoet de ligger, behalve aan de uiteinden. Daarom worden de onderbogen in de buitenste velden versterkt met een nog dikkere wand voor de verticalen: 600 x 300 x 70/50.

ad 5.

De tussendiagonalen voldoen ook niet. Deze worden vergroot tot 180 x 180 x 5.

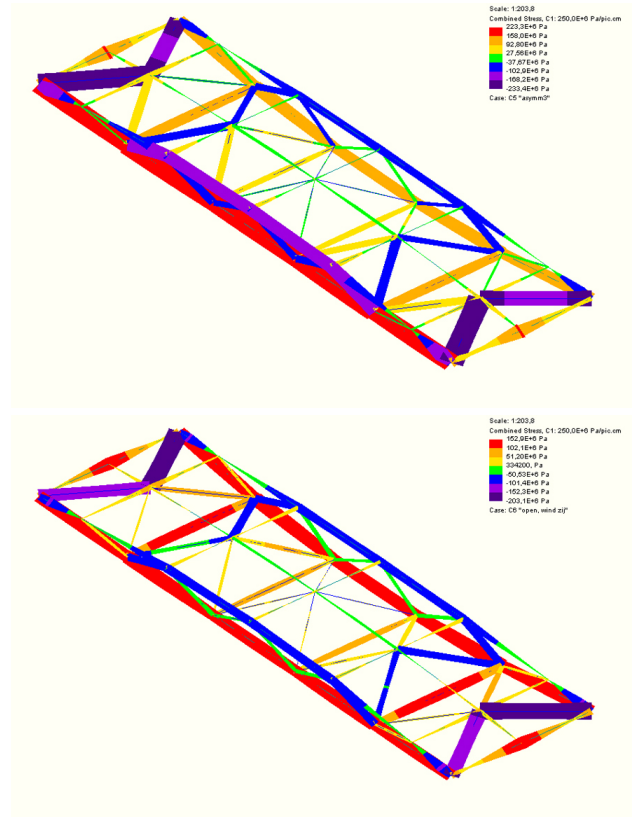
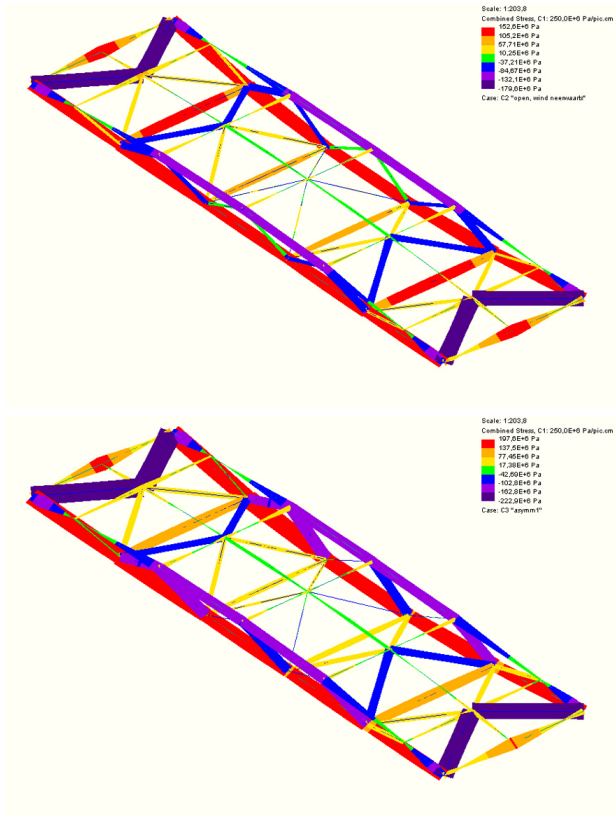
Na deze aanpassingen zijn de profielgrootheden:

	<i>afmetingen (mm)</i>
1 bovenboog	800 x 300 x 35
2 onderboog	600 x 300 x 60/50
buitenste veld	600 x 300 x 70/50
3 diagonaal	180 x 180 x 10
buitenste veld	180 x 180 x 12
4 middenboog	400 x 300 x 30
5 tussendiagonaal	180 x 180 x 5
6 dwarsligger boven	300 x 120 x 30
7 dwarsligger onder	180 x 180 x 5
buitenste veld	220 x 220 x 5

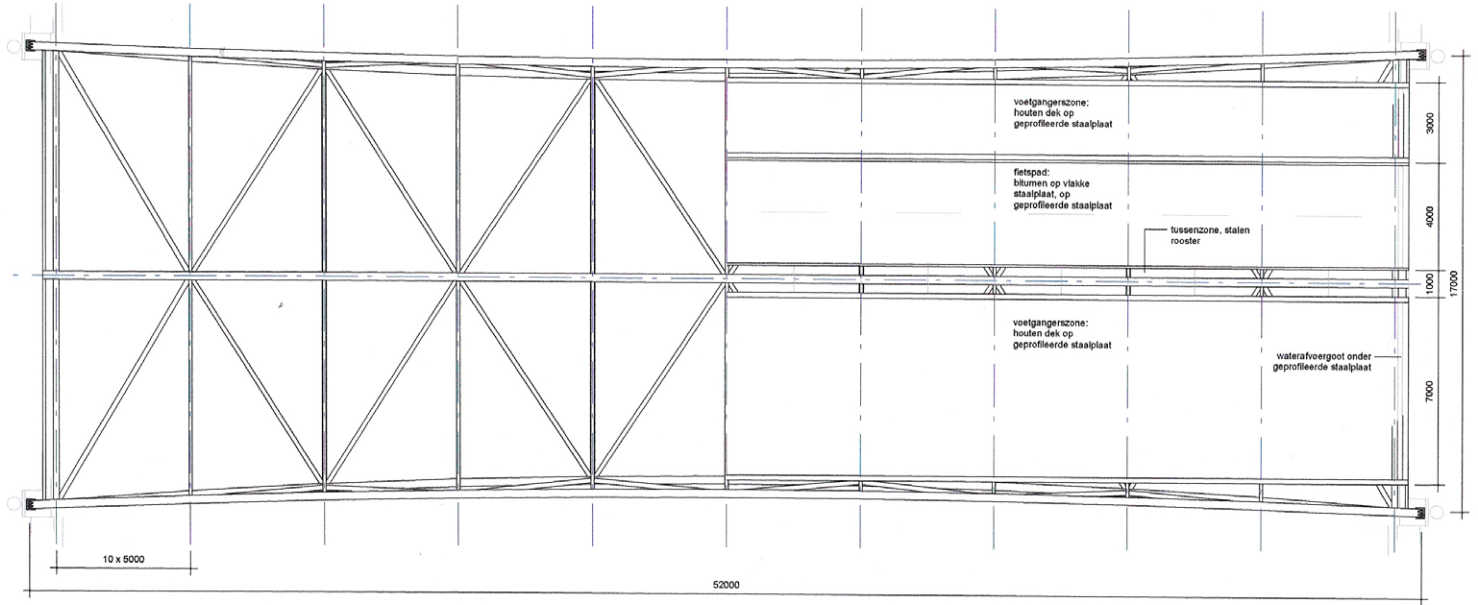
Het staalgewicht exclusief brugdek komt daarbij op 2,11 kN/m², hetgeen aanzienlijk minder is dan de 3,01 kN/m² aan staalgewicht in de eerste ronde.

De maximale (gecombineerde buig- + druk-)spanning in de elementen bedraagt nu 233 N/mm², in twee van de buitenste tussendiagonalen in belastingcombinatie C5, open, wind neerwaarts, asymmetrisch belast (alleen voorste velden).

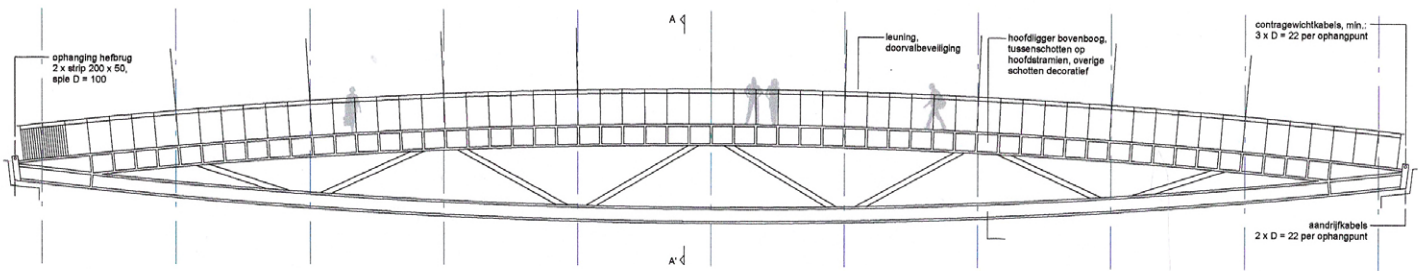
Hierwordt volstaan met deze uitkomsten. Een gedetailleerder berekening is pas nuttig wanneer het gehele project tot een latere fase wordt doorontwikkeld. Op dit moment kan geconcludeerd worden dat het aangepaste tweede ontwerp in grote lijnen voldoet, en dat er voldoende ruimte blijft voor kleine wijzigingen ten gevolge van nauwkeurigere berekeningen. De brug is in het tweede ontwerp eleganter geworden, en biedt meer mogelijkheden als uitgangspunt voor de overige (niet-beweegbare) bruggen.



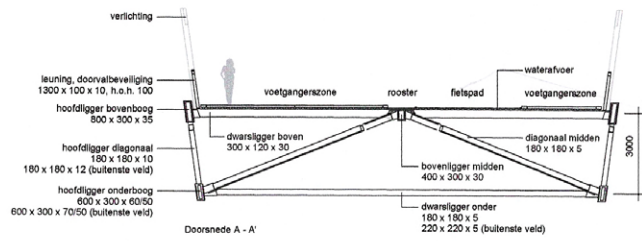
Uitvoer GSA, gecombineerde buig- en drukspanningen, tweede ronde, maatgevende belastingcombinaties C2, C3, C5, C6.



Bovenaanzicht



Zijaanzicht



Doorsnede A - A'

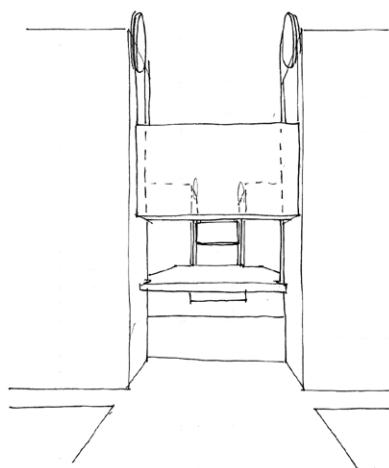
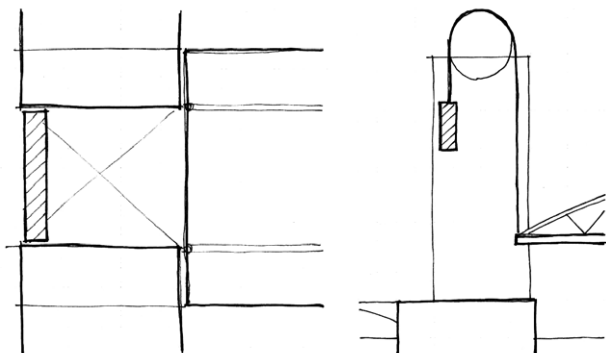
0 1 2 5 m Alle maten in mm. Niet op schaal!

Hefbrug tweede ontwerp

13.8 Hefmechanisme

Plaats contragewichten

De hefbrug wordt aan beide opegezijden in evenwicht gehouden door een contragewicht. Deze twee contragewichten maken evenwicht met de permanente belasting van de hefbrug. De hefbrug wordt opgehangen aan twee paar hefwielen, die aan de vier heftoren opgehangen worden. Het contragewicht hangt dan tussen twee heftoren aan een kant van de vaargeul in.



Een passant heeft bij nadering van de brug zicht op het contragewicht, en ziet bovendien aan het contragewicht wanneer de brug open of in beweging is.

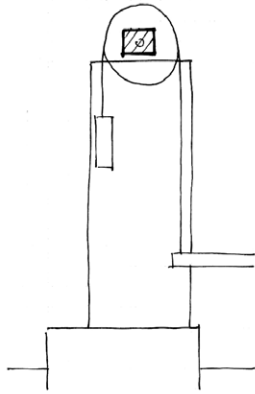
Plaats hefmechanisme

Voor de plaatsing van de hefmechanismen en de aandrijfinstallaties zijn verschillende mogelijkheden. In de meeste conventionele hefbruggen wordt het aandrijf wiel bovenin de heftoren aangedreven. Dit heeft als voordeel dat de motor en het aandrijfpunt op een plek blijven tijdens de volledige beweging.

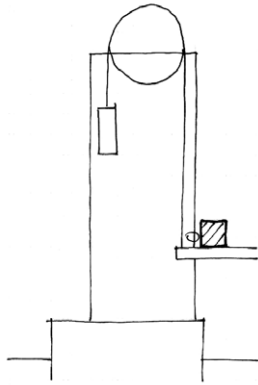
Een aandrijfmechanisme bovenin de heftoren heeft echter ook nadelen. Trillingen uit de motor en de overbrengingsmechanismen worden direct aan de heftoren doorgegeven. Bij een conventionele hefbrug is dit gewoonlijk een overkomelijk probleem. Wanneer de heftoren echter bijkomende functies krijgt, vormen trillingen een groter probleem.

Het verschil in belasting op de brug moet hier worden opgevangen door de hefkabels. Deze belastingsverschillen zijn relatief groot wanneer op elke stand van de brug een volledige gelijkmatig verdeelde personenbelasting kan optreden. (eerste ontwerp)

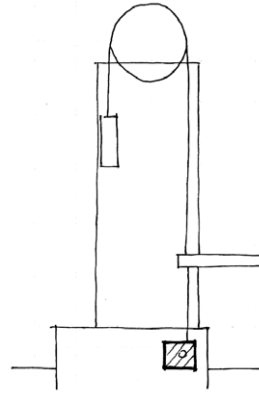
Een tweede mogelijkheid is het plaatsen van de motor op het brugdek zelf. Hoewel dit op het eerste gezicht een handige oplossing lijkt - de motor kan op zijn plaats blijven terwijl de overbrenging kan geschieden door middel van een tandwieloverbrenging - kleven er grote bezwaren aan deze oplossing. Ten eerste worden trillingen van de motor direct aan het brugdek afgegeven, juist het onderdeel van de brug dat het meest vatbaar is voor trillingen. Bovendien moeten belastingsverschillen op de brug volledig opgevangen worden door het aandrijfmechanisme. Dit probleem kan deels worden ondervangen door het gewicht van het contragewicht variabel te maken. De praktische uitvoerbaarheid van een variabel contragewicht is echter beperkt. Bij een plotselinge verandering van de belasting



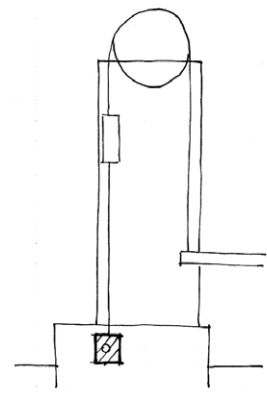
Hefmechanisme in heftoren



Hefmechanisme op brugdek



Hefmechanisme in onderbouw



Motor aan contragewicht

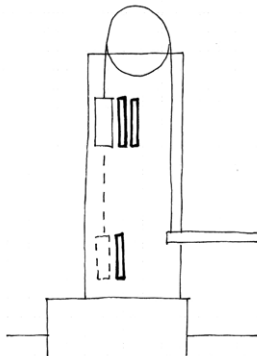
op de brug zou ook het contragewicht snel mee moeten veranderen. Dit is op zich haalbaar, maar in verband met de hoge benodigde betrouwbaarheid van de hefbrug wordt een variabel contragewicht niet verder uitgewerkt.

De derde mogelijkheid is het plaatsen van de aandrijving onderaan de heftoren. Een eerste voordeel is het vermijden van (de meeste) trillingen in heftoren en brugdek. Deze oplossing kan in twee varianten worden uitgevoerd. De motor kan worden verbonden met het contragewicht, of met het brugdek. Verbinden van het contragewicht

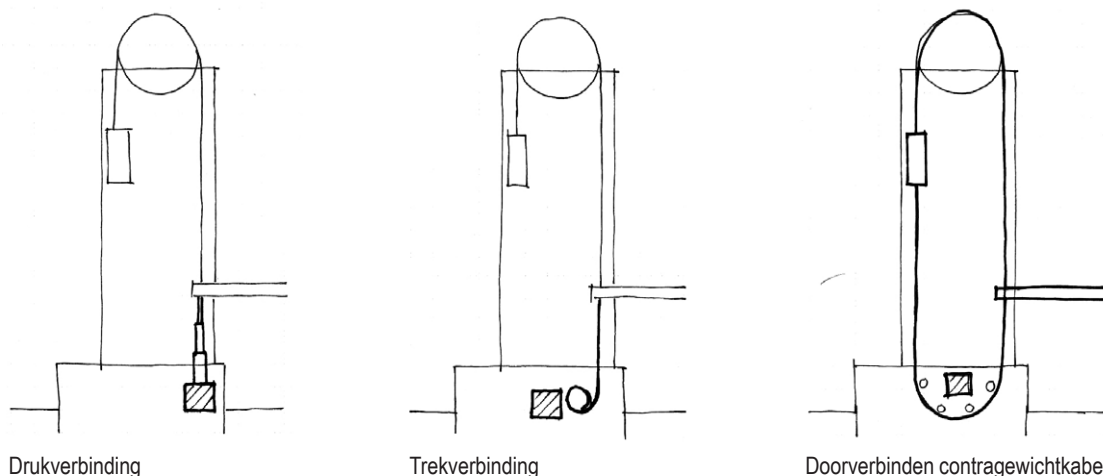
betekent echter dat het volledige traject van brugdek via hefkabel, wiel, contragewicht en aandrijfkabel blootgesteld wordt aan belastingverschillen op het brugdek.

Directe verbinding van het brugdek met de aandrijving lijkt dus logischer. Ook hier geldt echter dat de volledige belastingverschillen moeten worden opgenomen door het hefmechanisme, maar dit is in principe bij alle varianten het geval. Wel is in deze laatste optie dit probleem overkomelijker dan wanneer de motor op het brugdek staat. Het hefmechanisme kan namelijk uitgevoerd worden als een lineair (hydraulisch of elektromechanisch) systeem, dat beter in staat is om belastingverschillen op te nemen dan een direct tandwielsysteem.

Er wordt gekozen voor het plaatsen van het hefmechanisme onderaan de heftoren. Naast de trillingsvoordelen heeft deze positie ook een gebruiksfunctioneel voordeel boven het mechanisme in de top van de torens. De volledige toren gebruikt kan worden voor verblijfsfuncties. De bovenste verdiepingen zijn vanwege het uitzicht waarschijnlijk de meest gewilde verdiepingen., met name op de hoeken van de torens. De ruimte direct onder het brugdek is minder aantrekkelijk door de geringe lichtinval en het gebrek aan uitzicht. Het plaatsen van de motor in deze ruimte is daarom ook uit indelingsoverwegingen logisch.



Variabel contragewicht



Drukverbinding

Trekverbinding

Doorverbinden contragewichtkabel

Aandrijfmechanisme

Wanneer het contragewicht alleen de permanente belasting compenseert, kan een lineair hefsysteem onder drukkracht komen te staan. Bovendien moet de reiklengte van zo'n systeem de volledige 40 meter hefhoogte kunnen overbruggen. Dit is op zich mogelijk met hydraulische en elektromechanische lineaire actuators, maar levert een zware constructie. Pneumatische actuators zijn minder geschikt, door de lagere belastingcapaciteit.

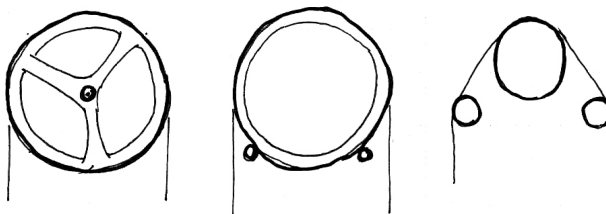
Een volledige trekverbinding tussen motor en brug is mogelijk wanneer in alle belastinggevallen het gewicht van het contragewicht groter is dan de belastingen uit de brug. In dat geval kan het aandrijfmechanisme uitgevoerd worden als een oprolbare kabel over een kabeltrommel. Er staat hierbij echter bij alle belastingssituaties een grote kracht op de contragewichtkabels.

Een andere mogelijkheid is het doorleggen van de contragewichtkabels tot een doorgaande kabel. De aandrijving gebeurt door een of meerdere wrijvingswielen onderaan de toren. Door de wielen op veren te plaatsen wordt in elke situatie voldoende wrijving gegarandeerd voor de aandrijving. Een dergelijk systeem is toegepast bij de hefbrug in Spijkenisse (Dekker 1979).

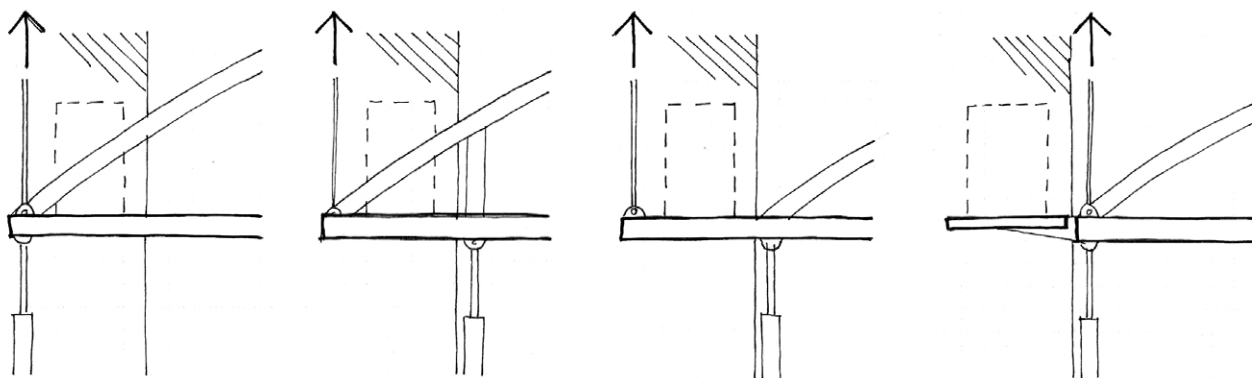
Er wordt hier voor de doorgaande kabel gekozen. Dit systeem is al in de praktijk getest. Bovendien lijkt deze variant het meest betrouwbaar en het minst gevoelig voor kleine verschillen in aandrijving tussen de verschillende hefpunten.

Aangrijppunt hefsysteem

Er wordt uitgegaan van een groot wiel aan de top van de toren dat het contragewicht met het brugdek verbindt. In eerste instantie lijkt een wiel met een diameter gelijk aan de volledige breedte van de toren wat groot. (15 tot 16 meter) Wanneer echter een kleiner wiel wordt gebruikt, moet het wiel asymmetrisch aan de toren opgehangen worden, of de ophangpunten van brug en contragewicht moeten



Mogelijkheden voor hef wiel



Mogelijkheden aangrijpingspunt contragewichtkabel en hefmechanisme

naar binnen worden geplaatst. Asymmetrische ophanging van het wiel betekent ook asymmetrische belasting van de toren. Afhankelijk van de verhouding tussen belasting van contragewicht en vloerbelasting van de toren is dit meer of minder problematisch. Maar gezien de afmetingen van de hefbrug kan worden aangenomen dat de belasting uit het contragewicht aanzienlijk is.

Het naar binnen brengen van het ophangpunt van het contragewicht is geen probleem. Bij het ophangpunt van de brug is er echter een functioneel probleem, afgezien van de vergrote overspanning en het ongunstigere momentenverloop. Aangezien de hoofdconstructie zich deels boven het brugdek bevindt, zal de constructie een zijdelingse toegang tot de brug in de weg zitten. Verschillende configuraties van aangrijpingspunten laten zien dat naar binnen brengen van het ophangpunt van het brugdek niet handig is.

Er wordt dus uitgegaan van een groot wiel, met een diameter van ca. 15 meter. Bijkomend voordeel van een grote diameter is dat de hangkabel minder belast wordt door spanningsverschillen door kromming. Bij grote kabeldiameters kan deze spanning snel oplopen. Om dezelfde reden vervalt een combinatie van meerdere kleinere wielen. Ter plaatse van de aandrijving is dit

probleem minder groot door de kleinere initiële spanning in de kabel.

Om de brug toch zijdelings te kunnen betreden, kan een uitstekend bordes aan het brugdek worden bevestigd. Aangezien dit bordes voorbij het ophangpunt en het steunpunt ligt, kan het licht en uitkragend uitgevoerd worden.

Aanvaring brugdek

Bij aanvaring van het brugdek moet voorkomen worden dat bezwijken van de hefbrug ook leidt tot bezwijken van de constructie van een of meer torens. Oftewel, wanneer een cruiseschip tegen de niet (voldoende) geheven hefbrug vaart, en het brugdek wordt meegesleurd, dan moet voorkomen worden dat de brug ook de torens meeneemt. Dit betekent voor de ophangpunten dat deze buiten het gevelstramien van de torens moeten liggen. Dit pleit weer voor het niet naar binnen halen van de ophangpunten. Ook een bordes is om deze reden niet aan te bevelen.

Een ander nadeel van een bordes is dat dit beneden moet aansluiten op de landhoofden. Hierdoor moet een deel van het landhoofd verlaagd worden, zodat bij geheven hefbrug een deel van het landhoofd tussen de twee heftorens niet toegankelijk is.

Belastingen contragewicht en kabels

De contragewichten maken evenwicht met de permanente belasting uit het brugdek. Elk contragewicht krijgt dus een gewicht gelijk aan de helft van de permanente belasting van de brug. Er wordt hier uitgegaan van het tweede ontwerp van de hefbrug, waarbij er dus tijdens het bewegen van de brug geen personen op het brugdek worden toegelaten.

Totaal eigengewicht brug 180,2 ton

Per contragewicht 90,1 ton

Dit komt neer op een blok beton van

Bij het eerste ontwerp komt dit bijvoorbeeld neer op een blok beton van 36 m³, oftewel 14 x 5 x 0,5 m.

De contragewichtkabels worden vrij constant belast. Horizontale windbelasting op het contragewicht wordt afgedragen aan het geleidesysteem. De enige belastingverschillen in de kabels bestaan uit verticale windbelasting, belasting van personen op de contragewichten en sneeuw.

De interne spanningsverdeling in de contragewichtkabels is wel aan vrij grote veranderingen onderhevig door de kromming van de kabel over het wiel.

Voor de belasting van de kabels geldt het volgende:

$$F_{f,d} = \gamma_o \cdot \phi_v \cdot F_{eg,rep}$$

waarin: $F_{f,d}$ rekenwaarde van de som van de krachten in de contragewichtkabels per contragewicht
 γ_o belastingfactor, $\gamma_o = 1,5$ voor uiterste grenstoestand overbelasten
 ϕ_v dynamische vergrotingsfactor, $\phi_v = 1,45$
 $F_{eg,rep}$ representatieve waarde van de som van de krachten in de contragewichtkabels per contragewicht

$$F_{f,d} = 1,5 \times 1,45 \times 901 = 1960 \text{ kN}$$

Deze waarde is de rekenwaarde van de belasting op de totale ophanging van een contragewicht. Het contragewicht wordt aan beide torens opgehangen. Per ophangpunt bedraagt de kabelkracht dus:

$$F_{f,d} = 1/2 \times 1960 = 980 \text{ kN}$$

De norm schrijft voor dat de staalkabels moeten zijn vervaardigd van verzinkte staaldraad met een treksterkte van minimaal 1770 N/mm². Er wordt aangenomen dat de kabel tot de helft van de treksterkte mag worden belast, dus $f_d = 885 \text{ N/mm}^2$. Het benodigde oppervlak aan staalkabel per ophangpunt bedraagt dan:

$$A_{ben} = F_{f,d} / f_d = 1107 \text{ mm}^2.$$

Dit oppervlak wordt verdeeld over 3 kabels per ophangpunt. Het toepassen van één kabel per ophangpunt levert een kabeldiameter van 38 mm. Het buigen van deze kabel over de kabelwielen is vrij moeilijk. De kabel bezwijkt daarbij door interne spanningsverschillen. Afgezien daarvan is het gebruik van één kabel om veiligheidsredenen af te raden. Met drie kabels is een kabeldiameter nodig van 22 mm.

Het spanningsverschil in de uiterste vezel van de kabel door kromming over het wiel (met straal $r = 7,5 \text{ m}$) bedraagt daarbij: +/- 308 N/mm².

$$\sigma = \frac{N_t}{A} + \frac{M \cdot z}{I_{zz}} \leq f_d \quad \frac{M \cdot z}{I_{zz}} = E \cdot \kappa \cdot z$$

Dit is ook bij deze geringere kabeldiameter aanzienlijk. Hierbij wordt er echter wel vanuit gegaan dat de gehele kabel massief is en als een geheel samenwerkt. In werkelijkheid bestaat de kabel uit meerdere strengen kleine kabels, en zal de buigstijfheid afnemen.

Belastingen aandrijfmechanisme

Het aandrijfmechanisme wordt belast door het verschil in belasting tussen brug en contragewicht. Aangezien de brug tijdens heffen niet toegankelijk is, is dit verschil beperkt. Wel kan de belasting zowel positief als negatief zijn.

Belasting aandrijfmechanisme:

$$F_{s,d} = F_{b,d} - F_{f,d}$$

waarin: $F_{s,d}$ rekenwaarde van de som van de krachten op de aandrijving
 $F_{b,d}$ rekenwaarde van de krachten op de aandrijving uit belastingen van en op de brug
 $F_{f,d}$ rekenwaarde van de krachten op de aandrijving uit belastingen van het contragewicht

Hierbij gelden voor $F_{f,d}$ de volgende veiligheidsfactoren:

	<i>ongunstig</i>	<i>gunstig</i>
γ_o	1,2	0,9
φ_v	1,25	0,75

Er wordt gerekend per aandrijfpunt, met een totaal aantal van vier aandrijfpunten.

Maximale neerwaartse belasting	700,4 kN
Maximale opwaartse belasting	488,8 kN

De aandrijfmotoren moeten dit vermogen aankunnen. Bovendien moet ervoor gezorgd worden dat de aandrijfwielen deze krachten door wrijving over kunnen brengen, zowel tijdens bewegen als in rust. Door de wrijving van de wielen met de kabels blijft het brugdek op zijn plek, vanaf het moment dat de benedenoplegging wordt ontkoppeld tot aan het moment dat de brug wordt gezekerd in de bovenoplegging. Hetzelfde geldt bij dalen van de

brug, van het moment dat de brug van de bovenoplegging wordt ontkoppeld totdat de brug op de benedenoplegging wordt geklemd.

Voor de vaste opleggingen boven en beneden geldt hierbij dus dat ze zowel neerwaartse als opwaartse krachten moeten kunnen opvangen. Dit kan door middel van een klemoplegging.

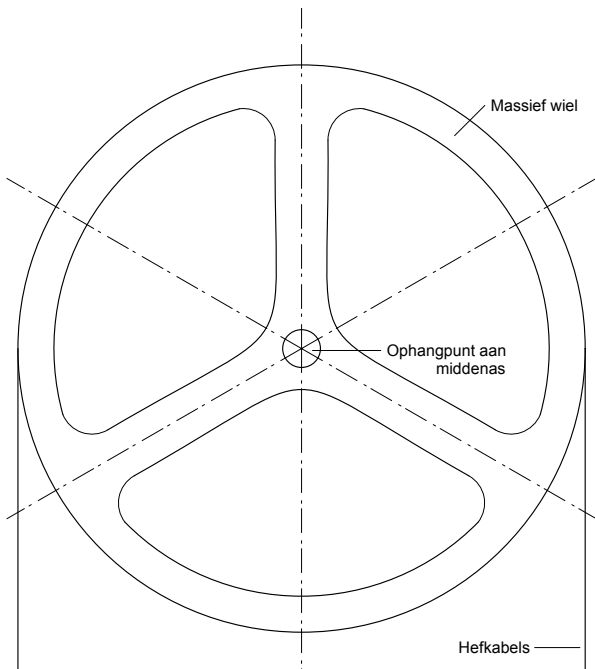
Geleidepunten

De brug wordt in horizontale richting ondersteund door geleidepunten. Deze geleidepunten houden het brugdek (horizontaal) op zijn plaats, maar moeten wel enige bewegingsvrijheid toelaten. Dit in verband met temperatuuruitzetting van het brugdek en verplaatsingen van de torens ten gevolge van bijvoorbeeld windbelasting.

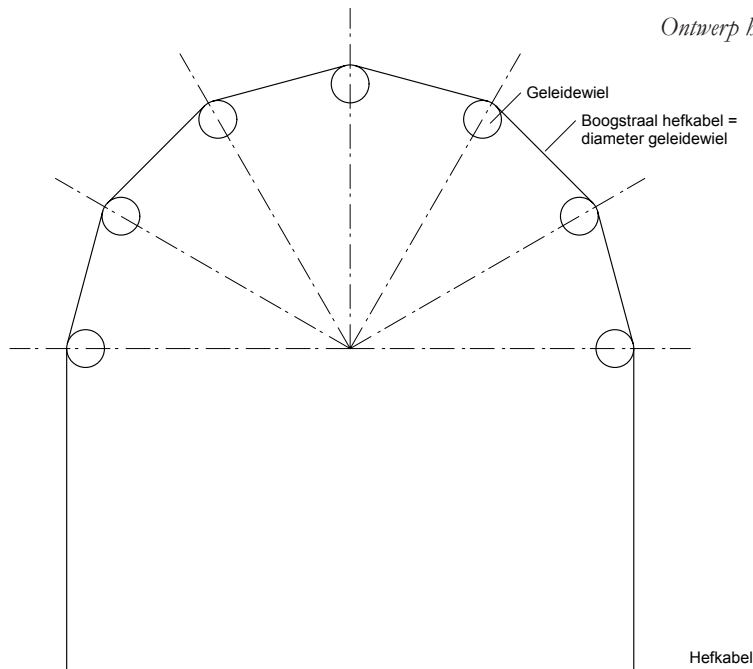
Een mogelijke oplossing is een geleidesysteem in de vorm van geleidewielen, verbonden met het brugdek door middel van zuigers. Door de zuigers op spanning te brengen tijdens de montage van het brugdek staan de geleidepunten onder voorspanning. Wanneer deze voorspanning groot genoeg gekozen wordt zal het brugdek onder elke horizontale belasting contact houden met de geleidebanen langs de heftorens. Deze voorspanning zal door zowel brugdek als heftorens moeten kunnen worden opgevangen.

Bovenwiel

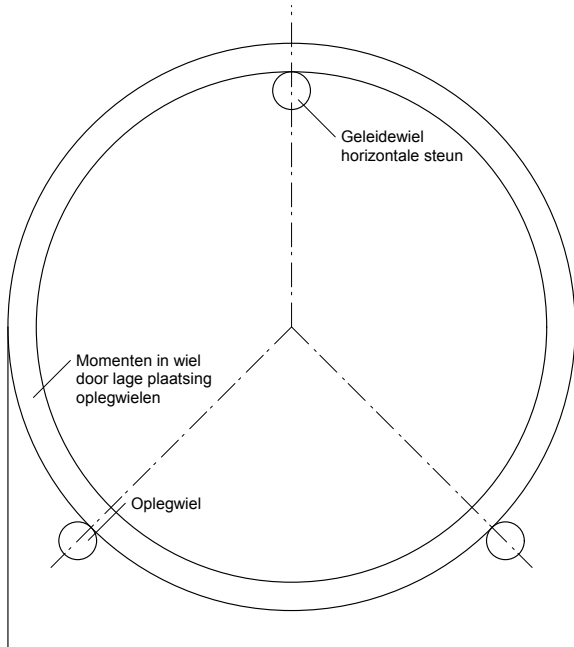
De kabelwielen bovenaan de heftorens moeten elk drie kabels geleiden. Door de grote diameter springen de wielen in het oog. Een conventionele ophanging ligt daarom niet direct voor de hand. Naast een ophanging aan de as is geleiding over meerdere kleine oplegwielen een andere mogelijkheid. De aandrijving geschiedt niet via dit wiel, en de grootste krachten in het wiel zijn naar het centrum van het wiel gerichte krachten uit de kabels. Wanneer het wiel aan meerdere geleidewielen wordt opgehangen, worden de interne krachten in het wiel verminderd. Verschil met een



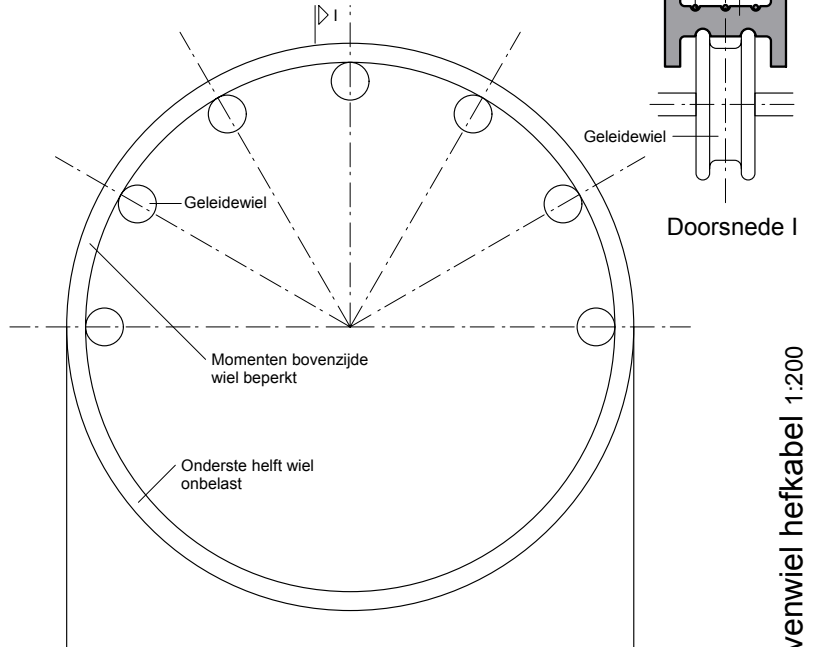
Ophanging wiel aan centrale as



Directe geleiding over kleine wielen



Ophanging wiel op kleine wielen (I)



Ophanging wiel op kleine wielen (II)

Bovenwiel hefkel 1:200

directe overbrenging van de kabel op een serie kleine wielen is dat de kromming in de kabel beperkt blijft.

Onderwielen

De onderwielen dragen de aandrijfkraft over op de hefkabels. In tegenstelling is het hier wel van belang dat de kabel een bepaalde kromming heeft. Een grotere kromming betekent namelijk een grotere overbrengbare kracht op de kabel. De aandrijfwielen worden door middel van veren op de hefkabels gedrukt. Deze verende oplegging van de aandrijfwielen - en van de overige onderdelen van de aandrijving - fungeert tegelijk als trillingsdemper.

De maximale belasting van de kabels per hefpunt bedraagt 700 kN. Aangenomen wordt dat de aandrijfwielen een diameter van 2,0 meter hebben. Verder wordt een heftijd van 100 seconden aangenomen (Remery 2006). Met een heflengte van 45 meter bedraagt de maximale snelheid van de kabels 0,5 m/s.

In een configuratie van vier parallelle onderwielen wordt de trekkracht verdeeld over de vier wielen. Ieder wiel moet daarbij een kracht overbrengen van 175 kN. Met een straal van 1,0 m, en een omtrek van 6,28 m bedraagt het toerental van het wiel 0,08 (1/s).

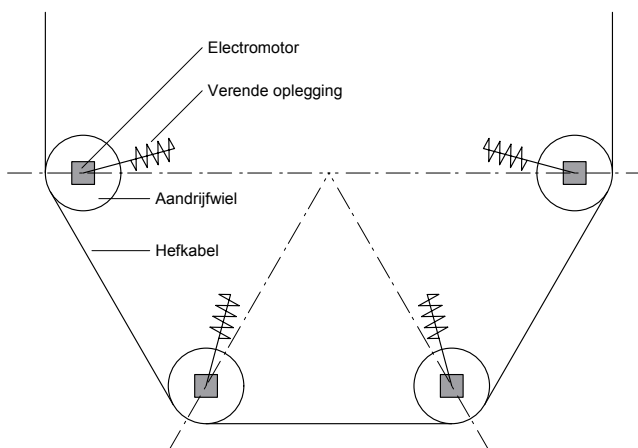
Koppel: $175 \text{ kN} \times 1 \text{ m} = 175.000 \text{ Nm}$
 Vermogen: $175.000 \times 0,08 = 14.000 \text{ W}$

Motoren in dit vermogen zijn goed leverbaar. Voor een voorbeeld, zie bijlage Rotor.

Koppeling hefpunten

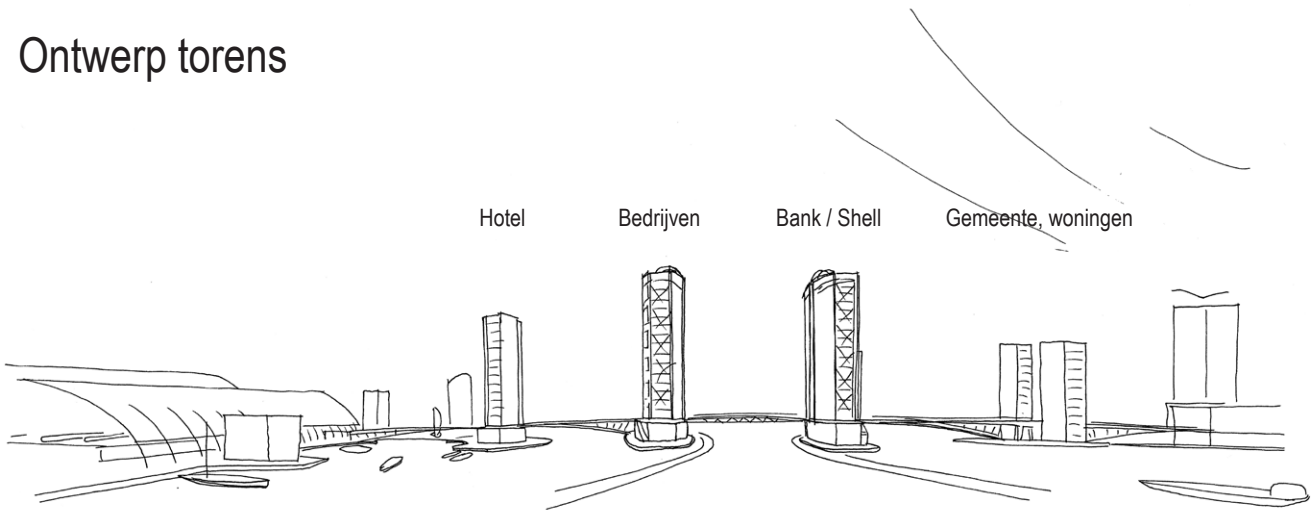
Bij oudere hefbruggen werden de twee hefpunten aan één zijde van de overspanning gekoppeld door middel van een of meer dwarskabels. Deze koppeling was een zekering tegen ongelijke snelheid van de kabels, waardoor

de brug ongelijk belast zou worden. Bij recenter gebouwde hefbruggen wordt deze koppeling meestal weggelaten, en wordt de snelheid van de verschillende kabels elektronisch geregeld. Een koppeling is bij deze hefbrug dan ook niet nodig, wanneer uitgegaan wordt van een elektronische regeling van de aandrijving.



Configuratie onderwielen

14. Ontwerp torens



Overzicht brug met de verschillende torens

In dit hoofdstuk worden de heftorens verder uitgewerkt. De vier torens zijn in grote mate identiek aan elkaar, en daarom wordt hier een toren uitgewerkt. Op punten waar de gebouwen echt van elkaar verschillen, zoals de gevelzones, zal op de verschillende gebouwen worden ingegaan. De constructieve uitwerking van de torens zal in het volgende hoofdstuk worden behandeld. Voor uitgebreidere tekeningen van de torens wordt verwezen naar de tekenmap, die afzonderlijk ingebonden is.

14.1 Functioneel ontwerp

Globale afmetingen

De globale vorm van de toren volgt uit de vaargeulen, en daarmee uit de risicozones. De lange gevels van de twee torens op een eiland vormen een beschermende wand naar de vaargeulen toe. De brug doorsnijdt de torens, en dus ook het scherm.

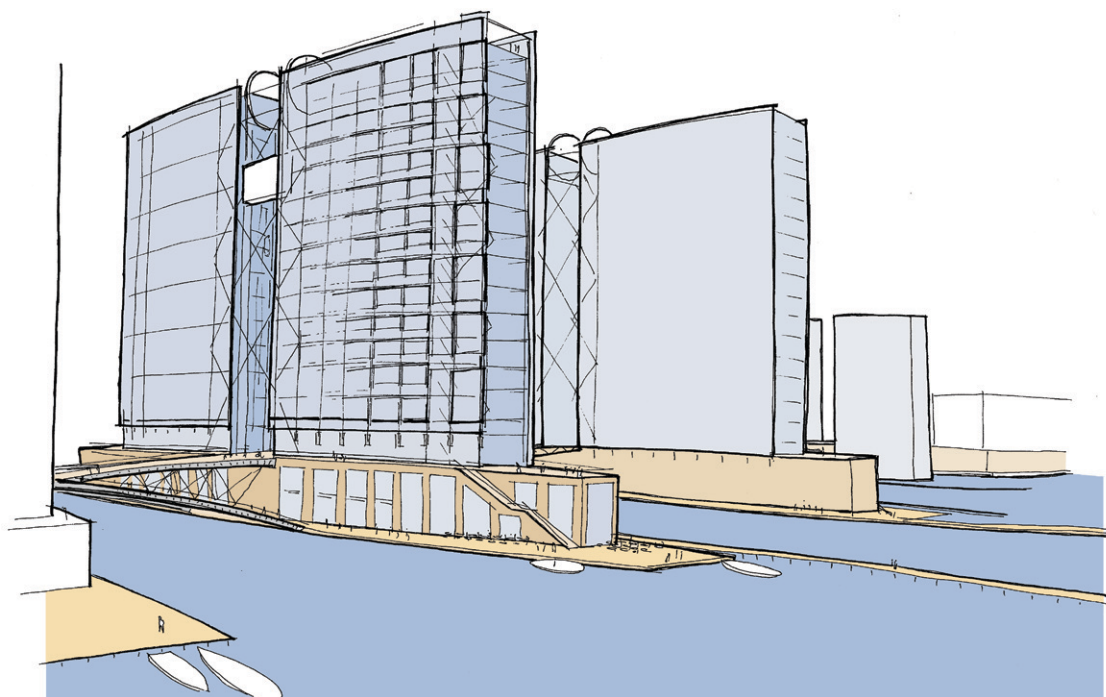
De minimale hoogte van de torens volgt uit de hefhoogte van de brug. Het brugniveau in gesloten stand bedraagt 10,0 meter boven waterniveau. De hefbrug kan worden geheven tot een maximale doorvaarhoogte van 62,7 meter.

Inclusief de hefinstallatie zal de toren daarmee een hoogte moeten hebben van ten minste 70 meter. De breedte van een verdieping bedraagt 16 meter vlak naast het brugdek en 8 meter aan de kop. In totaal is de lengte van een torenverdieping ca. 48 meter, verdeeld in acht stramienen van 6 meter.

Functies

De heftorens bevatten voornamelijk kantoorruimte. De ruimten worden echter zodanig ingericht dat verandering van functie in een later stadium tot op zekere hoogte mogelijk is. Wanneer besloten zou worden dat het vervoer van brandbare stoffen over het IJ komt te vervallen, kunnen de torens (gedeeltelijk) worden omgebouwd tot woon- of hoteltorens. Ook in de huidige ontwerpconfiguratie van het vervoer van gevaarlijke stoffen kan een deel van een toren worden gebruikt als bijvoorbeeld museum.

De verdieping grenzend aan het brugdek wordt gebruikt als entree voor de kantoren en voor de toegang tot de onderbouw. Daarnaast blijft er ruimte voor een kleinere (semi-) publieke functie als een lunchcafé.

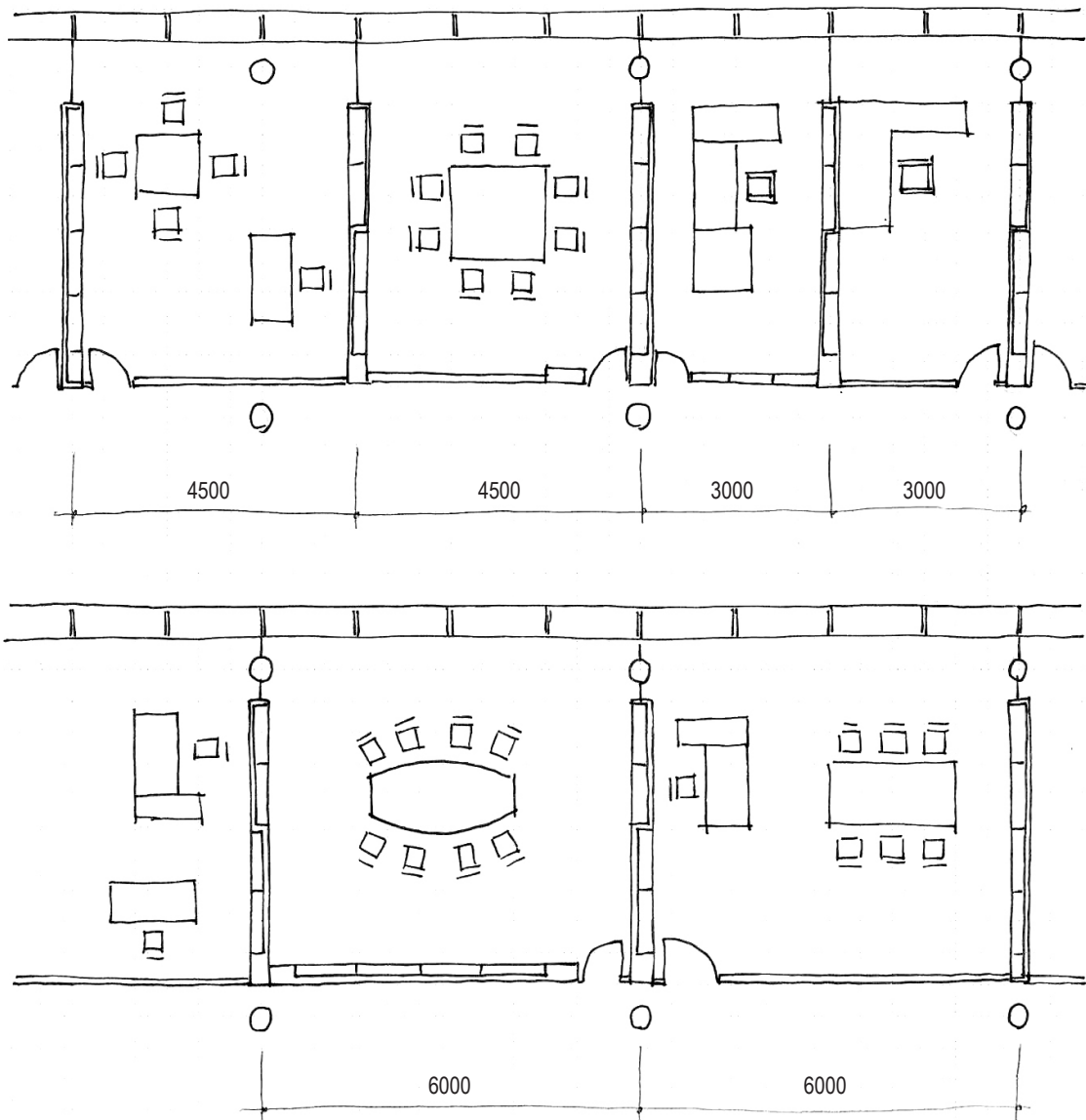


De heftorens

Kantoorfunctie

De flexibiliteit om later andere functies te kunnen behuizen betekent dat een stramien gekozen moet worden waarin die verschillende functies passen. Kantoorruimte is relatief flexibel wat betreft stramienmaten. Bovendien kan gekozen worden de scheidingswanden tussen de ruimten niet op het constructieve stramien te laten aansluiten. Hierdoor wordt de indelingsvrijheid nog groter, en moet slechts nog aangesloten worden op de gevel. In het voorbeeld hiernaast zijn verschillende mogelijkheden voor indeling van kantoorruimte in kleinere ruimten gegeven, naar voorbeeld van het ING house, van Meyer en Van Schooten Architecten, in Amsterdam-Zuid (Van Eldik 2005). Een geheel open kantoorruimte is niet weergegeven, aangezien deze bij elk stramien toegepast kan worden.

De gevel van het ING house is opgedeeld in een stramien van 1,50 m. Daardoor kunnen de achterliggende kantoorvertrekken breedtematen hebben als 3,00; 4,50 en 6,00 m. Naast een aantal standaardkantoorruimten zijn er in het gebouw ook een aantal ruimten, waarbij de scheidingswand halverwege een gevelstramien aansluit. In dat geval sluit de wand dus aan midden op een glasplaat. In het ontwerp voor de kantoorruimten is bij het kantoorbegouw voor de ING kastruimte opgenomen in de tussenwanden. Door de vaste positie van de wanden is de indeling niet te wijzigen zonder enig sloopwerk. Een systeem van flexibele wanden zou eenvoudiger indelingswijzigingen kunnen opvangen. Wel kan in de individuele ruimten bij een vast wandensysteem eerder een persoonlijkere ruimte ontstaan.



Indelingsvoorbeelden kantooverdieping (naar ING house)

Hotelfunctie

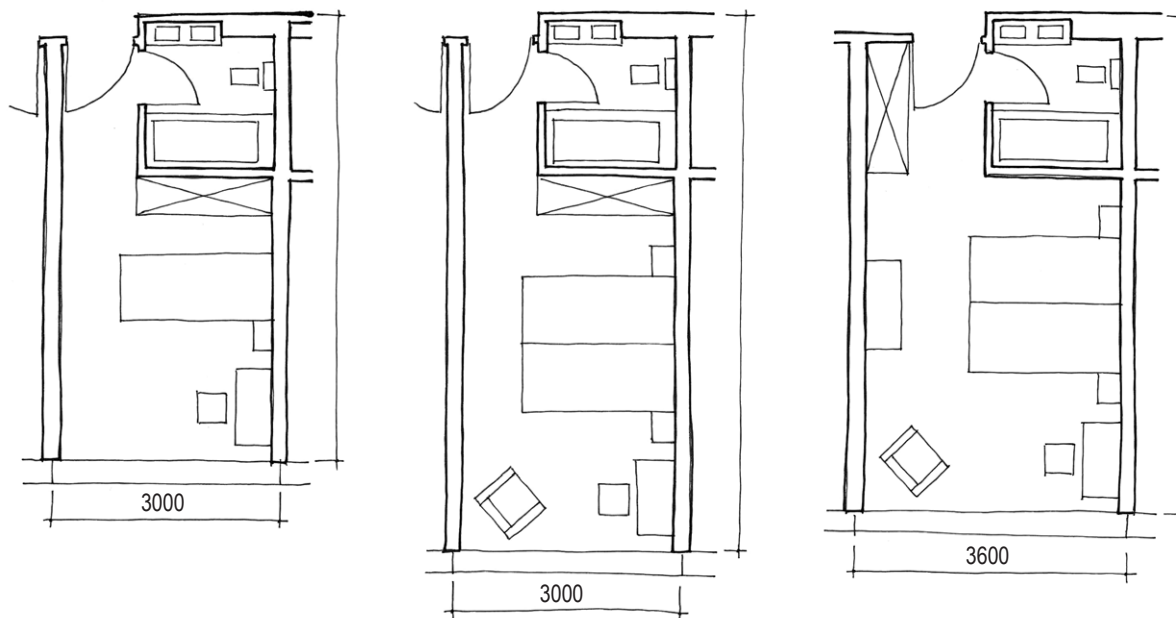
Een hotel vraagt zeer specifieke eisen van een gebouw. Naast de complexe indeling van de serviceruimten en de publieke ruimten is een belangrijk uitgangspunt de omvang van een standaard hotelkamer. De verdiepingen met kamers worden vaak bijzonder ver geoptimaliseerd. Hieronder is een voorbeeld van een standaardhotelkamer gegeven. Naast een standaard éénpersoons- en een tweepersoonskamer is ook een luxere kamer afgebeeld. Elke grotere hotelketen heeft zijn eigen standaardkamers, maar een groot deel van de kamers is een afgeleide van onderstaand voorbeeld.

Door de variabele diepte van de torens kan een aantal verschillende hotelkamers worden ontworpen, gebruikmakend van hetzelfde breedtestramien.

Woningen

Woningen zijn minder gebonden aan vaste stramienmaten, omdat gevarieerd kan worden in het woonoppervlak. Een groter woonoppervlak betekent een duurdere woning, maar binnen een zekere marge is er vraag naar verschillende woninggroottes. Wanneer echter een specifiek woonprogramma wordt geëist, met name kleine woningtypen, is er een hardere beperking van stramienmaten nodig. Door de locatie van de torens zal het echter waarschijnlijker zijn dat wanneer de torens veranderen in woontorens, grotere woningtypen gevraagd zullen worden.

Andere functies zoals een museum hebben vaak zeer specifieke eisen. Hierop worden de torens niet speciaal ontworpen. Er wordt ervan uitgegaan dat met een zekere

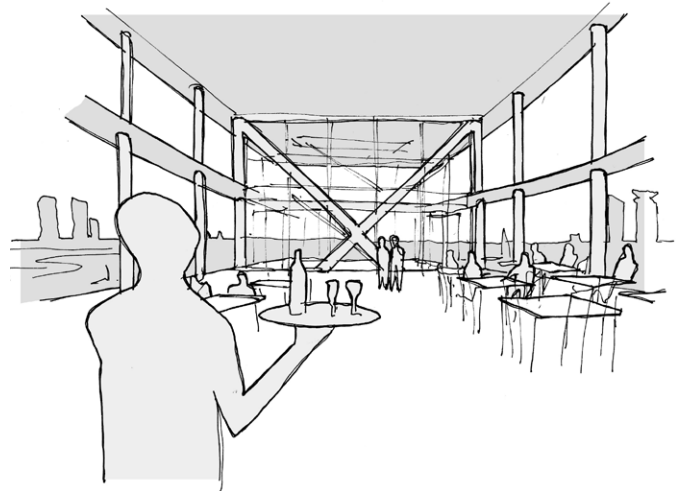


Standaard hotelkamers, v.l.n.r. eenpersoonskamer, tweepersoonskamer en luxe tweepersoonskamer

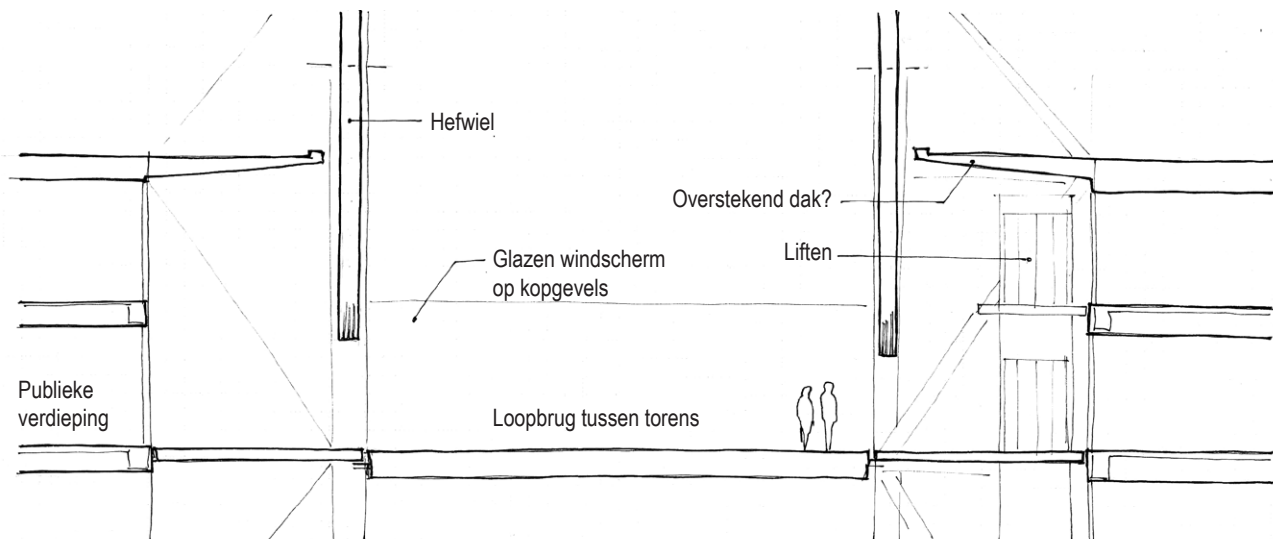
mate van ruimtekwaliteit de torens voldoende capaciteit bezitten om de mogelijkheid vrij te houden voor inrichting tot een dergelijke functie. Er wordt nu nog geen rekening gehouden met bijzondere vloerbelasting in een museum.

Publieke functies

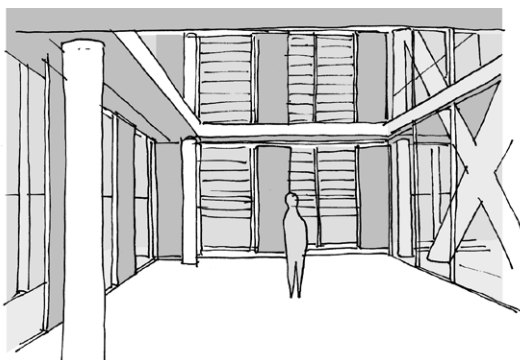
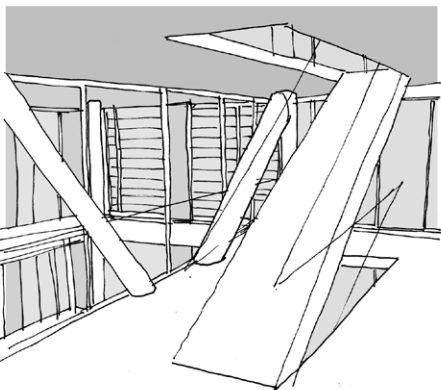
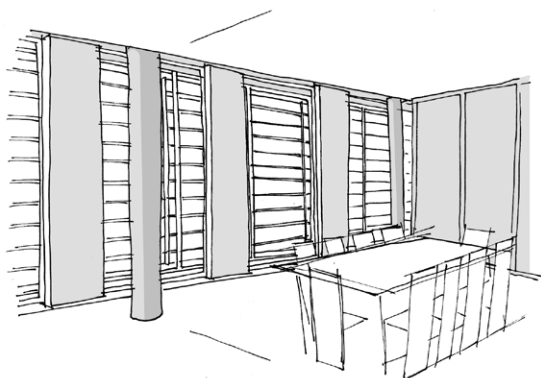
De bovenste twee verdiepingen van de vier heftorens worden ingericht voor publieke functies. De bovenste verdieping wordt niet over het gehele oppervlak van de toren doorgezet. Daardoor krijgt de verdieping daaronder een dubbelhoge ruimte. Deze ruimte kan publiek geëxploiteerd worden als uitzichtplek, of commercieel, bij voorbeeld in de vorm van een restaurant of café. Wanneer de hefbrug zich in geheven stand bevindt, sluit deze aan op het restaurantniveau. Tussen de twee torens aan één zijde van de hoofdvaargeul zit op dit niveau een verbindingsplatform. Dit platform wordt gemonteerd aan één van de beide torens, en wordt vrij opgelegd (rol) verbonden aan de andere toren.



Beeld van restaurant op bovenste verdiepingen



Doorsnede bovenste verdiepingen met loopbrug 1:200



Van boven naar beneden: Kantoorruimte; doorkijk vanuit trappenhuis naar kopruimte; kopruimte

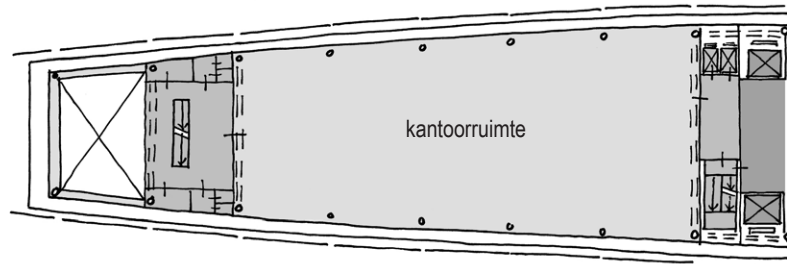
Boven de eerste publieke verdieping bevinden zich de hefwielen. Doordat de wielen aan de bovenzijde opgelegd worden (zie hoofdstuk 13, Ontwerp hefbrug), blijft er onder de wielen ruimte om over te steken.

Indeling plattegrond kantoorverdiepingen

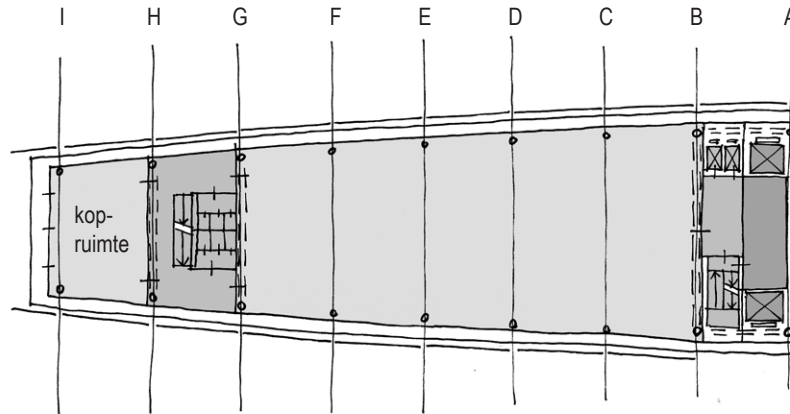
Tussen het brugdekniveau en de bovenste publieke niveau's is ruimte voor 12 kantoorverdiepingen. De verdiepingen worden ingedeeld in drie zone's: een functionele middenzone en twee kopzones. De kopzone aan de binnenzijde (langs de brug) behuist de hoofdontsluiting van de toren. Hier bevinden zich een liftgroep voor de kantoorverdiepingen, een liftgroep voor de publieke verdiepingen en een trappenhuis. Deze zone fungeert verder als isolerende zone tussen de drukke verkeersroute en de kantoorruimten.

De kopzone aan de buitenzijde (kop van het eiland) is eigenlijk weer onderverdeeld in twee zones. Het stramien aan de kopgevel is een dubbelhoge ruimte, die kan worden ingericht als vergaderruimte. De ruimte tussen de binnen- en buitengevel is hier verbreed waardoor een beschutte loggia ontstaat. Het stramien daarachter fungeert als servicezone, met toiletten, pantry en een tweede trappenhuis. Dit trappenhuis kan ook voor lokaal verkeer tussen kantoorverdiepingen gebruikt worden. Doordat de servicezone een stramien naar binnen is geplaatst, is de kopzone vrijgehouden voor een representatieve ruimte. Deze ruimten genieten het mooiste uitzicht, en hebben aan drie zijden een buitengevel.

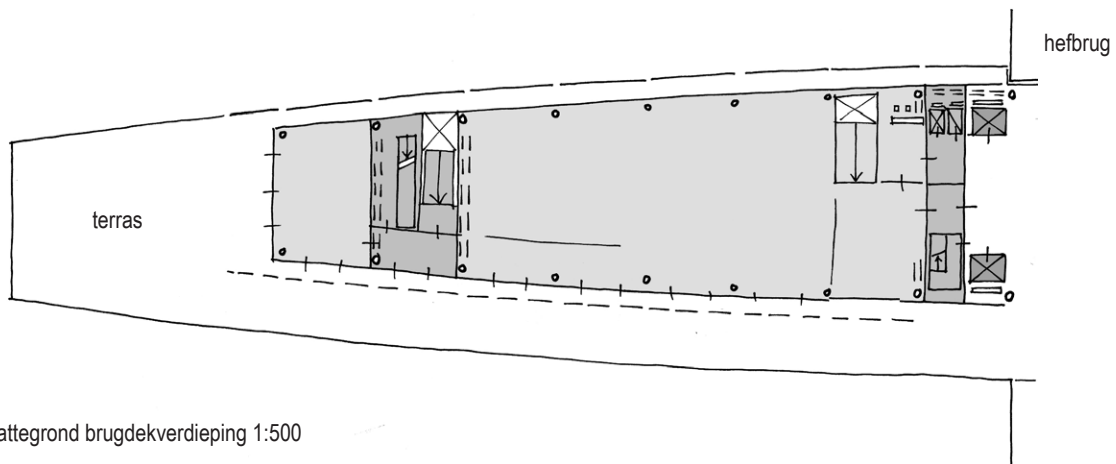
De eigenlijke kantoorzone bestaat uit vijf stramienen van 6 meter. Dit komt met een gemiddelde breedte over deze zone van 13 meter neer op 390 m² per verdieping. De dubbelhoge vergaderruimte op de kop bedraagt 62 m². De eerste volledige kantoorverdieping bevindt zich op het niveau boven het brugdekniveau. Vanaf daar zijn er 12 kantoorverdiepingen, en 6 vergaderruimten. Daarmee komt voor een toren het netto verhuurbaar kantooroppervlak neer op 5050 m².



Plattegrond kantoerverdieping (even)



Plattegrond kantoerverdieping (oneven)



Plattegrond brugdekverdieping 1:500

Indeling brugdekverdieping

De brugdekverdieping heeft een soortgelijke hoofdopzet als de kantoorverdiepingen. Het eerste stramien behuist de publieke liften en de liften naar de kantoorverdiepingen. Het eerste deel van het stramien is open, en fungeert als wachruimte voor de publieke liften. In deze zone bevindt zich ook de ingang naar de kantoorlobby. De kantoorlobby is een buffer tussen het publieke bruggebied en de kantoren. Via een portiersbalie zijn de kantoorliften te bereiken.

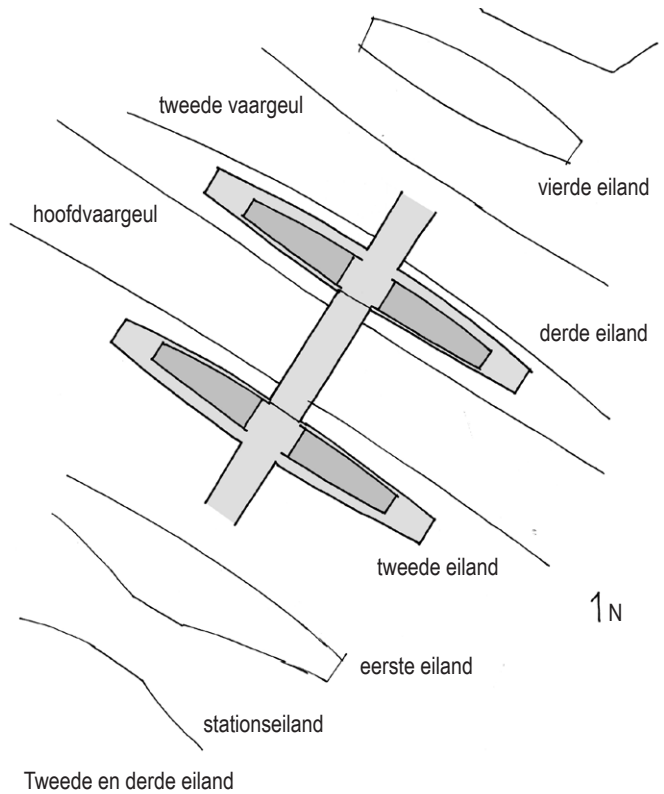
Naast de kantooringang is ruimte voor de toegang naar de twee kadeniveaus. Deze toegang bevindt zich op het tweede stramien. Daarachter is ruimte voor een publieke functie. Het eennalaatste stramien is weer gereserveerd voor toiletten, en voor de ontsluiting van het trappenhuis. Het laatste stramien heeft toegang tot de buitenruimte op het kopeinde van de onderbouw. Deze ruimte is bij uitstek geschikt voor een horecafunctie.

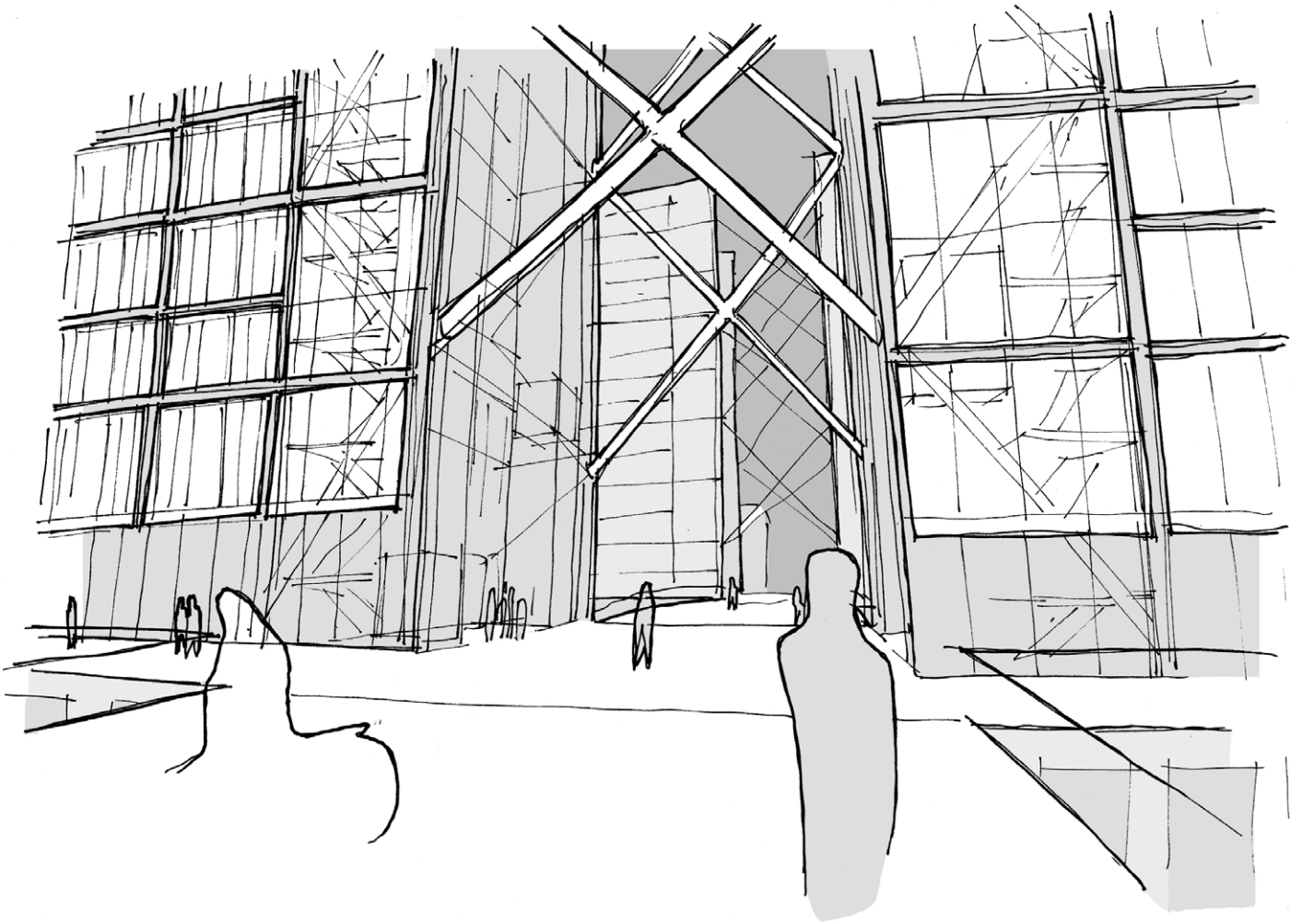
Hier kan een verschil gemaakt worden tussen de torens op het tweede en het derde eiland. Omdat het tweede eiland ook met de boot eenvoudig bereikbaar is, zijn de torens op dit eiland geschikter voor echte publieke functies. Bovendien kunnen de buitenruimten op dit eiland deels onbepaald gebruikt worden, zonder gevaar voor brand of explosies vanaf de beroepsvaargeulen. Het brugdekniveau van het tweede eiland zal dan ook een publiek karakter krijgen, als een onderdeel van het publieke domein van de stad. Het brugdekniveau van het derde eiland wordt meer ingericht ten behoeve van de kantoren op de eilanden. Daarbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan een lunchcafe.

Voor beide eilanden is het van belang dat de functies op het brugdekniveau en op de niveaus daaronder eenvoudig toegankelijk zijn vanaf de brug. Daarvoor worden in de vloeren van het brugdekniveau en van de tussenverdieping(en) in de onderbouw sparingen aangebracht voor trappen, en om doorzicht te bewerkstelligen. Doordat vanaf het

brugdekniveau de onderliggende verdiepingen zichtbaar zijn door de sparingen, wordt de bezoeker uitgenodigd om af te dalen.

De onderbouw van het tweede eiland heeft een publieke functie. Om het kadeniveau ook direct toegankelijk te maken vanaf de centrumzijde, loopt de brug niet alleen naar het 'brugdekniveau', maar ook naar het kadeniveau. De kade van het derde eiland heeft een minder publieke functie, en hoeft daardoor niet direct toegankelijk te zijn. Dit zou ook complicaties opleveren in verband met de minimale doorvaarthoogte, die aan beide zijden van het derde eiland 9.10 meter bedraagt.





Doorkijk op brugdekniveau tussen twee torens door

14.2 Constructief concept

Eisen

Ter bepaling van het constructieve concept van de torens worden een aantal eisen gesteld. Ten aanzien van het beeld wordt gesteld dat de torens een transparante indruk moeten wekken. De constructieve werking van de torens kan daardoor, wanneer men goed kijkt, afgelezen worden van het gebouw. De transparantie moet echter niet betekenen dat het gebouw in een oogopslag geheel duidelijk is. Door het aanbrengen van een aantal halftransparante lagen wordt het binnenklimaat beschermd, en ontstaat een beeld dat op elk moment verandert. Daardoor blijft er wat te ontdekken. Elke laag vervult daarbij een functie, zoals klimaatscheiding, zonwering of brandbescherming.

Ten aanzien van de veiligheid wordt eveneens een aantal eisen gesteld. Er wordt onderscheid gemaakt in de dagen nachtsituatie. 's Nachts gelden er geen extra restricties (ten opzichte van de huidige situatie) voor het vervoer van gevaarlijke stoffen over de vaarroute langs de eilanden. Daarbij geldt dat vervoer van brandbare vloeistoffen en gassen blijft plaatsvinden. Er worden twee eisen gesteld. In het geval van een explosie is schade aan de gevel en interne afbouw niet te voorkomen. Er kan gesteld worden dat de gebouwen 's nachts niet gebruikt worden, en dat dus slechts een beperkt aantal personen in de gebouwen aanwezig is. Persoonlijke schade blijft daarom beperkt. Wel kan ervoor worden gezorgd dat de hoofdconstructie intact blijft. Dit kan door de gevel relatief licht uit te voeren, waardoor deze als het ware uit zijn spanning wordt geblazen bij een zware explosie. Daardoor komt niet de gehele explosiebelasting op de constructie terecht, en zal deze langer blijven staan.

Overdag gelden wel extra restricties voor het vervoer van gevaarlijke stoffen. Dan geldt een verbod op het vervoer van brandbare gassen, maar kan het vervoer van brandbare

vloeistoffen blijven plaatsvinden. Explosies zijn daarbij vrijwel uitgesloten, maar brand niet. Er wordt gesteld dat in het geval van een benzinebrand op een schip of op het water (door gelekte brandstof), bij een brand op een cruiseschip, of op een onderliggende verdieping, alle in het gebouw werkende personen moeten kunnen worden geëvacueerd zonder letsel. Daarvoor moet een brandwering van 60 minuten worden gegarandeerd voor alle gebruiksr ruimten in de torens, en in de trappenhuizen.

Constructietype

De transparantie-eis en de eis van de uit te blazen gevel leiden ertoe dat een constructie van kolommen, vloeren en enkele stabiliteitselementen voor de hand ligt. Een dragende gevel is moeilijk uit te voeren met inachtneming van deze eisen. Er wordt gekozen voor een staalskelet, vanwege de plastische eigenschappen van staal. Het gehele skelet wordt eenvoudig een samenhangend geheel. De stabiliteitselementen kunnen worden uitgevoerd als verbanden van ronde stalen buizen of als betonnen schijven, de kolommen zijn eveneens ronde stalen buizen. Waar nodig kunnen de buizen worden gevuld met beton. Een eventueel bezwaar tegen een lichte constructie zouden trillingen uit de aandrijving van de hefbrug kunnen vormen. In het vorige hoofdstuk werd echter bepaald dat de aandrijving van de hefbrug in de onderbouw geplaatst werd.

Als vloersysteem wordt een vloer van stalen balken gekozen, met daaroverheen een staalplaatbetonvloer. De hoofdbalken worden dwars op de lange gevel geplaatst, zodat de te overspannen vloervelden beperkt blijven.

De vloer-tot-vloerhoogte van een verdieping wordt gesteld op 3,60 m. De vloer bestaat uit een ComFlor 210, en heeft een constructieve hoogte van 300 mm. De vloerbalken hebben een hoogte van 395 tot 450 mm, en steken dus onder de vloer uit. Er wordt onder de vloer een ruimte van 300 mm gereserveerd voor het wegwerken van de vloerbalken

inclusief brandwerende bekleding. Deze ruimte kan ook gebruikt worden voor het plaatsen van installaties, zoals luchtafvoerkanalen, verlichting en eventueel koelplafonds. Boven de constructieve vloer wordt 100 mm gereserveerd voor een afwerkvloer. Daarmee blijft een nuttige hoogte voor een kantoor over van 2,90 m. Plaatselijk kan een nuttige hoogte van 3,20 m bereikt worden, door tussen twee hoofdliggers het verlaagde plafond te verwijderen.

De constructie van de onderbouw wordt uitgevoerd in beton, om een duidelijk onderscheid te maken tussen zware onderbouw en lichte bovenbouw.

14.3 Gevelprincipe

Voor de verschillende gevels van de torens gelden verschillende randvoorwaarden. De lange gevels op het zuidwesten en de kopgevels op het zuidoosten hebben te maken met direct zonlicht. Voor de gevels langs de vaargeulen gelden de eisen ten behoeve van brand en explosies vanuit de vaargeul. Verder dienen alle gevels te voldoen aan de standaard brandeisen. Waar mogelijk wordt natuurlijke ventilatie van de binnenruimten nagestreefd. Dit lijkt in eerste instantie echter moeilijk verenigbaar met de brandwerendheidseis langs de vaargeulen.

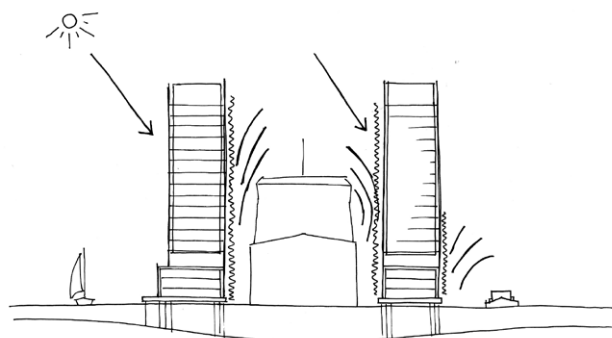
Er wordt gestreefd naar een gevelprincipe dat overal toepasbaar is, zodat alle gevels familie van elkaar zijn. Binnen die familie wordt vervolgens onderscheid gemaakt al naar gelang de verschillende eisen.

Er wordt gekozen voor een gevel in verschillende lagen. De binnenste gevellaag is de belangrijkste klimaatscheiding. De tweede laag is een zogenaamde tweede-huidgevel, een scherm van enkelglas, waardoor tussen de twee lagen een gematigd klimaat heerst. De derde laag voorziet waar nodig in het weren van zonlicht, en biedt extra bescherming tegen brand.

De binnenste laag van de gevel wordt uitgevoerd als verdiepingshoog gehard glas, afgewisseld met een ondoorzichtig element. Dit element kan worden uitgevoerd als ventilatie-element, dat open kan worden geschoven. Voor de opening bevindt zich een rooster, dat wordt gecoat met een brandwerende verflaag. Deze verf schuimt op bij verhitting, waardoor hij een ondoorlatende en isolerende laag vormt. De glaspanelen en de ventilatieopening kunnen daardoor beide een brandwerendheid van 30 minuten bereiken.

De tweede laag bestaat uit platen van gehard glas, met ventilatie-openingen ter hoogte van de vloeren. Deze ventilatie-openingen werken op dezelfde manier als in de eerste gevellaag, waardoor ze bij brand geen lucht doorlaten. Tussen de eerste en tweede gevellaag bevindt zich een ruimte van 700 mm. Deze ruimte kan dienen als glazenwassersbalkon.

De derde laag verschilt per gevel, en per achterliggende functie. Hieronder is een overzicht gegeven van de eisen per gevel. De zuidwestgevels van de torens op het tweede eiland hebben directe zoninval, en geen extra brandeisen. Hier worden voor de gevels voor gebruikruimten elementen gehangen met lamellen als zonwering. Voor de



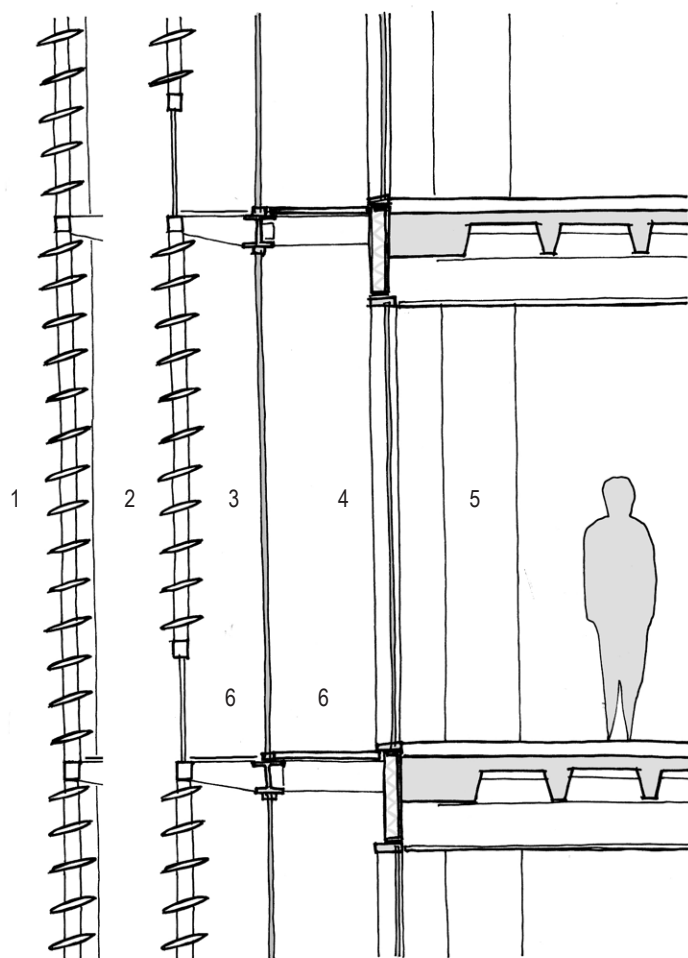
Invloeden op gevels

lange gevels langs de hoofdvaargeul worden elementen geplaatst met stalen louvres, die worden behandeld met opschuimende verf. De lamellen staan in de normale situatie in horizontale stand, zodat voldoende daglicht binnenvalt in de binnenruimten. Op het moment dat de gevel wordt blootgesteld aan brand, klappen de lamellen dicht, waardoor de gevel verandert in een aaneengesloten scherm. De lamellen zijn onderling verbonden door stangen aan de achterzijde van hun scharnierpunt. Onderaan de gevel worden aan deze stangen contragewichten bevestigd, zodat het dichtklappen door de zwaartekracht gebeurt. Daardoor wordt een extra veiligheid ingebouwd, waarbij bij stroomuitval de louvres dichtklappen.

Een andere bekeken oplossing is het aanbrengen van stalen geperforeerde roosters aan de gevel, die ook worden behandeld met opschuimende verf. De roosters zijn halftransparant, en laten dus een deel van het daglicht door. De lichttoetreding is echter niet te regelen, en zal op een bewolkte winterdag beperkt zijn. Bovendien is de opschuimende verf bij deze variant het enige brandwerende mechanisme, terwijl de louvres zelf ook een brandwerend scherm vormen. Ook is nog te weinig bekend over de eigenschappen van brandwerende verf in buitencondities. Er wordt daarom gekozen voor de louvres als brandbescherming.

De lange gevel langs de tweede vaargeul wordt tot een hoogte van 50 meter voorzien van louvres. Daarboven wordt gesteld dat de brandbelasting niet meer zodanig is dat de 60 minuten brandwerendheid van de eerste twee gevellaagen niet voldoet.

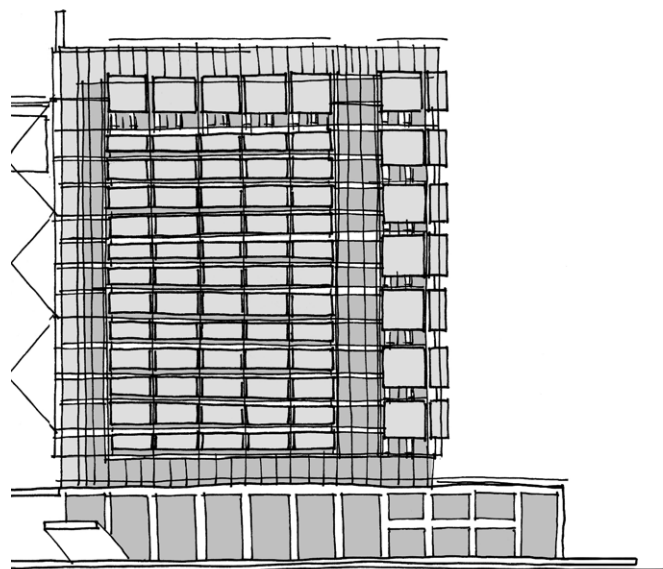
De ruimte tussen de tweede en derde gevellaag dient weer als glazenwasserbalkon, waardoor het gebouw niet hoeft te worden voorzien van een glazenwassersinstallatie op het dak.



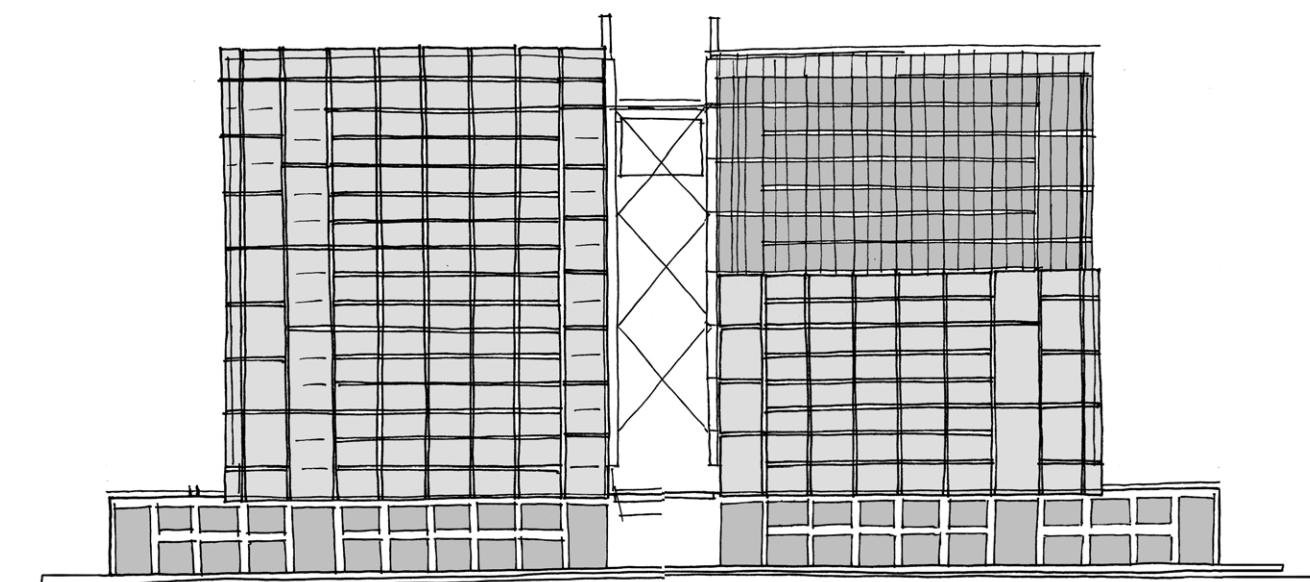
- 1 Zonwering, brandbescherming: stalen louvres, aan de onderzijde bekleed met keramische brandwering
- 2 Zonwering, $b = 400 \text{ mm}$
- 3 Buitengevel glas in stalen kozijn
- 4 Binnengevel glas in houten kozijn, schuifdeel t.b.v. ventilatie
- 5 Kolom
- 6 Glazenwasserbalkon

Geveldoorsnede kantoorruimte 1:50

Om in de gevel het onderscheid zichtbaar te maken tussen kantoorruimte, verkeerszones en publieke ruimten, wordt de grootte van de gevelelementen gevarieerd. Op de gebouwkoppen worden de elementen over twee verdiepingen uitgevoerd, overeenkomstig met de dubbelhoge kopruimten. Over de verkeers- en servicezone tussen stramien G en H wordt geen externe zonwering in de vorm van lamellen toegepast. De brandbescherming loopt hier in elementen over drie verdiepingen. De stabiliteitsverbanden lopen hier ook over drie verdiepingen. Elementen voor de vijf stramien met gebruiksruimten worden per verdieping geplaatst. Bij de verkeerszone aan de brugzijde van de torens worden elementen over twee verdiepingen geplaatst, overeenkomstig met een half stabiliteitsverband. De verbanden lopen hier door de grotere gebouwbreedte over vier verdiepingen.



Gevelaanzicht zuidgevel tweede eiland 1:1000



Gevelaanzicht noordgevel tweede eiland; zuidgevel derde eiland

Gevelaanzicht noordgevel derde eiland 1:1000

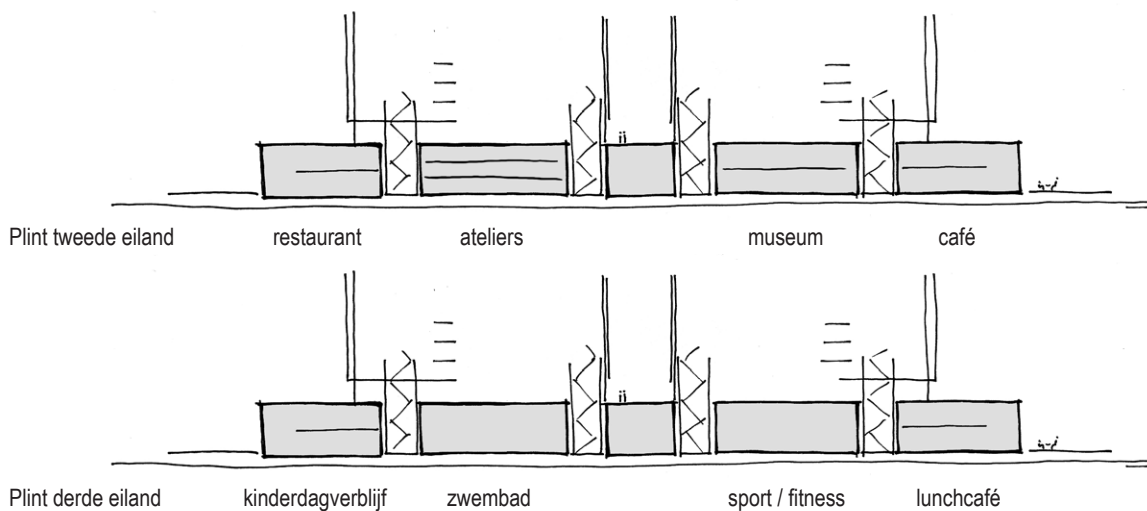
14.4 Plint

De zone tussen brugdekniveau en kadeniveau wordt de plint van het gebouw genoemd. Per eiland staan de twee torens samen op een doorlopende plint. Deze onderbouw wordt uitgevoerd als een betonnen draagconstructie van doorsneden schijven, met daartussen een gevel van afwisselend glas en baksteen. De gevel krijgt daardoor meer massa, en sluit door de stramienvoering aan op de bovenliggende gevel.

De functies van de plinten voor de twee middeneilanden zijn licht gewijzigd ten opzichte van het masterplan (hoofdstuk 12). De verkeerszones in de bovenbouw worden doorgezet in de plint. Daardoor worden vier stramien van de plint ingericht als verkeers- en servicezone. De zone tussen de twee torens in - oftewel de ruimte onder de hoofdverkeersroute - is gereserveerd voor de hefinstallatie en voor gebouwinstallaties. Daarmee wordt het verhuurbare deel van de plint opgedeeld in vier zones, waarvan twee aan de koppen van de plint en twee onder de kantoorzones van de torens.

De plint van het tweede eiland wordt ingericht met een museum, atelierruimten voor kunstenaars en kleine bedrijfjes, een restaurant en een café. Het restaurant en het café worden op de koppen van het gebouw geplaatst, zodat ze direct toegang hebben tot de grotere buitenruimte op de uiteinden van het eiland. In de middenzone onder de westtoren komen ateliers voor kunstenaars en startende bedrijfjes. De plint wordt hier opgedeeld in drie verdiepingen, met een plafondhoogte van 3 meter. Onder de oosttoren komt een museum, met één of twee verdiepingen. Restaurant en café hebben een tussenverdieping, die niet totaan de kopgevel doorloopt, waardoor op de kop weer een hoge ruimte ontstaat.

De plint van het derde eiland behuist voornamelijk semi-publieke functies. De kop aan de westkant wordt ingericht als kinderdagverblijf. De buitenruimte op de kop van het eiland kan worden gebruikt voor buitenactiviteiten voor de kinderen. In de middenzone onder de westtoren komt een zwembad, in de middenzone onder de oosttoren een sport- en fitnesscentrum. De kop aan de oostkant bevat een lunchcafé.



15. Stabiliteitsberekening toren

Hieronder wordt nader ingegaan op de constructie van de torens. Voor een van de torens wordt een stabiliteitsberekening uitgevoerd. De toren heeft een langsgevel van 48 meter, onderverdeeld in 8 stramien. Door de taps toelopende vorm van de plattegrond heeft het gebouw op elk stramien een andere breedte, variërend van 9 tot 15 meter.

Het ontwerp voorziet in cirkelvormige stalen buiskolommen, al dan niet gevuld met beton. De stalen IFB-vloerliggers overspannen van gevel tot gevel. Doordat deze hoofdoverspanningsrichting is gekozen wordt de kans op progressive collapse bij een explosie op de gevel verminderd. De vloer bestaat uit een staalbetonvloer (bv. Comflor 210). Als gevelligers worden U-profielen gekozen. Deze profielen fungeren bij horizontale belasting op de gevel als trekband.

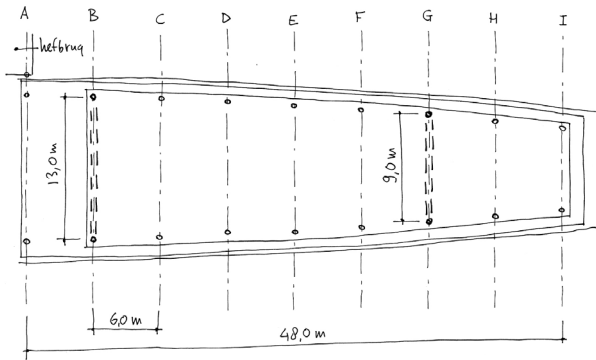
In eerste instantie wordt ervan uitgegaan dat horizontale belastingen worden opgenomen door stabiliteitsverbanden in de vorm van kruisverbanden uit stalen buiskolommen. De stabiliteitsverbanden in dwarsrichting zijn geplaatst op stramien B en G.

De gevel bestaat uit een binnengevel, een brandwerende buitengevel en (op de zuidgevels) een vast lamellensysteem voor de zonwering. Tussen de verschillende lagen van de gevel zijn glazenwasserbalkons aangebracht.

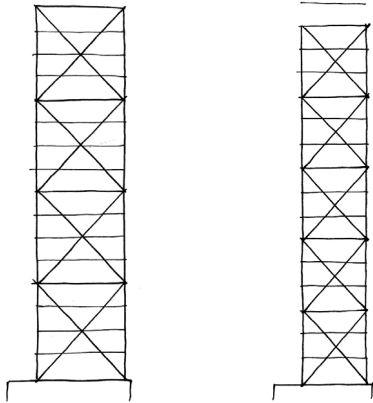
15.1 Configuratie toren

De toren bestaat hoofdzakelijk uit kantoorverdiepingen. De bovenste niveaus worden echter ingericht voor (semi-) publieke functies als horeca en een uitzichtplatform. Op een van deze verdiepingen sluit de toren bovendien aan op een loopbrug naar de naastgelegen toren. De loopbrug geeft weer toegang tot de hefbrug, wanneer deze zich in geheven stand bevindt. Hieronder worden enkele hoofdmaten gegeven:

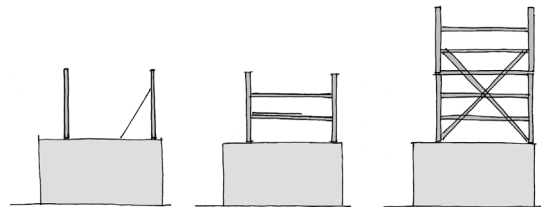
lengte totaal	48,00 m (lengte vloer)
breedte kopgevel (A)	15,00 m
breedte kopgevel (I)	8,50 m
breedte stramien B	14,50 m (vloerbreedte binnen)
breedte stramien G	10,50 m
breedte balkons	1,20 m (0,8 m + 0,4 m)
hoh kolommen	6,00 m (breedterichting)
hoh stramien B	13,00 m (werkende breedte)
hoh stramien G	9,00 m
verdiepingshoogte	3,60 m (standaardverdieping)
hoogte niveau brugdek	4,50 m (voorlopig)
aantal verdiepingen	15 (boven niv. brugdek)
hoogte binnengevel	58,50 m (vanaf niv. brugdek)
hoogte plint	10,00 m
overhoogte buitengevel	1,50 m
totale hoogte toren	70,00 m (vanaf waterniveau)



Plattegrond verdieping



Kruisverbanden stramien B (links) en G (rechts)



Bouwvolgorde

Hoofddraagconstructie

Het staalskelet wordt in beide richtingen als een geschoorde constructie uitgevoerd. De vloeren fungeren als horizontale verbindingsschijven tussen de verticale stabiliteitsverbanden. Voorlopig wordt ervan uitgegaan dat de stabiliteitselementen van een toren voldoende zijn om alle horizontale belastingen naar de fundering te kunnen afdragen. Als uit onderstaande berekeningen blijkt dat dit niet het geval is, kan overwogen worden beide torens aan een zijde van de hefbrug constructief te koppelen. Hierop wordt echter later teruggekomen.

De stabiliteitselementen zijn in eerste instantie uitgevoerd als kruisverbanden uit stalen buisprofielen, die (waar nodig) gevuld worden met beton. De breedte van het verband op stramien G is kleiner dan de breedte bij B. Dit wil zeggen dat met dezelfde elementdoorsneden het stabiliteitselement op stramien G slapper is, en daardoor meer zal uitbuigen. Doordat dit verband bovendien een groter deel van de gevelbelasting zal opnemen door de grotere afstand tot de rand, wordt de uitbuiging versterkt. Daarom wordt gesteld dat de stijfheid van het verband op stramien G gelijk moet zijn aan de stijfheid van het verband op stramien B. Dit kan worden bereikt door grotere afmetingen van de elementen op stramien G. Wanneer gelijke elementen worden gebruikt, wordt door dubbele uitvoering van het stabiliteitsverband ook een gelijke stijfheid bereikt. Deze configuratie met een dubbel element op stramien G wordt hier verder uitgewerkt.

Door de grote gebouwhoogte ten opzichte van de maten van de stabiliteitselementen moet een vrij uitvoerige analyse worden uitgevoerd. Wanneer blijkt dat de kruisverbanden niet voldoen – oftewel wanneer te grote afmetingen nodig zijn voor de buisprofielen, moet gezocht worden naar een alternatief stabiliteitssysteem.

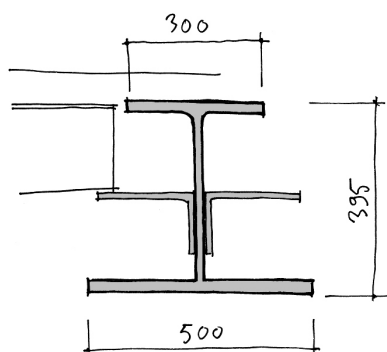
Montage draagconstructie

De lengte van de kolommen komt overeen met de hoogte van drie bouwlagen. Doordat voor de montage van de vloerliggers (met lengten tot 15 meter) eisen worden gesteld aan de benodigde kraan, kunnen ook de maten van

de kolommen vrij groot zijn. Wanneer de stabiliteitselementen op stramien B worden uitgevoerd als vier losse elementen per kruis, kunnen ook deze met dezelfde kraan worden gemonteerd.

Het monteren van de draagconstructie van de toren begint wanneer de hoofdconstructie van de plint voltooid is. Deze onderconstructie bestaat uit in het werk gestort beton. Tussen het ontkisten van de onderconstructie en de start van de bouw van de staalconstructie kan dus enige tijd verstrijken in verband met uitharden.

De stalen kolommen worden tijdelijk zijdelings geschoord. Het monteren van de vloeren geschiedt bouwlaagsgewijs. Wanneer de kolommen zijn geplaatst worden de vloerliggers gemonteerd. Gelijk hieropvolgend wordt de staalplaatvloer gemonteerd. Vanaf dit moment kan begonnen worden met de montage van de bovenliggende vloer. Voordat de staalplaatvloer op deze volgende verdieping wordt gemonteerd wordt de eerste vloer voorzien van de constructieve betonnen laag. Montage van de stabiliteitsverbanden loopt gelijk op met de montage van de kolommen, zodat wanneer een vloer gereed is, deze meteen wordt gesteund door de verbanden.



IFB 395 ligger stramien G

15.2 Verticale belastingen

Vloersysteem

Doordat de vloerliggers de volledige breedte van de toren overspannen, krijgen deze aanzienlijke afmetingen. Hieronder wordt een beknopte berekening gegeven voor de dimensionering van de vloerligger. Uitgegaan wordt van stramien C, aangezien dit het breedste reguliere stramien is.

Staalplaatbetonvloer Comflor 210	
vloerdikte	300 mm
gewicht per m ²	3,79 kN/m ²
vloerbelasting kantoor	3,50 kN/m ²

$$\text{Prep} = 1,2 \cdot 3,79 + 1,5 \cdot 3,50 = 9,80 \text{ kN/m}^2$$

breedte vloerveld	6,00 m
lengte overspanning	13,00 m

$M_{\max} = 1/8 ql^2$	1241,9 kNm
f_y	235 N/mm ²
W_{ben}	$5285 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

Dit komt neer op een IFB 450 vloerligger, oftevel een gehalveerde HE900M met plaat 500x24 als vervangende onderflens.

$W_{y,\text{el}}$	$5501 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$
hoogte	450 mm
gewicht	2,63 kN/m

Voor stramien G wordt een IFB 395 gevonden als vloerligger.

$W_{y,\text{el}}$	$3170 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$
hoogte	395 mm
gewicht	1,74 kN/m

Staalbetonkolommen

Voordat verder wordt gegaan met het opstellen van de belastingen, worden eerst de constructieve eigenschappen van de met beton gevulde buiskolommen gespecificeerd. De kolommen worden ongevuld gemonteerd, en vervolgens met wapening uitgerust en volgestort. De toegepaste berekeningsmethode is gebaseerd op ENV 1994-1-1.

	buis	beton	wapening	
q	80	25	80	kN/m ³
f_y	235	21	435	N/mm ²
E_d	210.000	22.963	210.000	N/mm ²

buis

D	500 mm
t	30 mm
l_c	3600 mm

wapening

n	6 (aantal staven)
D	18 mm

A _a	44.296 mm ²	(oppervlak doorsnede buis)
A _c	150.526 mm ²	(oppervlak beton)
A _s	1527 mm ²	(oppervlak wapening)

Eigenschappen samenwerkende kolom

$$G = A_a \cdot q_a + A_c \cdot q_c + A_s \cdot q_s \quad 6,59 \text{ kN/m1}$$

(gewicht per meter hoogte)

$$EA = E_a A_a + E_{cd} A_c + E_s A_s \quad 13.079 \cdot 10^6 \text{ N/mm}^2$$

$$N_{pl} = A_a \cdot f_{y,a} + A_c \cdot f_{y,c} + A_s \cdot f_{y,s} \quad 14.235 \text{ kN}$$

$$EI = E_a I_a + 0,8 E_{cd} I_c + E_s I_s \quad 663,7 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

$$N_{cr} = \frac{EI\pi^2}{l_c^2} \quad 505.421 \text{ kN}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{N_{pl}}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{14.235}{505.421}} = 0,168$$

Knikkromme A is van toepassing, zodat $\omega_{buc} = 1,0$. (NEN 6770) Het draagvermogen N_{Rd} wordt dan:

$$N_{Rd} = \omega_{buc} \cdot N_{pl} = 1,0 \cdot 14.235 = 14.235 \text{ kN.}$$

Permanente belasting

Eigengewicht staalbetonvloer

Comflor 210

gewicht 3,79 kN/m²**Ligger stramien B / C**

IFB450

gewicht 2,63 kN/m¹per vloerveld 0,44 kN/m²**Ligger stramien G**

IFB395

gewicht 1,74 kN/m¹per vloerveld 0,29 kN/m²**Randbalk**

UNP400

gewicht 0,72 kN/m¹per vloerveld 0,10 kN/m²**Kolom stramien A**

koker D=500, t=20, niet gevuld

gewicht 2,41 kN/m¹

per verdieping 8,69 kN

Kolom stramien B

koker D=500, t=30, gevuld met beton

gewicht 7,43 kN/m¹

per verdieping 26,74 kN

(zie hierboven voor specificaties staalbetonkolom)

Diagonalen stramien B

koker D=500, t=20, niet gevuld

gewicht 2,41 kN/m¹

lengte per verd. 5,09 m

gewicht per verd. 12,28 kN

Kolom stramien C

koker D=406,4; t=10, niet gevuld

gewicht 0,98 kN/m¹

per verdieping 3,53 kN

Kolom stramien G

dubbele koker D=500, t=30, gevuld met beton

gewicht 16,57 kN/m¹

per verdieping 59,67 kN

Diagonalen stramien G

dubbele koker D=500, t=20, niet gevuld

gewicht 4,83 kN/m¹

per verdieping 24,57 kN

Tussenwanden, plafond en computervloergewicht totaal 1,00 kN/m²**Binnengevel**

dubbelglas in houten kozijn, per verdieping:

gewicht 1,00 kN/m¹ (per lengte gevel)**Buitengevel**

glasgevel, bordes en stalen frame

gewicht 2,00 kN/m¹**Zonwering**

inclusief glazenwasserbalkon

gewicht 1,00 kN/m¹

Veranderlijke belasting

Vloerbelasting

Er wordt gerekend met een vloerbelasting voor kantoren. Eventuele andere functies als woningen hebben een gelijke of lagere vloerbelasting. Wanneer het gebouw een functie als bijvoorbeeld museum krijgt, zal een controle moeten worden uitgevoerd naar plaatselijke belastingen van bijvoorbeeld kunstwerken. De vloerbelasting voor de plintlagen (de twee bouwlagen onder het brugdekniveau) wordt aangenomen als die voor winkelfuncties. In deze berekening wordt de plint echter niet beschouwd. De publieke verdieping wordt deels ingericht als uitzichtplatform. Hier wordt dezelfde vloerbelasting aangehouden als voor de kantoorverdiepingen, maar er wordt voor één uitzichtvloer gerekend met een momentaanfactor (Ψ) van 1,0.

De bordessen in de gevelzone worden beschouwd als balkon, met bijbehorende vloerbelasting.

	p_{rep}	Ψ
kantoren	3,5 kN/m ²	0,5
winkels	4,0 kN/m ²	0,4
gevelzone	2,5 kN/m ²	0,5

Sneeuwbelasting (volgens NEN 6702)

prep 0,56 kN/m²

Wateraccumulatie

Er wordt ervan uitgegaan dat er geen wateraccumulatie plaatsvindt op het dak.

Windbelasting (volgens NEN 6702)

hoogte gevel	70 m
stuwdruk	1,76 kN/m ² (gebied I, bebouwd) 1,76 kN/m ² (gebied I, onbebouwd)
Cdim	0,87 langsgevel 0,89 dwarsgevel
Cindex	0,8 druk 0,4 zuiging 0,01 wrijving
Ceq	1
φ_1	1 (1,005 na eerste berekening)

Belastingen uit hefbrug

Verticaal, per ophangpunt				
	F (kN)	γ	φ	Frep
permanent	548,7	1,5	1,45	1193 kN
veranderlijk			positief (max)	811 kN
			negatief (max)	-576 kN
Horizontaal, per ophangpunt				
dwarsrichting	481 kN			
langsrichting	256 kN			

Hefwiel

gewicht	350 kN
Verticale resultante belasting uit hefbrug (incl. wiel)	
F _{v,max}	2355 kN (op stramien A)

Gewicht geleidewerk

gewicht 2,0 kN/m¹ hoogte

Maatgevende belastingcombinatie

Hieronder wordt als voorbeeld voor stramien C een fundamentele combinatie in UGT beschouwd.

Permanente belasting

	p	γ	ψ	prep
vloer	3,79	1,2	1	4,55 kN/m ²
ligger	0,44	1,2	1	0,53 kN/m ²
randbalk	0,10	1,2	1	0,12 kN/m ²
tussenwanden	1,00	1,2	1	1,20 kN/m ²
totaal				6,39 kN/m²
kolom	3,53 kN	1,2	1	4,23 kN
binnengevel	1,00	1,2	1	1,20 kN/m ²
buitengevel	2,00	1,2	1	2,40 kN/m ²
zonwering	1,00	1,2	1	1,20 kN/m ²

Veranderlijke belasting verticaal

	p	γ	ψ	prep
vloerbel. binnen	3,50	1,5	0,5	5,25 kN/m ²
vloerbel. balkon	2,50	1,5	0,5	3,75 kN/m ²
uitzichtplatform	3,50	1,5	1	5,25 kN/m ²
sneeuw	0,56	1,5	0	0,84 kN/m ²

Veranderlijke belasting horizontaal

Wind op langsgevel					
	pw	cdim	cindex	γ	pwrep
druk	1,76	0,87	0,8	1,5	1,84 kN/m ²
zuiging	1,76	0,87	0,4	1,5	0,92 kN/m ²
wrijving	1,76	0,87	0,01	1,5	0,02 kN/m ²
Wind op dwarsgevel					
	pw	cdim	cindex	γ	pwrep
druk	1,76	0,89	0,8	1,5	1,88 kN/m ²
zuiging	1,76	0,89	0,4	1,5	0,94 kN/m ²
wrijving	1,76	0,89	0,01	1,5	0,02 kN/m ²

Kolombelastingen verticaal

Kolom stramien A (per verdieping)

stramienbreedte 6,00 m
 halve diepte 7,25 m
 diepte balkons 1,20 m

permanente belasting

kolom 8,69 kN
 vloer 139,05 kN
 buitengevel 24,60 kN
 geleidewerk brug 7,20 kN
G_{rep} 179,54 kN

veranderlijke belasting

vloerbelasting 114,19 kN
 balkonbelasting 13,50 kN
Q_{rep} 127,69 kN

sneeuw 21,29 kN
Q_{s,rep} 21,29 kN

Aantal verdiepingen boven brugdekniveau: 15

$$F_{\text{vert}} = \gamma_{f,g} \cdot G_{\text{rep}} + \sum \gamma_{f,q} \cdot \psi_i \cdot Q_{i,\text{rep}}$$

$$F_{\text{vert}} = 3736 \text{ kN}$$

Kolom stramien B (per verdieping)

stramienbreedte 6,00 m
 halve diepte 7,25 m
 diepte balkons 1,20 m

permanente belasting

kolom+diagonaal 39,03 kN
 vloer 278,10 kN
 gevel 28,80 kN
G_{rep} 345,93 kN

veranderlijke belasting

vloerbelasting 228,38 kN
 balkonbelasting 27,00 kN
Q_{rep} 255,38 kN

sneeuw 42,59 kN
Q_{s,rep} 42,59 kN

$$F_{\text{vert}} = 7402 \text{ kN}$$

Kolom stramien C (per verdieping)

stramienbreedte 6,00 m
 halve diepte 7,00 m
 diepte balkons 1,20 m

permanente belasting

kolom 4,23 kN
 vloer 268,51 kN
 gevel 28,80 kN
G_{rep} 301,55 kN

veranderlijke belasting

vloerbelasting 220,50 kN
 balkonbelasting 27,00 kN
Q_{rep} 247,50 kN

sneeuw 41,33 kN
Q_{s,rep} 41,33 kN

$$F_{\text{vert}} = 6668 \text{ kN}$$

Kolom stramien G

stramienbreedte 6,00 m
 halve diepte 4,50 m
 diepte balkons 1,20 m

permanente belasting

kolom+diagonaal 84,23 kN
 vloer 172,62 kN
 gevel 28,80 kN
G_{rep} 285,65 kN

veranderlijke belasting

vloerbelasting 141,75 kN
 balkonbelasting 27,00 kN
Q_{rep} 168,75 kN

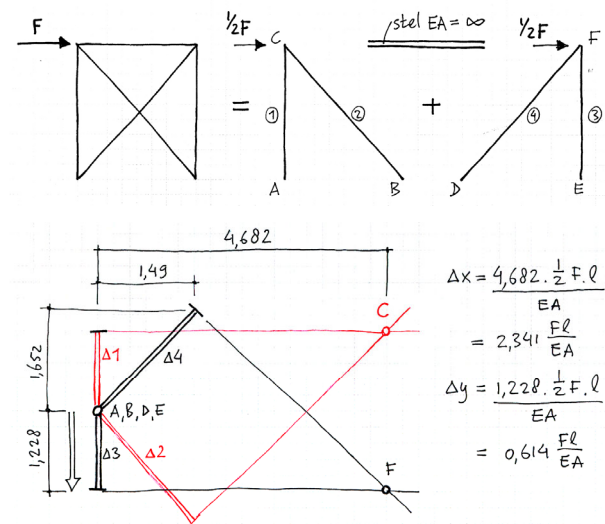
sneeuw 28,73 kN
Q_{s,rep} 28,73 kN

F_{vert} = 5748 kN

15.3 Horizontale belastingen loodrecht op lange gevel

Verdeling belasting over verbanden

Voordat de horizontale belastingen in de verbanden kunnen worden berekend, moet eerst de verdeling van de belasting over de twee stabiliteitselementen worden gevonden. Wanneer de verdiepingsvloeren als oneindig stijf worden verondersteld, kan middels een williotdiagram de stijfheid van één kruisverband worden bepaald. Hiermee kunnen vervolgens de krachten en vervormingen in het totale stabiliteitselement worden bepaald.



Uit het williotdiagram volgt:

$$\Delta x = 2,341 \frac{Fl}{EA}$$

$$\Delta y = 0,614 \frac{Fl}{EA}$$

De scheefstand van het volgende kruisverband bedraagt:

$$\tan \beta = 1,228 \frac{F}{EA}$$

Bovenstaande kan worden omschreven naar de stijfheid van de individuele onderdelen van de verbanden.

met $w = \frac{Fl^3}{EI}$ en $w = 2,341 \frac{Fl}{EA}$

volgt: $EI = 0,142 \frac{FL}{EA}$

Voor zowel stramien B als stramien G wordt eenzelfde EA aangenomen. Bovendien wordt de hoek van scheefstand van de diagonalen in beide verbanden gelijkgesteld. Met een constructieve breedte (hoh-afstand kolommen) van 13,00 m op stramien B en 9,75 m op stramien G beslaat een kruis dan respectievelijk vier en drie verdiepingen.

Dan volgt, met dezelfde EA van de kolommen en diagonalen voor beide verbanden:

$$EI(G) = 0,56 EI(B)$$

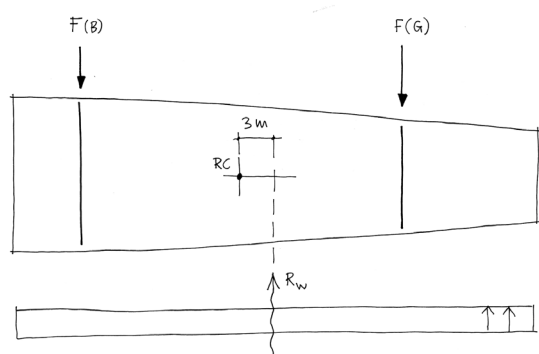
Voor de eenvoud van de berekeningen werd gesteld dat de EI voor beide verbanden gelijk zou moeten zijn. Dit kan worden bereikt door naast het verband op stramien G een extra verband op stramien H toe te voegen. Wanneer beide verbanden worden verbonden, zouden ze samen ongeveer een gelijke EI hebben als het verband op

stramien B. Hierbij zou het verband op stramien H echter dezelfde constructieve diepte moeten hebben als dat op stramien G. Dit is niet het geval. Doordat het verband op H minder diep is, zullen de diagonalen een grotere scheefstand krijgen. Hierdoor wordt de equivalente buigstijfheid aanzienlijk verlaagd. (Deze variant zal verderop worden behandeld als alternatieve oplossing)

Een andere oplossing is het verdubbelen van het verband op stramien G. Deze variant wordt hier verder uitgewerkt.

Windbelasting

Doordat de verbanden op stramien G verder van de kopgevel afstaan dan de verbanden op B, wordt een groter deel van de windbelasting door G afgedragen. Bovendien ontstaat een extra moment, dat zorgt voor een verdere vergroting van de krachten in verband G.



Het aangrijpingspunt van de windbelasting ligt 3 meter links van het rotatiecentrum. De verdeling van de windbelasting volgt hieruit:

$$F_w(B) = \frac{7}{16} F_w - \frac{1 F_w e}{2 d}$$

$$F_w(G) = \frac{9}{16} F_w + \frac{1 F_w e}{2 d}$$

De windbelasting per vierkante meter gevloppervlak bedraagt:

$$p_{w,rep} = 2,76 \text{ kN/m}^2$$

Per meter hoogte bedraagt dit:

$$F_{w,rep} = 2,76 \cdot 1 \cdot 48 = 132,8 \text{ kN/m1 hoogte}$$

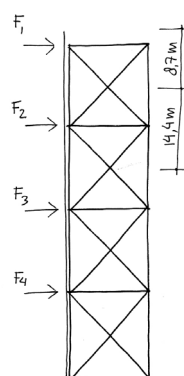
Per verband bedraagt de windbelasting:

$$\text{Verband B} \quad F_w = 44,8 \text{ kN/m1 hoogte}$$

$$\text{Verband G} \quad F_w = 88,0 \text{ kN/m1 hoogte}$$

Verband B

Er wordt aangenomen dat de windbelasting van de verschillende verdiepingen wordt afgedragen naar de dichtstbijzijnde knoop van het kruisverband.



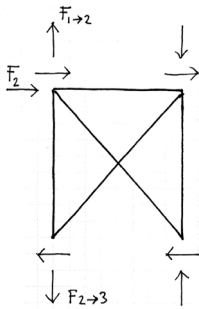
Hieruit volgt de verdeling van de windbelasting op de kruizen (van boven naar beneden):

kruis	belaste hoogte	belasting
1	8,7 m	390,0 kN
2	14,4 m	645,6 kN
3	14,4 m	645,6 kN
4	14,4 m	645,6 kN

Naast de windbelasting worden ook horizontale belastingen uit de brug door verband B afgedragen. Het maatgevende aangrijpingspunt voor deze belasting is ter plaatse van het bovenste kruis, oftewel wanneer de brug in geopende stand is. De maximale horizontale belasting loodrecht op de lange gevel bedraagt:

$$F_{b,rep} = 480,7 \text{ kN}$$

Hieruit volgen de krachten uit een kruisverband op het onderliggende verband. Daarbij wordt aangenomen dat de vloeren oneindig stijf zijn, zodat de horizontale oplegkrachten uit een verband op het onderliggende verband gelijk verdeeld worden over de beide oplegpunten.



	Linker oplegpunt		Rechter oplegpunt	
	Fv (kN)	Fh (kN)	Fv (kN)	Fh (kN)
F1→2	964	435	-964	435
F2→3	2644	758	-2644	758
F3→4	5039	1055	-5039	1055

De krachten uit wind op de onderconstructie bedragen:

Fopl	8149	1404	-8149	1404
------	------	------	-------	------

De maximale krachten door horizontale belasting in de individuele staven bedragen (axiale krachten):

Kolommen	+/-6594 kN (kolom onderste verband)
Diagonalen	+/-2095 kN (diagonaal onderaan)

De kolombelasting uit verticale belasting bedroeg:

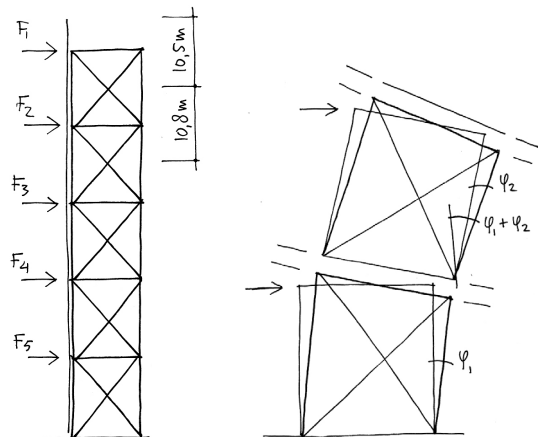
$$F_{w,vert} = -7402 \text{ kN}$$

Samen met de maximale drukkracht in de kolom door windbelasting komt de maximale drukkracht in de kolom op:

$$F = F_{vert} + F_{w,vert} = 13.996 \text{ kN}$$

Verband G

Voor de verbanden op stramien G kunnen op eenzelfde manier de maximale kolomkrachten worden berekend. Het verschil met stramien B is dat hier de verbanden over drie verdiepingen lopen, in plaats van over vier. Daardoor zijn vijf verbanden nodig in plaats van vier. Hoewel de dubbele verbanden van stramien G dezelfde stijfheid hebben als de verbanden op B, is de maximale uitbuiging op G groter. Dit komt doordat de uitbuiging van een verband een scheefstand veroorzaakt in de bovenliggende verbanden. Een groter aantal verbanden betekent ook een groter aantal onderlinge scheefstanden, en dus een grotere uiteindelijke uitbuiging.



Ook zijn de krachten op de verbanden van stramien G groter dan die op stramien B. Ondanks de kleinere hoogte per verband, en dus de kleinere op te nemen gevelhoogte, is de resulterende windbelasting per verband groter. Dit komt door de grotere meewerkende gevelbreedte, en door de extra kracht uit het rotatiemoment door de ongelijke verdeling van de reactiekrachten.

De verdeling van de windbelasting op de kruizen (van boven naar beneden) is als volgt:

kruis	belaste hoogte	belasting
1	10,5 m	924,0 kN
2	10,8 m	950,4 kN
3	10,8 m	950,4 kN
4	10,8 m	950,4 kN
5	10,8 m	950,4 kN

De maximale krachten door horizontale belasting in de individuele staven bedragen (axiale krachten):

Kolommen	+/-14.332 kN (kolom onderste verband)
Diagonalen	+/-3526 kN (diagonaal onderaan)

De kolombelasting uit verticale belasting bedroeg:

$$F_{w,vert} = -5748 \text{ kN}$$

Dat wil zeggen dat de krachten door windbelasting in de kolom groter kunnen zijn dan de drukkracht uit verticale belasting. Er kunnen dus aanzienlijke trekkrachten in de verticalen ontstaan. De maximale drukkracht in de kolommen ter plaatse van het brugdekniveau bedraagt:

$$F = F_{vert} + F_{w,vert} = 20.080 \text{ kN}$$

Al het bovenstaande geldt voor het gehele stabiliteitselement op stramien G. Aangezien de verbanden hier dubbel uitgevoerd worden, neemt elk verband de helft van de belastingen op.

Toets doorsnede kolommen, wind op langsgewel

Voor vier stramienen worden de kolommen getoetst op knik.

Stramien A

Ronde buiskolom, niet gevuld

D=500, t=10

F_{vert}	3736 kN
$F_{brug,v}$	2356 kN +
N_{Sd}	6092 kN
N_{Rd}	37.837 kN
N_{Sd}/N_{Rd}	0,16 < 1 ok.

Stramien B

Ronde buiskolom, gevuld met beton

D=500, t=30

F_{vert}	7402 kN
$F_{w,vert}$	6594 kN +
N_{Sd}	13.996 kN
N_{Rd}	14.235 kN
N_{Sd}/N_{Rd}	0,98 < 1 ok.

Stramien C

Ronde buiskolom, niet gevuld

D=400, t=10

F_{vert}	6668 kN
N_{Sd}	6668 kN
N_{Rd}	22.444 kN
N_{Sd}/N_{Rd}	0,30 < 1 ok.

Stramien G

2x Ronde buiskolom, gevuld met beton
 $D=500$, $t=30$

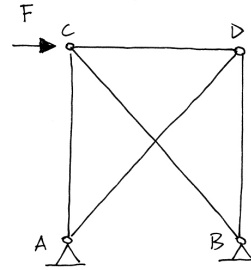
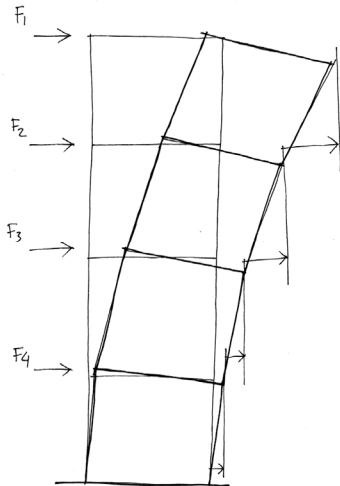
F_{vert} 5748 kN
 $F_{w,vert}$ 14.332 kN
 N_{Sd} 20.080 kN
 N_{Sd} (per kolom) 10.040 kN

N_{Rd} 14.235 kN

N_{Sd}/N_{Rd} 0,71 < 1 ok.

Toets uitbuiging, wind op langsgevel

Hieronder wordt de maximale uitbuiging bepaald ter plaatse van de twee verbanden op de bovenste verdieping. Hierbij is gebruik gemaakt van matrixframe. Een eenvoudig model van een enkel en een dubbel verband is met de hand uitgerekend, om de invoer van matrixframe te toetsen.



$F = 1000 \text{ kN}$
 $l = 10,8 \text{ m}$
 $E = 2,1 \cdot 10^8 \text{ kN/m}^2$
 $A = 30,16 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
 $\Delta x_c = 2,341 \frac{F l}{EA} = 0,00399 \text{ m}$
 $= 3,99 \text{ mm}$
 $\Delta x_c = \Delta x_b$
 Matrixframe $\Delta x_c = \Delta x_b = 0,00399 \text{ m}$
 $= 3,99 \text{ mm}$

Handberekening enkel verband
 Voor vergelijkende berekening in matrixframe, zie bijlage

Stramien B

De initiële scheefstand bedraagt 2,5 ‰ (volgens NEN 6770, art. 10.2.5.1.2). De eerste-orde uitbuiging ten gevolge van wind volgt uit matrixframe. De uitbuiging is berekend op de bovenste bruikbare verdieping, op een hoogte van 57,6 m boven brugdekniveau (67,6 m boven waterniveau).

	w_{max}	promille
$w_{initieel}$		2,50 ‰
$w_{hor.bel}$	99 mm	1,72 ‰

eerste-orde uitbuiging: $\varphi = 4,22 \text{ ‰}$

Verticale belasting

Voor het bepalen van de tweede-orde uitbuiging wordt de verticale belasting berekend. Door de eerste-orde scheefstand ontstaan extra horizontale krachten uit de verticale belasting. De vloerbreedte wordt hier over de gehele gebouwlengte gesteld op 12 meter. De gebouwlengte bedraagt 48 meter. Hieronder worden de totale verticale belastingen van de gehele toren berekend. Vervolgens wordt uit deze verticale belasting de extra horizontale belasting van het verband bepaald.

kolommen		276 kN
vloer	6,39 kN/m ² vloeropp.	3682 kN
gevels	4,80 kN/m ¹ gevelbreedte	576 kN
	P	4534 kN
vloerbelasting	5,25 kN/m ² vloeropp.	3024 kN
balkonbelasting	3,75 kN/m ² balkonopp.	432 kN
	V	3456 kN
sneeuw	0,84 kN/m ² dakopp.	484 kN
	Vs	484 kN

Het aandeel op te nemen horizontale belasting van verband B bedraagt 7/16 van de belaste lengte van de toren. Per verdieping geldt dan de incidentele combinatie:

$$F_v = 7/16 \cdot (1,0 \cdot P + 0,5 \cdot V) \quad 2652 \text{ kN}$$

$$F_{v,dak} = 7/16 \cdot (1,0 \cdot P + 1,0 \cdot V_s) \quad 2108 \text{ kN}$$

Door de eerste-orde uitbuiging φ zorgt elk van deze verticale belastingen voor een funderingsmoment. Dit extra funderingsmoment per verdieping bedraagt:

$$M_v(i) = F_v(i) \cdot \varphi \cdot h(i)$$

waarin: $F_v(i)$ incidentele combinatie verdieping i
 φ uitbuiging in promille
 $h(i)$ hoogte verdieping i t.o.v. brugdek

$$M_v = \sum M_v(i) \quad 1.267.272 \cdot \varphi \text{ kNm}$$

De eerste-orde uitbuiging door horizontale belasting bedroeg 1,72 ‰. De horizontale belastingen op de gevel zijn bekend, alsmede de hoogte van het aangrijpingspunt van deze belastingen tot het brugdekniveau. Hiermee kan het funderingsmoment ten gevolge van de horizontale belastingen bepaald worden.

$$M_h = \sum F_h(i) \cdot h(i)$$

waarin: $F_h(i)$ resultante horizontale belasting per verband
 $h(i)$ hoogte aangrijpingspunt resultante tot niveau brugdek

$$M_h = 105.931 \text{ kNm.}$$

De rotatieveerconstante van de verbanden bedraagt:

$$C = M_h / \varphi_{wind} = 105.931 / 1,72 \text{ ‰} = 61,6 \cdot 10^6 \text{ kNm/rad}$$

Het extra funderingsmoment M_v kan geschreven worden als $M_v = C (\varphi/n)$. Hieruit volgt:

$$n = C / M_v = 49$$

Hieruit volgt de tweede-orde uitbuiging $w_2 = \varphi / (n-1)$

$$w_2 = 0,09 \text{ ‰}$$

De uiteindelijke scheefstand bedraagt dan $w = \varphi \cdot n / (n-1)$

$$w = 4,31 \text{ ‰}$$

De totale elastische uitbuiging bedraagt:

$$w_{el} = 4,31 - 2,50 = 1,81 \text{ ‰}$$

Dit is kleiner dan de gestelde eis van 2,00 ‰. (NEN 6702, art. 10.3), en voldoet dus.

Stramien G

Met de aangenomen profielmaten voor de elementen van de stabiliteitsverbanden op stramien G wordt een eerste-orde uitbuiging ten gevolge van horizontale belastingen gevonden van 120 mm (op 54 meter hoogte). Dit is een uitbuiging van 2,22 ‰. Zonder tweede-orde effecten komt deze uitbuiging al boven de norm van 2,00 ‰ uit,

en voldoet de constructie dus niet aan de norm. Voor een eerste-orde uitbuiging ten gevolge van horizontale belasting van minder dan 2,00 ‰ is een rekstijfheid van de kolommen nodig van $EA = 14.655 \cdot 10^6$ N. Dit is bijvoorbeeld een buis met $D=500$, $t=40$, gevuld met beton en wapening $8 \times D=24$.

Dan volgt:

	w_{max}	promille
$w_{initieel}$		2,50 ‰
$w_{hor.bel}$	98 mm	1,81 ‰

eerste-orde uitbuiging: $\varphi = 4,31$ ‰

Verticale belasting

De verbanden op stramien G nemen 9/16 van de totale horizontale belasting op. Het aandeel van de verticale belasting voor de bepaling van de tweede-orde uitbuiging bedraagt per verdieping:

$$F_v = 9/16 \cdot (1,0 \cdot P + 0,5 \cdot V) \quad 3410 \text{ kN}$$

$$F_{v,dak} = 9/16 \cdot (1,0 \cdot P + 1,0 \cdot V_s) \quad 2710 \text{ kN}$$

Het funderingsmoment dat deze belastingen compenseert bedraagt (voor een enkele set verbanden):

$$M_v = \Sigma M_v(i) \quad 1.629.349 \cdot \varphi \text{ kNm}$$

Het funderingsmoment uit de horizontale belastingen M_h bedraagt:

$$M_h = 68.857 \text{ kNm}$$

De rotatieveerconstante van de verbanden bedraagt:

$$C = M_h / \varphi_{wind} = 68.857 / 1,81 \text{ ‰} = 38,0 \cdot 10^6 \text{ kNm/rad}$$

Met $M_v = C (\varphi/n)$ volgt:

$$n = C / M_v = 23$$

De tweede-orde uitbuiging bedraagt dan: $w_2 = \varphi / (n-1)$

$$w_2 = 0,19 \text{ ‰},$$

waarmee een uiteindelijke scheefstand volgt van

$$w = 4,50 \text{ ‰}.$$

De elastische uitbuiging bedraagt:

$$w_{el} = 4,50 - 2,50 \text{ ‰} \leq 2,00 \text{ ‰}$$

Kanttekeningen

Met verzwaarde kolommen voldoen de verbanden op stramien G net aan de gestelde eis. Een geringe wijziging in de berekeningsmethode zou dus kunnen betekenen dat de constructie niet voldoet.

Bovendien moet vermeld worden dat in bovenstaande berekening niet meegenomen is dat door verstijven van de verbanden het aandeel van de horizontale belastingen zal toenemen. Dit heeft het gevolg dat de uitbuiging groter zal worden, en dus niet meer zal voldoen. Door ook de verticalen van de verbanden op stramien B te verstijven wordt dit effect tenietgedaan. Dit betekent echter wel dat stramien B overgedimensioneerd wordt.

Een andere kanttekening kan gemaakt worden bij het feit dat de kolomkrachten door windbelasting aanzienlijk groter kunnen zijn dan de krachten uit verticale belasting. Dat betekent dat in de kolommen aanzienlijke trekkrachten kunnen ontstaan. Dit kan een probleem vormen bij aansluitingsdetails.

Alternatief enkel verband stramien G

Als variant wordt hier bekeken wat voor afmetingen benodigd zijn wanneer de verbanden op stramien G enkel worden uitgevoerd. Er wordt eenvoudigweg gesteld dat de stijfheid van het beschouwde dubbele verband nu door een enkel verband moet worden bereikt.

Het dubbele verband voldeed wanneer het bestond uit ronde stalen buizen ($D=500$, $t=40$), gevuld met beton en wapening ($8 \times D=24$). Een enkele buis heeft een samengestelde rekstijfheid van:

$$EA = 15.997 \cdot 10^6 \text{ N}$$

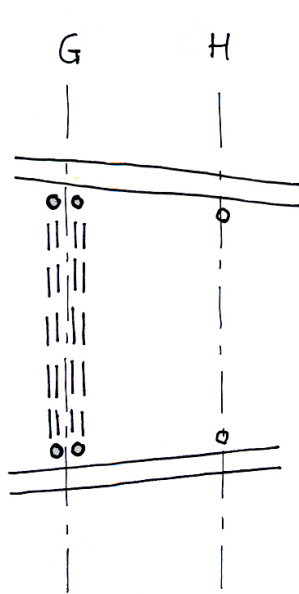
De benodigde rekstijfheid voor staven in een enkel verband bedraagt:

$$EA = 2 \cdot 15.997 \cdot 10^6 = 31.995 \cdot 10^6 \text{ N}$$

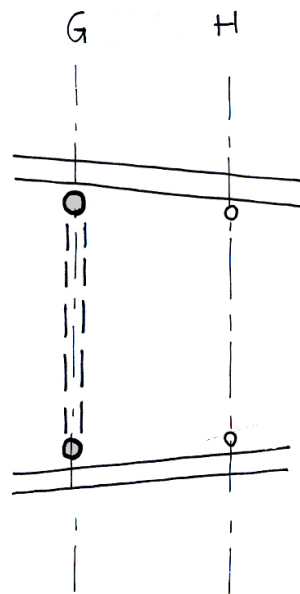
Dit is bijvoorbeeld een met beton gevulde stalen buis met:

D 800 mm
t 45 mm

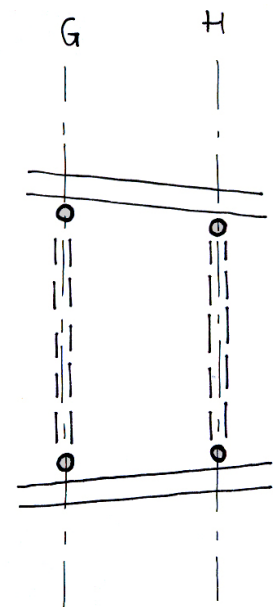
wapening $8 \times D=24$



Dubbel verband op stramien G



Enkel verband op stramien G



Verbanden op stramien G en H

Alternatief samenwerkende verbanden op G en H

Als tweede alternatief wordt een configuratie voorgesteld waarbij het dubbele verband van stramien G wordt vervangen door twee enkele verbanden, op stramien G en H. Deze verbanden worden gekoppeld via de vloeren. In dit geval zijn de twee verbanden niet even breed. Daardoor zal, met gelijke profieldoorsneden, het verband op stramien H minder stijf zijn dan het verband op stramien G. Dit wordt niet alleen veroorzaakt door de kleinere tussenafstand van de verticalen (en dus een minder grote arm), maar ook door de veranderde hoek van de diagonalen. Het is wenselijk om de knopen van diagonalen en verticalen bij beide verbanden op dezelfde hoogte te laten aansluiten. Daardoor zullen de diagonalen op H een grotere hoek met de horizontaal maken dan de diagonalen op G.

verband:	G	H	
b (mm)	9750	8700	(h.o.h.-afstand verticalen)
h (mm)	10.800	10.800	(hoogte enkel kruisverband)
α	47,9°	51,2°	(hoek met horizontaal)

Het dubbele verband op stramien G voldeed aan de tweede-orde uitbuigingseis met elementen met $D = 500$ mm en $t = 40$ mm. De rekstijfheid van een kolom bedroeg:

$$EA = 15.997 \cdot 10^6 \text{ N per verband, dus:}$$

$$EA = 31.995 \cdot 10^6 \text{ N voor de beide verbanden samen.}$$

De buigstijfheid van de gehele verbanden samen bedraagt daarbij:

$$EI = 0,142 EA l^2, \text{ met } l = 9750 \text{ mm.}$$

$$EI = 4,319 \cdot 10^{17} \text{ Nmm}^2. \text{ (voor het dubbele verband)}$$

Deze waarde kan nu gebruikt worden voor de bepaling van de profielgrootheden van de elementen op stramien G en H. Daarbij worden de elementen zodanig gekozen dat de twee verbanden dezelfde buigstijfheid krijgen. Er wordt gesteld dat in dat geval de gezamenlijke buigstijfheid van de twee verbanden gelijk is aan de som van de twee individuele buigstijfheden:

$$EI(G+H) = EI(G) + EI(H)$$

Stramien G

Voor het verband op stramien G kunnen dezelfde profielmaten gekozen worden als in het geval van het dubbele verband op G. Het (nu enkele) verband op stramien G heeft elementen met $D = 500$ mm en $t = 40$ mm.

Stramien H

Voor stramien H geldt een andere werkende breedte, namelijk $l = 8700$ mm in plaats van 9750 mm. Daardoor maken de diagonalen in het verband een andere hoek met de horizontaal. Uit het williot-diagram volgt dan dat de

verhouding tussen de stijfheid van de elementen en de uitwijking aan de top verandert:

$$\Delta x = 2,982 \frac{Fl}{EA} \text{ (in plaats van } \Delta x = 2,341 \frac{Fl}{EA} \text{)}$$

Daaruit volgt dat de vergelijking tussen de rekstijfheid EA van de elementen en de buigstijfheid EI van het gehele verband ook verandert:

$$EI = 0,112 EA l^2 \text{ (in plaats van } EI = 0,142 EA l^2 \text{)}$$

Hieruit volgt:

$$EA_{\text{ben}} = \frac{1}{0,112} \frac{EI_{\text{dubbel}}}{l^2},$$

waarbij:	EI_{dubbel}	$4,319 \cdot 10^{17} \text{ Nmm}^2.$
	l	8700 mm

$$EA_{\text{ben}} = 25.521 \cdot 10^6 \text{ N}$$

Dit wordt behaald met een kolom met:

D	600 mm
t	50 mm
wapening:	8 rond 50

Dit zijn aanzienlijke maten. Doordat het verband echter een gelijke buigstijfheid heeft zal het zich bij windbelasting vergelijkbaar gedragen als het verband op stramien G, en zullen de extra vervormingen door verdraaiing of krachtenherverdelingen beperkt blijven. Deze oplossing is daarmee een goed alternatief voor het dubbele verband op stramien G.

Alternatief betonnen schijf stramien G

Als derde alternatief voor de stalen windverbanden voor stramien G wordt hier een configuratie met betonnen stabiliteitswanden beschouwd. Wanneer de maximale uitbuiging aan de top van 2 ‰ wordt aangehouden, kan een benodigde buigstijfheid van de totale stabiliteitsvoorziening worden berekend. Met een hoogte van 58,5 m wordt de maximale uitbuiging 117 mm. Uitgegaan wordt van B35 betonkwaliteit. Voor een stabiliteitsberekening geldt een andere elasticiteitsmodulus dan die voor buigdruksterkte.

$$E_f = 1/3 f_{c,k} \cdot 1000 \quad 11.667 \text{ N/mm}^2$$

$$w = \frac{ql^4}{8EI}, \text{ hieruit volgt:}$$

$$I_{\text{ben}} = \frac{ql^4}{8Ew} = 7,98 \cdot 10^{13} \text{ mm}^4.$$

Wanneer twee schijven evenwijdig met de gevels geplaatst worden, wordt het traagheidsmoment op de volgende manier bepaald:

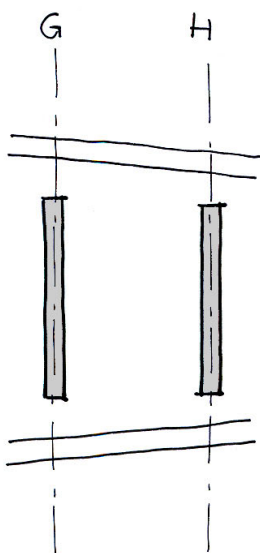
$$I_{\text{ben}} = \sum (A \cdot e^2)$$

waarin: A oppervlak doorsnede wand
e excentriciteit wand

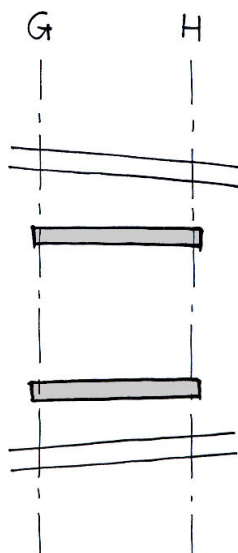
Als de wanden direct langs de gevel geplaatst worden, worden de volgende waarden gevonden:

e 4500 mm (afstand tot midden)
b 6000 mm (breedte wand)
t 330 mm (dikte wand)

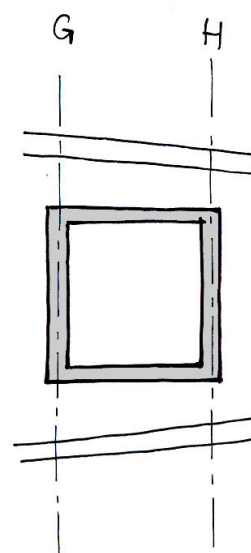
met $I = 8,02 \cdot 10^{13} \text{ mm}^4$.



Schijven loodrecht op langsgewel



Schijven evenwijdig met langsgewel



Koker van schijven

De wanden kunnen ook dwars op de gevels worden geplaatst. Dan volgt het traagheidsmoment uit:

$$I = \frac{1}{12}bh^3$$

Met drie wanden naast elkaar zijn de volgende afmetingen nodig:

b	8200 mm	(breedte wand)
t	600 mm	(dikte wand)

Een combinatie van wanden evenwijdig en dwars op de gevel is een derde mogelijkheid. In dat geval is een gang langs beide gevels mogelijk, en heeft de kern de volgende afmetingen:

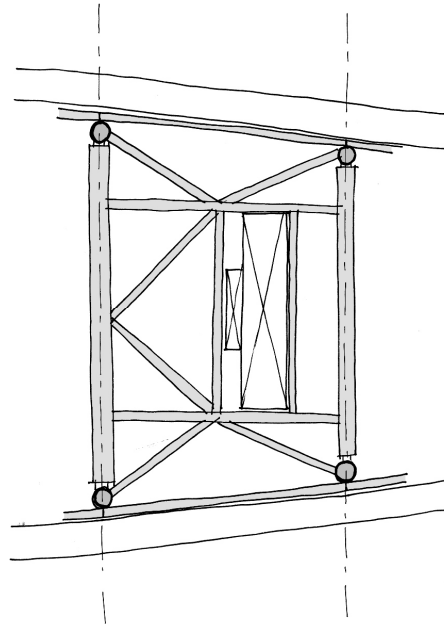
b	6000 mm	(breedte kern)
d	7000 mm	(diepte kern)
t	400 mm	(dikte wanden)

Hierbij is nog enige ruimte voor gaten in de stabiliteitskern voor de toegang tot noodtrappenhuis en toiletten.

Bij het gebruik van betonnen schijven voor de stabiliteit worden de kolommen op stramien G (en H) minder wenselijk. De kolommen nemen verticale belasting op, die anders gebruikt zou worden voor permanente belasting van de kernen. Deze permanente belasting zorgt ervoor dat in de kernen minder snel trekspanningen ontstaan. Het hangt van de configuratie van de betonnen wanden af of de kolommen nog nodig zijn voor het opnemen van het gewicht van de gevel.

Conclusies

Er wordt gekozen voor de variant met de samenwerkende stalen verbanden op stramien G en H. De variant met betonnen schijven valt af door de grote benodigde afmetingen van de betonwanden, en de daarmee samenhangende indelingsproblemen van de plattegrond. Bij het plaatsen van stalen verbanden op alleen stramien G is een zeer grote maat stalen buizen benodigd, of een dubbel verband. Beide varianten zijn technisch uitvoerbaar, maar onpraktisch en visueel onaantrekkelijk. Bovendien levert het concentreren van de afdracht van horizontale belastingen op één stramien problemen op voor de fundering (zie hoofdstuk 16).

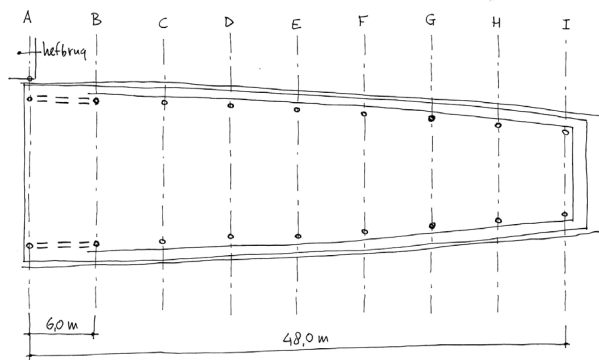
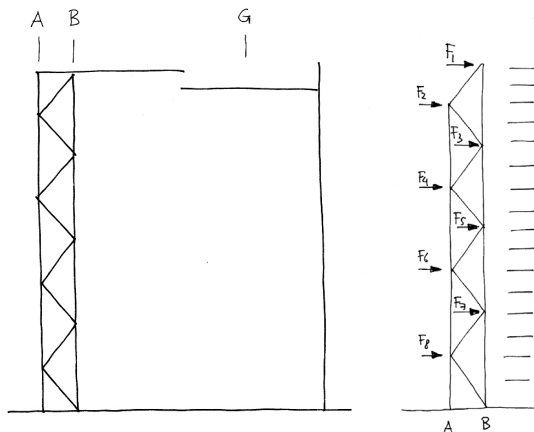


Vloerconstructie tussen stramien G en H, om krachten om het trappgat heen te leiden

15.4 Horizontale belastingen loodrecht op korte gevel

Horizontale belastingen op de korte gevels van de toren worden opgenomen door de twee verbanden tussen stramien A en B. Deze horizontale belastingen kunnen bestaan uit windbelasting en belastingen uit de hefbrug.

Er wordt aangenomen dat de windbelasting op het gebouw hetzelfde is als op een rechthoekig gebouw met een korte gevel van 16,90 meter breed. Dit is de grootste breedte van het gebouw, inclusief glazenwassersbalkons.



$F_{wind} = 49,9 \text{ kN/m1 hoogte}$

Deze belasting wordt verdeeld over twee verbanden. De windbelasting per verband wordt weer verdeeld over de knooppunten van de vakwerken. Dit zijn nu geen kruisverbanden, maar enkelvoudige diagonaalverbanden. De verdeling van de windbelasting op de knooppunten (per verband, van boven naar beneden) is als volgt:

kruis	belaste hoogte	belasting
1	5,1 m	127,3 kN
2	7,2 m	179,7 kN
3	7,2 m	179,7 kN
4	7,2 m	179,7 kN
5	7,2 m	179,7 kN
6	7,2 m	179,7 kN
7	7,2 m	179,7 kN
8	7,2 m	179,7 kN

De maximale horizontale belasting uit de brug in deze richting bedraagt:

$F_{brug} = 256,2 \text{ kN,}$

en heeft als maatgevende aangrijpingspunt de hoogste stand van de hefbrug, oftewel kruis 2.

De constructie is statisch bepaald, en per staaf kan eenvoudig de staafkracht ten gevolge van deze horizontale belastingen bepaald worden. De verticale staven hebben een lengte van 14,4 meter, de diagonalen van 9,4 meter. De grootste kracht doet zich voor in de onderste verticaal, en bedraagt 8334 kN.

De krachten op de fundering bedragen dan:

	Stramien A	Stramien B
Verticaal	8334 kN ↑	1513 kN
Horizontaal	8334 kN ↓	0

Op stramien A ontstaat hier dus door horizontale belasting een omhooggerichte funderingsbelasting. Deze belasting is groter dan de neerwaartse funderingsbelasting uit verticale belastingen. Bij wind van de andere kant ontstaat hetzelfde probleem:

	Stramien A (staaf 16)	Stramien B (staaf 13)
F_{vert}	3797 kN	7402 kN
F_{wind}	8334 kN	8334 kN
F_{max}	12.131 kN	15.736 kN
F_{min}	-4537 kN	-932 kN

Voor de maximale drukkracht in de staven kan een kniktoets worden uitgevoerd.

N_{Sd}	12.131 kN	15.736 kN
N_{Rd}	17.992 kN	17.992 kN
$N_{\text{Sd}}/N_{\text{Rd}}$	0,67 < 1 ok	0,87 < 1 ok

Toets uitbuiging, wind op dwarsgevel

Ook de verlenging / verkorting kan per staaf worden bepaald, wanneer de staven een bekende rekstijfheid EA hebben. Er wordt gerekend met dezelfde staafdoorsnedes als bepaald voor stramien G (in het geval met het dubbele verband), een met beton en wapening gevulde stalen kolom op stramien A en B met $D = 250$ mm, $t = 40$ mm.

De totale eerste-orde uitbuiging aan de top ten gevolge van wind bedraagt 163 mm op een hoogte van 57,6 m boven het brugdek. Dit is een uitbuiging van 2,83 ‰.

Dan volgt:

	w_{max}	promille
w_{initieel}		2,50 ‰
$w_{\text{hor.bel}}$	163 mm	2,83 ‰

eerste-orde uitbuiging: $\varphi = 5,33$ ‰

Verbreden hart-op-hart-afstand stramienen

Deze uitbuiging is zonder tweede-orde effecten al te groot. Er zijn verschillende mogelijkheden om dit probleem op te lossen. Ten eerste kan eenvoudigweg de wanddikte van de stalen kolommen worden vergroot tot $t = 50$ mm. Dit leidt tot een eerste-orde uitbuiging door wind van 2,45 ‰. Aangezien de slankheid van de verbanden (6 meter op 57,6 m = 1:10) is echter te verwachten dat dan de tweede-orde uitbuiging alsnog te groot wordt.

Daarom wordt een tweede oplossing bekeken, het verbreden van de maat tussen stramien A en B tot 7,2 meter (i.p.v. 6,0 m). Hierbij wordt voorlopig weer een wanddikte voor de kolommen aangehouden van 40 mm.

Er volgt:

	w_{max}	promille
w_{initieel}		2,50 ‰
$w_{\text{hor.bel}}$	115 mm	1,99 ‰

eerste-orde uitbuiging: $\varphi = 4,49$ ‰

De bepaling van de meewerkende verticale belasting verloopt op eenzelfde manier als hiervoor. Het aantal aangrijpingspunten van deze belastingen is echter groter, doordat de langsverbanden elke tweede verdieping een knooppunt hebben. De gemiddelde vloerbreedte wordt weer gesteld op 12 meter, de lengte van de vloeren bedraagt 48 meter. Verticale belastingen per verdieping:

Permanente belasting	P	4534 kN
Veranderlijke belasting	V	3456 kN
Sneeuwbelasting	V_s	484 kN

Met twee langsverbanden bedragen de belastingen per verband de helft van de totale belastingen. Per verdieping geldt de incidentele combinatie:

$$F_v = 0,5 \cdot (1,0 \cdot P + 0,5 \cdot V) \quad 3131 \text{ kN}$$

$$F_{v,\text{dak}} = 0,5 \cdot (1,0 \cdot P + 1,0 \cdot V_s) \quad 2509 \text{ kN}$$

Door de eerste-orde uitbuiging φ zorgt elk van deze verticale belastingen weer voor een funderingsmoment. Dit extra funderingsmoment per verdieping bedraagt:

$$M_v(i) = F_v(i) \cdot \varphi \cdot h(i)$$

waarin: $F_v(i)$ incidentele combinatie verdieping i
 φ uitbuiging in promille
 $h(i)$ hoogte verdieping i t.o.v. brugdek

$$M_v = \sum M_v(i) = 1.497.112 \cdot \varphi \text{ kNm}$$

Het funderingsmoment ten gevolge van de eerder gevonden eerste-orde horizontale belastingen bedraagt:

$$M_h = \sum F_h(i) \cdot h(i)$$

waarin: $F_h(i)$ resultante horizontale belasting per verband
 $h(i)$ hoogte aangrijpingspunt resultante tot niveau brugdek

$$M_h = 50.005 \text{ kNm.}$$

Met de eerste-orde uitbuiging van 1,99 ‰ bedraagt de rotatieveerconstante van de verbanden:

$$C = M_h / \varphi_{\text{wind}} = 50.005 / 1,99 \text{ ‰} = 25,1 \cdot 10^6 \text{ kNm/rad}$$

Het extra funderingsmoment M_v kan geschreven worden als $M_v = C (\varphi/n)$. Hieruit volgt:

$$n = C / M_v = 17$$

Hieruit volgt de tweede-orde uitbuiging $w_2 = \varphi / (n-1)$

$$w_2 = 0,29 \text{ ‰}$$

De uiteindelijke scheefstand bedraagt dan $w = \varphi \cdot n / (n-1)$

$$w = 4,78 \text{ ‰}$$

De totale elastische uitbuiging bedraagt:

$$w_{el} = 4,78 - 2,50 = 2,28 \text{ ‰}$$

Dit is groter dan de gestelde eis van 2,00 ‰. (NEN 6702, art. 10.3), en voldoet dus NIET.

Een zelfde configuratie met hart-op-hart-afstand tussen stramien A en B van 7,2 meter, maar nu met buizen met een wanddikte van 50 mm levert:

	w_{max}	promille
w_{initieel}		2,50 ‰
$w_{\text{hor.bel}}$	100 mm	1,73 ‰

eerste-orde uitbuiging: $\varphi = 4,23 \text{ ‰}$
 rotatieveerconstante $C = 28,9 \cdot 10^6 \text{ kNm/rad}$
 M_v blijft gelijk: $M_v = 1.497.112 \cdot \varphi \text{ kNm}$
 $n = C / M_v = 19$

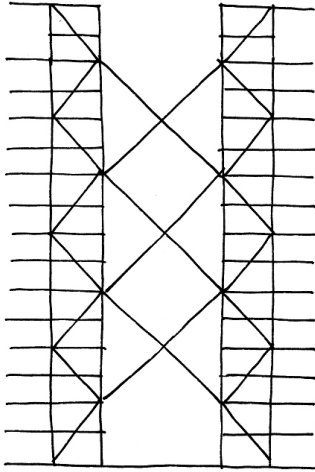
tweede-orde uitbuiging $w_2 = 0,23 \text{ ‰}$

uiteindelijke scheefstand $w = 4,46 \text{ ‰}$
 elastische uitbuiging $w_{el} = 1,96 \text{ ‰}$

Dit is kleiner dan de gestelde eis van 2,00 ‰. (NEN 6702, art. 10.3), en voldoet wel.

Koppeling torens

Bovenstaande configuratie heeft door zijn slankheid veel materiaal nodig om te voldoen aan de eisen. Er is echter de mogelijkheid om de twee torens, die tot nu toe hun eigen stabiliteit waarborgden, te koppelen. Er worden daarvoor drie kruizen boven elkaar geplaatst tussen stramien A van het verband langs de zuidgevel van elke toren. Dezelfde verbinding wordt gemaakt tussen de twee verbanden langs de noordgevel van beide torens.



De kolommen op stramien B blijven vrij zwaar, omdat deze nodig zijn voor stabiliteit in de andere richting. De kolommen op stramien A en de diagonalen in de verbanden en in de koppelkruizen worden lichter uitgevoerd.

Maat tussen stramien A en B: 6,0 m
 Maat tussen twee torens: 14,0 m

	D	t	betonvulling
Kolommen stramien B	500	40	ja
Kolommen stramien A	500	30	nee
Diagonalen stramien A	500	30	nee
Koppelkruizen	500	30	nee

Met deze waarden volgt:

	w_{max}	promille
$w_{initieel}$		2,50 ‰
$w_{hor.bel}$	23 mm	0,40 ‰

eerste-orde uitbuiging: $\varphi = 2,90 \text{ ‰}$

De uitbuiging is hierbij zo gering dat een tweede-orde berekening niet nodig is. Er kan bovendien nog aanzienlijk bezuinigd worden op afmetingen. Voor de eenvoud van montage kan bijvoorbeeld gekozen worden voor een kleinere buisdiameter voor de diagonalen. Hier wordt voor de diagonalen en voor de koppelkruizen een buisdiameter aangehouden van 400 mm, met een wanddikte van 20 mm. De eerste-orde uitbuiging door horizontale belastingen bedraagt hierbij:

$$w_{hor.bel} = 34 \text{ mm} = 0,59 \text{ ‰},$$

en de totale eerste-orde uitbuiging bedraagt:

$$\varphi = 3,09 \text{ ‰}.$$

Koppelstaven

De kruizen ondergaan door eigengewicht een momentbelasting. Met een overspanningslengte van 14 meter, en een buis met $D = 400$ en $t = 20$ mm veroorzaakt dit een buigspanning van 19 N/mm^2 .

De maximale trek- en drukkracht in de staven van het onderste koppelkruis bedraagt 1276 kN. Dit levert een druk- of trekspanning van 53 N/mm^2 . De totaal optredende drukspanning wordt hierbij dus $19 + 53 = 72 \text{ N/mm}^2$.

De buis wordt getoetst op gecombineerde druk en buiging (volgens NEN 6770, art. 12.3):

N_{csd}	1276 kN
ω_{buc}	0,99
N_{pl}	5611 kN
M_{yds}	46,8 kNm
M_{yud}	590,6 kNm

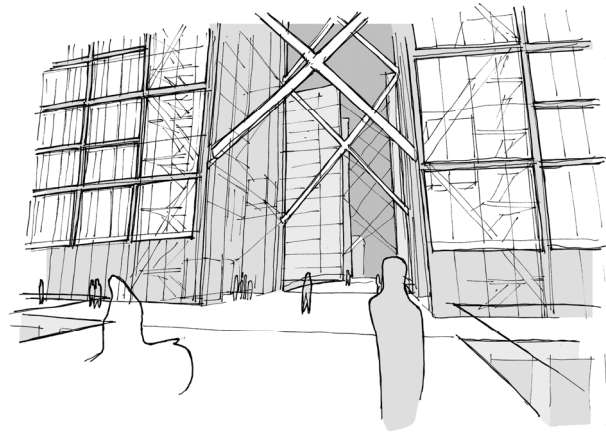
$$1,1 \frac{N_{csd}}{\omega_{buc} N_{pl}} + 1,1 \frac{M_{ysd}}{M_{yud}} \leq 1$$

$$1,1 \frac{1276 \cdot 10^3}{0,99 \cdot 5611 \cdot 10^3} + 1,1 \frac{46,8 \cdot 10^6}{590,6 \cdot 10^6} = 0,34 \leq 1$$

De koppelstaven worden als enige constructie-onderdelen blootgesteld aan buitencondities. Dit brengt met zich mee dat de staven onderhevig zijn aan grote temperatuurverschillen van de buitenlucht. Om grote spanningsverschillen ten gevolge van vervormingen door temperatuur tegen te gaan, worden de koppelstaven bekleed met een isolerende laag, en worden warmwaterleidingen door de buizen gevoerd. De leidingen zorgen voor opwarming van de buizen in de winter. Al te grote opwarming op een zonnige zomerdag wordt tegengegaan door de isolatie. Eventueel kan 's zomers bovendien koud water door de buizen worden gevoerd.

Conclusies

Een enkele toren kan in de configuratie met verbanden over één onverbreed stramien de horizontale belastingen loodrecht op de korte gevel niet opvangen (er wordt niet voldaan aan de uitbuigingseis). Het verbreden van het stramien, of het uitbreiden van de verbanden over twee stramienen is een mogelijkheid, evenals het verbinden van de twee torens op een eiland. Deze laatste oplossing wordt gekozen, onder andere door het interessante beeld dat ontstaat door de kruizen.



16. Ontwerp onderbouw

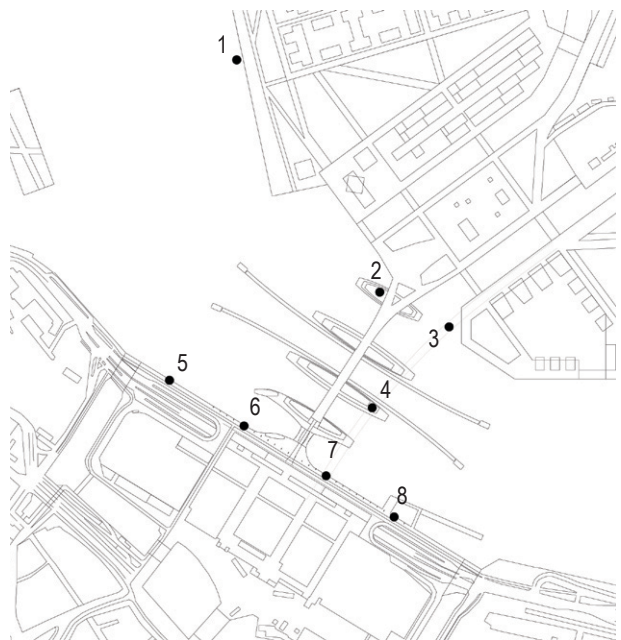
In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de onderbouw van de brug. Daarbij worden vooral de twee middelste eilanden beschouwd. De gebouwen op de middelste eilanden zijn het hoogst, en de bodemdiepte van het IJ is hier het grootst. Bovendien ontbreekt de eerste zandlaag hier, en is de tweede zandlaag weinig draagkrachtig. Eerst zal worden ingegaan op de bodemsamenstelling, en op de huidige bouwprojecten rond het stationseiland. Daarna wordt besproken hoe de bodem van het IJ opgehoogd kan worden zonder de tunnel van de Noord-Zuidlijn te veel te beïnvloeden. Vervolgens wordt de fundering van de twee middeneilanden en de geleidewerken besproken, en ten slotte wordt de bouwvolgorde van de onderbouw bepaald.

16.1 Bodemsamenstelling

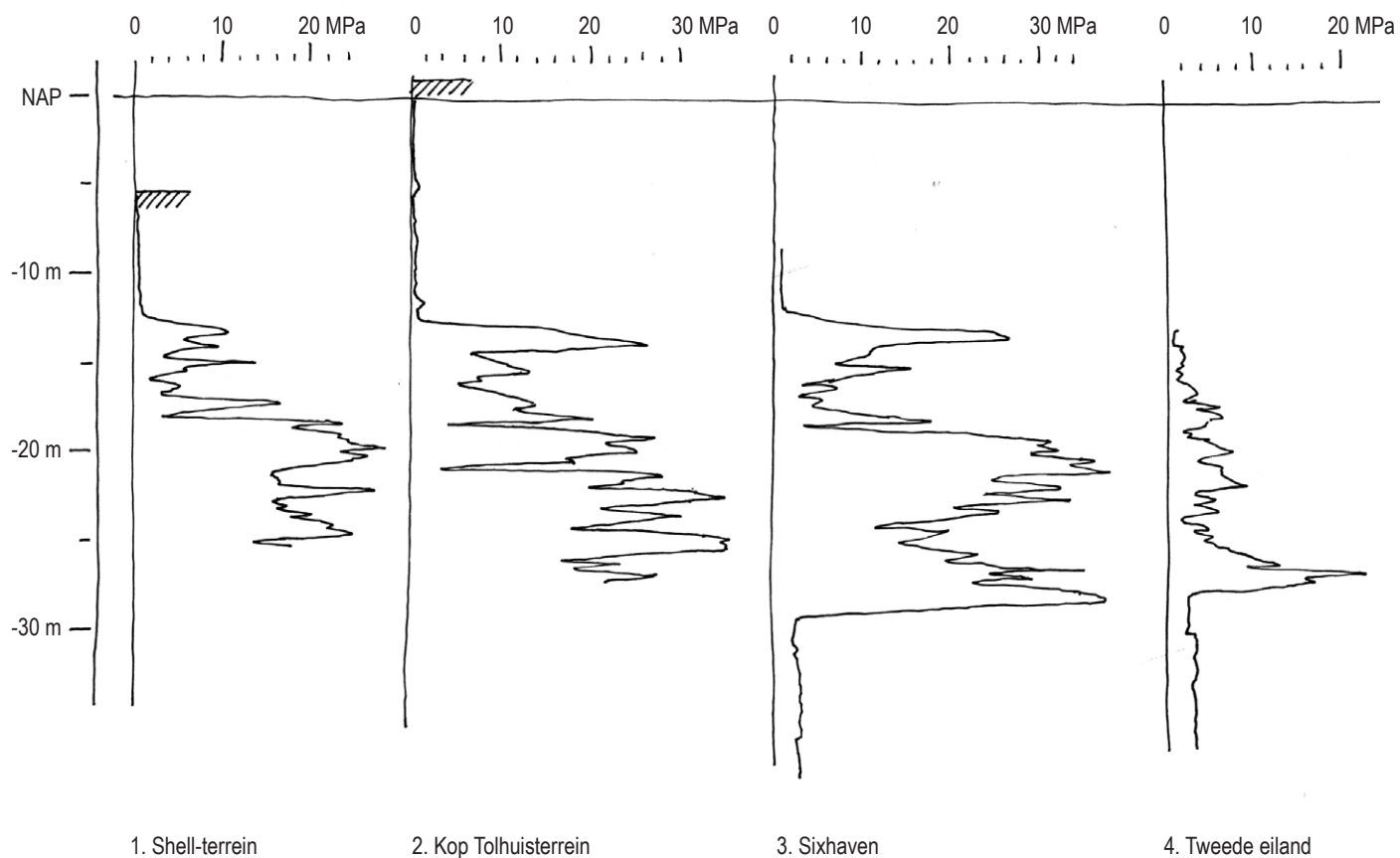
De bodem onder de brug en eilanden bestaat uit een pakket dat hoofdzakelijk bestaat uit klei. De eerste zandlaag, die rond - 13 m NAP ligt, is over vrijwel de gehele bruglengte niet aanwezig. De tweede zandlaag, rond - 27 m NAP, wordt naar het Centraal Station toe geleidelijk dunner, en is vanaf halverwege het busstation geheel afwezig. De derde zandlaag ligt op - 60 m NAP.

Een en ander blijkt uit de op de volgende pagina's afgebeelde sonderingen. (IBA 1994 - 2005) De drie sonderingen langs de noordelijke IJ-oever (1, 2, 3) tonen de aanwezigheid van zandlagen vanaf een diepte van 13 meter onder NAP. De eerste zandlaag is weinig draagkrachtig, maar vanaf - 20 m NAP bevindt zich een vrij dikke, draagkrachtige zandlaag. Vanaf - 30 m NAP begint het 30 meter dikke eemkleipakket. De gebouwen op en langs de noordelijke IJ-oever kunnen op de tweede zandlaag worden gefundeerd, aangezien de gebouwen een beperkte hoogte hebben.

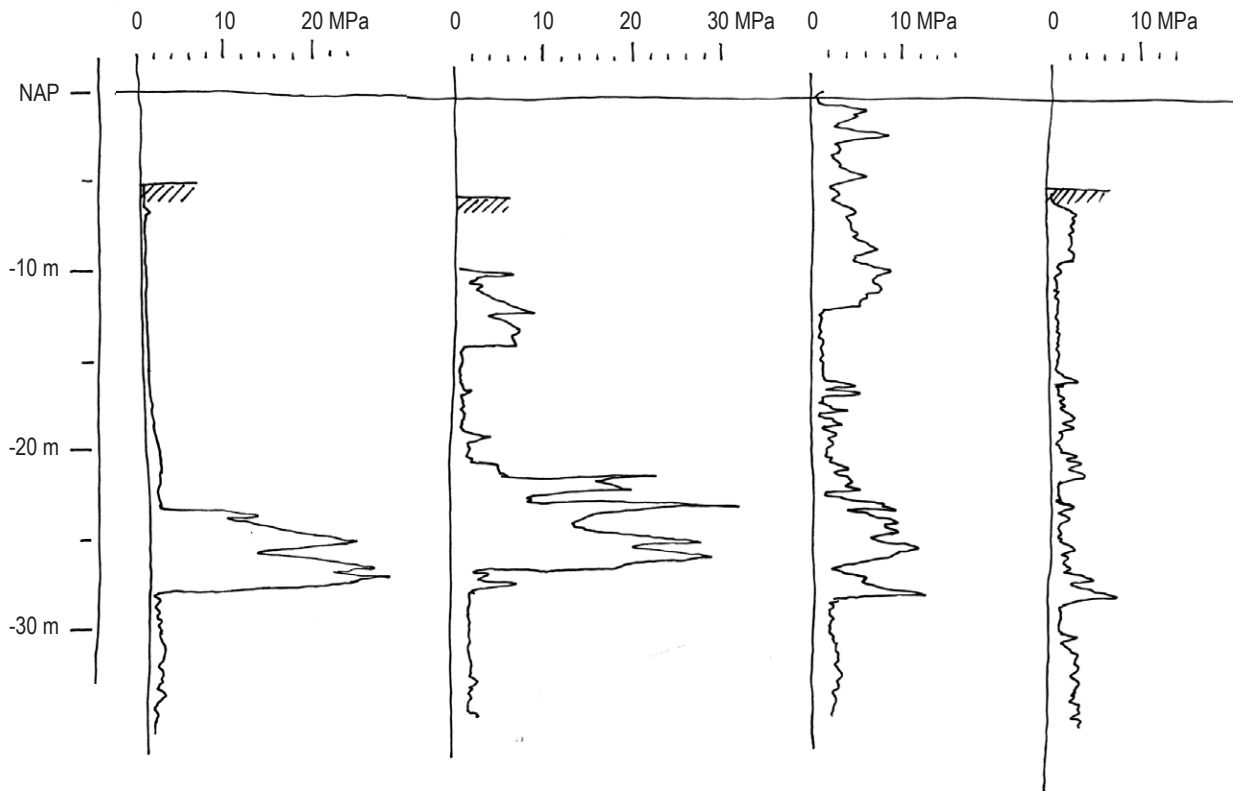
De sondering (4) midden in het IJ laat zien dat ter plaatse van de twee middeneilanden niet gerekend kan worden op draagkrachtige lagen bovenop de eemklei. De sondering toont tussen - 15 m en - 28 m NAP wel de aanwezigheid van zand in de grond, maar dit is vermengd met klei. De conusweerstand komt nauwelijks boven de 20 MPa uit. Een funderingsberekening is daarom noodzakelijk. De aanvaarbeveiliging heeft minder last van de slechte draagkracht van de grond, aangezien deze slechts zichzelf moet dragen, en haar constructieve werking ontleent aan horizontale belasting van de grond. De berekeningen in hoofdstuk 8 zijn uitgevoerd met de eigenschappen van klei.



Locatie sonderingen (afgebeeld op volgende pagina's)



Paalpuntweerstand gemeten op acht locaties (IBA 1994 - 2005)



5. Noordpunt Stationseiland

6. Fietsersonderdoorgang

7. Ingang middentunnel

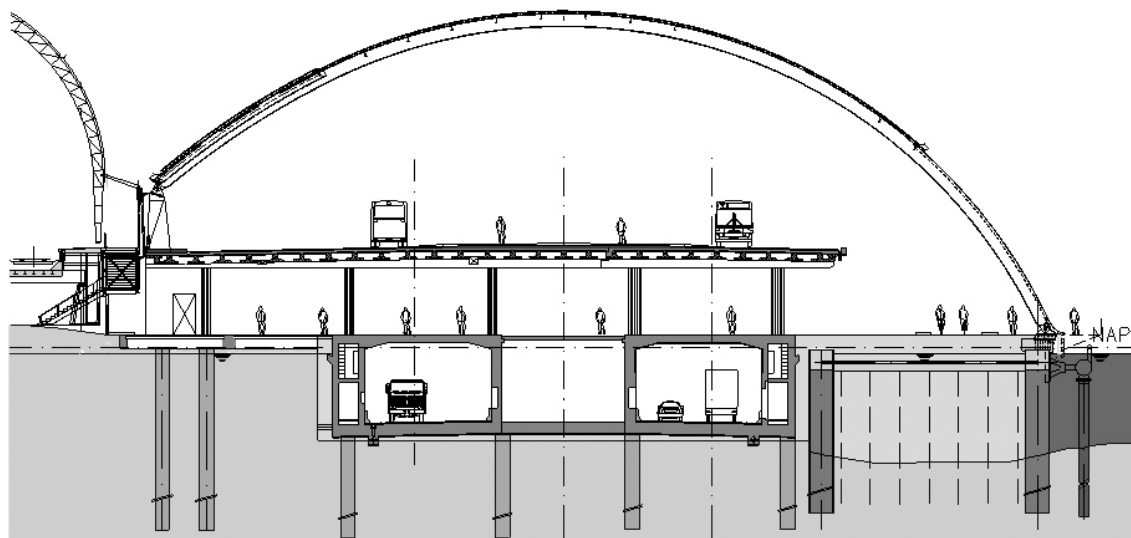
8. Oostelijke stationskade

De vier sonderingen (5 - 8) langs de zuidelijke IJ-oever vertonen vrij grote verschillen. De oergeul loopt onder de oostzijde van de kade door, en hier ontbreken de eerste twee zandlagen weer. Aan westzijde van de kade loopt de oergeul meer naar het zuiden, onder de sporen door. Hier bevindt zich langs de kade dus wel voldoende zand. De aansluiting van de brug op het stationseiland ligt tussen sonderingen 6 en 7 in, precies op de grens van de tweede zandlaag. De brug wordt hier gefundeerd op een ondergrondse parkeergarage, waardoor de neerwaartse belastingen uit de brug waarschijnlijk kleiner zijn dan de opwaartse belastingen uit de parkeergarage. Door de garage te verankeren met trekpalen, wordt slechts de kleef van de grond benut, en is een draagkrachtige laag niet nodig. De gebouwen op het eerste eiland dienen wel gefundeerd te worden op een draagkrachtige laag. Een berekening moet uitwijzen of de tweede zandlaag voldoende draagkrachtig is. Ook hier kan echter het aantal benodigde palen worden beperkt door gebruik te maken van een kelderconstructie.

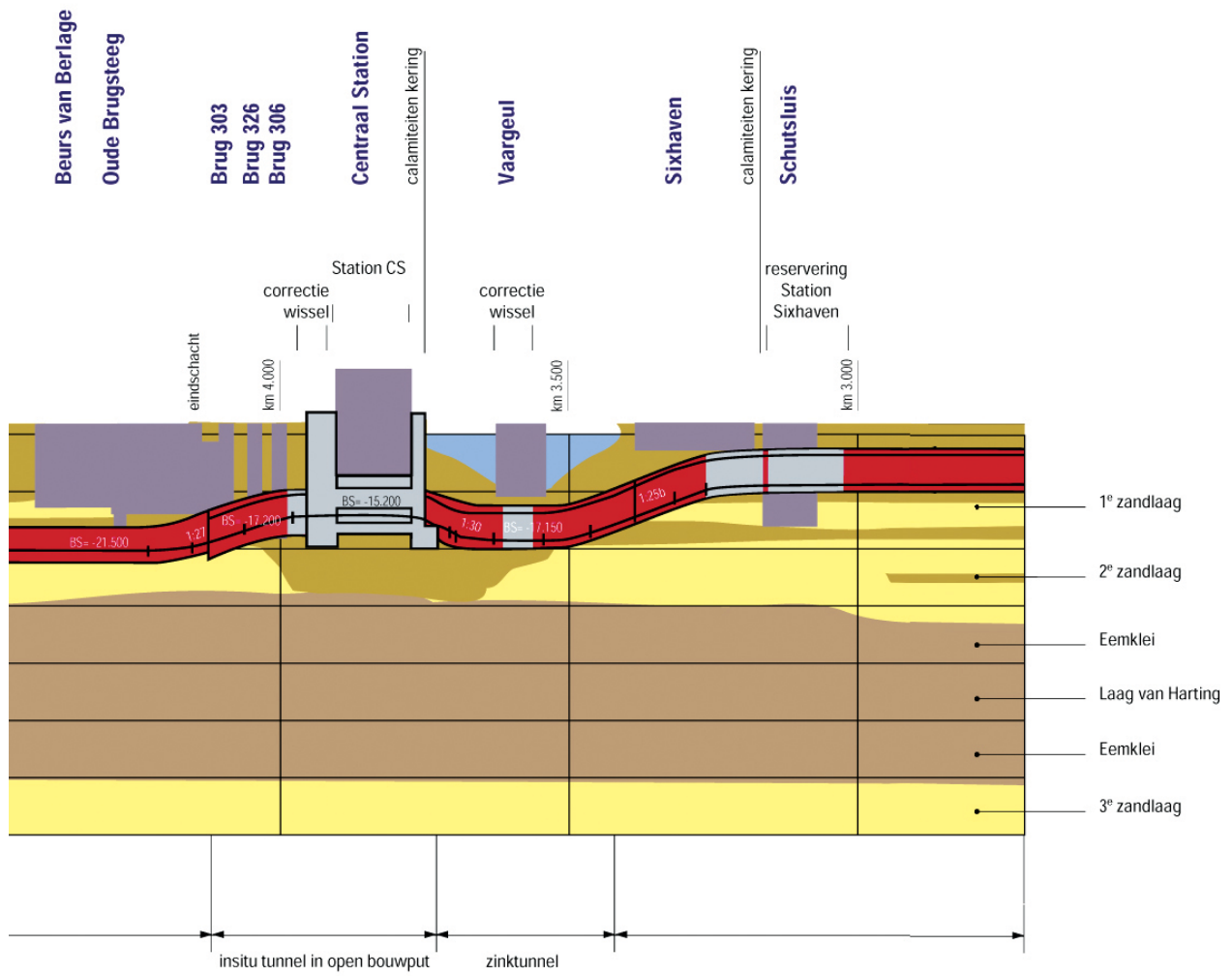
16.2 Huidige bouwactiviteiten

Er zijn momenteel verschillende bouwprojecten rond het Centraal Station in uitvoering. De Noord-Zuidlijn wordt min of meer parallel aan de brug gebouwd. Achter het station worden het nieuwe busstation en een autotunnel gebouwd. Onder het station wordt gewerkt aan de aansluiting van de Noord-Zuidlijn door middel van een nieuw metrostation.

Het metrostation onder het treinstation wordt onder het station uitgevoerd als insitu tunnel in open bouwput. De tunnel wordt gefundeerd op de derde zandlaag, op - 60 m NAP. De metrotunnel onder het IJ wordt uitgevoerd als zinktunnel. Dit deel van de tunnel wordt niet gefundeerd op - 60 m NAP, maar zal tegen opdrijven worden gezekerd door trekpalen. De Noord-Zuidlijn loopt deels onder de nieuwe eilanden in het IJ door. Wanneer wordt uitgegaan van een situatie waarbij de bouw van de metrotunnel al voltooid is tijdens de aanleg van de eilanden, zal bijzondere



Doorsnede busstation en auto-onderdoorgang



Uitsnede uit doorsnede Noord-Zuidlijn

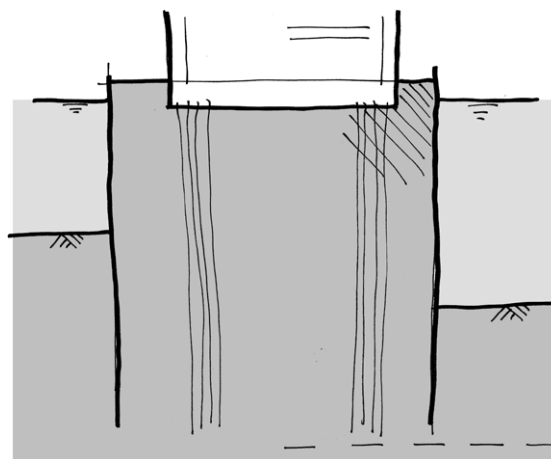
aandacht besteed moeten worden aan het funderen van de eilanden. Zakkingen van de tunnel moeten zo veel mogelijk worden voorkomen. Hierop wordt later in dit hoofdstuk teruggekomen.

Het busstation op de zuidoever van het IJ wordt gefundeerd op de onderliggende autotunnel, die op palen tot de tweede zandlaag wordt gefundeerd. De overkapping van het busstation wordt aan de stationszijde ondersteund door een rij poeren. Elke boog wordt daarbij individueel op een poer geplaatst, die weer op twee palen tot - 60 m NAP wordt gefundeerd. Aan de IJ-zijde worden de bogen gemonteerd op een kistdam. De kistdam bestaat uit twee gekoppelde combiwanden, tot - 30 m NAP. Blijkbaar is de tweede zandlaag over de gehele IJ-oever voldoende draagkrachtig om de kistdam te dragen, en de spatkrachten uit de boog op te vangen. (Ientema 2006)

16.3 Ophoging bodem

Als deel van de veiligheidsstrategie voor bescherming tegen aanvaringen werd in hoofdstuk 8 voorgesteld om de bodem van het IJ naast de hoofdvaargeulen op te hogen. Schepen die uit koers raken worden dan afgeremd doordat ze aan de bodem lopen. Daarnaast werd voorgesteld om de eilanden rond de gebouwen tot aan het kadeniveau te vullen met grond, als bescherming van de fundering van de gebouwen.

Vooraf aan de zijde van het Centraal Station dient de bodem flink opgehoogd te worden. Dit heeft gevolgen voor de tunnel van de Noord-Zuidlijn, die ten oosten van de brug onder het IJ door loopt. Er wordt gesteld dat de tunnel al gereed is bij de bouw van de brug en de eilanden. In dat geval zal ophogen van de bodem een extra belasting betekenen op de tunnel, en dus ongewenste verplaatsingen van de tunnel. Het ophogen van de grond tot aan kadeniveau betekent lokaal een zulke grote extra belasting dat er vrijwel



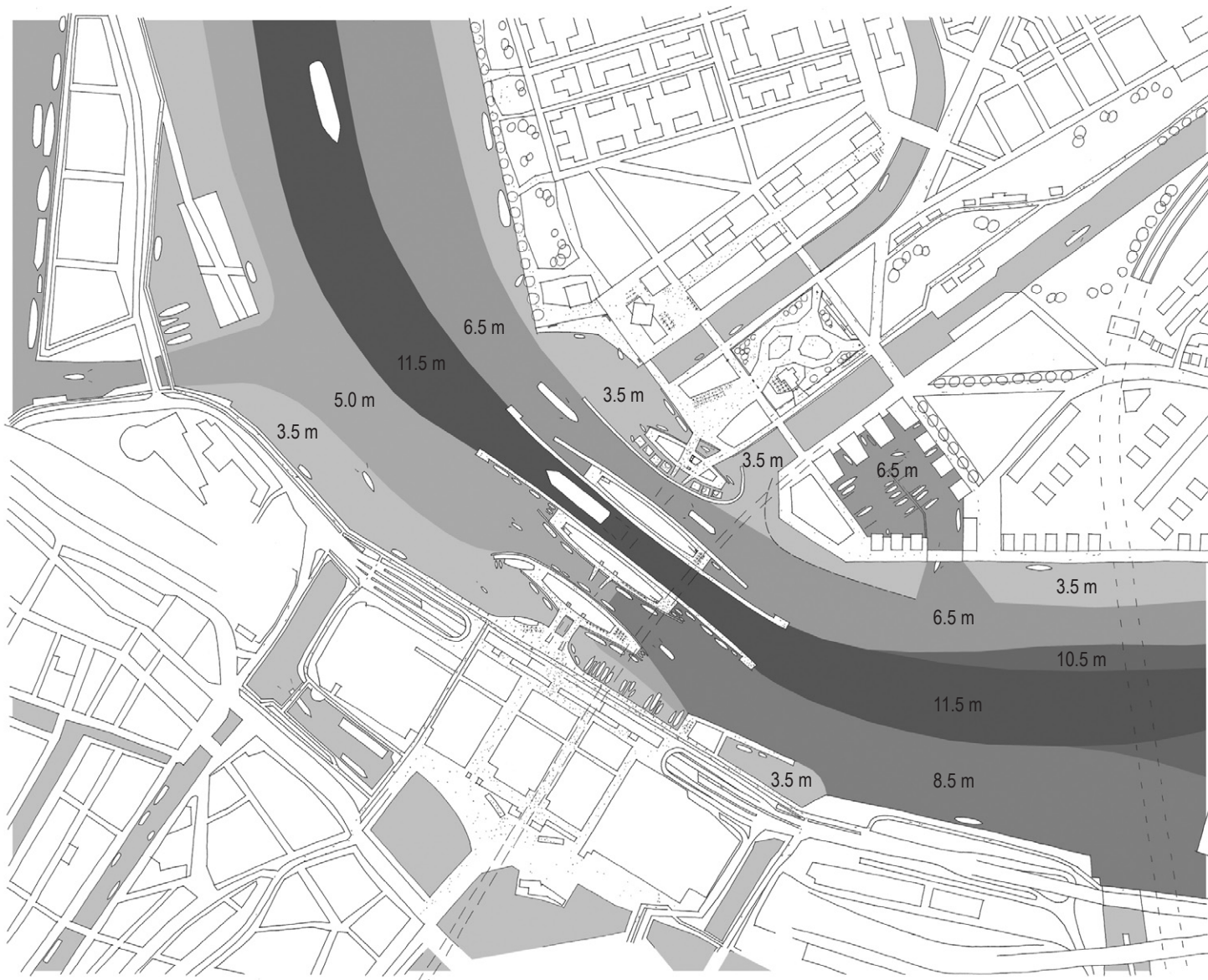
Ophogen grond tot kadeniveau als aanvaarbescherming gebouw

zeker problemen ontstaan boven de tunnel. Daarbij speelt mee dat deze belastingsvergroting slechts lokaal speelt, en dat over een korte afstand grote zettingsverschillen kunnen ontstaan.

Hieronder worden een aantal oplossingsmogelijkheden besproken, waardoor de tunnel geen of weinig last heeft van zettingen.

Bodem niet ophogen

Wanneer de bodem rond de tunnel niet verhoogd wordt, ontstaan er geen zettingsproblemen door extra grondgewicht. Daarbij kan een zone van bijvoorbeeld 100 meter aan weerszijden van het tunneltracé op de originele diepte worden gehouden. De aanvaarbeveiliging zal dan verderop door bodemophoging moeten worden uitgevoerd, of op andere manieren, zoals met geleidewerken.



Voorgestelde waterdieptes in het IJ

Ophangen tunnel

Een andere mogelijkheid is het ophangen van de tunnel aan een paalfundering. Daarbij worden aan beide zijden van de tunnel palen ingebracht. Vervolgens wordt de tunnel door middel van een hulpconstructie aan de palen verankerd. Op die manier draagt de tunnel de extra bovenliggende belasting via de palen af naar een draagkrachtige laag. Daarbij dient het tunneldak zelf wel in staat te zijn de extra belasting naar de palen af te dragen. Deze methode lijkt daarom, en door de ingewikkelde bouwwijze (de palen moeten onder water aan de tunnel worden bevestigd. Een tijdelijk droge bouwput is niet mogelijk, want die betekent weer een belastingswijziging op de tunnel) weinig haalbaar.

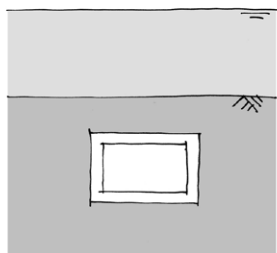
Tafelconstructie

Bij de tafelconstructie wordt de tunnel overbrugd, zodat de belastingen boven de tunnel via de tafel naar de ondergrond worden afgedragen. Daarvoor worden aan beide zijden van de tunnel damwanden geslagen tot een draagkrachtige laag, en wordt over deze damwanden een tafelconstructie geplaatst. De tunnel zit dan opgesloten tussen de damwanden en de tafel. Voordeel van deze

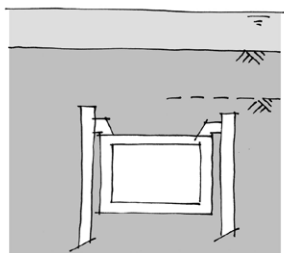
oplossing is dat het weinig uitmaakt tot hoever de grond vervolgens opgehoogd wordt. Bij een latere aanpassing van de bodem of de eilanden blijft de tafel zijn beschermende werking houden.

Diepe sleuf

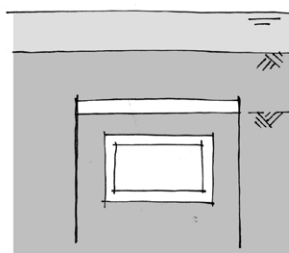
Hierbij worden eveneens damwanden geslagen aan beide zijden van de tunnel. Deze worden echter op het niveau van de nieuwe bodemdiepte afgezaagd. Daardoor kan de bodemdiepte ter plaatse van de tunnel op het oorspronkelijke niveau blijven, terwijl direct naast de tunnel de bodem kan worden verhoogd. Wanneer het verschil tussen oude en nieuwe bodemdiepte groter wordt, dienen de damwanden gestut te worden door middel van stempels, zodat de horizontale verplaatsingen door uitbuiging van de damwanden beperkt blijven, en daarmee de belastingsverandering op de tunnelwanden. Een nadeel van deze oplossing is (naast het moeilijke aanbrengen van de stempels onder water) de onderhoudsgevoeligheid. De diepe geul boven de tunnel zal vrij snel dichtslibben, en dient regelmatig uitgebaggerd te worden.



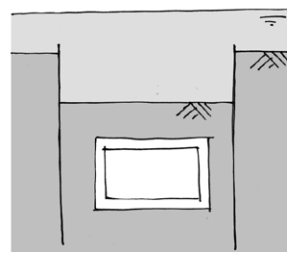
Niet ophogen



Ophangen tunnel



Tafelconstructie



Diepe sleuf

Maatregelen tegen verzakking tunnel Noord-Zuidlijn

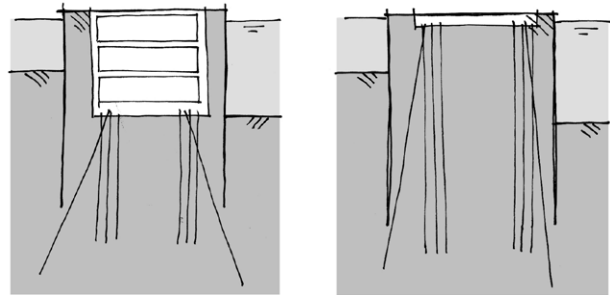
De twee middelste eilanden worden in eerste instantie beschermd door een aanvaarbeveiliging bestaande uit een steigerconstructie. Deze steiger loopt vanaf de eilanden nog een stuk voorbij de tunnel door. Daardoor is het mogelijk de extra aanvaarbeveiliging in de vorm van ophogen van de bodem alsnog toe te passen voorbij de tunnel. De steiger beschermt het gebied waar de tunnel ligt, en dit gebied kan dus de oorspronkelijke bodemdpte houden. Daarom wordt ervoor gekozen de grond boven de tunnel niet op te hogen. Voorbij de hier gestelde invloedzone van 100 meter aan beide zijden van de tunnel wordt de grond wel opgehoogd tot aan het eerder voorgestelde niveau.

16.4 Fundering eilanden

De fundering van de torens zou in eerste instantie extra beschermd worden door de eilanden te vullen met grond. Bij een aanvaring zorgt de samendrukbaarheid van de grond dan voor een gereduceerde belasting op de onderconstructie van de gebouwen. De grond zorgt echter ter plaatse van de tunnel weer voor zettingen. Het eiland kan hier plaatselijk worden ondersteund door een brugconstructie over de tunnel heen. Dan zal de grond echter opgesloten worden tussen damwanden en vloer. Aangezien dit volume beperkte afmetingen heeft, en de grond geheel opgesloten zit, zal het bij een aanvaring als geheel alsnog op de constructie van het gebouw werken. De dempende werking van de grond is dan beperkt. Daarom wordt er voorlopig voor gekozen boven de tunnel het eiland niet op te vullen met grond.

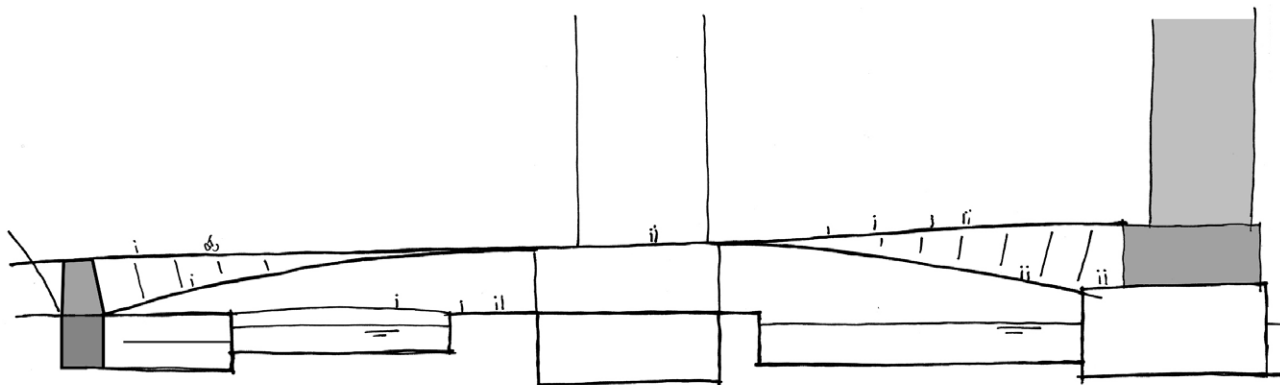
Voor de overige gedeelten van de eilanden geldt het zettingsprobleem van de ondergrond minder. Vanwege de bodemgesteldheid zijn ook hier vrij grote zettingen te verwachten, maar deze hoeven niet nadelig te werken op de bovenconstructie. Wel zal het gewicht van de gezakte grond als extra belasting op de paalfundering van de gebouwen gerekend moeten worden. Door negatieve kleef zal de grond als het ware aan de palen gaan hangen.

Een ander bezwaar van het funderen van de gebouwen vanaf het waterniveau heeft te maken met de schuivingshoek van de heipalen. Wanneer de eilanden worden aangelegd worden damwanden geheid als kadeconstructie. Deze constructie zal tot een diepte van circa 25 tot 30 meter onder NAP moeten worden geplaatst om voldoende stabiliteit te waarborgen. Dat betekent dat de hellingshoek van de palen vanaf het waterniveau beperkt wordt door de kadeconstructie. Pas onder de inheidiepte van de damwanden kunnen de palen breder uitstaan dan de breedte van het eiland. Wanneer de torens worden uitgevoerd met een kelder, begint de paalfundering op een dieper niveau, waardoor de palen schuin geplaatst kunnen worden.



Paalfundering met en zonder kelder

De bruggen tussen het stationseiland en de eerste twee eilanden hebben een vorm (volgend uit het verloop in hoogte van de voetpaden) waarbij een boogconstructie voor de hand ligt. De bruggen zullen daarbij aanzienlijke spatkrachten op de onderconstructie uitoefenen. Door de weinig draagkrachtige ondergrond is afdracht naar de bodem van deze spatkrachten niet eenvoudig. Een andere oplossing is het koppelen van de onderconstructies door middel van een trekband. Deze variant is echter uitvoeringstechnisch lastig, en constructief niet logisch. Er wordt daarom toch gekozen voor een oplossing waarbij



Langsdoorsnede over de eerste twee bruggen, met trekbanden tussen kelders

de spatkrachten en inklemmingsmomenten worden opgevangen door de onderconstructie. Ter plaatse van het tweede eiland is voldoende bovenbelasting aanwezig om weerstand te bieden tegen de belastingen uit de brug. Op het stationseiland is dit niet het geval, en wordt een extra verticale belasting geforceerd door het verzwaren van het achterste deel van de parkeerkelder, en het plaatsen van een zware bovenconstructie.

Het plaatsen van kelders onder de torens betekent een reductie van het gewicht op de fundering. Dit is echter niet per definitie positief. Vooral de torens op de middeleilanden zijn relatief smal en hoog. Daardoor zijn de reactiekrachten op de fundering ten gevolge van wind aanzienlijk. Een te grote gewichtsreductie betekent daardoor dat er trekkrachten in de onderconstructie zouden kunnen ontstaan. Dit is niet onoverkomelijk, maar levert wel extra uitvoeringsproblemen op.

Een ander nadeel van een kelderconstructie is de verminderde veiligheid tegen aanvaren. De grond tussen de palen heeft door zijn samendrukbaarheid een dempende werking bij een aanvaring. Een kelder is dusdanig stijf dat de aanvaarkrachten direct op de onderconstructie worden overgedragen. Er kan rond de kelder alsnog grond worden

aangebracht, maar aan de zijde van de hoofdvaargeul is hiervoor weinig ruimte. Hier zorgt de zware geleidingsconstructie echter al voor voldoende veiligheid. Aan de andere lange zijde van de eilanden is meer ruimte, en is de zware geleidingsconstructie niet noodzakelijk, aangezien hier geen cruise-schepen varen. In plaats van een zware constructie kan hier ook gekozen worden voor een lichtere constructie in combinatie met de grond als aanvaarbuffer. Aan de kopzijden van de eilanden is de kans op aanvaringen groter, aangezien schepen hier naast de vaargeulen kunnen belanden, en een grotere snelheid ten opzichte van de eilanden kunnen opbouwen. Grond kan hier een goede buffer vormen voor de fundering van de torens. Dit geldt echter alleen voor de noordwestpunten van de eilanden. Aan de zuidoostpunten gelden de beperkingen van de aanwezigheid van de Noord-Zuidlijn.

Afgezien van de vraag of kelders constructief of veiligheidstechnisch nut hebben, kan men zich afvragen of er behoefte is aan de kelderruimten. De eilanden zijn niet per auto te bereiken, en het inrichten van de kelders als parkeergarage is daarom niet mogelijk. Enige kelderruimte voor installaties kan gewenst zijn, maar daarmee zal de beschikbare ruimte lang niet gevuld worden.

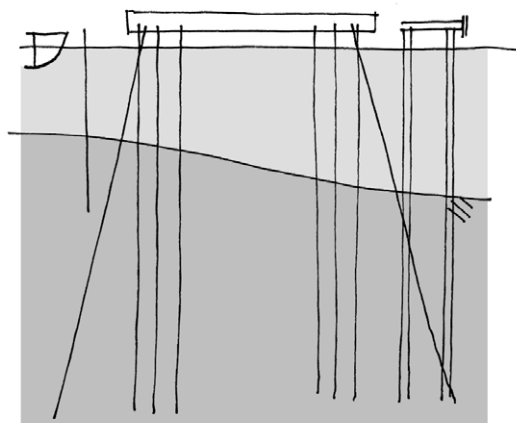
Diepwanden

Een andere oplossing voor het opvangen van de horizontale krachten uit de windbelasting is het plaatsen van diepwanden op de assen van de stabiliteitsverbanden. Door het grote onderoppervlak van de diepwand kunnen de horizontale belastingen waarschijnlijk aan de tweede zandlaag worden afgedragen.

Door het gebruik van diepwanden zijn schuine palen niet nodig, en vervalt daardoor dat argument voor een kelder. De diepwanden kunnen bovendien de rol van de kelder overnemen als overdrachtsconstructie naar de trekbanden voor de eerste twee bruggen. De overige stramienen van de torens kunnen worden gefundeerd op palen, tot de tweede zandlaag, of wanneer die niet voldoet, tot de derde. Ook kunnen evenwijdig met de vaargeul eveneens diepwanden worden geplaatst, waardoor een afgesloten bak van wanden ontstaat. Deze kan gevuld worden met grond, of alsnog als kelder worden ingericht.

Wanneer blijkt dat de tweede zandlaag niet voldoet voor de diepwanden, wordt fundering op diepwanden minder vanzelfsprekend. Een diepwand tot een diepte van 60 meter is moeilijk uit te voeren, in verband met de stabiliteit van de uitgegraven schacht. Het plaatsen van palen onder de diepwand is uitvoeringstechnisch problematisch. Er kan niet eerst geheid worden, omdat de palen dan in de weg staan bij het uitgraven van de schacht. De palen zouden dan geplaatst moeten worden in de al uitgegraven (maar nog niet met beton gevulde) schacht. Dit lijkt op het eerste gezicht vrij onhaalbaar.

Een laatste mogelijkheid is het funderen van de gebouwen als een steiger. Daarbij worden de kade en de begane-grondvloer als platform gebouwd boven of vlak onder het waterniveau. De vloer kan dan fungeren als aanvaarbeveiliging, en kan gefundeerd worden op palen of diepwanden die in het water staan. De palen kunnen in dat geval ook schuin worden



Fundering op palen zonder grondaanvulling

geheid, zonder gehinderd te worden door damwanden. Wel moet rekening worden gehouden met de vaargeulen, en met de geleidingsconstructies.

Deze oplossing is aanzienlijk eenvoudiger, en daardoor goedkoper dan de alternatieven met kelders of met grond opgevulde eilanden. De extra buffer tegen aanvaren vervalt echter. Door de aanzienlijke kostenbesparing kan echter gemakkelijker geld worden vrijgemaakt voor extra ophoging van de grond en voor geleidingsconstructies, waardoor alsnog een aanvaardbaar veiligheidsniveau wordt bereikt. Er wordt daarom gekozen voor deze oplossing, een fundering op een combinatie van palen en diepwanden, die vlak boven het waterniveau verbonden worden door de begane-grondvloer. De palen staan in het water, en werken samen met de vloer als paal-plus-plaاتفundering.

16.5 Funderingsberekening

Gewichtsberekening

Om een funderingsberekening te kunnen maken, dient eerst een gewichtsberekening worden uitgevoerd. Een deel daarvan is al uitgevoerd bij de stabiliteitstoets. Hieronder wordt een overzicht gegeven van de gewichtsberekening.

Bovenbouw (per toren) (1)

Vloeren	57.539 kN
Kolommen	4133 kN
Verbanden	1849 kN
Gevel	9604 kN

Vloerbelasting	47.250 kN
Balkonbelasting	6480 kN
Sneeuw	552 kN

totaal: 126.407 kN

Onderbouw (half eiland)

Vloeren	80.142 kN (2)
Wanden + gevel	20.160 kN (3)

Vloerbelasting	18.454 kN
Sneeuw	677 kN

totaal: 119.433 kN

Diepwanden en palen (4)

Diepwanden	8550 kN
Palen	3456 kN

totaal: 12.006 kN

Gewicht totaal: 257.846 kN (voor half eiland)

- (1) Zie stabiliteitsberekening toren
- (2) Er wordt hier uitgegaan van een begane-grondvloer van 1,0 meter dik, en drie bovenliggende vloeren van 0,3 m dik.
- (3) Zowel gevel als tussenwanden worden uitgevoerd als betonnen schijven met een dikte van 0,3 m.
- (4) Voor het gewicht van palen en diepwanden is het gewicht onder water gerekend. Er is een aanname gedaan over het aantal palen en de afmetingen van de diepwanden:
palen: 48 palen 0,4 x 0,4 m², tot -30 m.
diepwanden: 2 maal 0,5 x 19 meter, tot -30 m.

Draagkracht paal

Voor het bepalen van de draagkracht van een paal moet een aanname worden gedaan over de grondgesteldheid. Er is slechts een sondering beschikbaar ter plaatse van de toekomstige eilanden. Deze sondering (sondering 4 in het overzicht aan het begin van dit hoofdstuk) vertoont een beperkte zandlaag rond - 26 m NAP. De sondering is echter genomen op de zuidoostpunt van het tweede eiland. Gezien de grondgesteldheid bij de overige sonderingen wordt hier de aanname gedaan dat de zandlaag vanaf sondering 4 in zuidoostelijke richting afneemt in dikte. Dat betekent dat gesteld kan worden dat de twee middelste eilanden in ieder geval een grondgesteldheid hebben die gelijk is aan sondering 4, maar waarschijnlijk beter (met een grotere draagkracht). Sondering 4 wordt daarbij als uitgangspunt genomen voor de draagkracht van de palen.

Puntweerstand

De draagkracht van een paal wordt gevormd door de kracht van de paalpunt op de grond, en door de wrijving tussen de paalschacht en de omliggende grond. Ter bepaling van de paalpuntspanning wordt de methode van Koppejan gebruikt. (Van Tol 2001, p. 3.9 e.v.) Deze methode gaat ervan uit dat de paal over de zone boven de paalpunt ook schuifspanning afdraagt aan de grond. Dit levert een

extra bijdrage aan de spanningen op het paalpuntniveau en daarmee aan de draagkracht van de paalpunt. Vooral in het geval van de relatief dunne maar draagkrachtige zandlaag onder een matig draagkrachtige laag, zoals in sondering 4, zou zonder dit effect de draagkracht van de paal aanzienlijk lager uitkomen. Koppejan is overigens een algemeen gebruikte methode in Nederland.

$$p_{\max,punt} = \frac{1}{2} \left(\frac{q_{c,I,gem} + q_{c,II,gem}}{2} + q_{c,III,gem} \right)$$

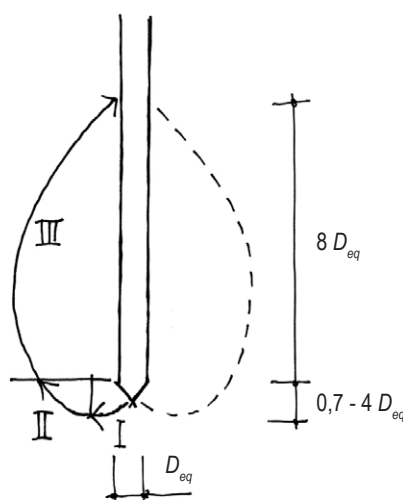
waarin: $q_{c,I,gem}$ gemiddelde waarde van de conusweerstand over traject I, dat loopt tussen het paalpuntniveau en een niveau, dat ten minste $0,7D_{eq}$ en ten hoogste $4D_{eq}$ dieper ligt.

$q_{c,II,gem}$ gemiddelde waarde van de conusweerstand over het traject II, dat loopt van de onderkant van traject I naar het paalpuntniveau, waarbij de in rekening te brengen waarde van de conusweerstand nooit hoger mag zijn dan de eronder liggende waarde.

$q_{c,III,gem}$ gemiddelde waarde van de conusweerstand over traject III, van het paalpuntniveau tot een niveau van $8D_{eq}$ daarboven, waarbij de, eveneens bij traject II in rekening te brengen waarde nooit hoger mag zijn dan de eronderliggende waarde, te beginnen met de waarde van de conusweerstand waarmee traject II geëindigd is.

D_{eq} Equivalente diameter, bij vierkante palen: $D_{eq} = 1,13 B$.

Er wordt gekozen voor een vierkante betonnen paal van $0,4 \times 0,4 \text{ m}^2$, ingebracht tot een diepte van $-26,5 \text{ m}$ NAP.



Schematisering bijdrage draagkracht in drie trajecten

traject I: tot $4D_{eq}$ onder punt

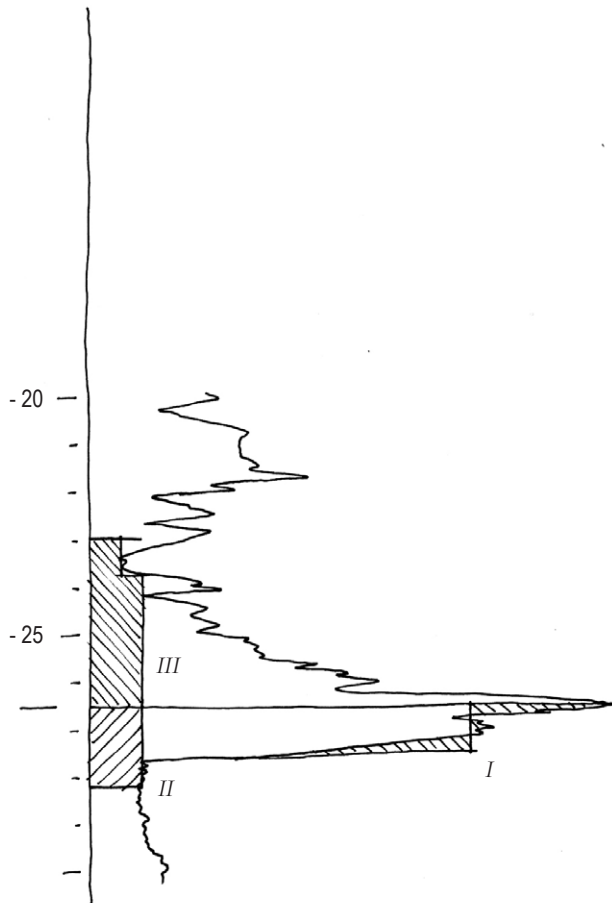
$q_{c,I,gem}$ 16,0 MPa
 $q_{c,I,gem}$ 2,3 MPa
 $q_{c,I,gem}$ 2,1 MPa

$p_{\max,punt}$ 5,63 MPa
 A 0,02 m²
F_{max,punt} **900 kN**

Als traject I slechts over $3D_{eq}$ onder het niveau van de paalpunt wordt genomen, wordt gevonden:

$q_{c,I,gem}$ 16,0 MPa
 $q_{c,I,gem}$ 9,0 MPa
 $q_{c,I,gem}$ 4,0 MPa

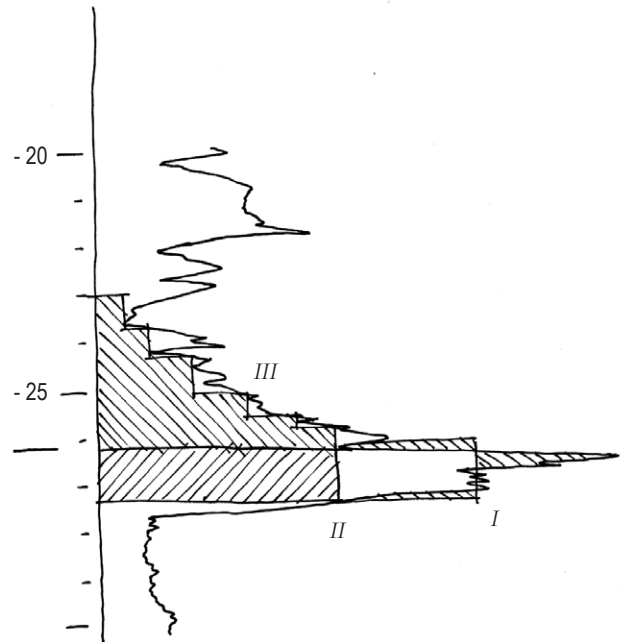
$p_{\max,punt}$ 8,25 MPa
 A 0,16 m²
F_{max,punt} **1320 kN**



Bepaling gemiddelde conusweerstand sondering 4;
paal 0,4 x 0,4 m,
Ondergrens traject I en II: $4D_{eq}$

Inheidiepte: -26,2 m

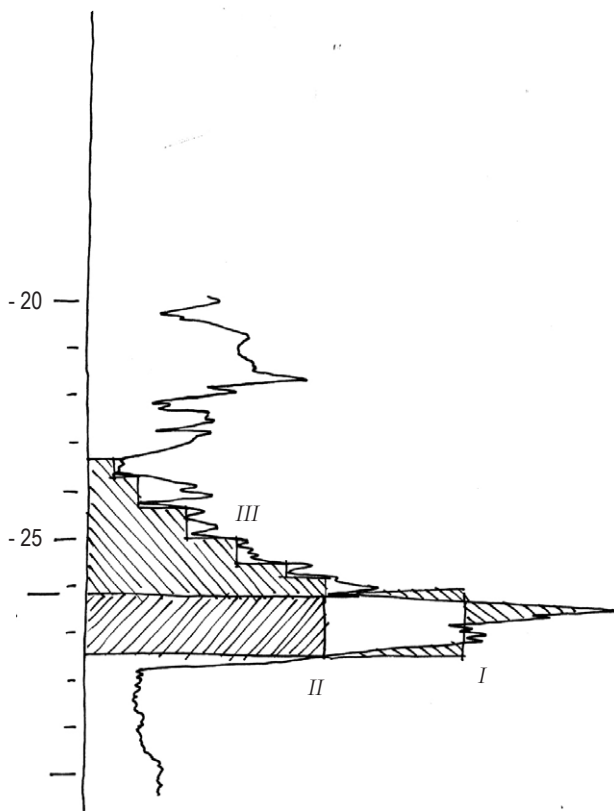
q_I	16,0 MPa
q_{II}	2,3 MPa
q_{III}	2,1 MPa



idem;
paal 0,4 x 0,4 m,
Ondergrens traject I en II: $3D_{eq}$

Inheidiepte: -26,2 m

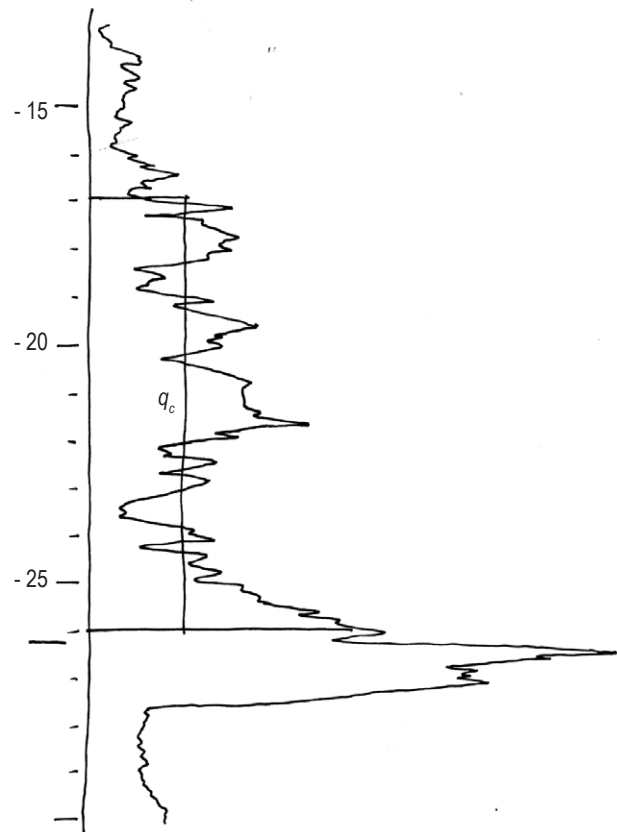
q_I	16,0 MPa
q_{II}	9,0 MPa
q_{III}	4,0 MPa



Bepaling gemiddelde conusweerstand sondering 4;
paal 0,3 x 0,3 m,
Ondergrens traject I en II: $4D_{eq}$

Inheidiepte: -26,0 m

q_I	16,0 MPa
q_{II}	10,0 MPa
q_{III}	4,0 MPa



Bepaling gemiddelde weerstand sondering 4;
ter bepaling schachtwrijving

Traject schachtwrijving: -17,0 m tot -26,0 m

q_c	4,0 MPa
-------	---------

Deze waarde is aanzienlijk hoger. Er is dan ook geprobeerd een zo gunstig mogelijke waarde voor D_{eg} te kiezen. Daarbij rijzen wel twijfels over de betrouwbaarheid van de gevonden waarde. Er wordt er namelijk vanuitgegaan dat de zandlaag tot aan het onderste deel van de laag zijn draagkracht behoudt. Bij grotere belastingen, en met meer palen zou dit wel eens niet het geval kunnen zijn. Er wordt daarom gerekend met de meer conservatieve waarde.

Met een paal van 0,3 x 0,3 m2 wordt gevonden:

$q_{c,1,gem}$	16,0 MPa
$q_{c,2,gem}$	10,0 MPa
$q_{c,3,gem}$	4,0 MPa
$p_{max,punt}$	8,50 MPa
A	0,009 m2
$F_{max,punt}$	765 kN

De kleinere paal heeft een minder groot puntoppervlak. Daardoor hoeft een minder grote meewerkende diepte gerekend te worden, en kan de zandlaag meer optimaal benut worden. Dit voordeel wordt echter weer teniet gedaan door het kleinere oppervlak van de paal.

Schachtwrijving

Voor het bepalen van de schachtwrijving wordt gebruik gemaakt van de methode op basis van de conusweerstand. (Van Tol 2001, p. 3.20 e.v.) De maximale schachtwrijving is daarbij als volgt:

$$F_{max,schacht} = O_p \Delta L p_{max,schacht}$$

waarin: O_p	omtrek van de paalschacht (= 4 B)
ΔL	lengte waarover de schachtwrijving wordt gerekend
$p_{max,schacht}$	maximale schachtwrijving

$$p_{max,schacht} = a_s q_c$$

waarin: a_s	percentage van de conusweerstand dat als schachtwrijving in rekening mag worden gebracht.
q_c	$a_s = 0,01$ voor een geheide betonpaal gemiddelde conusweerstand over de hoogte van de schacht.

Er wordt bij deze methode vermeld dat de waarden slechts gelden voor palen in zand. De methode geeft echter een redelijke indicatie voor de orde-grootte in het geval van sondering 4, waarbij het grootste deel van de grond tot de eerste zandlaag bestaat uit zandhoudende klei. Wanneer de eerste 9 meter vanaf de paalpunt worden meegerekend, met een gemiddelde conusweerstand van 4 MPa, volgt:

$$p_{max,schacht} = 0,01 \times 4,0 = 0,04 \text{ MPa}$$

$$F_{max,schacht} = 4 \times 0,4 \times 9,0 \times 0,04 = 0,576 \text{ MN} = \mathbf{576 \text{ kN}}$$

$$F_{max} = F_{max,punt} + F_{max,schacht} = 900 + 576 = \mathbf{1476 \text{ kN}}$$

Voor de paal met zijden van 0,3 m wordt gevonden:

$$F_{max,schacht} = 456 \text{ kN}$$

$$F_{max} = 1221 \text{ kN}$$

Aantal palen

Met het bepaalde gewicht en de maximale paalkracht kan het aantal benodigde palen worden bepaald voor de opname van de gewichtsbelasting. Dit geldt voor de situatie met alleen palen, en geen diepwanden.

Gewicht halve eiland:	257.846 kN
Maximale paalbelasting:	1476 kN (paal 0,4 x 0,4 m2)
Aantal palen benodigd:	175
Dit komt neer op een paal per 8,0 m2.	

Diepwanden

Ter plaatse van de stabiliteitselementen kunnen ook diepwanden worden geplaatst. Deze diepwanden dragen de horizontale krachten en de extra verticale krachten uit windbelasting af aan de ondergrond, en hebben door hun grote afmetingen een grotere weerstand en stijfheid tegen deze belastingen. Hieronder wordt een berekening getoond voor de diepwand onder verband G. (Er wordt daarbij voorlopig uitgegaan van de situatie met een enkel verband op stramien G) Daarbij wordt gebruik gemaakt van de theorie van Brinch Hansen. (Verruit, 1999, p. 224 e.v.) Dit is een uitbreiding van het model van Prandtl (voor verticale belasting van een oneindig lange strook), waarbij vormfactoren en effecten door horizontale belastingen in het model zijn geïntegreerd.

diepte wand (d) 14,0 m vanaf de bodem gemeten
 breedte wand (B) 1,0 m
 lengte wand (L) 17,0 m

dichtheid (γ) 8,0 dichtheid zand, onder water
 wrijvingshoek (φ) 30° voor zand

$$p_{max} = i_c s_c c N_c + i_q s_q \gamma' d N_q + 1/2 i_\gamma s_\gamma B N_\gamma$$

waarin: i_c, i_q, i_γ correctiefactoren voor een eventuele
 schuine richting van de belasting
 s_c, s_q, s_γ correctiefactoren voor de vorm van het
 belaste oppervlak
 N_c, N_q, N_γ coëfficiënten voor het draagvermogen
 van strokenfundering
 c cohesie van de grond, c = 0 voor zand

$$i_c = 1 - \frac{t}{c + p \tan \phi}$$

$$i_q = i_c^2$$

$$i_\gamma = i_c^3$$

waarin: t horizontale belasting
 p verticale belasting

Voor de verticale belasting is in de gewichtsberekening stramien G afzonderlijk de verticale belasting bepaald. De horizontale belasting volgt uit de stabiliteitsberekening.

t 2363 kN
 p 25.628 kN (uit gewichtsberekening)

Dan volgt:

$$\begin{aligned} i_c &= 0,84 \\ i_q &= 0,71 \\ i_\gamma &= 0,59 \end{aligned}$$

Voor de vormfactoren geldt:

$$s_c = 1 + 0,2 \frac{B}{L}$$

$$s_q = 1 + \frac{B}{L} \sin \phi$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \frac{B}{L}$$

oftewel:

$$\begin{aligned} s_c &= 1,01 \\ s_q &= 1,03 \\ s_\gamma &= 0,98 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_c &= 30,1 \text{ (Verruijt 1999, tabel 43.1)} \\ N_q &= 18,4 \\ N_\gamma &= 20,1 \end{aligned}$$

Daarmee komt het draagvermogen van de diepwand op:

$$\begin{aligned} p_{max} &= 1545 \text{ kN/m}^2 \\ A &= 17 \text{ m}^2 \\ F_{max} &= 26.257 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dit is meer dan de maximale verticale belasting uit de gewichtsberekening, $F_v = p = 25.628 \text{ kN}$. Over het gehele oppervlak van de diepwand gezien zal de grond dus draagkrachtig genoeg zijn. Hierbij is echter nog niet meegenomen dat de windbelasting ook verticale krachten genereert. Daardoor zal de verticale spanning aan de lijzijde van de diepwand toenemen.

De verticale kracht uit windbelasting, werkend van de verbanden op de onderconstructie, bedraagt:

$$F_{wind,v} = +/- 16.949 \text{ kN.}$$

Met een werkende breedte van de verbanden van 9 m levert dit een moment van:

$$M_{wind,v} = 16.949 \times 9 = 152.545 \text{ kNm}$$

De horizontale kracht op de fundering levert eveneens een moment.

$$F_{wind,h} = 2363 \text{ kN}$$

$$h = 36 \text{ m (10 m onderbouw, 26 m funderingsdiepte)}$$

$$M_{wind,h} = 2363 \times 36 = 85.086 \text{ kNm}$$

$$M_{wind} = 152.545 + 85.086 = 237.613 \text{ kNm}$$

$$W = 1/6 BL^2 = 1/6 \times 1 \times 17^2 = 48,2 \text{ m}^3$$

$$\sigma_{v,wind} = 4933 \text{ kN/m}^2$$

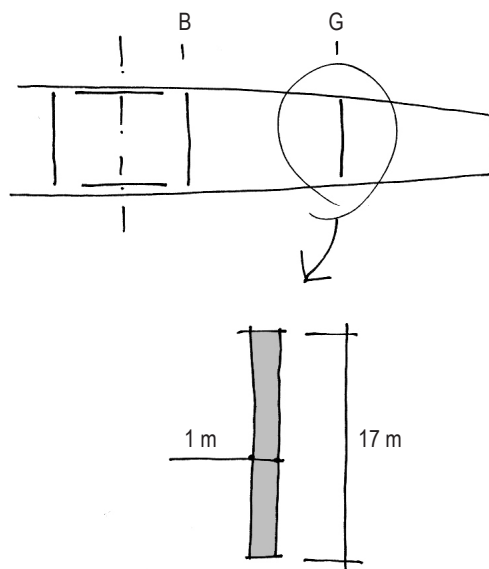
Dit is alleen al meer dan drie keer zo veel als het hiervoor berekende maximale draagvermogen p_{max} . De maximale verticale spanning onder de diepwand zal nog groter zijn, namelijk:

$$\sigma_v = \sigma_{vgew} + \sigma_{v,wind} = 1508 + 4933 = 6441 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{met } \sigma_{vgew} = F_v/A$$

waarin: F_v gewichtsbelasting stramien G
 A bodemoppervlak diepwand

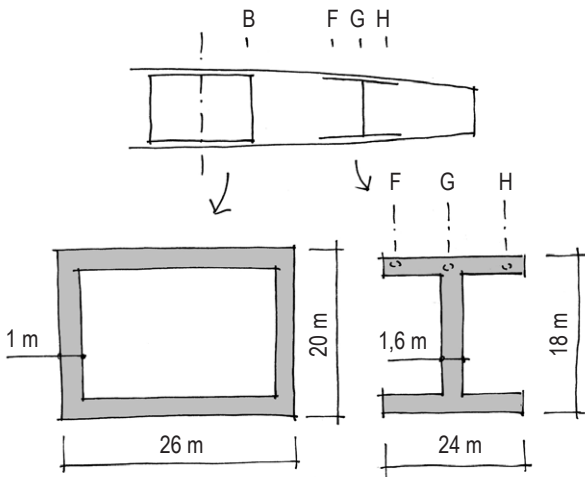
$$\begin{aligned} F_v &= 25.628 \text{ kN} \\ A &= 17 \text{ m}^2 \end{aligned}$$



Enkele diepwand op stramien G

Meerdere diepwanden

Een oplossing voor dit probleem kan liggen in het eveneens plaatsen van diepwanden dwars op de uitgerekende wand. Dan zouden onder de twee rijen kolommen doorgaande diepwanden kunnen worden geplaatst. Deze kunnen dan het belastingoverschot afdragen.



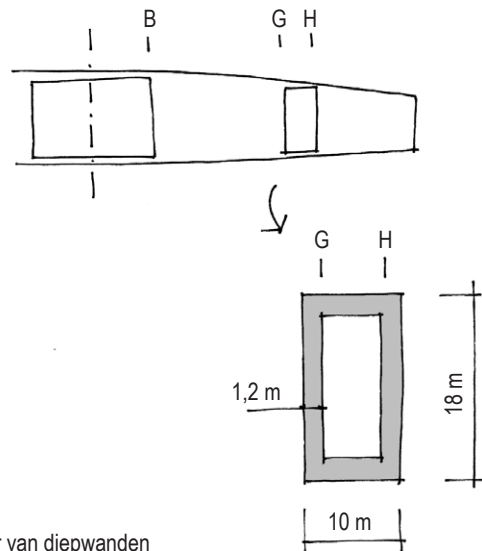
Samengestelde diepwanden

Ook hierbij dienen zich op stramien G problemen aan. Wanneer hier gekozen wordt voor een diepwand onder het verband, en twee diepwanden loodrecht daarop, als een I-profiel, dienen de 'flenzen' van de I ook onder stramien F en H door te lopen om genoeg dragend oppervlak te genereren. Daardoor komen ook de verticale krachten uit deze stramien op de diepwanden terecht. De benodigde afmetingen van de diepwanden nemen daardoor nog verder toe. Pas bij diepwanden van 1,6 m breed, en met buitenafmetingen van de I van 18 x 24 meter voldoet de grond. Voor stramien B is het toepassen van diepwanden wel een goede oplossing. Hier staan boven de fundering stabiliteitsverbanden in twee richtingen. Wanneer hier vier diepwanden in een rechthoek worden geplaatst, zijn ze in

staat de windbelasting in beide richtingen op te nemen. De afmetingen van de rechthoek bedragen dan 20 x 26 meter, met een wanddikte van 1,0 m.

Twee verbanden

Uit het constructief ontwerp van de torens bleek al dat een situatie met twee verbanden, op stramien G en H, verkozen werd boven een (enkel of dubbel) verband op stramien G. Met twee verbanden wordt de windbelasting gespreid, en neemt de maximale kracht op de fundering af. Heironder wordt de berekening nogmaals uitgevoerd, maar dan voor een situatie met een vierkant van diepwanden, maar nu slechts over de stramien G en H, waardoor ze geen extra belasting uit de naastgelegen stramien opvangen. (Praktisch gezien zal door de starre begane-grondvloer de belasting veel meer verspreid worden. Dit geldt echter voor zowel de windbelasting als de verticale belasting. De piekbelasting uit wind op stramien G en H neemt daardoor af, de gewichtsbelasting zal wellicht wat oplopen.)



Koker van diepwanden

Doordat de horizontale belasting per diepwand gehalveerd wordt, verandert de verhouding tussen verticale en horizontale krachten op de grond. Daardoor veranderen de correctiefactoren voor horizontale belasting in het model van Brinch Hansen.

Met:

$$\begin{aligned} t &= 1181 \text{ kN} \\ p &= 25.628 \text{ (uit gewichtsberekening)} \end{aligned}$$

volgt:

$$\begin{aligned} i_c &= 0,92 \\ i_q &= 0,84 \\ i_\gamma &= 0,78 \end{aligned}$$

De rechthoekige kokervorm van de diepwanden kan niet expliciet worden ingevoerd in de formule. Daarom wordt voor de vormfactoren slechts de lange richting bekeken. Er wordt daarbij ervan uitgegaan dat de dwarswanden het draagvermogen niet verlagen. Wanneer dit wel het geval zou zijn, zou de invloed daarvan beperkt blijven, door de geringe invloed van de vormfactoren s_c , s_q en s_γ in de formule. (de waarden blijven rond de 1,0)

$$\begin{aligned} s_c &= 1,01 \\ s_q &= 1,03 \\ s_\gamma &= 0,98 \end{aligned}$$

Daarmee komt het draagvermogen van de diepwand op:

$$p_{max} = 1876 \text{ kN/m}^2,$$

een aanzienlijk hogere waarde dan hiervoor bepaald, bij grotere horizontale belasting van de wand.

De verticale belasting uit wind op stramien G bedraagt de

helft van de verticale windbelasting, hiervoor bepaald voor stramien G alleen:

$$F_{wind,v} = +/- 8475 \text{ kN, op kadeniveau.}$$

Het daaruit ontstane moment aan de onderzijde van de diepwanden bedraagt:

$$M_{wind,v} = 8475 \times 9 = 76.273 \text{ kNm}$$

De horizontale belasting uit wind bedraagt eveneens de helft van de bepaalde horizontale windbelasting:

$$F_{wind,h} = 1181 \text{ kN}$$

Daaruit ontstaat een moment:

$$M_{wind,h} = 1181 \times 36 = 42.532 \text{ kNm}$$

$$M_{wind} = 76.273 + 42.532 = 118.805 \text{ kNm}$$

Er wordt gekozen voor een configuratie van een rechthoek van diepwanden, voor beide stramien samen. Buitenmaten vierkant: 18 x 10 m, wanddikte 1,2 meter. Het weerstandsmoment voor stramien G bedraagt de helft van het totale weerstandsmoment van de wanden samen.

$$W_G = 1/2 W_{G+H} = 116 \text{ m}^3$$

$$\sigma_{v,wind} = M_{wind}/W = 1025 \text{ kN/m}^2$$

De gewichtsbelasting uit stramien G bedraagt:

$$F_v = 25.628 \text{ kN}$$

Het bodemoppervlak van (de helft van) de diepwanden bedraagt:

$$A = 30,7 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{v, \text{gew}} = F_v / A = 834 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_v = \sigma_{v, \text{wind}} + \sigma_{v, \text{gew}} = 1025 + 834 = 1860 \text{ kN/m}^2$$

Dit is iets kleiner dan de maximale draagkracht van de diepwanden, $p_{max} = 1876 \text{ kN/m}^2$, en voldoet dus theoretisch. In deze berekening is geen rekening gehouden met schachtwrijving langs de diepwanden. Daardoor zal de draagkracht van de wanden alleen maar toenemen. Het model van Brinch Hansen gaat echter uit van een zandlaag, zonder nadere specificatie. Een zandlaag met beperkte dikte zou daardoor wel eens minder draagkrachtig kunnen blijken dan het model voorspelt. Verder grondonderzoek is dus wenselijk.

Palen voor windbelasting

Een andere oplossing is het alleen toepassen van palen. De palen hebben een aanzienlijk grotere draagkracht per oppervlak. Dat komt overigens onder andere omdat daarbij rekening is gehouden met schachtwrijving, terwijl dit niet expliciet is gedaan bij de diepwanden. Hierbij wordt de windbelasting weer verdeeld over de verbanden, waarbij verband G en H beide een even grote belasting opnemen.

De verticale resultante uit de windbelasting op de beide stramienen samen bedraagt:

$$F_{\text{wind},v} = +/- 16.949 \text{ kN}$$

De horizontale kracht uit de windbelasting bedraagt:

$$F_{\text{wind},h} = 2363 \text{ kN}$$

Deze kracht grijpt op 10 meter boven de funderingsplaat aan, en oefent een moment uit op de fundering. De verticale resultante van dit moment bedraagt:

$$F_{\text{mom}} = F_{\text{wind},h} * H / B' = 2363 * 10 / 9 = 2625 \text{ kN}$$

waarin: H hoogte onderbouw
B' werkende breedte fundering, gelijk-gesteld aan de gemiddelde constructieve diepte van de verbanden.

De gewichtsbelasting op beide stramienen samen bedraagt:

$$F_{v, \text{gew}} = 2 \times 25.628 \text{ kN} = 51.255 \text{ kN}$$

Aan de lijzijde van de wind moet de windbelasting bij de gewichtsbelasting voor die zijde van het gebouw worden opgeteld. Aan de loefzijde bedraagt de resulterende belasting het verschil van de gewichtsbelasting en de (naar boven werkende) kracht uit de windbelasting. Hier wordt de lijzijde beschouwd, en wordt de helft van de gewichtsbelasting van de hele stramienen in rekening gebracht. (het gewicht spreidt zich over twee kolommen per stramien)

$$F_{v, \text{gew}} = 1/2 \times 51.255 \text{ kN} = 25.628 \text{ kN},$$

voor de lijzijde van de beide stramienen samen. De totale neerwaartse kracht op de fundering aan de lijzijde van stramienen G en H samen bedraagt:

$$F_v = F_{\text{wind},v} + F_{\text{mom}} + F_{v, \text{gew}} = 45.203 \text{ kN}$$

Met de hiervoor bepaalde draagkracht van een paal (vierkante voorgespannen prefab betonpaal van 0,4 x 0,4 m²) van:

$$F_{\text{max}} = 1476 \text{ kN},$$

is een aantal palen nodig van:

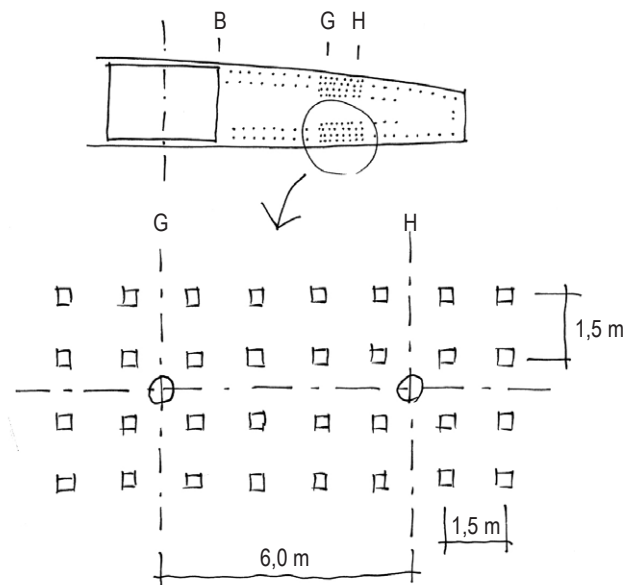
$$n = F_v / F_{\text{max}} = 31.$$

Dit is bijvoorbeeld een palenveld van 4 x 8 palen, met hart-op-hart afstand van 1,5 meter.

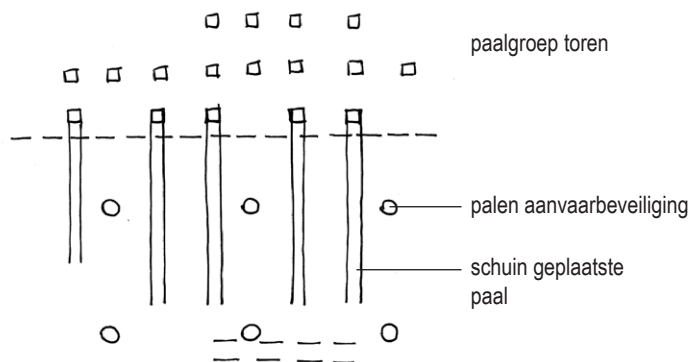
Hierbij is het effect van een paalgroep nog niet meegenomen. Verwacht wordt echter dat de reductie van de draagkracht kan worden opgevangen door het samenwerken van palen en funderingsvloer, waardoor een deel van de kracht wordt afgedragen door omliggende palen. Mocht dit effect niet voldoende zijn om het effect van de paalgroep te compenseren, kan het aantal palen eventueel nog worden vergroot.

Bovendien kan een deel van de palen relatief eenvoudig onder een hoek met de verticaal worden geplaatst, om de horizontale belasting af te dragen. Daarbij moet wel rekening worden gehouden met de aanwezigheid van de palen van de aanvaarbeveiliging (zie illustratie)

Het funderen op palen tot de tweede zandlaag (-26 m) van stramien G en H is dus uitvoerbaar, voor zover kan worden uitgegaan van de beschikbare gegevens.



Paalgroep voor het opnemen van gewichts- en windbelastingen uit verbanden G en H



Palenplan paalgroep en aanvaarbeveiliging

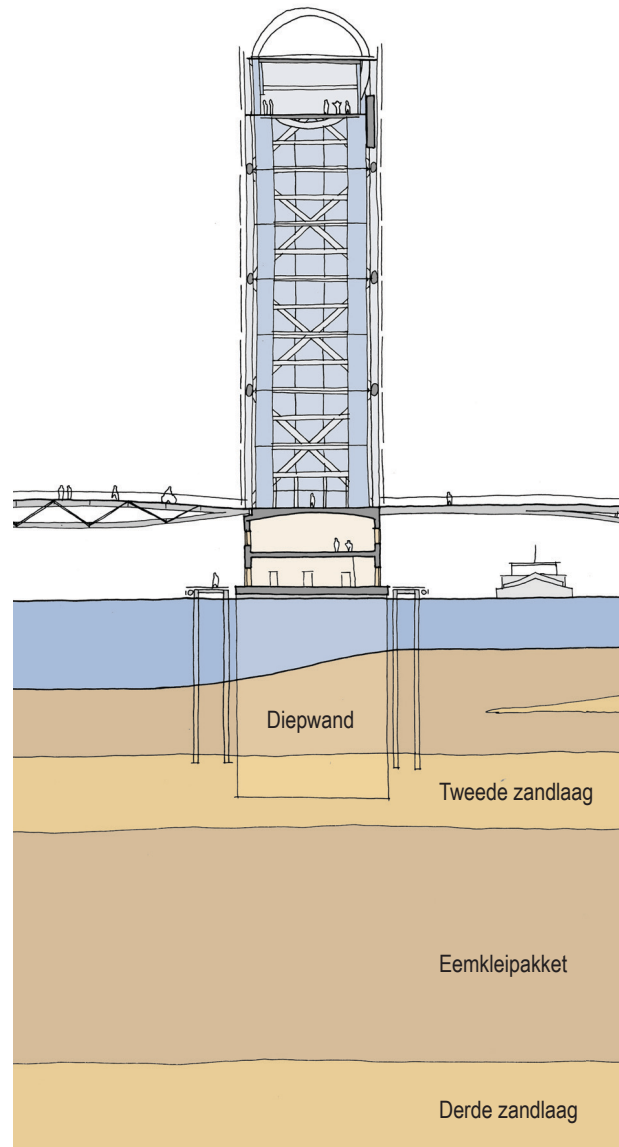
Bij het plaatsen van de schuine palen moet ervoor worden gezorgd dat de palen op voldoende afstand van de aanvaarbeveiliging staan.

Conclusies

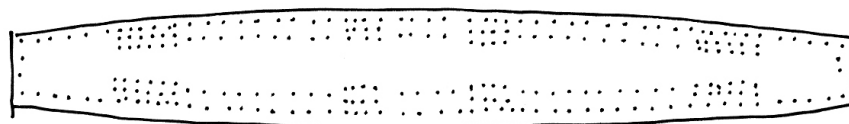
Als er minder onzekerheid was geweest over de uitkomsten van de berekeningen voor de diepwand, zou het funderen van de stabiliteitselementen op diepwanden de voorkeur hebben gekregen, aangezien de fundering daarbij als geheel stijver is, en de uitwijkingen van de toren bij windbelasting worden beperkt. Door de beperkte geldingswaarde van de berekeningen en de onduidelijkheid over de grondgesteldheid, wordt hier daarom gekozen voor het funderen van stramien G en H van de beide torens op palen. Een bijkomend voordeel van de fundering op palen is de mogelijkheid tot schuin inbrengen van de palen, waardoor de momenten uit windbelasting niet extra worden vergroot. Ze hoeven niet tot aan het onderste niveau van de diepwanden te worden doorberekend, maar werken direct vanaf de fundatievloer.

Kleipakket

Zowel palen als diepwanden worden nu gefundeerd op de tweede zandlaag. Onder deze laag ligt nog een kleipakket van ca. 30 meter. Hoewel de opgelegde belasting aanzienlijk wordt beperkt door het niet ophogen van de grond ter plaatse van de eilanden, zullen brug en torens plaatselijk toch een sterke vergroting van de bovenbelasting veroorzaken. Een studie naar zakkingen in het kleipakket ten gevolge van deze belasting is dan ook zeker noodzakelijk. Dit reikt echter te ver voor dit onderzoek. Hier wordt volstaan met deze aanbeveling tot verder onderzoek.



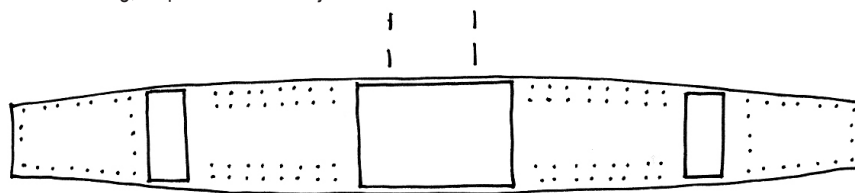
Fundering derde eiland op tweede zandlaag



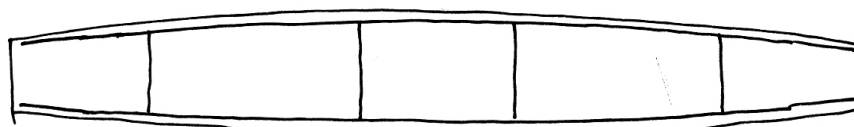
Volledig funderen op palen



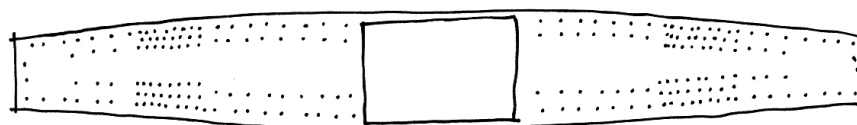
Paalfundering, diepwanden als schijven onder verbanden



Diepwanden als kokers onder verbanden



Volledig funderen op diepwanden



Middenverbanden funderen op diepwanden, kopverbanden op paalgroep

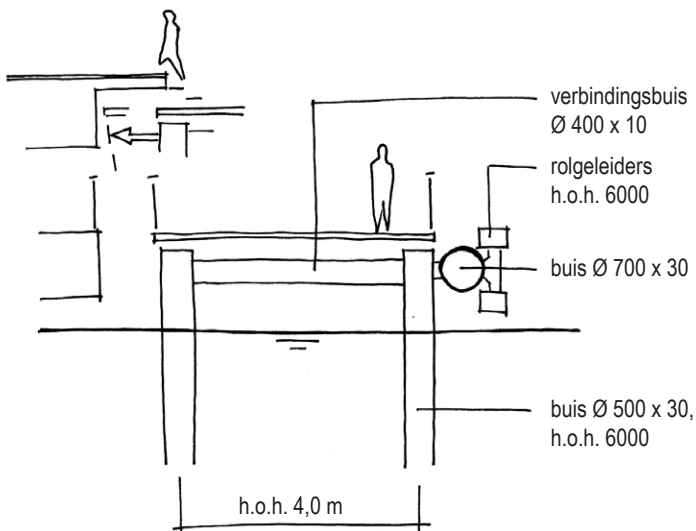
Alternatieven voor de fundering van de twee middelste eilanden. de onderste variant wordt gekozen

16.6 Geleidewerken

Ter bescherming van de brug en de eilanden tegen aanvaring van schepen worden rond de eilanden geleidewerken geplaatst. Er kan onderscheid gemaakt worden in drie categorieën geleidewerken. De geleidewerken langs de hoofdvaargeul moeten bestand zijn tegen (lichte) aanvaring van een cruise-schip. Bovendien geven ze bescherming tegen de rijnschepen, die weliswaar veel minder zwaar zijn, maar sneller varen, en ter plaatse van de eilanden onder een grotere hoek de aanvaarbeveiliging kunnen raken.

De geleidewerken langs de tweede vaargeul voor beroepsvaart hoeven niet bestand te zijn tegen cruiseschepen, maar wel tegen rijnschepen.

De overige geleidewerken beschermen hoofdzakelijk tegen pleziervaart, omdat ze langs vaarwater liggen dat in normale omstandigheden uitgesloten is voor beroepsvaart. Tijdens evenementen als SAIL kunnen op enkele plaatsen echter wel grotere schepen aanmeren.



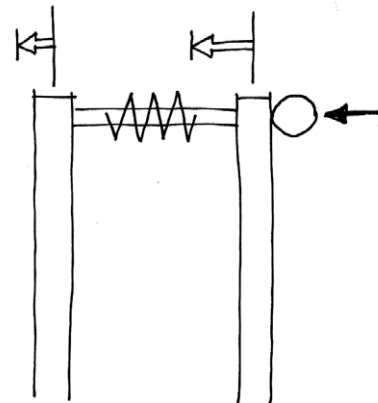
Afmetingen geleidewerk hoofdvaargeul

Hoofdvaargeul

De geleidewerken langs de hoofdvaargeul worden uitgevoerd als een dubbele rij palen, verbonden door een horizontale buis aan de zijde van de vaargeul. De achterste palen worden steeds verbonden met de palen van de voorste rij. Bovendien worden de achterste palen met elkaar verbonden door secundaire liggers. Deze dienen echter voornamelijk ter ondersteuning van de beloofbare kade erboven.

Voor de dimensionering van de constructie worden de gegevens uit hoofdstuk 8 aangehouden. Daar werd een dergelijke configuratie getest op een lichte aanvaring van een cruise-schip. De afmetingen van de constructie waren als volgt:

Palen:	D = 500 mm	t = 30 mm
Buis:	D = 700 mm	t = 30 mm



Alternatief met verende verbinding tussen palen

De afstand tussen de voorste en achterste rij palen is vooral van belang voor de krachtsafdracht naar de grond, en wordt hierbij op h.o.h. 4,0 m gesteld. De onderlinge afstand van de paalkoppels bedraagt 6,0 m.

Om te voorkomen dat het geleidewerk tegen het eiland wordt gedrukt - en daardoor belastingen gaat overbrengen op het eiland - dient de afstand tussen geleidewerk en eiland groot genoeg te zijn. Een alternatief waarbij de achterste rij palen minder uitwijkt, is het opnemen van een verende verbinding tussen de voorste en achterste palen. De veer neemt een deel van de botsenergie op, en verkort bij aanvaring, waardoor de achterste paal minder ver uitwijkt. Het is echter de vraag of de ruimtewinst opweegt tegen de extra kosten voor de veren. Bovendien is een veer onderhoudsgevoeliger en minder betrouwbaar dan een starre verbinding.

Het geleidewerk wordt op een afstand van 1,5 m van het eiland geplaatst. Bij een aanvaring heeft de constructie ruimte nodig om te vervormen. Wanneer de afstand overbrugd moet worden voor toegang tot de steiger, moet ermee rekening worden gehouden dat de constructie tot een meter kan verplaatsen. Een brug met letterlijke roloplegging is een mogelijkheid, of het over laten steken van het kadedek.

Als beëindiging van de geleidewerken worden pontons geplaatst. Deze worden verankerd aan een serie palen, waardoor een element met een grote massa en een vrij flexibele verankering ontstaat. De pontons dienen hoofdzakelijk voor het opvangen van de eerste klap bij kleine stuurafwijkingen. Daarnaast kunnen ze worden gebruikt als uitzichtplatform, of voor kleinschalige evenementen. De afmetingen van een ponton bedragen 16 x 8 meter.

Tweede vaargeul

De tweede vaargeul wordt gebruikt door beroepsvaart,

hoofdzakelijk bestaande uit rijnvaartschepen. De schepen zijn vele malen lichter dan een cruise-schip. Door de grotere snelheden bezitten deze schepen echter nog een aanzienlijke kinetische energie. Daarom wordt de aanvaarbeveiliging langs de tweede vaargeul eveneens uitgevoerd als een dubbele rij palen, verbonden door een buis aan de zijde van de vaargeul. De afmetingen van de elementen worden wel kleiner gekozen dan bij de hoofdvaargeul.

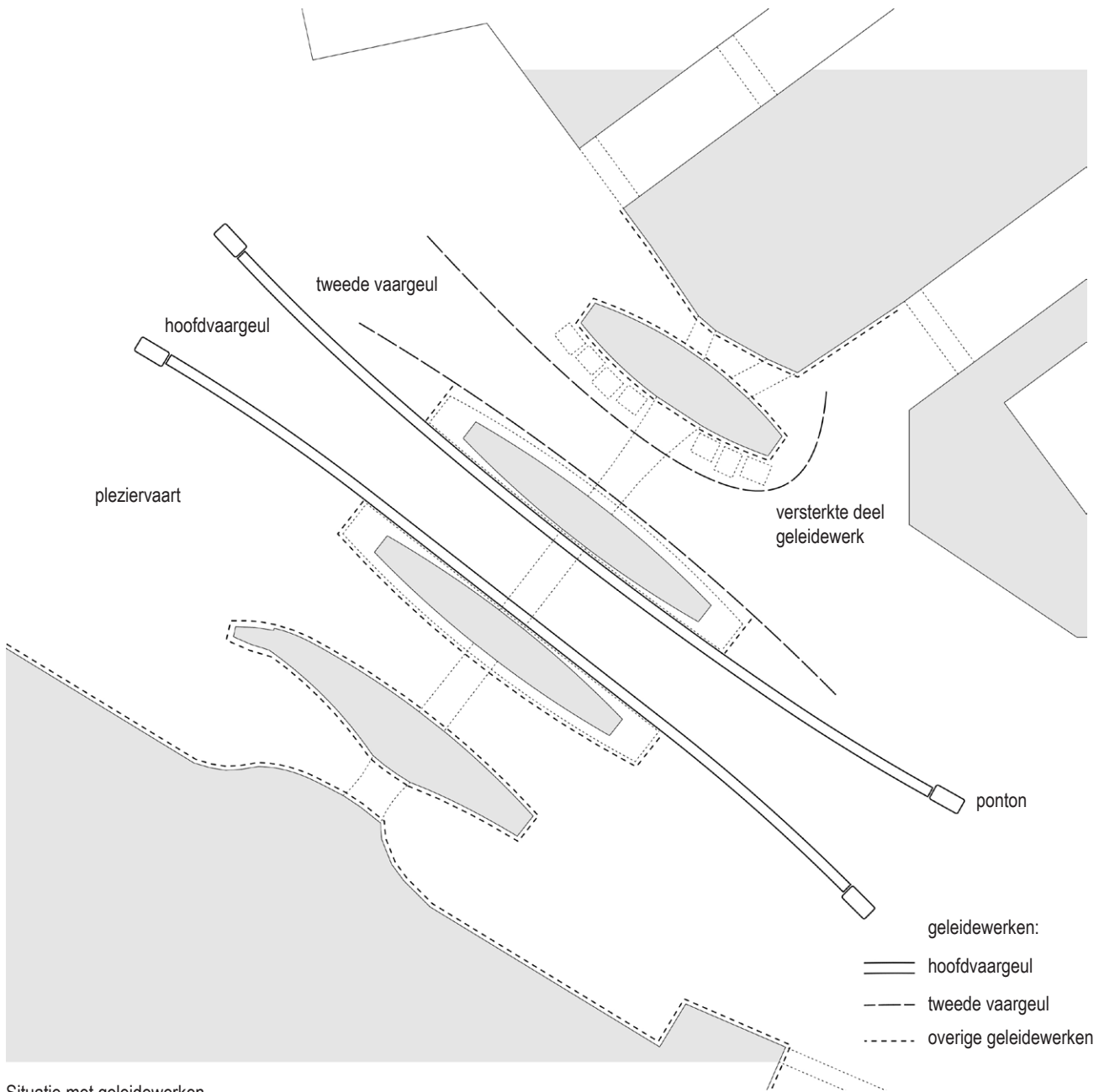
Palen: $D = 400 \text{ mm}$ $t = 10 \text{ mm}$

Buis: $D = 600 \text{ mm}$ $t = 10 \text{ mm}$

De geleidewerken langs de tweede vaargeul worden niet afgesloten met een ponton. Aan de zijde van de hoofdvaargeul zorgt het al aanwezige ponton voor een eerste beveiliging. De zijde van de noordoever ligt in de binnenbocht van de vaarroute, en de kans dat een schip aan deze zijde uit koers raakt is daarom kleiner. Bovendien ligt de bebouwing aan deze zijde (op het vierde eiland) op een aanzienlijke afstand van de vaargeul (in verband met de veiligheidszone van 25 meter). Daarom zal, wanneer bij een aanvaring op de kop van het geleidewerk de aanvaarbeveiliging bezwijkt, niet direct schade aan de achterliggende gebouwen ontstaan. Wel wordt het geleidewerk voor de zuidoostpunt van het vierde eiland versterkt, vanwege de positie loodrecht op de vaarroute.

Overige vaargeulen

De bescherming van de overige eilanden en de kades van het vasteland kan lichter worden uitgevoerd. Hier vindt onder normale omstandigheden alleen pleziervaart plaats. De geleidewerken worden uitgevoerd als een enkele rij palen, verbonden door een buis. De geleidewerken hebben vrijwel overal ook de functie als aanlegsteiger. De horizontale stalen buis wordt daarom beschermd door een houten ligger aan de waterzijde. Op veel plaatsen zullen langs deze geleidewerken nog drijvende steigers worden geplaatst.



Situatie met geleidewerken

16.7 Bouwvolgorde

Hoewel uit de analyse van de fundering al bleek dat het construeren van een eiland met kelder de nodige complicaties met zich mee brengt, wordt hier bestudeerd hoe deze oplossing gerealiseerd kan worden. Daarna wordt eveneens de bouwvolgorde onderzocht voor de fundering van de torens op een steigerconstructie, de hierboven verkozen oplossing.

Eiland met kelder

1. Geleidewerken

Als eerste worden de geleidewerken geplaatst. Daardoor ontstaan duidelijke vaargeulen, zodat hinder voor de scheepvaart wordt geminimaliseerd. Bovendien vormen de geleidewerken een aanvaarbescherming voor de bouwwerkzaamheden. De palen van de geleidewerken worden geslagen tot een diepte van - 26 m NAP, tot de tweede zandlaag, ook op plaatsen waar deze laag ontbreekt. Van belang voor de aanvaarbeveiliging is voornamelijk de werkende hoogte van de bodem tot aan de paalkop.

2. Damwanden bouwput

Vervolgens worden langs de contouren van de toekomstige bouwput damwanden geslagen tot onder de tweede zandlaag. De kleilagen boven de tweede zandlaag zijn niet zuiver genoeg om waterdichtheid te garanderen bij leegpompen van de bouwput. De laag onder de zandlaag daarentegen bestaat uit vrij zuivere klei. De damwanden worden gesteund door stempels.

3. Ophogen grond

Wanneer de damwanden zijn geslagen, kan de bodem opgehoogd worden tot het gewenste niveau in verband met aanvaarbeveiliging. De damwanden fungeren daarbij als grondkerende constructie. Ter plaatse van de tunnel van de Noord-Zuidlijn wordt de grond niet opgehoogd, of worden extra maatregelen getroffen tegen extra belasting

van de tunnel. (zie hiervoor)

4. Palen heien

Vanaf een tijdelijke brug, die wordt ondersteund door de damwanden, worden palen geheid. Doordat de grond al opgehoogd is, zal de bodemverhoging geen grote invloed hebben op het draagvermogen van de palen, in de vorm van negatieve kleeft. Daarvoor is het van belang dat tussen de grondophoging en het heien enige tijd wordt gelaten voor het zetten van de grond onder de extra bovenbelasting. Ter plaatse van de metrotunnel moeten palen eventueel op een andere manier worden ingebracht, wederom om extra belasting op de tunnel te voorkomen.

5. Keldervloer

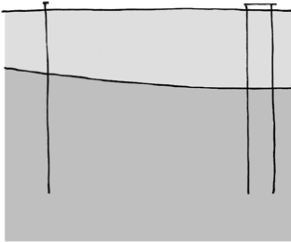
Vervolgens wordt de keldervloer gestort. Hoewel de damwanden tot in een waterdoorlatende kleilaag zijn aangebracht, kan de bouwput niet eenvoudigweg leeggepompt worden. Door de grote diepte van de bouwput - en dus de grote opwaartse waterdruk tegen het grondpakket onder de bouwput - bestaat de kans van opbreken van het grondpakket. Daarom wordt de keldervloer uitgevoerd als onderwaterbetonvloer. Ook de massa van de vloer zal niet voldoende zijn om opdrijven te voorkomen. De bij stap 4 geheide palen fungeren in de bouwfase echter als trekpalen.

6. Leegpompen bouwput

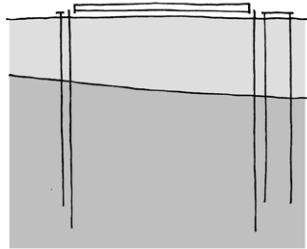
Wanneer de onderwaterbetonvloer is uitgehard, kan de bouwput worden leeggepompt. De palen worden afgezaagd tot het niveau van de ruwe vloer, en er wordt een dekvloer aangebracht.

7. Bouw kelder

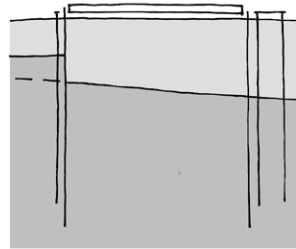
Vanaf de dekvloer kan de kelder verder gebouwd worden, waarbij de kelderwanden op enige afstand van de damwanden geplaatst worden. De damwanden worden met trekkabels aan de kelder verankerd.



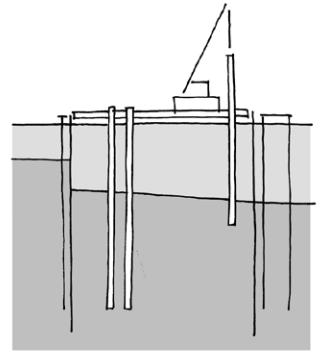
1. geleidewerken



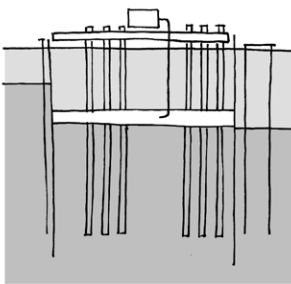
2. damwanden



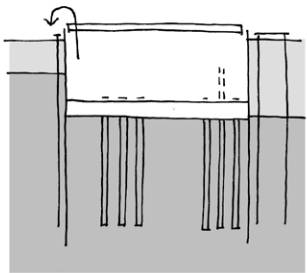
3. ophogen grond



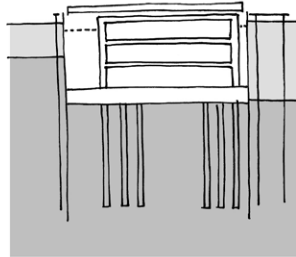
4. palen heien



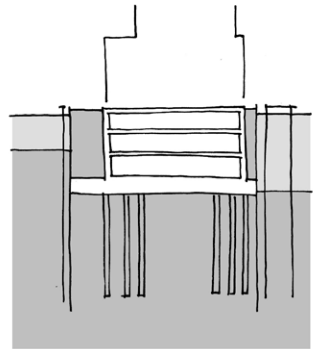
5. keldervloer



6. leegpompen bouwput



7. bouw kelder



8. storten grond, bovenbouw

Bouwvolgorde eiland met kelder

8. Storten grond, bovenbouw

De ruimte tussen kelder en damwand wordt gevuld met grond. Deze grond is een extra buffer als aanvaarbeveiliging. Daarna kunnen de stempels van de damwanden worden verwijderd. Het eiland is dan gereed voor de bouw van bovenbouw, torens en bruggen.

Eiland als steigerconstructie

1. Ophogen grond

In tegenstelling tot de bouwwijze van het eiland met kelder wordt hier geen gebruik gemaakt van damwanden als grondkerende constructie, aangezien de damwanden verder geen rol zouden hebben. De bodem kan daarom meteen worden opgehoogd, zodat ook de geleidewerken geen last hebben van extra kleefbelasting door zakking van de bodem.

2. Geleidewerken

Vervolgens worden de geleidewerken geplaatst, ter bescherming van de bouwwerkzaamheden. Ook hier moet weer rekening worden gehouden met de ligging van de tunnel voor de Noord-Zuidlijn. Hier zal een overbruggingsconstructie moeten worden gebouwd.

3. Het heien van de funderingspalen gebeurt hier grotendeels vanaf een ponton. De schuin geplaatste palen worden echter geheid vanaf een platform, gemonteerd op de aanvaarbeveiliging, om een grotere nauwkeurigheid te garanderen. Deze schuine palen kruisen namelijk de palen van de aanvaarbeveiliging.

4. Damwanden slaan t.p.v. diepwand

Het middelste deel van de eilanden wordt gefundeerd op een koker van diepwanden. Het is gebruikelijk om de sleuf voor een diepwand uit te graven in vaste grond. Het ophogen van de bodem tot boven het waterniveau levert hier echter de nodige complicaties. De grond zal extra zettingen veroorzaken, en naast de plaats van de diepwanden ligt de

hoofdvaargeul, waarvan de bodemiepte gegarandeerd moet blijven tijdens de bouwwerkzaamheden. Daardoor zal de grondophoging moeten worden afgeschermd door damwanden. De damwanden reiken tot de tweede zandlaag, op een niveau van - 26 m NAP.

5. Kistdam vullen met grond

De diepwanden staan alleen ter plaatse van de kruising van eiland en brug, en vormen een rechthoekige koker. De damwanden vormen daardoor een afgesloten kistdam, die wordt opgevuld met grond. De metro tunnel van de Noord/Zuidlijn ligt op 70 meter van de kistdam verwijderd. Dit is een voldoende grote afstand om te kunnen veronderstellen dat zakking door de extra aangebrachte grond geen schadelijke gevolgen voor de tunnel heeft.

6. Graven en storten diepwand

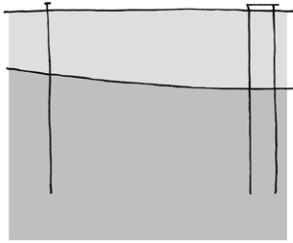
Nu kan in vaste grond de diepwand gegraven worden. De damwand fungeert daarbij als buitenbegrenzing van de diepwand. Tijdens ontgraven wordt de sleuf tijdelijk gesteund door bentoniet. Vervolgens wordt wapening aangebracht en wordt de sleuf volgestort met onderwaterbeton.

7. Uitharden diepwand, evt. ontgraven kistdam

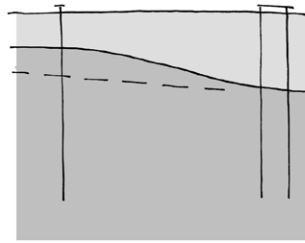
Wanneer blijkt dat de bodem onder de kistdam te veel zakt, kan worden overwogen deze weer te ontgraven. Daarbij moet wel worden gedacht aan openingen in de kistdam, zodat water naar binnen kan stromen. Eventueel kan (ook in een later stadium) een kelder worden aangebracht.

8. Kadevloer, bovenbouw

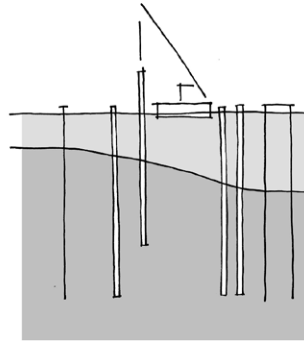
Op de palen en diepwanden wordt een kadevloer gestort. Vanaf deze vloer kan weer worden gewerkt aan de bovenbouw.



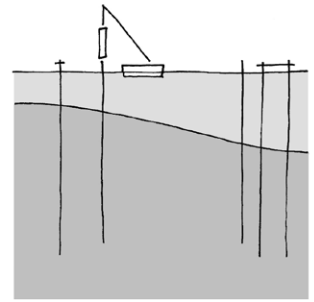
1. ophogen grond



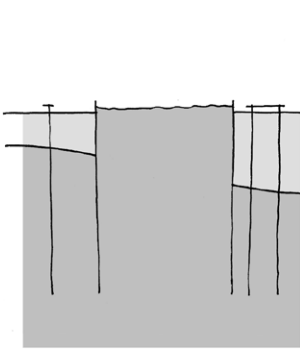
2. geleidewerken



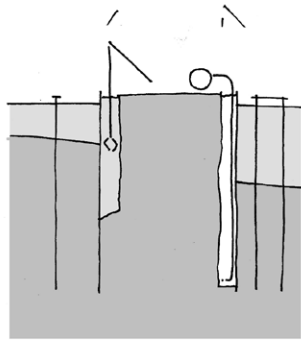
3. palen heien



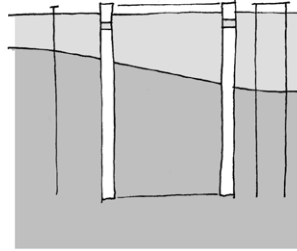
4. damwanden slaan
t.p.v. diepwand



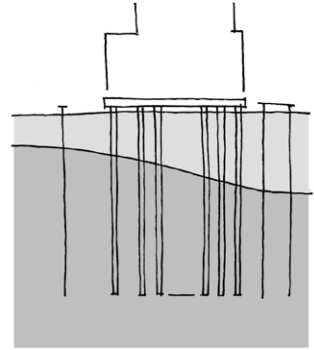
5. kistdam vullen met grond



6. graven en storten diepwand

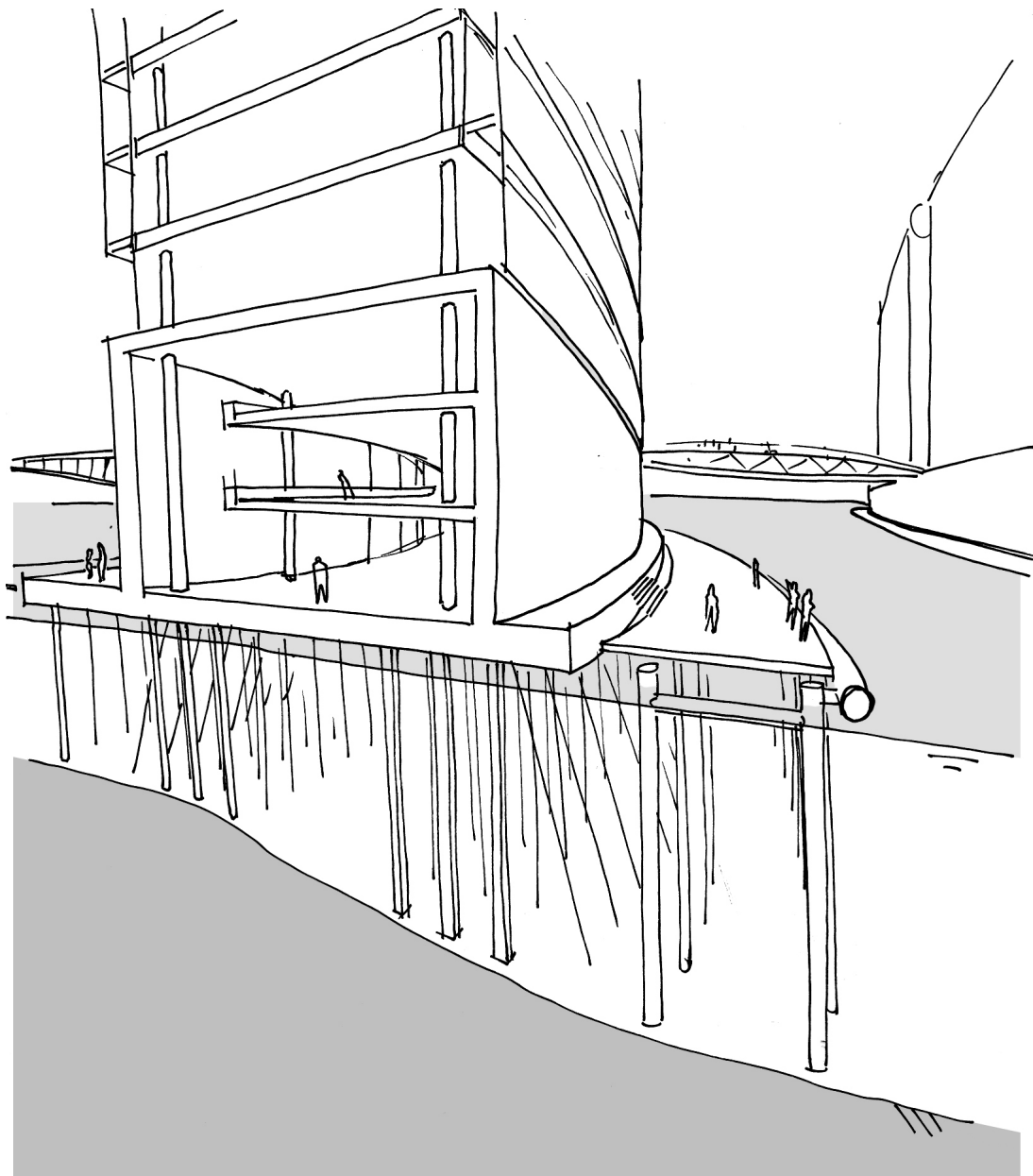


7. uitharden diepwand,
evt. ontgraven kistdam



8. kadevloer, bovenbouw

Bouwvolgorde eiland als steiger



Impressie fundering eiland en geleidewerk hoofdvaargeul

17. Ontwerp overige brugdelen

In dit hoofdstuk wordt kort ingegaan op de overige brugdelen. Deze worden niet constructief uitgewerkt worden, maar er wordt wel een aanzet gegeven voor het ontwerp. Allereerst wordt ingegaan op het dwarsprofiel van de bruggen, hellingen en doorvaarthoogten. Vervolgens wordt het constructief systeem besproken, en ten slotte wordt ingegaan op enkele ontwerpaspecten zoals materiaalgebruik, verlichting en straatmeubilair.

17.1 Functioneel ontwerp

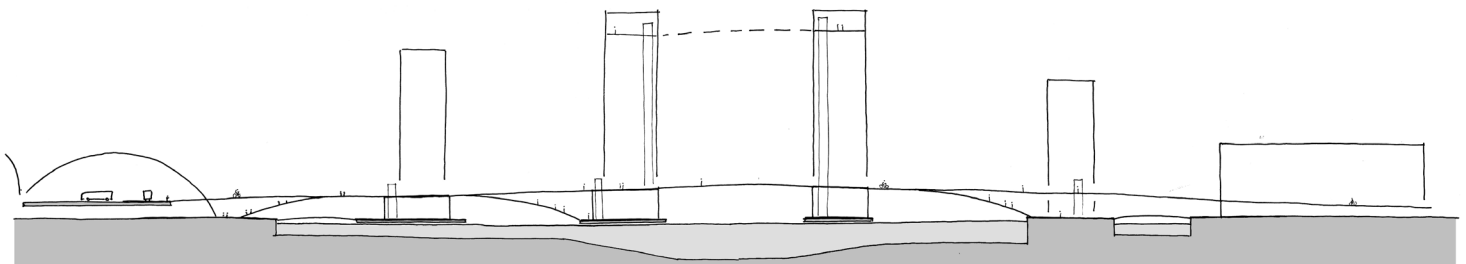
In eerste instantie verbindt de brug de twee oevers van het IJ. Vanaf het centraal station wordt de voetganger in een aantal stappen op de voor de doorvaart benodigde hoogte gebracht. In de eerste stap wordt het meeste hoogteverschil overwonnen. Aan de noordzijde daalt de voetganger op een vergelijkbare manier af tot aan het niveau van het Tolhuisplein. Een fietser wordt al eerder op de hoogte gebracht van het busstation. Vanaf hier verloopt de stijging slechts nog geleidelijk. Aan de noordzijde heeft de fietser eveneens een langere uitloop, tot aan het einde van het tolhuispark.

Toegang eilanden

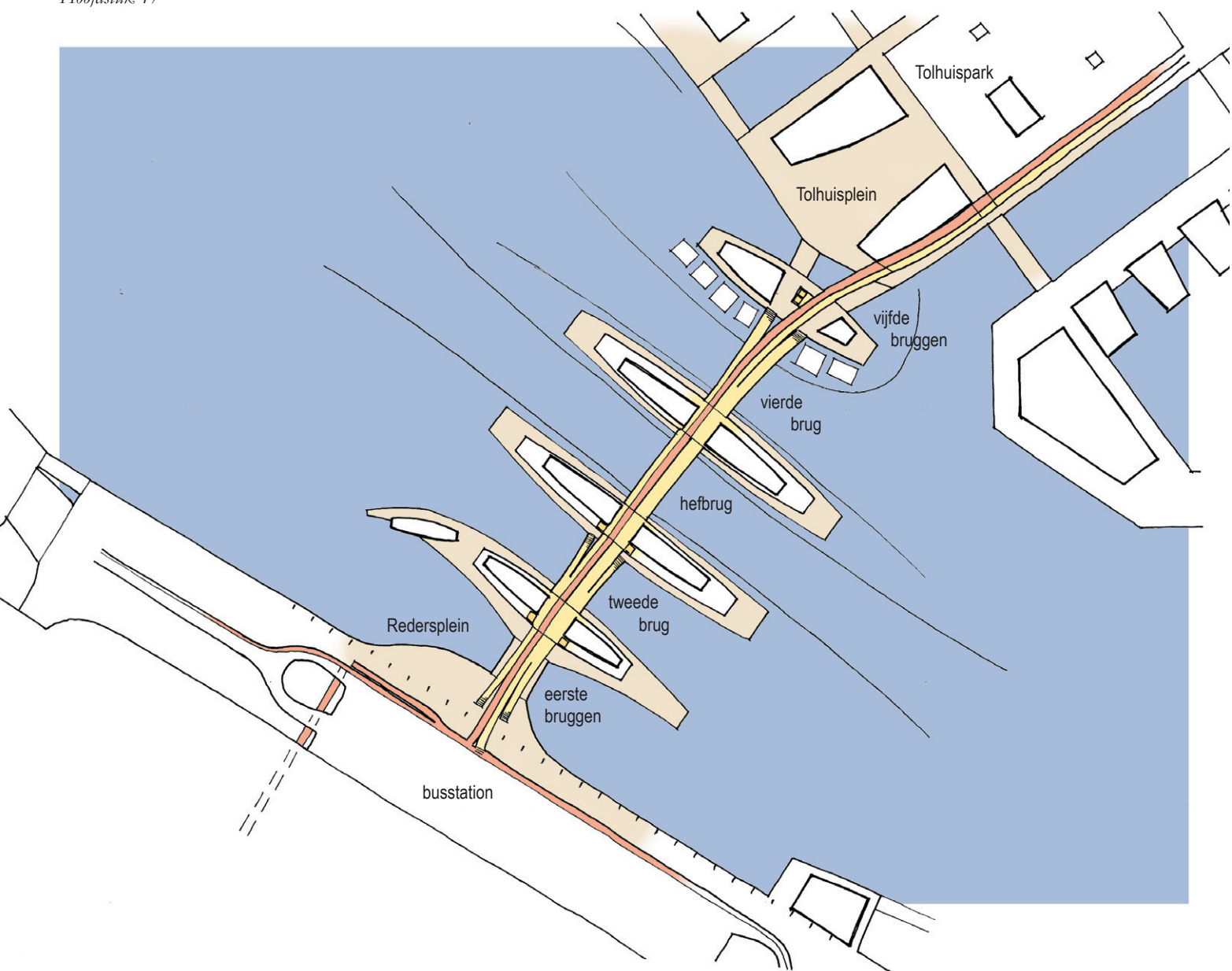
De brug geeft ook de toegang tot de eilanden. Met name de eerste twee eilanden huizen publieke functies als horeca, terrassen, een museum en een hotel met bijbehorende faciliteiten. Het eerste eiland is direct bereikbaar vanaf de stationskade door middel van twee lage bruggen.

De brug tussen het eerste en tweede eiland kan niet gelijkvloers met de kade worden uitgevoerd, omdat hier een zekere doorvaarthoogte gehaald moet worden. De voetgangersverbinding voert daarom naar het zogenaamde brugdekniveau van het eerste eiland, om vanaf daar de oversteek te maken naar het tweede eiland. De brug leidt op het tweede eiland zowel naar het kadeniveau als naar het brugdekniveau. Aan de kade liggen de meeste publieke functies, terwijl vanaf het brugdekniveau de kantoorstorens bereikt kunnen worden.

Het derde eiland bevat minder publieke functies, en is ook minder goed toegankelijk voor pleziervaart. De functies op kadeniveau zijn daarom grotendeels bedoeld ter ondersteuning van de kantoren op de eilanden. Het kadeniveau van het derde eiland is daarom niet direct te bereiken vanaf een brug. De toegang tot de plint van het derde eiland geschiedt vanaf het brugdekniveau.



Langsdoorsnede bruggen



Overzicht bruggen met fietsroutes (rood) en wandelroutes (geel)

Het vierde eiland is evenals het eerste eiland een overgangsbied tussen het vasteland en het hoge brugdek op de twee middeneilanden. Er is te weinig ruimte tussen het vierde eiland en het vasteland om de afdaling te maken van brugdekniveau tot kadeniveau. Tussen het derde en vierde eiland is wel extra ruimte (doordat de bebouwing op het eiland minimaal 25 meter van de vaargeul moet liggen). De brug tussen het derde en vierde eiland kan daarom afdalen tot kadeniveau. Tussen het vierde eiland en het vasteland liggen weer twee lage bruggen. Fietsers blijven wel op hoogte en blijven op een brug tot aan het vasteland. Vanaf daar dalen ze langzaam af tot aan het eind van het Tolhuispark.

Er zijn op elk eiland liften voor minder valide voetgangers. Een voetganger die slecht ter been is blijft tot het eerste eiland op kadeniveau, en neemt daar de lift naar brugdekniveau. Op het vierde eiland daalt hij weer af tot kadeniveau, en loopt over een van de lage bruggen naar het Tolhuisplein. Op het tweede eiland geven twee publieke liften toegang tot de kade. Op het derde eiland lopen de interne liften door naar het kadeniveau.

Dwarsprofiel

De brug bestaat over de gehele lengte uit een linker- en een rechterhelft. Vanaf de middenlijn bestaat elke helft uit een middenzone van vier meter en een in breedte variërende zijzone. Op de middenzone van de linkerhelft (westelijke helft) bevindt zich het fietspad. De rechter (oostelijke) middenzone is een wandelpad, dat op gelijke hoogte blijft als het fietspad. De zijzones zijn wandelpaden, die beginnen en eindigen op kadeniveau. De zijzones zijn tussen de drie en vier meter breed. Op de tweede brug worden de zijzones verbreed, en gesplitst. De buitenste delen van de zijzones dalen af naar het tweede eiland, de binnenste delen blijven op brugdekniveau. Op de hefbrug hebben de zijzones een breedte van drie meter. De oostelijke zijzone vormt hier samen met de oostelijke middenzone een (zeven meter) brede wandelzone.

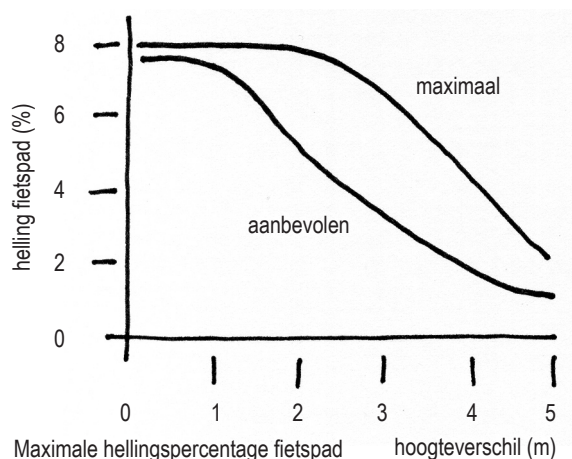
Lengteprofiel

Het kadeniveau ligt aan de stationszijde op 1.30 m boven waterniveau. Het busstation ligt op 7.20 m boven waterniveau. Het brugdekniveau van de vier eilanden bedraagt respectievelijk 9.00 m; 11.50 m; 11.50 m; 10.00 m. Het kadeniveau aan de noordoever bedraagt 2.00 m, het aansluitende fietsersniveau ligt hier op 8.50 m.

Hieronder volgt een overzicht van de overspanningslengte, hoogte en hellingshoek van de verschillende overspanningen van het fietsgedeelte van de brug. De helling is de gemiddelde hellingshoek over het gehele brugdeel. In werkelijkheid kan de helling plaatselijk iets groter zijn doordat het brugdek gekromd is.

brug	lengte	hoogteverschil	helling
1	70.1 m	2.30 m	3,28 %
2	46.7 m	2.00 m	4,28 %
3	50.0 m	1.50 m ¹	6,00 %
4	66.8 m	1.50 m	2,25 %
5	48.9 m	1.50 m	3,07 %

1) Het hoogteverschil tussen het tweede en derde eiland is nul. De hefbrug heeft echter een intern hoogteverschil tussen de opleggingen en het midden door de kromming van het brugdek.



In het diagram voor de maximale hellingshoeken voor fietspaden is te zien dat de brug op alle overspanningen voldoet aan de norm. Er is overal nog ruimte voor lokale vergrotingen van de helling. De helling op de hefbrug is met 6 % vrij groot, maar dit is al de maximale helling bij de oplegging.

Doorvaarthoogten

De maximale doorvaartmaten bedragen in het ontwerp de volgende.

brug	breedte	hoogte	diepgang
1	17.5 m	1.00 m	3.50 m
2	27.5 m	4.50 m	5.00 m
3	35.0 m	9.10 m	11.50 m
		60.50 m (geopende stand)	
4	30.0 m	9.10 m	6.50 m
5	18.0 m	1.65 m	3.50 m

17.2 Constructief systeem

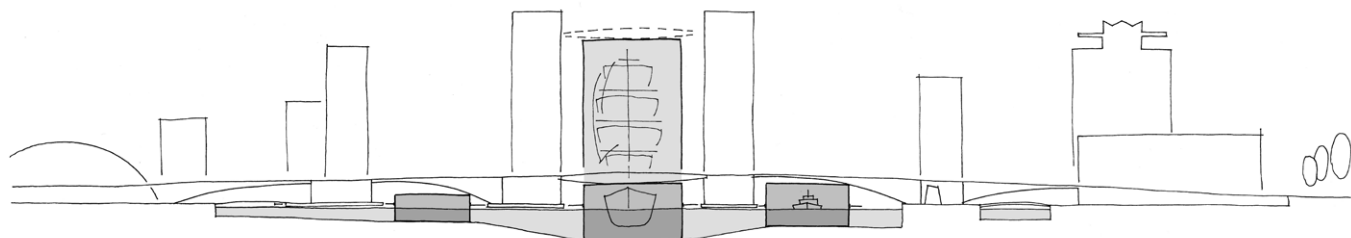
De hefbrug is een lensligger. Dit is voor de overige bruggen een minder voor de hand liggend constructietype. Om een zo gunstig mogelijk profiel van vrije ruimte te bereiken, ligt het voor de hand dat de brug in het midden van de overspanning het hoogst boven het water ligt. Naar de opleggingen toe kan de brug tot een lager niveau aanwezig zijn. Een boogvorm ligt dan al snel voor de hand. Bovendien

is de boogvorm, als tegenhanger voor de lensligger, in zijn vorm een uitdrukking van het feit dat de brug vast is opgelegd. De vorm van de lensligger drukt juist uit dat deze opgetild kan worden aan de hefkabels.

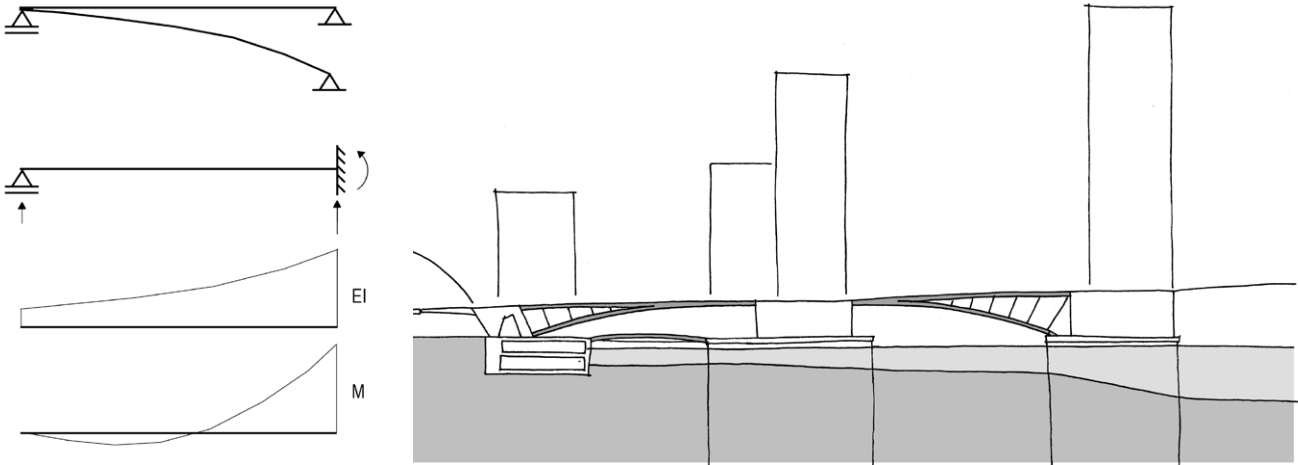
Om een eenheid te bewerkstelligen tussen de hefbrug en de overige bruggdelen wordt een aantal elementen wel behouden, zoals de opbouw uit bovenboog, onderboog en verbindingstaven. De bruggen worden bovendien weer opgedeeld in secties van rond de vijf meter, waarop de hoofdconstructie wordt geplaatst, evenals de verlichtingselementen. Het brugdek wordt licht gekromd, voor extra doorvaarthoogte. De voor de voetganger en fietser zichtbare bovenzijde van de bruggen zullen op een gelijke manier worden gedetailleerd als de hefbrug.

Een boogbrug heeft te maken met spatkrachten. Gezien de slechte grondcondities ligt het afdragen van deze spatkrachten naar de ondergrond op het eerste gezicht niet voor de hand. Voor de bruggen aan de noord- en de zuidzijde worden twee verschillende strategieën gevolgd.

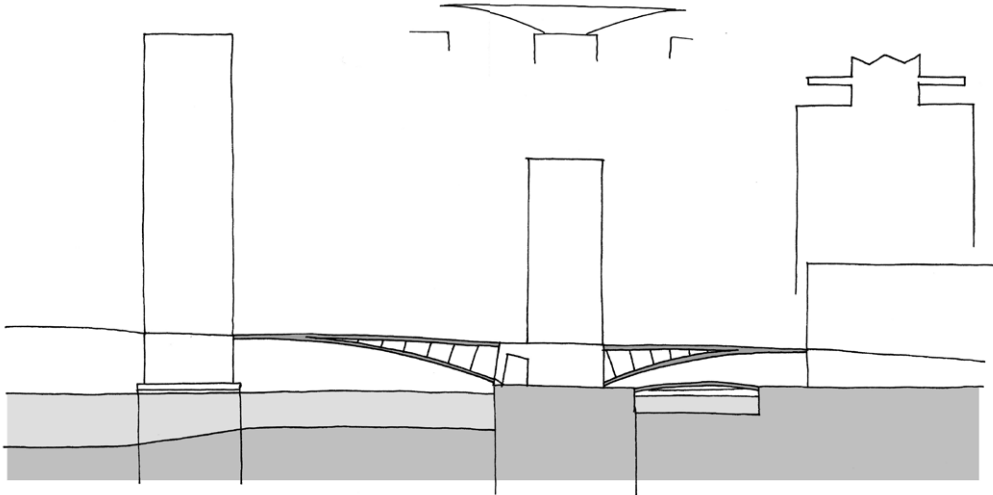
De eerste en tweede brug hebben beide een voetpad dat tot het kadeniveau afdaalt. Dit voetpad kan worden gecombineerd met de onderboog van de boogbruggen. De boog zakt op het stationseiland en op het tweede eiland tot het kadeniveau, en op het eerste eiland slechts tot een hoger niveau. De bruggen worden geschematiseerd tot een aan één zijde ingeklemde, en aan de andere zijde vrij opgelegde ligger. De torens op het tweede eiland staan asymmetrisch



Langsdoorsnede bruggen met doorvaartprofielen



Constructief schema en langdoorsnede eerste en tweede brug

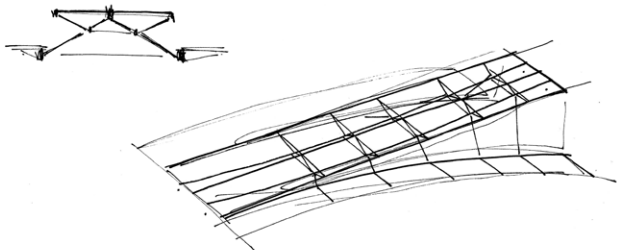


Langdoorsnede vierde en vijfde brug

op de tafelconstructie. Daardoor wordt het mogelijk het inklemmingsmoment voor de brug te compenseren door het gewicht van de torens. Ter plaatse van het Stationseiland wordt het achterste gedeelte van de parkeerkelder verzwaard om het inklemmingsmoment te garanderen. De brug wordt bovengronds ondersteund door een eveneens verzwaarde constructie.

De kade van het derde eiland hoeft niet door middel van een voetpad te worden bereikt, op het vierde eiland wel. Daardoor ontstaat een min of meer omgekeerde vorm als bij de eerste twee bruggen. De vierde en vijfde brug werken samen als een naar beide zijden uitkragende brug, waardoor de spatkrachten slechts intern in de brug voorkomen.

De lage voetgangersbruggen, respectievelijk tussen het stationseiland en het eerste eiland en tussen het vierde eiland en de noordoever worden uitgevoerd als eenvoudige liggerbruggen. De liggers hebben dezelfde vorm als de bovenliggers van de overige bruggen. Ook de leuning en verlichting worden op dezelfde manier uitgevoerd.

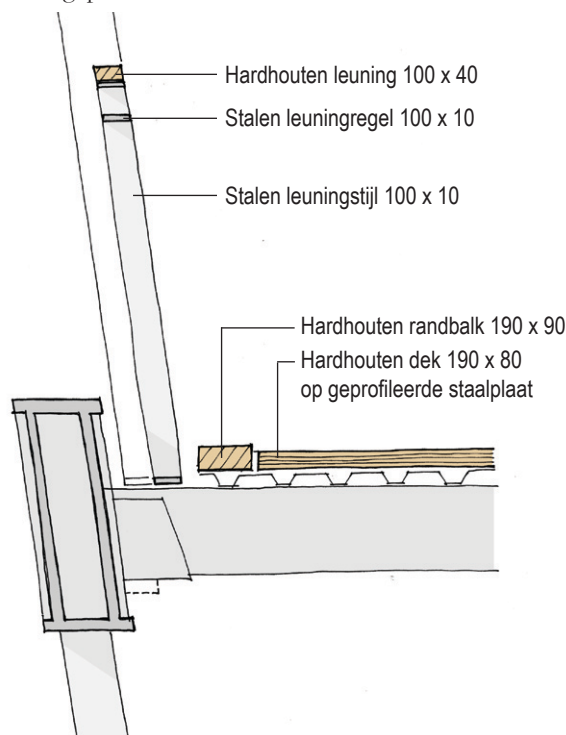


Schets constructie overige bruggdelen

17.3 Ontwerpprincipes

Brugdek

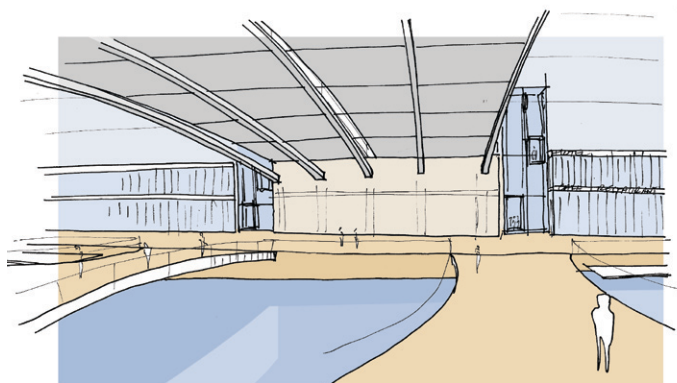
Het brugdek wordt bij alle bruggen op een vergelijkbare wijze uitgevoerd. Het dek bestaat uit een geprofileerde staalplaatvloer (met overspanningsrichting evenwijdig met de hoofdoverspanning van de brug) op de onderliggende stalen balkenconstructie. Op deze stalen vloer wordt ter plaatse van de voetgangerszones een houten dekvloer geplaatst, met de lengterichting van de planken dwars op de hoofdoverspanning van de brug. De hardhouten planken 190 x 80 worden voorzien van anti-slipelementen in de vorm van korte verticale stalen strips, die in het hout worden geperst.



Dwarsdoorsnede over brugdek met hoofdligger en leuning

De fietspaden bestaan uit een vlakke staalplaat op de onderliggende geprofileerde plaat, met daaroverheen een (geperforeerde) bitumenlaag als fietsvloer. Zowel de fietsvloer als de planken van de voetpaden laten water door, zodat regenwater via de geprofileerde staalplaatvloer naar de opleggingen wordt geleid.

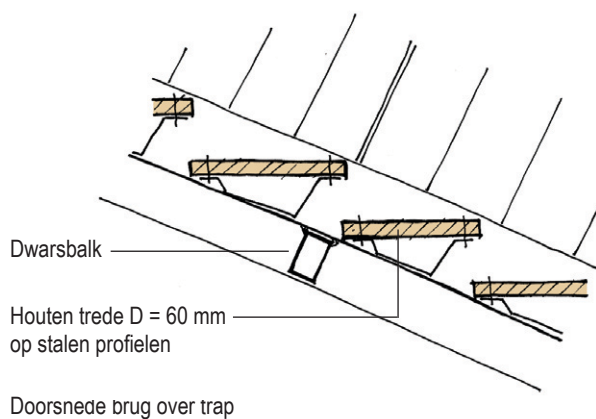
Tussen de twee helften van het brugdek bevindt zich een zone van een meter, die wordt overbrugd door stalen roosters. Daarbij blijft het mogelijk om door de roosters heen naar beneden te kijken.



Entree liften eerste eiland

Trappen

Op plaatsen waar de voetganger afdaald van brugdekniveau naar kadeniveau is de brug te steil voor een vlak brugdek. Op deze plekken worden trappen geplaatst. De trappen worden uitgevoerd als een vlakke staalplaatvloer die over de dwarsliggers met de boog meekromt, met daarop stalen consoles, waarop weer hardhouten traptreden worden geplaatst. Op deze manier wordt het regenwater onder de traptreden doorgeleid. Doordat de trap meekromt met de hoofdboog, verandert de verhouding tussen de breedte en de hoogte van de treden voortdurend. Er zal door middel van proefmodellen moeten worden gezocht naar een juiste configuratie van de treden, zodat de trap goed beloopbaar is.



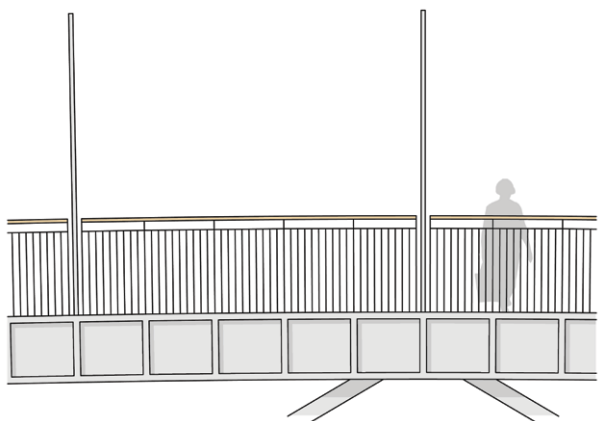
Liften

De liften die dienen om op brugdekniveau te komen, worden niet op de bruggen zelf geplaatst, maar op de eilanden. De liften worden op een bij de torens passende wijze uitgevoerd, met een stalen hoofdconstructie, bekleed met glaspanelen. De liften worden zodanig uitgevoerd dat meteen duidelijk is waar ze voor dienen. Daarom worden de liften op het eerste en tweede eiland vóór de torens geplaatst, zodat van onderaf te zien is dat ze alleen naar het brugdekniveau leiden. De liften op het vierde eiland worden midden op het eiland geplaatst, tussen de beide toegangsbruggen in.

Leuningen

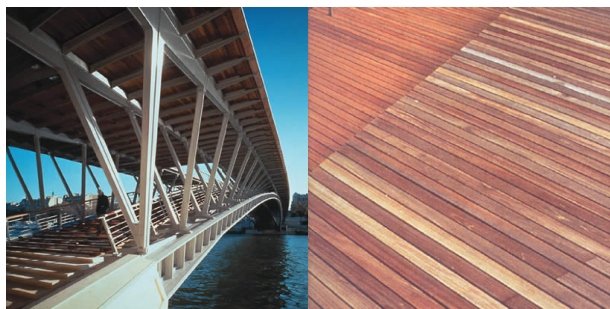
De stalen leuningen worden gefabriceerd van stalen strips van 100 x 10 mm, die hart-op-hart 100 mm van elkaar worden geplaatst, tussen een onder- en bovenstrip, eveneens 100 x 10 mm. Deze constructie vormt gezamenlijk de doorvalbeveiliging, die tot 1050 mm boven het brugdek reikt. Om de meter loopt een strip door tot 1300 mm boven brugdek, waarop wederom een horizontale strip 100 x 10 mm op wordt gelast. Deze strip wordt afgedekt door een hardhouten leuning 100 x 40.

De verticale delen van de leuningen staan niet overal verticaal, maar worden in lijn geplaatst met de verticale



Aanzicht leuning

elementen van de hoofdconstructie. Deze worden loodrecht op de onderboog geplaatst, waardoor de elementen naar de opleggingen toe steeds schuiner worden geplaatst. De leuning volgt deze beweging. De leuningen worden geprefabriceerd tot elementen van 5 meter lang, en rechtstreeks op de dwarsliggers van de brug gebout.



Materiaalreferenties

links: Pont de Solferino, Parijs; rechts: houten dek

Verlichting

De straatverlichting wordt uitgevoerd als verticale elementen van 3600 mm hoog, die hart-op-hart 5 meter aan beide zijden van het brugdek worden geplaatst. De staander bestaat uit een stalen koker 200 x 50 mm, die weer in lijn met de verticale elementen van de hoofdconstructie wordt geplaatst. Aan de bovenzijde van de koker wordt een verlichtingselement geplaatst.

De brug wordt zelf uitgelicht door zachtwitte led-verlichting op de hoofdliggers, die zowel de hoofdliggers zelf als de tussenliggende constructie belicht.

Straatmeubilair

Straatmeubilair als banken en prullebakken wordt niet op de bruggen zelf geplaatst. De overspanningen zijn kort genoeg om zonder tussenstop te overbruggen, en het plaatsen van straatmeubilair op de bruggen gaat in tegen het gekozen concept van de zuivere verbinder. Op de landhoofden worden wel zowel banken als prullebakken geplaatst. Daardoor krijgen de eilanden ook nog meer een functie van tussenstop, waardoor de oversteek voor de wandelaar fysiek, maar ook mentaal in delen kan worden opgeknipt.

18. Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk wordt teruggekeken over het afstudeerproject. De hoofddoelstelling van dit afstudeerproject is het ontwerp van een living bridge over het IJ in Amsterdam.

Het afstudeerproject bestaat uit een onderzoeksdeel en een ontwerpdeel. In het onderzoeksdeel is een oriënterende studie gedaan naar de locatie van de brug, de functionele en programmatische mogelijkheden, en de technische en veiligheidstechnische randvoorwaarden.

Het ontwerpdeel bestaat weer uit twee ontwerpfasen. In de eerste ontwerpfase is een conceptontwerp gemaakt, waarin in een aantal stappen wordt toegewerkt naar een masterplan. Dit plan doet vooral uitspraken op stedenbouwkundige schaal. In de tweede ontwerpfase werd dieper ingegaan op een aantal onderdelen van het masterplan. Daarbij is een constructief ontwerp gemaakt voor de hefbrug, de torens en de onderbouw.

De conclusies kunnen op eenzelfde manier worden behandeld. In het onderzoeksdeel behandelt elk hoofdstuk een specifiek probleem, waar vrij direct conclusies aan verbonden kunnen worden. Deze conclusies worden dan ook per hoofdstuk gegeven. In het ontwerpdeel zijn de conclusies eerder een beschrijving van de ontwerpbeslissingen. Daarbij is er veel meer samenhang tussen de verschillende hoofdstukken. Een beslissing over de hefbrug heeft directe invloeden op de torens en de onderbouw. Toch zal ook hier de hoofdstukindeling worden aangehouden bij het bespreken van de conclusies.

Na de conclusies per hoofdstuk (18.1) wordt in paragraaf 18.2 een aantal hoofdconclusies getrokken voor het gehele project. Paragraaf 18.3 geeft enkele aanbevelingen voor verder onderzoek.

18.1 Conclusies per hoofdstuk

Deel I

Hoofdstuk 2. Het afstudeerproject

Voor de volledigheid wordt hier de probleemstelling en de hoofddoelstelling uit hoofdstuk 2 weergegeven.

Probleemstelling

Hoewel Amsterdam al jaren probeert om de noordoever van het IJ te betrekken bij het stadsleven, ligt het gebied nog steeds relatief geïsoleerd van het centrum. De brug zorgt voor een fysieke en visuele verbinding van de twee IJ-oeveren.

Een vaste oeververbinding over het IJ zorgt ervoor dat bewoners van noord eenvoudiger te fiets of te voet naar het centrum kunnen. Om ook mensen uit het centrum naar de andere kant van het centraal station te krijgen, moet er een reden zijn om over te steken. Dit extra programma kan op de noordoever worden gesitueerd, maar ook op de brug zelf. Dan wordt de brug een living bridge.

Doelstelling

Het hoofddoel van dit afstudeerproject is het ontwerp van een living bridge over het IJ in Amsterdam. Het project bestaat uit drie delen: oriëntatie, conceptontwerp en constructief ontwerp.

Hoofdstuk 3. De living bridge

De term living bridge heeft verschillende betekenissen. De in dit onderzoek gebruikte definitie van de living bridge is een brug met extra programma. De brug wordt daarmee niet alleen een verbindend element, maar ook een plek die zelf bezocht kan worden. Dit is van belang in verband met de probleemstelling, die stelt dat de brug ook een gebruiksfunctie kan krijgen.

Hoofdstuk 4. Havengebieden

In hoofdstuk 4 is een vergelijkende studie gedaan naar herontwikkelde havengebieden. De stedelijke havengebieden die bij het terugtrekken van de industriële gletscher achterblijven hebben vaak een groot potentiaal. Maar om deze gebieden geschikt te maken voor opname in de stedelijke leefomgeving dient men zich bewust te zijn van dit potentiaal, en van de beperkingen van het terrein. Juist de achtergebleven resten van de havengebieden kunnen goed als uitgangspunt dienen voor nieuwe ontwikkeling.

In relatie tot de living bridge over het IJ kan gesteld worden dat hoewel rond de locatie van de brug weinig overblijfselen zijn van de havenactiviteiten, de industriële schaal wel degelijk nog aanwezig is. De zware geleidewerken voor de scheepvaart en de materialisering van de onderbouw van de eilanden sluiten aan bij deze havenschaal.

Hoofdstuk 5. Amsterdam

De bevolkingsopbouw van noord met veel gezinnen en relatief weinig jongvolwassenen zal met de plannen voor de noordelijke IJ-oeveren veranderen naar een meer evenwichtig verdeelde bevolkingsopbouw. Daardoor sluit het gebied beter aan met het centrum, en komt de noordoever meer in aanmerking voor verschillende culturele functies. Daarnaast kan worden geconcludeerd dat zowel de noordelijke als de zuidelijke IJ-oeveren in de toekomst veel meer bij de stad worden betrokken, door de grootschalige plannen van de gemeente. Dit betekent respectievelijk meer keuzevrijheid in gebruiksfuncties voor de living bridge, en een sterkere validatie van het nut van een living bridge over het IJ.

Hoofdstuk 6. Projectkader

De brug wordt ontworpen voor voetgangers en fietsers. Autoverkeer heeft de beschikking over de IJ-tunnel, openbaar vervoer over de Noord/Zuidlijn. Voetgangers en fietsers hebben bovendien het meeste behoefte aan een zichtbare, bovengrondse verbinding. Ook het waterverkeer is een belangrijke doelgroep, voornamelijk voor de extra

functies op of aan de brug. Als extra programma van de living bridge wordt naast cultuur, wonen en werken ook een park voorgesteld. Dit park zal door zijn ligging ook gebruikt worden door bewoners van het centrum.

Als locatie van de living bridge wordt het gebied achter het centraal station gesteld.

De scheepvaart over het IJ is een belangrijke randvoorwaarde. Er wordt gesteld dat de rijnvaart zonder oponthoud de brug moet kunnen passeren. Cruiseschepen en SAIL-schepen moeten eveneens kunnen passeren, maar kort oponthoud (voor het openen van een brugdeel) wordt daarbij toegelaten. Verder is een aantal eisen gesteld ten aanzien van voetganger- en fietsverkeer.

Hoofdstuk 7. Veiligheid

Het vervoer van gevaarlijke stoffen langs de brug is een belangrijke randvoorwaarde. Ten aanzien van de veiligheid voor personen op de brug of in het aangrenzend programma wordt een aantal beperkingen gesteld voor het vervoer van gevaarlijke stoffen. Er worden twee mogelijke configuraties voor de vaargeulen gegeven:

1. *Twee vaargeulen met gescheiden vaarrichtingen*

- Gasschepen alleen 's nachts
- Overig vervoer gevaarlijke stoffen ook overdag
- 10^{-6} -contour op 0 meter van rand vaargeul
- Op alle eilanden in principe dag en nacht
- Verblijfsfuncties mogelijk

2. *Eén vaargeul voor gevaarlijke stoffen*

- Vervoer gevaarlijke stoffen alleen 's nachts
- 10^{-6} -contour op 25 meter van rand vaargeul
- Middelste eilanden verblijfsfuncties overdag

Hoofdstuk 8. Aanvaarbeveiliging

De brug en de aangrenzende functies zullen worden blootgesteld aan aanvaringsrisico's. Ter bescherming van de personen op de brug en de eilanden is een veiligheidsstrategie opgesteld voor aanvaringsrisico's. Schade aan het schip dient in principe te worden voorkomen, maar is te verkiezen

boven schade aan brug en gebouwen. Daarbij wordt de veiligheid van de gebruikers van de brug belangrijker geacht dan het schadevrij houden van het schip.

Uit deze strategie volgt een aantal maatregelen. De hoofdvaargeul wordt smal, en wordt geflankeerd door geleidewerken. Kleine koersafwijkingen kunnen worden opgevangen, grotere afwijkingen worden vermeden door de smalle vaargeul. Schepen die naast de vaargeul terechtkomen worden afgeremd door de ondiepe bodem. Voor de verschillende typen aanvaarbeveiliging door grond en constructies zijn principeberekningen uitgevoerd. Daaruit kunnen bruikbaarheid en de benodigde afmetingen worden gevonden.

Deel II

Hoofdstuk 9. Concepten

Het eerste deel van het ontwerp bestaat uit een conceptuele studie voor de living bridge, met als uitgangspunt het samenspel tussen de infrastructuurfunctie en de extra functies van de brug. Er zijn vier concepten opgesteld.

Verbinder

De verbinder gaat uit van de traditionele opbouw van de living bridge, met een eenduidig stuk lijninfrastructuur, met daaraan toegevoegd de extra functies. Deze functies blijven daarbij gescheiden van de verkeersroute.

Stromende ruimte

De verschillende toegevoegde functies vormen hier de basis van de brug. De openbare ruimte stroomt door de functies heen, en wordt onderdeel van deze functies.

Stad aan de oevers

In dit concept wordt de sprong van het centrum naar noord opgesplitst in meerdere kleine sprongen. Aan beide oevers wordt een nieuwe stadsstrook gebouwd. De eigenlijke sprong naar noord wordt dan gereduceerd tot een sprong over het IJ tussen deze twee stadsstroken.

Stad in het IJ

Het vierde concept bestaat uit een stedelijke opbouw van ruimten en plekken. De stad wordt doorgetrokken tussen de twee oevers, waardoor een nieuw stuk stad ontstaat.

Op basis van de hiervoor besproken randvoorwaarden is vervolgens de keuze gemaakt voor het concept verbinder. Dit concept lijkt het meest uitvoerbaar in verband met de zware scheepvaartseisen. Bovendien lijkt hierbij het meest interessante constructieve ontwerp te kunnen worden ontwikkeld.

Hoofdstuk 10. Ruimtelijk ontwerp

In het ruimtelijk ontwerp wordt onderscheid gemaakt tussen de brug, de aansluiting met het centraal station en de aansluiting met de noordoever.

Centraal station

De aansluiting tussen het stationseiland en de brug voor fietsers wordt op het niveau van het busstation geplaatst. Het hoogteverschil van kade tot brug wordt daardoor opgeknipt in twee etappes. Voetgangers hebben toegang tot de brug vanaf het kadeniveau, en stijgen vanaf daar naar de benodigde hoogte.

Noordoever

Op de noordoever sluit de brug aan op het tolhuisterrein. Er wordt uitgegaan van de situatie volgens de gemeentelijke plannen. Daarbij worden wel enige aanpassingen gemaakt. De noordoever tussen het nieuwe Shell-kantoor en het IJ-plein wordt opgedeeld in vijf zones: campus, wig, strip, Tolhuisterrein, Sixhaven. De voornaamste wijziging ten opzichte van de gemeentelijke plannen is de verdichting van het stedelijke weefsel. Bovendien worden de functies van de verschillende zones versterkt naar de IJ-oever toegericht.

Brug

De brug bestaat uit een heldere verkeerszone, met daarlangs verschillende op zichzelf staande functieblokken. Deze functiezones dienen ook als tussenstops in de oversteek. Daardoor wordt de mentale drempel voor de voetganger verkleind.

<i>Vaargeulen</i>	<i>breedte</i>	<i>doorvaarthoogte</i>
Pleziervaargeul	35 m	2,70 m
Hoofdvaargeul	35 m	9,10 m (50 m)
Tweede vaargeul	35 m	9,10 m

Frequentie openen brug: max. 2 x per dag (zomer)

<i>Brug</i>	<i>Voetgangers</i>	<i>Fietsers</i>
Maximale helling	7 %	2 %
Breedte (per richting)	5 m	2 m

Gebouwen

Gebouwhoogte 50 - 70 m

Hoofdstuk 11. Constructieve concepten

Voor het concept verbinder zijn verschillende constructieve concepten gegenereerd. Daarbij werden de basculebrug, de hefbrug en de opkrullende brug als meest haalbare concepten gekozen voor een living bridge. Daaruit is de hefbrug gekozen om verder uit te werken. Deze variant geeft uitgebreide mogelijkheden tot het toevoegen van extra functies, die bovendien de constructieve werking van de brug ondersteunen.

Hoofdstuk 12. Masterplan

De verschillende delen van het ontwerp zijn vervolgens verder uitgewerkt tot een masterplan.

Stationsplein

De kade aan de achterzijde van het station wordt plaatselijk verbreed tot een bescheiden plein, met een horecagelegenheid en aanlegmogelijkheid voor kleine en grotere schepen.

Eilanden

De brug voert over vier eilanden. Elk eiland bestaat uit een kade, een plint en een opbouw aan beide zijden van de verkeersroute. De kade en de plint bevatten (semi-) openbare functies zoals horeca. In de opbouwen bevinden zich woon- en werkfuncties.

Het eerste eiland vanaf het station is een voortzetting van het stationsplein, met een hotel en horeca. Aan de noordzijde van het eiland ligt een derde opbouw, met woningen. Het tweede eiland bevat in de plint een museum en ateliers, en in de opbouwen kantoren. Dit eiland is ook nog goed bereikbaar per boot, en heeft een vrij publiek karakter. Het derde eiland is minder goed bereikbaar over water, en huist voornamelijk kantoren en kantoorgerelateerde functies. Het vierde eiland bevat woningen en een kantoor van de havenautoriteit.

Noord

Aan de noordoever sluit de brug aan op het Tolhuisplein, een plein met horeca. Het plein met bebouwing dient als verdelende zone. Vanaf hier kan men kiezen om naar het westen naar het Shell-plein, verder landinwaarts naar het Tolhuispark, of naar het oosten naar de Sixhaven te gaan.

Deel III

Hoofdstuk 13. Ontwerp hefbrug

De hefbrug wordt uitgevoerd als een stalen vakwerkconstructie in de vorm van een lensligger. Een eerder ontwerp met een boogvakwerkligger en een verbreed brugdek werd niet in overeenstemming gedacht met het concept *verbinder*.

Het brugdek in het uiteindelijke ontwerp is in tweeën gedeeld. Aan de ene zijde van het dek bevinden zich het fietspad en een smalle voetgangerszone voor doorgaand verkeer. De andere zijde bevat een brede voetgangerszone. Het hefmechanisme bestaat uit doorgaande hefkabels, die aan de bovenzijde zijn opgehangen aan een groot hef wiel, en aan de onderzijde worden aangedreven door een serie kleinere wielen in de onderbouw. Het contragewicht hangt aan de tegenoverliggende zijde van de hefbrug. Toegang tot de brug geschiedt vanaf een verbindende vloer tussen twee torens aan elke zijde van de hefbrug.

Hoofdstuk 14. Ontwerp torens

De torens op de twee middelste eilanden zijn hier verder uitgewerkt. De torens zijn zodanig ontworpen dat zowel een kantoorfunctie als een hotel en woningen in de bovenbouw kunnen worden geplaatst. Daarvoor is een kolommenstructuur met hart-op-hart afstand van 6,0 meter gekozen.

De kantoorverdiepingen worden ingericht in een kantoorzone, met aan beide zijden een service- en infrastructuurzone, en een korte kantoorzone op de kop. Het spectaculaire uitzicht op de kopruimtes wordt volledig benut door hier dubbelhoge ruimtes te plaatsen.

De bovenste verdiepingen worden ingericht als publieke functies, met een restaurant en een uitzichtdek. De verdieping aansluitend op het brugdek geeft toegang tot de bovenliggende kantoren en tot de publieke functies daarboven. Deze twee toegangen worden gescheiden, waarbij de liften naar de publieke functies ook toegang geven tot de hefbrug in geheven stand.

De plint van het tweede eiland huist een museum, ateliers, een restaurant en een café. Op het derde eiland bevinden zich in de plint een kinderdagverblijf, een zwembad en een sportschool en een lunchcafé.

De gevel van de bovenbouw bestaat uit een systeem met meerdere lagen. Er gelden verschillende randvoorwaarden voor de verschillende gevels met betrekking tot bezonning, brand en explosies. Met dit systeem van verschillende lagen blijven de verschillende gevels familie van elkaar, terwijl elke gevel voldoet aan de specifieke eisen.

De plint wordt uitgevoerd als zware betonnen draagconstructie, met een gevel van afwisselend glas en baksteen. De stramiervoering sluit aan op de bovenbouw, terwijl de ruwe uitstraling contrasteert met de fijne torens.

Hoofdstuk 15. Stabiliteitsberekening toren

Het draagsysteem van de torens bestaat uit een staalconstructie met negen stramien. De verticale elementen zijn ronde buisprofielen, de vloer is een staalplaatbetonvloer op IFB-

liggers. De stabiliteits-elementen zijn vakwerkverbanden van stalen buisprofielen, deels gevuld met beton.

Door de relatieve slankheid van de toren levert de stabiliteit vrij veel problemen.

Belastingen loodrecht op de lange gevel kunnen worden afgedragen wanneer de stabiliteitsverbanden in het smalle deel van de toren dubbel worden uitgevoerd, over stramien G en H. Deze variant wordt verkozen boven een dubbel verband op stramien G of betonnen schijven als stabiliteits-elementen. Stramien B heeft voldoende breedte om hier een enkel verband toe te passen.

Belastingen loodrecht op de korte gevel kunnen niet worden afgedragen wanneer de verbanden slechts over een stramien worden geplaatst. Het plaatsen van verbanden over meerdere stramien of het verbreden van het eerste stramien is niet gewenst. Er wordt daarom gekozen de beide torens op het eiland te verbinden door middel van drie sets kruisverbanden.

Hoofdstuk 16. Ontwerp onderbouw

De bodemsamenstelling onder de living bridge levert aanzienlijke problemen voor de fundering. De aanwezigheid van de tunnel van de Noord/Zuidlijn is een extra beperking. Deze twee beperkingen leiden tot de keuze voor funderen van de eilanden op een tafelconstructie. Deze tafel wordt ondersteund op palen en diepwanden tot de tweede zandlaag. Op deze manier wordt het toevoegen van extra bovenbelasting op de bovenste grondlagen vermeden, en daarmee grote zakkings die nadelig zijn voor de metrotunnel. Er is grofweg 1 paal van $0,4 \times 0,4 \text{ m}^2$ per $8,0 \text{ m}^2$ nodig. De middelste verbanden (stramien A en B; ter plaatse van de hefbrug) worden gefundeerd op een koker van diepwanden van 1,0 m dik. De buitenste verbanden (stramien G en H) worden gefundeerd op een paalgroep met een paal per $2,25 \text{ m}^2$.

De geleidewerken worden verdeeld in drie klassen. De geleidewerken langs de hoofdvaargeul worden samengesteld uit een dubbele rij palen met $D = 500 \text{ mm}$ en $t = 30 \text{ mm}$,

verbonden met een horizontale buis met $D = 700$, $t = 30$. Langs de tweede vaargeul wordt een vergelijkbare constructie geplaatst, met gereduceerde paal- en buisafmetingen. De kade langs de overige vaargeulen wordt beschermd door een buis op een enkele rij palen.

Hoofdstuk 17. Ontwerp overige bruggen

Naast de hefbrug heeft de living bridge nog vier overspanningen. De overige bruggen geven niet alleen toegang tot het brugdekniveau, maar in enkele gevallen ook tot kadeniveau. Daardoor ligt een constructie voor de hand die mee buigt met de voetpaden. De bruggen worden uitgevoerd als boogbrug. De eerste twee bruggen dragen hun spatkrachten af via een trekkabel tussen de parkeergarage op het stationseiland en de diepwanden op het tweede eiland. De vierde en vijfde brug werken samen als een naar beide zijden uitkragende brug. Op deze manier worden in beide gevallen de spatkrachten niet op de ondergrond afgedragen.

De bruggen worden uitgevoerd in staal. Het brugdek bestaat uit een geprofileerde staalplaat, met een hardhouten dek ter plaatse van de voetgangerszones en een met bitumen beklede vlakke staalplaat bij het fietspad. Verlichting en leuning worden in lijn met de verticalen van de hoofdconstructie geplaatst en worden eveneens uitgevoerd in staal, met een hardhouten leuningregel.

18.2 Hoofdconclusies

- De ontwikkelingen in Amsterdam-Noord en aan de noordelijke en zuidelijke IJ-oeveren zullen pas echt goed in de stad functioneren wanneer de beide oeveren verbonden worden door een vaste oeververbinding.
- Deze verbinding trekt niet alleen bewoners van noord naar het centrum, maar ook bezoekers naar noord wanneer ze wordt uitgevoerd als living bridge.
- De scheepvaart speelde en speelt nog steeds een belangrijke rol voor Amsterdam, en is daarom een zeer belangrijke randvoorwaarde voor de living bridge.
- Het vervoer van gevaarlijke stoffen over het water kan door middel van de voorgestelde veiligheidsstrategie met twee configuratie van de vaargeulen blijven gebeuren. Wel wordt in een van de twee configuraties het gasvervoer en in de andere configuratie al het vervoer van gevaarlijke stoffen beperkt tot de nacht.
- Aanvaringen van cruise-schepen en binnenvaartschepen zijn door de toegepaste veiligheidsstrategie en een juiste configuratie van aanvaarbeveiligingen geen belemmering voor het bouwen in het IJ.
- De conceptstudie levert verschillende interessante ideeën. Gezien het belang van de scheepvaart en het SAIL-evenement is de *verbinder* het meest haalbare concept.
- Door het ruimtelijk ontwerp uit te breiden tot de aangrenzende zones op de beide oeveren wordt een betere inpassing van de brug in de stad bereikt.
- De eilanden in het IJ met extra functies zorgen voor een continuering van de stedelijke ruimte. Daardoor wordt de oversteek een minder grote mentale sprong.

- De hefbrug is het meest interessante constructieve concept voor de living bridge, ook omdat daarbij de toegevoegde functies tegelijk een constructieve functie (van heftoren) vervullen.
- De vorm van de hefbrug als lensligger brengt tot uitdrukking dat de brug zowel opgelegd kan worden op vaste punten als opgehangen aan kabels.
- Het plaatsen van de hefinstallatie in de onderbouw reduceert belastingen en trillingen in de torens.
- De hefbrug dient tot een hoogte van 62,8 m boven waterniveau te worden geheven, zodat de vrije doorvaarthoogte van 60,5 m wordt behaald.
- Een systeem van liften garandeert een korte wachttijd bij heffen van de brug. In geheven stand kan via de liften alsnog overgestoken worden.
- Het kadeniveau ligt voor de twee middelste eilanden op 1,5 m boven waterniveau, het brugdekniveau op 11,5 m.
- Boven het kadeniveau, één of twee tussenniveau's en het brugdekniveau is ruimte voor 12 kantoorniveau's, die ook kunnen worden ingericht als hotelkamers of woningen. Daarboven bevinden zich een volledige en een halve publieke verdieping en een uitzichtdek.
- Door het uitgebreide programma en de hoogwaardige binnenruimtes kunnen de hoge kosten van het complex worden terugverdiend. De gewilde en goed bereikbare locatie draagt daaraan bij.
- Door de lichte bovenbouw met een staalconstructie en een transparante plattegrondopbouw blijft een gevoel van openheid behouden.
- De uit meer lagen bestaande gevel geeft een gevoel van onduidelijkheid en spanning, waardoor het gebouw langere tijd kan blijven boeien.
- De zware en industriële onderbouw geven de kade en de plint een uitstraling die goed past bij het ruwe karakter van het IJ en de voormalige havens.
- De fundering van de brug en de eilanden verdient door de slechte ondergrond en de aanwezige metrotunnel extra aandacht. Door het gebruik van een tafelconstructie worden grote zakkingen voorkomen, en wordt de uitvoering van de bouw vereenvoudigd.
- De verschillende brugdelen zijn door het gebruik van dezelfde materialen, elementen en detaillering familie van elkaar, terwijl de vorm van elke brug uiting geeft aan de constructieve werking.
- De living bridge als geheel, met de bruggen, eilanden en torens is een interessante en waardevolle toevoeging aan de stad Amsterdam.

18.3 Aanbevelingen

Verder onderzoek is altijd gewenst. In dit afstudeerproject is een grote verscheidenheid aan onderwerpen bestudeerd. Voor het bereiken van het hoofddoel van het project, het ontwerpen van een living bridge over het IJ in Amsterdam was het nodig op elk van deze thema's in te gaan. Dit leverde echter wel de beperking dat van elk thema slechts een beknopte studie gemaakt kon worden. Hieronder worden voor de belangrijkste onderdelen van het onderzoek suggesties gegeven voor verder onderzoek. De aanbevelingen beperken zich tot benodigd onderzoek voor het realiseren van een living bridge over het IJ. Elk

van de onderzoeksthema's kan een studie op zich zijn, maar daarop wordt hier niet verder ingegaan.

- De studie naar de ontwikkelingen in noord en langs de oevers is gedaan op basis van de plannen van de gemeente. Nu de eerste delen van de plannen gerealiseerd zijn zou een nauwkeurigere studie naar de sociale en culturele ontwikkelingen van de verschillende gebieden van nut zijn voor de haalbaarheid van de brug, en de invulling van de extra functies.

- Ook zou gekeken kunnen worden naar de mogelijkheid de gemeentelijke ontwikkelingsplannen voor noord voort te zetten aan de oostelijke noordoever. Dan zou ook de tweede voorgestelde locatie voor een brug - ter hoogte van het Java-eiland - een interessante mogelijkheid worden.

- Ten aanzien van de veiligheid bij meervoudigruimtegebruik en het vervoer van gevaarlijke stoffen kan nog veel onderzoek gedaan worden. Het onderzoeksgebied is nog maar matig ontgonnen, en wordt een steeds belangrijker element in ontwerpgegevens als de living bridge.

Om een nauwkeurige uitspraak te kunnen doen van het groepsrisico in de nieuwe situatie, zal een uitvoerige studie gedaan moeten worden naar de mogelijke calamiteiten en de bijbehorende kansen van voorkomen en aantallen te verwachten slachtoffers.

In het amsterdamse geval zal daarbij overigens betere communicatie met het Gemeentelijk Havenbedrijf noodzakelijk zijn. Een opener houding van de kant van het Havenbedrijf tegenover plannen is daarbij wel noodzakelijk.

- Bij de studie naar aanvaringen is getracht een overzicht te geven van de verschillende vormen van aanvaarbeveiliging. Daarbij werd voor elk type beveiliging een indicatieve berekening uitgevoerd. Vooral in het geval van scheepskeringen door middel van de bodem zijn deze

berekeningen nog zeer onnauwkeurig. Wanneer er werkelijk in het IJ gebouwd zal worden, zal een uitvoerige studie naar aanvaringsbeveiliging nodig zijn. De recente aanvaring van het restaurant aan de noordelijke IJ-oever bewijst dit nog eens. Hoewel het hier slechts een rijncruise betrof, een schip vele malen kleiner dan een zee-cruise-schip, was de schade aanzienlijk.

Het valt overigens te overwegen om bij een dergelijk grote ingreep als de living bridge, gelijk de cruise-terminal naar de zeezijde van de brug te verplaatsen.

- De bodemgesteldheid onder het IJ is een probleem dat grote aandacht vereist. Met de beperkte informatie konden voor dit ontwerp slechts globale uitspraken gedaan worden over de manier van funderen. Verder onderzoek is noodzakelijk.

- In dit onderzoek is de financiële haalbaarheid van het ontwerp niet onderzocht. Het spreekt voor zich dat in het geval van een reëel ontwerp een uitvoerige financieel-economische analyse zal moeten worden uitgevoerd.

- Een laatste punt van aanbeveling is het maken van alternatieve ontwerpen. Elk gerealiseerd project kan beter worden wanneer er meer ontwerpideeën zijn gegenereerd. Een andere ontwerper heeft andere ideeën en voorkeuren. Het in dit afstudeerproject gemaakte ontwerp wordt niet beschouwd als het juiste ontwerp. Het is slechts een van de vele mogelijkheden voor een living bridge over het IJ.

Referenties deel I

1. Inleiding

-

2. Het afstudeerproject

-

3. De living bridge

...

4. Havengebieden

Boeken en publicaties

BBPDC (2003) *Brooklyn Bridge Park Concept Plan* (New York) BBPDC

Bone, K. red. (2004) *The New York waterfront, evolution and building culture of the port and harbor* (New York) Monacelli

Gastil, R. (2002) *Beyond the edge: New York's new waterfront* (New York) Princeton

Ibelings, H. red. (1998) *Metropolis and naturalis: urban beacons, 1997-1998 architecture in the Netherlands Yearbook* (Rotterdam) NAI

Schopman, J. (2002) *Living Bridges: A building solution from the past for the future, Report 1* (Delft) TU Delft

Toy, M. red. (1994) *Designing the future of the South Bank* (Londen) Academy

Artikelen

BBPDC (Brooklyn Bridge Park Development Corporation) *Press release* (2001) *In Brooklyn: from blueprint to parkland* (31 juli) Daily Plant, City of New York / Parks & Recreation, vol. 16, nr. 3417 (New York)

Muschamp, H. (1998) *Where iron gives way to beauty and games* (13 december) New York Times (New York) p. 35

Rocca, A. (1997) *Urban surrealism: a green box in the bay of Amsterdam* (december) Lotus international, nr. 95 (Milaan) p. 12

Internet

Arup (juli 2005) *Millennium Bridge*, van: <www.arup.com/millenniumbridge>

5. Amsterdam

Boeken

Heinemeijer, W. en M. Wagenaar (1987) *Amsterdam in Kaarten* (Ede) Zomer en Keuning
Koot, T. red. (1975) *De glorie van Amsterdam* (Amsterdam/Brussel) Elsevier

Kaartmateriaal

Kadaster (2004) *Geo-informatie Amsterdam* (kaart) 1:10.000. AutoCAD dxf (Emmen) Kadaster, Topografische Dienst
ter beschikking gesteld door: TU Delft, Faculteit Bouwkunde (2005)

Internet

Amsterdam (mei 2005) *Geschiedenis van Amsterdam*, van: <www.amsterdam.nl>
IJ-oever (mei 2005) *Masterplan Zuidelijke IJ-oever*, van: <www.ijoevers.nl>
Java-eiland (juli 2005) *Java-eiland als woonwijk*, van: <www.oostelijkhavengebied.nl>
Noord (mei 2005) *Het ontstaan van Amsterdam Noord*, van: <www.noord.amsterdam.nl>
Onstat (juli 2005) *Amsterdam in cijfers*, Jaarboek 2004, van: <www.onstat.amsterdam.nl>
Sail (juni 2005) *Sail Amsterdam 2005*, van: <www.sail.nl>
Stationseiland (juli 2005) *Coördinatie Stationseiland*, van: <www.stationseiland.amsterdam.nl>
Stenen Hoofd (juli 2005) *Stichting Het Stenen Hoofd*, van: <www.stenenhoofd.nl>

Gesprekken

Koreman, W. (juni 2005) *Oriënterend gesprek* (Amsterdam) Ingenieursbureau Amsterdam
Lange, G. (juni 2005) *Stationseiland* (Amsterdam) Dienst Infrastructuur Verkeer en Vervoer
Stuffers, R. (april 2005) *Oriënterend gesprek* (Amsterdam) Dienst Ruimtelijke Ordening
Veldhuizen, H. van (mei 2005) *Noord-Zuidlijn* (Amsterdam) Projectbureau Noord/Zuidlijn
Soeters, S. (juni 2005) *Lezing* (Delft) TU Delft

6. Projectkader

Boeken

Hansen, I. (2001) *College Verkeer, deel B: Ontwerp van wegen en spoorwegen* (Delft) TU Delft

Artikelen en publicaties

DOW (1989) *Verkenning van de mogelijkheden van een brug over het IJ voor fietsers en voetgangers* (Amsterdam) DOW

DRO (2004) *Beknopte beschrijving van project: Oeververbinding* (Amsterdam) DRO

IBA (jaartal onbekend) *Rapport: Fiets/voetbrug over het IJ* (Amsterdam) IBA

RONA (1986) *Richtlijnen voor het ontwerpen van niet-autosnelwegen* (Den Haag) RONA

Internet

Filmmuseum (juli 2005) *Nieuwe Huisvesting*, van: <www.filmmuseum.nl>

Gemeentearchief (juli 2005) *Centraal Station*, van: <gemeentearchief.amsterdam.nl>

Havenbedrijf (juni 2005) *Havenkaart*, van: <www.amsterdamports.nl>

IJ-oevers (mei 2005) *Masterplan Zuidelijke IJ-oevers*, van: <www.ijoevers.nl>

IJ-plein (juli 2005) *Vogelbuurt/IJ-plein nieuws*, van: <www.bewoners.net/vogeldorpijplein>

Noord (mei 2005) *Masterplan Noordelijke IJ-oever*, van: <www.noord.amsterdam.nl>

Nul20 (juli 2005) *Herinrichting Shell-terrein*, van: <www.nul20.nl/nr21>

Pan Canal (juli 2005) *The Panama Canal*, van: <www.pan Canal.com>

Rijkswaterstaat (juli 2005) *Hoofdvaarroutes*, van: <www.rws.nl>

Sail (juni 2005) *Sail Amsterdam*, van: <www.sail.nl>

Ship-technology (juni 2005) *Queen Mary II*, van: <www.ship-technology.com>

Sixhaven (juli 2005) *Sixhaven*, van: <www.sixhaven.nl>

Stationseiland (juli 2005, a) *Stationseiland, Historie*, van: <www.stationseiland.amsterdam.nl>

Stationseiland (juli 2005, b) *Feiten en cijfers Stationseiland: historie*, van: <www.stationseiland.amsterdam.nl>

Tolhuis (juli 2005) *Tolhuis*, van: <www.tolhuis.nl>

Gesprekken

Rebel, P. (juni 2005) *Bodemgegevens* (Amsterdam) Ingenieursbureau Amsterdam

Veldhuizen, H. van (mei 2005) *Noord-Zuidlijn* (Amsterdam) Projectbureau Noord/Zuidlijn

Overig

IBA (1994-2005) *Bodemgegevens Amsterdam* (sonderingen) geprint (Amsterdam, Delft) Omegam, GeoDelft ter beschikking gesteld door: Ingenieursbureau Amsterdam (2005)

7. Veiligheid

Boeken

CCR (2002) *Economische ontwikkeling van de Rijnvaart 2002* (Straatsburg) Centrale Commissie voor de Rijnvaart

Heitink, J. en L. Mentink (2003) *Risicoatlas hoofdvaarwegen Nederland* (Enschede) RWS, Adviesgroep AVIV

Suddle, S. (2004) *Physical safety in multiple use of space, proefschrift* (Delft) TU Delft

Kaartmateriaal

Rijkswaterstaat (1985) *Waterstaatskaart van Nederland, Amsterdam Oost* (kaart) 1:50.000 (Delft) RWS, Meetkundige Dienst

Internet

Externe veiligheid (oktober 2005) *Externe veiligheid, online kenniscentrum*, van: <www.externe-veiligheid.nl>

Gesprekken

Roos, G.J. (oktober 2005) *Risico's meervoudig ruimtegebruik* (Delft) TU Delft

Jongejan, R. (november 2005, juni 2006) *Risico's en risicoanalyse* (Delft) TU Delft

8. Aanvaarbeveiliging

Boeken

- Alonso, M. en E. Finn (1996) *Fundamentele natuurkunde* (Overberg) Delta
- Baars, S. van (2002) *Handboek constructieve waterbouw* (Delft) TU Delft
- Groenveld, R. (1999) *Capacities of inland waterways* (Delft) TU Delft
- Joustra, N. en R. Pater (1993) *Aanvaarbeveiliging door schepen op starre constructies* (Delft) TU Delft
- Tol, A. van (2001) *Funderingstechnieken* (Delft) TU Delft
- Verruijt, A. (1999) *Grondmechanica* (Delft) TU Delft
- Wagemans, L. (2002) *Infomap constructieer* (Delft) TU Delft
- Zanten, D. van (onbekend) *Aanvaring waterbouwkundige constructies, Eindrapport* (Delft) TU Delft
- Zanten, D. van (onbekend) *Aanvaring waterbouwkundige constructies, Literatuurstudie* (Delft) TU Delft

Papers en artikelen

- Allersma, H. (2004) *Centrifuge tests on some soil-structure interaction problems*, in: *Int. Conference on offshore and polar engineering, ISOPE2004* (Toulon) p. 459-463.
- Allersma, H. en I. Schoonbeek (2005) *Centrifuge modeling of scouring ice keels in clay*, in: *Int. Conference on offshore and polar engineering, ISOPE2005* (Seoul) p. 404-409.
- Woisin, G. (1971) *Schiffbauliche Forschungsarbeiten für die Sicherheit kernenergiegetriebener Handelsschiffe*, in: *Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft, Volume 65* (Berlin) p. 225-263.

Internet

- Cruiseweb (augustus 2005) *Cruiseschepen informatie*, van: <www.cruiseweb.nl>
- Havenbedrijf (juni 2005) *Cruiseschepen*, van: <www.amsterdamports.nl>
- Serv (augustus 2005) *Havenjargon*, van: <www.serv.be>

Overige bronnen

- VFD (1998) *Gegevens Ms. Amsterdam* (schetsen, tekst) pdf (Utrecht) VFD Architecten (2005)
- dIVV (2004) *Beeldmateriaal Noord/Zuidlijn* (CD-ROM) jpg (Amsterdam) dIVV, Projectbureau Noord/Zuidlijn (2005)
- dIVV (2005) *Herinrichting IJzijde Stationseiland* (CD-ROM) jpg (Amsterdam) dIVV, Projectbureau IJSei (2005)
- Krijgsman, H. (augustus 2005) *Aanvaarbeveiligingen Muziekgebouw* (e-mail) ABT

Referenties deel II

9. Concepten

Internet

SBP (juli 2005) *Steg Innenhafen Duisburg*, van: <www.sbp.de>

Gesprekken

Bosch, Prof. J. (aug 2005) *Oriënterend gesprek* (Delft) TU Delft

10. Ruimtelijk ontwerp

Kaartmateriaal

Kadaster (2004) *Geo-informatie Amsterdam* (kaart) 1:10.000. AutoCAD dxf (Emmen) Kadaster, Topografische Dienst ter beschikking gesteld door: TU Delft, Faculteit Bouwkunde (2005)

Internet

Noord (mei 2005) *Masterplan Noordelijke IJ-oever*, van: <www.noord.amsterdam.nl>

11. Constructieve concepten

-

12. Masterplan

-

Referenties deel III

13. Ontwerp hefbrug

Boeken

Coelman, B. (1992) *Beweegbare verkeersbruggen* (Voorburg) Bouwdienst Rijkswaterstaat

Dekker, W. (1979) *Bruggen, Nederlandse bruggen in woord en beeld* (Den Haag) Voorlichting Verkeer en Waterstaat

Eldik, C. van, red. (1996) *Overspannend Staal, Construeren B* (Den Haag) Kennisoverdracht SG

Wagemans, L. (2002) *Infomap constructieer* (Delft) TU Delft

Normen

Nederlands Normalisatie-instituut (NNI) (1997) *Technische grondslagen voor bouwconstructies: TGB 1990, Staalconstructies* (NEN 6770) (Delft) NNI

Nederlands Normalisatie-instituut (NNI) (2000) *Technische grondslagen voor bouwconstructies: TGB 1990, Verbindingen* (NEN 6772) (Delft) NNI

Nederlands Normalisatie-instituut (NNI) (2001, I) *Technische grondslagen voor bouwconstructies: TGB 1990, Belastingen en Vervormingen* (NEN 6702) (Delft) NNI

Nederlands Normalisatie-instituut (NNI) (2001, II) *Voorschriften voor het ontwerpen van beweegbare bruggen* (NEN 6786) (Delft) NNI

Nederlands Normalisatie-instituut (NNI) (2003) *Het ontwerpen van beweegbare bruggen - Veiligheid* (NEN 6787) (Delft) NNI

Nederlands Normalisatie-instituut (NNI) (2005, I) *Technische grondslagen voor bouwconstructies: TGB 1990, Verkeersbelastingen op bruggen* (NEN 6706) (Delft) NNI

Nederlands Normalisatie-instituut (NNI) (2005, II) *Voorschriften voor het ontwerpen van stalen bruggen* (NEN 6788) (Delft) NNI

Bovenstaande normen zijn ter beschikking gesteld door: TU Delft, Centrale Bibliotheek (2005, 2006)

Internet

Rijkswaterstaat (juli 2005) *Hoofdvaaarroutes*, van: <www.rws.nl>

Gesprekken

Remery, F. (februari 2006) *Beweegbare bruggen* (Den Haag) Nederlandse Bruggenstichting

Programma's

MatrixFrame (Matrix Software), versie 1.3

GSA (Oasys), versie 8.1

14. Ontwerp torens

Boeken

- Eldik, C. van, red. (2005) *Verdiepingbouw met staal* (Zoetermeer) Bouwen met Staal
Neufert, E. (2000) *Neufert Architects' Data*, 3^e ed. (Oxford, GB) Blackwell;
1^e ed. gepubliceerd (1970) door (Londen) Crosby Lockwood Staples;
Originele duitse uitgave: Neufert, E. (1998) *Bauentwurfslehre*, 35^e ed. (Wiesbaden) Friedr, Vieweg & Sohn

15. Stabiliteitsberekening toren

Boeken

- Eldik, C. van, red. (2005) *Verdiepingbouw met staal* (Zoetermeer) Bouwen met Staal
Vrijman, C.F. (1999) *Mechanica van Constructies 1b, Samenvattingen* (Delft) TU Delft
Wagemans, L. (2002) *Infomap constructieer* (Delft) TU Delft

Normen

- Nederlands Normalisatie-instituut (NNI) (1997) *Technische grondslagen voor bouwconstructies: TGB 1990, Staalconstructies* (NEN 6770) (Delft) NNI
Nederlands Normalisatie-instituut (NNI) (1997) *Technische grondslagen voor bouwconstructies: TGB 1990, Stabiliteit* (NEN 6771) (Delft) NNI
Nederlands Normalisatie-instituut (NNI) (2000) *Technische grondslagen voor bouwconstructies: TGB 1990, Verbindingen* (NEN 6772) (Delft) NNI
Nederlands Normalisatie-instituut (NNI) (2001, I) *Technische grondslagen voor bouwconstructies: TGB 1990, Belastingen en Vervormingen* (NEN 6702) (Delft) NNI

Internet

- Corus (maart 2006) *ASB-liggers*, van: <www.corus.nl>
Durchengineering (maart 2005) *Comflor*, van: <www.dutchengineering.nl>

16. Ontwerp onderbouw

Boeken

Tol, A.F. van (2001) *Funderingstechnieken* (Delft) TU Delft

Verruijt, A. (1999) *Grondmechanica* (Delft) Delft University Press

Gesprekken

Ientema, Jan Jelte (augustus 2006) *Busstation IJ-zijde* (Delft) Coördinatie Stationseiland, hoofd dagelijks toezicht

Rohe, Alex (augustus 2006) *Geotechnisch advies* (Delft) TU Delft, Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen

Overig

IBA (1994-2005) *Bodemgegevens Amsterdam* (sonderingen) geprint (Amsterdam, Delft) Omegam, GeoDelft
ter beschikking gesteld door: Ingenieursbureau Amsterdam (2005)

Voor uitgebreide referenties over de bouwactiviteiten rond het Centraal Station, zie referenties deel I, hoofdstuk 6.

17. Ontwerp overige bruggdelen

Boeken

Hansen, I. (2001) *College Verkeer, deel B: Ontwerp van wegen en spoorwegen* (Delft) TU Delft

Publikaties

RONA (1986) *Richtlijnen voor het ontwerpen van niet-autosnelwegen* (Den Haag) RONA

Illustratieverantwoording

Titelpagina

Illustratie door auteur

1. Inleiding

-

2. Het afstudeerproject

-

3. De living bridge

CGFA (februari 2006) internet: <cgfa.sunsite.dk>: 26

Raguenet, N. en J. Raguenet, (1756) *The joust of the watermen between the Pont Notre-Dame and the Pont au Change (looking towards the Pont au Change)* olieverf op canvas (Parijs) Musée Carnavalet, uit:

Murray P. en M. Stevens (1996) *Living Bridges, The inhabited bridge, past, present and future* (München) Prestel: 21, 27

Salomons, I. (2003) *Architectuur en Geschiedenis* (Delft) TU Delft: 23 linksonder

Smit, L. red. (1996) *De sprong over het IJ, Visionaire ontwerpen van Jan Galman* (Amsterdam) Thoth Bussum: 28, 29

Ste2run (februari 2006) internet: <www.ste2run.tripod.com>: 23 rechtsonder

Trekearth (februari 2006) internet: <www.trekearth.com>: 23 rechtsboven

4. Havengebieden

Gastil, R. (2002) *Beyond the edge: New York's new waterfront* (New York) Princeton: 31, 32, 34 rechts, 35 rechts

Houston, G. (juli 2005) internet: <www.arglist.com/photos>: 36 rechts

NSC (juli 2005) internet: <www.nsc.liu.se/wg25/book/ch1>: 36 links

Piano, R. (juli 2005) internet: <www.renzopiano.com>: 38, 39 linksonder

Toy, M. red. (1994) *Designing the future of the South Bank* (Londen) Academy: 37

UN Studio (juli 2005) internet: <www.unstudio.com>: 39 rechtsboven, rechtsonder

Overige illustraties door auteur

5. Amsterdam

Heinemeijer, W. en M. Wagenaar (1987) *Amsterdam in Kaarten* (Ede) Zomer en Keuning: 44 linksboven, bewerkt door auteur
BMZ (juni 2005) internet: <www.bmz.amsterdam.nl>: 41
Kaartmateriaal: Kadaster (2004) *Geo-informatie Amsterdam* (kaart) 1:10.000. AutoCAD dxf (Emmen) Kadaster, Topografische
Dienst; ter beschikking gesteld door: TU Delft, Faculteit Bouwkunde (2005): 48, 52, bewerkt door auteur
Noord (mei 2005) internet: <www.noord.amsterdam.nl>: 44 overig, bewerkt door auteur; 45, bewerkt door auteur
Onstat (juli 2005) internet: <www.onstat.amsterdam.nl>: 42, statistieken (illustraties door auteur)

6. Projectkader

dIVV (2004) *Beeldmateriaal Noord/Zuidlijn* (CD-ROM) jpg (Amsterdam) dIVV, Projectbureau Noord/Zuidlijn (2005): 64
Havenbedrijf (juni 2005) internet: <www.amsterdamports.nl>: 65 onder
IBA (1994-2005) *Bodemgegevens Amsterdam* (sonderingen) geprint (Amsterdam, Delft) Omegam, GeoDelft
ter beschikking gesteld door: Ingenieursbureau Amsterdam (2005): 65 boven, bodemgegevens
(illustratie door auteur)
IJ-oever (mei 2005) internet: <www.ijoevers.nl>: 69, 70 links, 71
Kaartmateriaal: Kadaster (2004) *Geo-informatie Amsterdam* (kaart) 1:10.000. AutoCAD dxf (Emmen) Kadaster,
Topografische Dienst; ter beschikking gesteld door: TU Delft, Faculteit Bouwkunde (2005): 56, 57, 58, 59, 60, 62,
65; alle bewerkt door auteur
Neufert, E. (2005) *Bauentwurfslehre* (Wiesbaden) Vieweg: 74, bewerkt door auteur
Noord (mei 2005) internet: <www.noord.amsterdam.nl>: 56 (bewerkt door auteur), 67
Projectbureau Noord/Zuidlijn (2004) *Beeldmateriaal Noord/Zuidlijn* (CD-ROM) jpg (Amsterdam) dIVV: 70 rechts
RONA (1986) *Richtlijnen voor het ontwerpen van niet-autosnelwegen* (Den Haag) RONA: 75, bewerkt door auteur
Sixhaven (juli 2005) internet: <www.sixhaven.nl>: 68 rechts
Tolhuis (juli 2005) internet: <www.tolhuis.nl>: 68 links

7. Veiligheid

Jongejan, R. (november 2005) *Risico's en risicoanalyse* (gesprek) schets (Delft) TU Delft: 85, 86, bewerkt door auteur
Suddle, S. (2004) *Physical safety in multiple use of space, proefschrift* (Delft) TU Delft: 77,78, 80, bewerkt door auteur
Overige illustraties door auteur

8. Aanvaarbeveiliging

Allersma, H. en I. Schoonbeek (2005) *Centrifuge modeling of scouring ice keels in clay*, in: *Int. Conference on offshore and polar engineering, ISOPE2005* (Seoul): 100 rechtsboven, rechtsonder
dIVV (2005) *Herinrichting IJzijde Stationseiland* (CD-ROM) jpg (Amsterdam) dIVV, Projectbureau IJSei (2005): 111
IJ-oever (mei 2005) *Masterplan Zuidelijke IJ-oever*, van: <www.ijoevers.nl>: 112
VFD (1998) *Gegevens Ms. Amsterdam* (schetsen, tekst) pdf (Utrecht) VFD Architecten (2005): 92
Overige illustraties door auteur

9. Concepten

SBP (juli 2005) internet: <www.sbp.de>: 129 linksonder, illustratie door auteur
Overige illustraties door auteur

10. Ruimtelijk ontwerp

Noord (mei 2005) internet: <www.noord.amsterdam.nl>: 131, 137 (beide bewerkt door auteur)
Overige illustraties door auteur

11. Constructieve concepten

Alle illustraties door auteur

12. Masterplan

Alle illustraties door auteur

13. Ontwerp hefbrug

Alle illustraties door auteur

14. Ontwerp torens

Eldik, C. van, red. (2005) *Verdiepingbouw met staal* (Zoetermeer) Bouwen met Staal: 213, bewerkt door auteur
Overige illustraties door auteur

15. Stabiliteitsberekening toren

Alle illustraties door auteur

16. Ontwerp onderbouw

dIVV (2004) *Beeldmateriaal Noord/Zuidlijn* (CD-ROM) jpg (Amsterdam) dIVV, Projectbureau Noord/Zuidlijn (2005): 253

dIVV (2005) *Herinrichting IJzijde Stationseiland* (CD-ROM) jpg (Amsterdam) dIVV, Projectbureau IJSei (2005): 252

Havenbedrijf (juni 2005) *Havenkaart*, van: <www.amsterdamports.nl>: 255, bewerkt door auteur

IBA (1994-2005) *Bodemgegevens Amsterdam* (sonderingen) geprint (Amsterdam, Delft) Omegam, GeoDelft

ter beschikking gesteld door: Ingenieursbureau Amsterdam (2005): 249: locatie sonderingen

(illustratie door auteur, op basis van Kadaster, 2004); 250, 251, 262, 263: sonderingen, bewerkt door auteur

Kaartmateriaal: Kadaster (2004) *Geo-informatie Amsterdam* (kaart) 1:10.000. AutoCAD dxf (Emmen) Kadaster,

Topografische Dienst; ter beschikking gesteld door: TU Delft, Faculteit Bouwkunde (2005): 249; bewerkt door auteur

ToI, A. van (2001) *Funderingstechnieken* (Delft) TU Delft: 261, bewerkt door auteur

Overige illustraties door auteur

17. Ontwerp overige brugdelen

Insecula (oktober 2006) *Passerelle Solférino*, van: <www.insecula.com>: 286 links

RONA (1986) *Richtlijnen voor het ontwerpen van niet-autosnelwegen* (Den Haag) RONA: 283, bewerkt door auteur

18. Conclusies en aanbevelingen

-

