

Bouwend Nederland/Vakgroep Civiele Betonbouw

Werkgroep Systems Engineering

“Praktijk voorbeeld Systems Engineering in de Civiele Betonbouw”

Inhoudsopgave

1	Praktijk voorbeeld Systems Engineering	3
1.1	De inleiding	3
1.2	De toelichting activiteiten binnen SE proces model	3
1.3	Het voorbeeldproject brug/duiker over de vaart.	4
2	Het specificatie proces	5
2.1	Het analyseren eisen	5
2.2	De functionele analyse.....	6
3	Het ontwerpproces	8
3.1	Het genereren opties en het uitwerken varianten.....	8
3.2	Beoordelen varianten en kiezen oplossing	9
3.3	Het uitwerken van het ontwerp.....	9
3.4	Het verifiëren van het ontwerp	10
4	Decomponeren van objecten en eisen	12
5	Realisatieproces	14
5.1	Activiteitenboom (WBS)	14
5.2	Uitvoeringsplannen en werkplannen	15
5.3	Het keuren en testen.....	15
6	Bijlagen.....	16
6.1	Bijlage: Basis vraagspecificatie.....	17
6.2	Bijlage: Ontwerpspecificatie per object	19

Overzicht met figuren

<i>Figuur 1: Systems Engineeringmodel</i>	<i>3</i>
<i>Figuur 2: proces specificeren</i>	<i>5</i>
<i>Figuur 3: Voorbeeld objectenboom (SBS)</i>	<i>7</i>
<i>Figuur 4: Voorbeeld specificatieboom</i>	<i>7</i>
<i>Figuur 5: Ontwerpproces</i>	<i>8</i>
<i>Figuur 6: Ingevulde objectenboom (SBS).....</i>	<i>10</i>
<i>Figuur 7: Het iteratieve engineeringproces</i>	<i>12</i>
<i>Figuur 8: Uitgewerkte objectenboom (SBS)</i>	<i>13</i>
<i>Figuur 9: Voorbeeld activiteitenboom (WBS)</i>	<i>14</i>

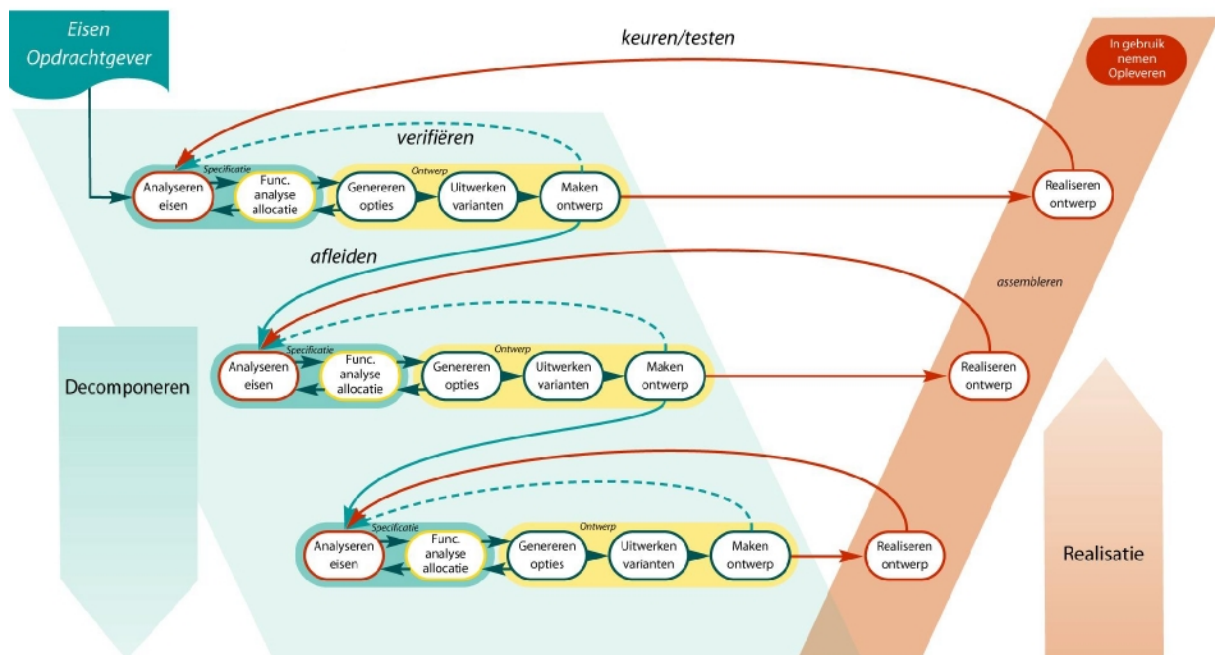
1 Praktijk voorbeeld Systems Engineering

1.1 De inleiding

Voor de GWW-sector is een leidraad Systems Engineering ontwikkeld, waarin is het proces van Systems Engineering beschreven. Om een antwoord te geven op de vraag; hoe je Systems Engineering kunt toepassen op een project, is deze bijlage van leidraad opgesteld. In deze bijlage van de leidraad worden de verschillende stappen in Systems Engineering nader toegelicht aan de hand van een (eenvoudig) praktijkvoorbeeld. Het voorbeeld betreft een duiker/brug, genaamd "de verbinding", in de een afwateringskanaal "de Vaart".

1.2 De toelichting activiteiten binnen SE proces model

In de leidraad systems Engineering zijn de technische processen beschreven en is het Systems Engineering proces model globaal toegelicht. Het uitwerken van het praktijk voorbeeld is op basis van Systems Engineering model.



Figuur 1: Systems Engineeringmodel

Om de processen binnen Systems Engineering nader toe te lichten, worden er in de volgende hoofdstukken een aantal typische SE processen uitgewerkt. Het betreft de hieronder opgesomde processen.

1. Specificeren
2. Ontwerpen
3. Realiseren

Er zal per proces een uitleg plaatsvinden en genoemd worden welke producten er te verwachten zijn. Aan de hand van een eenvoudig voorbeeldproject zal elk proces verder geïllustreerd worden.

1.3 Het voorbeeldproject brug/duiker over de vaart.

De gemeente is voornemens een brug of duiker, genaamd "de verbinding", te laten bouwen ten behoeve van het aansluiten van de ontsluitingsweg industrieterrein op de regionale weg. De ontsluitingsweg kruist hierbij een afwateringskanaal "de Vaart". De nieuwe ontsluiting dient geschikt te zijn voor zowel wegverkeer als fietsverkeer. Het werk omvat de ontwerp- en realisatieactiviteiten voor de "de verbinding" als mede de wegverharding t.b.v. de aansluiting. Voor de gewenste situatie is een specificatie opgesteld. Voor het structureren van deze specificatie wordt gebruik gemaakt van een eisenboom. Een eisenboom is een hiërarchisch overzicht van de eisen, vaak doormiddel van codering met vermelding van bovenliggende en onderliggende eis. De topeisen zijn weergegeven in onderstaande tabel, de totale specificatie is weergegeven in bijlage 6.1.

Topeisen opdrachtgever

Code	Eis	Beschrijving	boven	onder
1	Faciliteren wegverkeer, topeis	De verbinding dient geschikt te zijn voor het faciliteren van wegverkeer en fietsverkeer		1.1 t/m 1.5
2	Kuisen omgeving door wegverkeer, topeis	De verbinding dient te zorgen dat het wegverkeer de omgeving ongehinderd doorkruist.		2.1 t/m 2.3
3	Externe raakvlakeisen, algemeen	De verbinding dient aan te sluiten op externe raakvlakken.		3.1 t/m 3.2
4	Beschikbaarheid, levensduur	De verbinding dient zodanig uitgevoerd te zijn dat alle onderdelen met inachtneming van het benodigde onderhoud in stand blijven gedurende de ontwerplevensduur.		4.1 t/m 4.2
5	Vormgeving, afwerking	De verbinding dient zodanig te zijn uitgevoerd dat de afwerking van objecten met een voldoende kwaliteitsniveau is geschied.		Geen

2 Het specificatie proces

Het proces van specificeren bestaat uit een tweetal deel processen, namelijk:

1. Analyseren eisen
2. Functionele analyse

De *input* voor dit proces is zijn de eisen en de behoefte van belanghebbenden (opdrachtgever en stakeholders). In onderstaande figuur is schematisch het proces van specificeren weergegeven.



Figuur 2: proces specificeren

2.1 Het analyseren eisen

Uitleg

Er worden door de opdrachtgever verschillende eisen/functie geformuleerd. Deze specificatie gaat tot op een bepaald detailniveau van eisen. De eisen moeten worden aangevuld en geconcretiseerd door de opdrachtnemer. In deze fase worden dan ook de functies omgezet in eisen en worden eisen waar nodig doorvertaald naar meer gedetailleerde eisen. Bij het analyseren van de eisen spelen wordt onder meer gekeken naar de volgende punten:

§ *Zijn de eisen volledig en eenduidig.*

Hierbij wordt in overleg de eisen doorlopen en waar nodig aangevuld. Dit gebeurt vaak door middel van vragenlijsten of overlegondes.

§ *Zijn de eisen verifieerbaar.*

De eisen moeten "SMART" zijn en uitgedrukt in bijvoorbeeld hoeveelheden, beschikbaarheid en prestatie. Het SMART maken van eisen kan door middel van de eis te vertalen naar gedetailleerde onderliggende eisen.

Producten

- § Programma van eisen
- § Eisenboom

Voorbeelden: volledig en eenduidigheid eisen.

Vraag aan opdrachtgever:

De verbinding dient voorzien te zijn van twee droge loopstroken. Welke eisen worden aan deze loopstroken gesteld?

Antwoord van opdrachtgever:

Het antwoordt wordt gegeven door middel van het toevoegen van onderliggende eisen 2.3.1.1 t/m 2.3.1.3

Code	Eis	Beschrijving	boven	onder
2.3.1	Verbinden ecologie, algemeen	De verbinding dient voorzien te zijn van twee droge loopstroken.	2.3	2.3.1.1 t/m 2.3.1.3
2.3.1.1	Verbinden ecologie, breedte	De loopstroken dienen een minimale breedte van 60 cm te hebben.	2.3.1	Geen
2.3.1.2	Verbinden ecologie, vrije ruimte	De ruimte tussen de loopstroken en de plafonds van de verbinding dient minimaal 75 cm te bedragen.	2.3.1	Geen
2.3.1.3	Verbinden ecologie, hoogte	De loopstroken dienen minimaal 20 cm boven het waterpeil te liggen.	2.3.1	Geen

Vraag aan opdrachtgever:

Het afwerkingniveau dient van voldoende kwaliteitsniveau te zijn. Wat wordt verstaan onder het begrip "voldoende kwaliteitsniveau"?

Antwoord van opdrachtgever:

Het antwoordt wordt gegeven door middel van het toevoegen van onderliggende eisen 5.1 t/m 5.3

Code	Eis	Beschrijving	boven	onder
5	Vormgeving, afwerking	De verbinding dient zodanig te zijn uitgevoerd dat de afwerking van objecten met een voldoende kwaliteitsniveau is geschied.		5.1 t/m 5.3

Code	Eis	Beschrijving	boven	onder
5.1	Vormgeving, afwerking beton	De verbinding dient zodanig te zijn afgewerkt dat de vlakheid van definitieve, in het zicht blijvende, betonoppervlakken voldoet aan klasse A conform NEN 6722:2000.	5	Geen
5.2	Vormgeving, coating beton	De verbinding dient zodanig te zijn afgewerkt dat in het zicht blijvende definitieve beton oppervlakken voorzien zijn van een anti graffiti coating.	5	Geen
5.3	Vormgeving, afwerking staal	De verbinding dient zodanig te zijn afgewerkt dat in het zicht blijvende definitieve staal oppervlakken ofwel thermisch verzinkt zijn ofwel voorzien zijn van een gekleurde coating.	5	Geen

Voorbeelden: voorbeelden verifieerbaarheid eisen "SMART"

Vraag:

Wat maakt een weg geschikt voor een maximumsnelheid van 80 km/h?

Verifieerbaar maken:

De betreffende e eis 1.1.4 is verifieerbaar door middel van het toevoegen van onderliggende eisen

1.1.4.1 t/m 1.1.4.4

Code	Eis	Beschrijving	boven	onder
1.1.4	Doorstromen, snelheid wegverkeer	De verbinding dient geschikt te zijn voor wegverkeer met een maximumsnelheid van 80 km/h.	1.1	1.1.4.1 t/m 1.1.4.4
1.1.4.1	Doorstromen, snelheid wegverkeer, rijstrookbreedte	De rijstrook breedte per rijrichting dient 2,75 m' te bedragen, gemeten tussen de markeringen	1.1.4	Geen
1.1.4.2	Doorstromen, snelheid wegverkeer, rijrichtingscheiding.	De rijrichtingscheiding dient 0,80 m' te bedragen, gemeten tussen de markeringen	1.1.4	Geen
1.1.4.3	Doorstromen, snelheid wegverkeer, objectafstand	De objectafstand tot bermbeveiliging dient minimaal 1,00 m' te bedragen, gemeten vanaf binnenzijde kantstreep.	1.1.4	Geen
1.1.4.4	Doorstromen, snelheid wegverkeer, markeringsbreedte	De breedte van de markeringen dient 0,15 m' te bedragen	1.1.4	Geen

Vraag:

Wat moet de capaciteit (prestatie) van de afvoer zijn om het hemelwater op afdoende wijze op te vangen en af te voeren?

Verifieerbaar maken:

De betreffende eis 1.5.2 is verifieerbaar door middel van het toevoegen van onderliggende eis 1.5.2.1

Code	Eis	Beschrijving	boven	onder
1.5.2	Keren hemelwater, opvangen en afvoeren	De verbinding dient zodanig uitgevoerd te zijn dat hemelwater op afdoende wijze wordt opgevangen en afgevoerd.	1.5	1.5.2.1
1.5.2.1	Keren hemelwater, maatgevende regenbui	De verbinding dient gedimensioneerd te zijn op een maatgevende regenbui met een hoeveelheid hemelwater van 184 l/s per hectare.	1.5.2	Geen

2.2 De functionele analyse

Uitleg

Het doel van de functionele analyse en allocatie eisen is om de functies van een systeem om te zetten in objecten en het opstellen van een specificatie, waarin de eisen aan het betreffende object zijn vastgelegd.

Bij een functionele analyse en allocatie worden de volgende stappen genomen:

- § (oplossingsvrije) objecten afleiden uit de gevraagde functies
- § structuur en samenhang aanbrengen in deze objecten
- § Inventariseren raakvlakken tussen objecten.
- § eisen uit de eisenanalyse koppelen aan deze objecten

Door het afleiden van deze objecten en vervolgens hieraan structuur aan te brengen een wordt objectenboom (SBS) opgesteld. Een objectenboom groeit in lagen naarmate het project zijn fasen doorloopt, van grof naar fijn. Door met name in deze fase te kiezen voor oplossingsvrije objecten voorkomt men dat je te snel naar een oplossing wordt gestuurd en eventueel alternatieve gepasseerd worden. In dit praktijkvoorbeeld kan met dus beter spreken van een object "oeververbinding" in plaatse van een concreet object brug of duiker. De definitieve invulling van het object gebeurt in de ontwerpfase (oeververbinding wordt dan brug of duiker).

Door het opdelen van een project in objecten ontstaan raakvlakken tussen de objecten, het éne object is afhankelijk van de gegevens of invulling van een ander object. Aan de raakvlakken worden eisen

en/of beheersmaatregelen gekoppeld worden. Ten behoeve van de raakvlakken analyse wordt vaak gebruikt gemaakt van een raakvlakkenmatrix, hierbij worden alle raakvlakken overzichtelijk in matrix geanalyseerd en weergegeven. Verder kunnen deze raakvlakken eisen gekoppeld worden aan de betreffende objecten, waardoor deze raakvlakken eisen opgenomen worden in de ontwerpspecificaties.

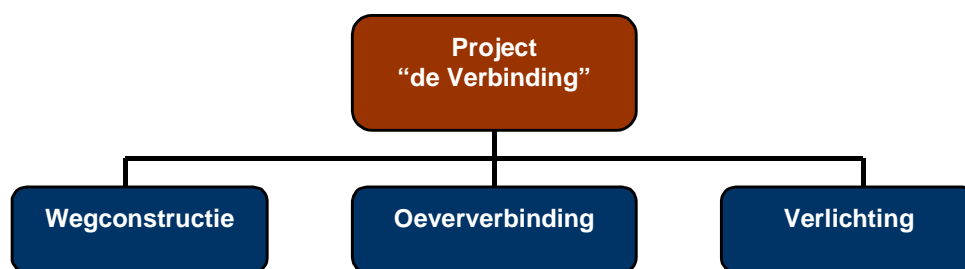
Het resultaat van de eisenanalyse is een overzicht van alle, op dat moment bekende, eisen en raakvlakken. Deze eisen, raakvlakken en eventueel andere informatie, worden gekoppeld aan deze objecten. Hierdoor ontstaat een specificatie per object, die de basis is voor het maken van het ontwerp.

Producten

- § Objectenboom (System Breakdown Structure)
- § Raakvlakkenmatrix
- § Ontwerpspecificaties per object

Voorbeeld: objectenboom (SBS)

Een mogelijke eerste aanzet van een objectenboom voor dit voorbeeldproject zou als volgt eruit kunnen zien.



Figuur 3: Voorbeeld objectenboom (SBS)

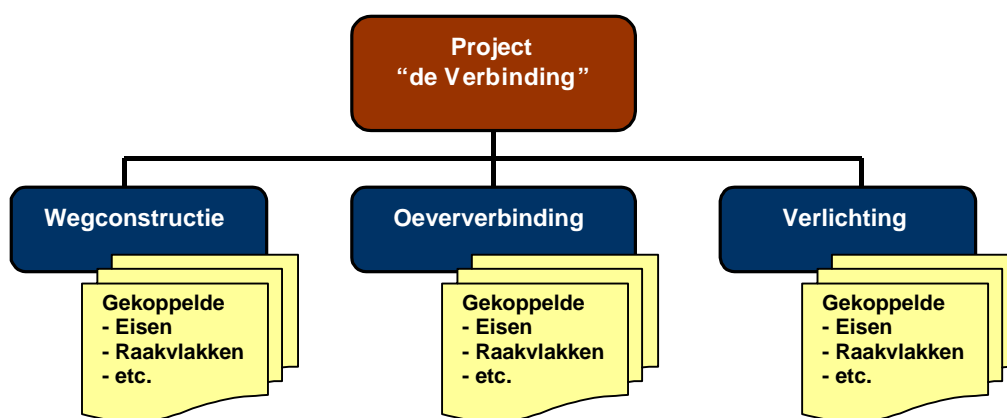
Voorbeeld: raakvlakken.

De breedte van de oeververbinding is afhankelijk van de breedte van de wegconstructie. Er bestaat dus een raakvlak tussen de wegconstructie en de oeververbinding. Dit raakvlak is weergegeven in onderstaande raakvlakkeneis.

Code	Raakvlak tussen	Raakvlakeis	Beheersmaatregel	Verantwoordelijke
I.01	Oeververbinding - wegconstructie	De breedte van de oeverconstructie moet afgestemd worden op de totale breedte van de wegconstructie, inclusief bermbeveiliging.	Verificatie op overeenkomende specificaties	Ontwerper oeververbinding

Voorbeeld: ontwerpspecificaties

Aan de objectenboom worden per object de relevante eisen gekoppeld, illustratief weergegeven in onderstaande figuur. De ontwerpspecificaties voor de verschillende objecten in weergegeven in bijlage 6.2.



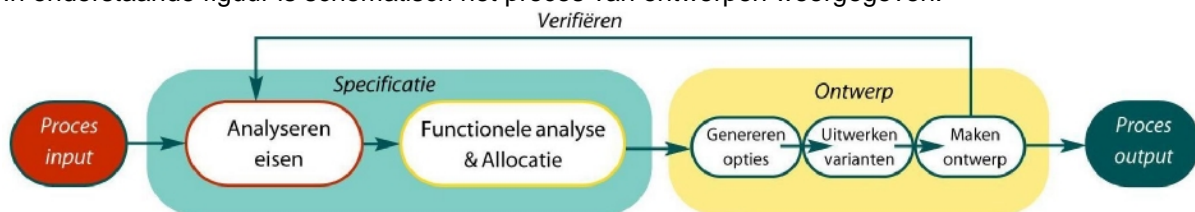
Figuur 4: Voorbeeld specificatieboom

3 Het ontwerpproces

In de voorgaande paragrafen is het specificatie proces weergegeven. Het resultaat van dit proces is de input voor het ontwerp proces Het ontwerpproces wordt in een aantal tussenstappen opgedeeld. Dit bevordert de beheersbaarheid, reproduceerbaarheid en efficiency van het ontwerpproces. Deze tussenstappen zijn:

1. Het genereren opties en het uitwerken varianten
2. Beoordelen varianten en kiezen oplossing (trade off)
3. Uitwerken van het gekozen ontwerp, baselines
4. Verifiëren ontwerp

In onderstaande figuur is schematisch het proces van ontwerpen weergegeven.



Figuur 5: Ontwerpproces

3.1 Het genereren opties en het uitwerken varianten.

Uitleg

Het doel van het genereren en reduceren van opties is om alle mogelijke oplossingsmogelijkheden voor een systeem te bepalen en van daaruit te komen tot een aantal (haalbare) varianten die nader uitgewerkt worden. Het is belangrijk dat in eerste inventarisatie de objecten in de objectenboom (SBS) oplossingvrij zijn omschreven waardoor 'out-of-the-box' denken dit proces wordt gestimuleerd.

Producten

§ Overzicht en beschrijving van varianten en opties

Voorbeeld: Varianten en opties

Voor het object oeververbinding zijn een 4-tal varianten opgesteld overzicht en beschrijven in weergegeven in onderstaand overzicht.

Nr	Schets variant (zijaanzicht)	Omschrijving variant
1		De oeververbinding bij deze variant bestaat uit een stalen zinker in de Vaart, met hierop gronddekking. Op deze gronddekking kan de wegconstructie worden aangebracht. Bij deze variant geen stootplaten noodzakelijk.
2		De oeververbinding bij deze variant bestaat uit een betonnen duiker in de Vaart, waarop de wegconstructie rechtstreeks aangebracht kan worden.
3		De oeververbinding bij deze variant bestaat uit een stalen of betonnen damwand aangebracht in de oevers van de Vaart. Op deze damwanden worden betonnen sloven aangebracht, waarop een betonnen dek kan worden aangebracht.
4		De oeververbinding bij deze variant bestaat uit op een palen gefundeerde betonnen landhoofd, waarop een betonnen dek kan worden aangebracht.

3.2 Beoordelen varianten en kiezen oplossing

Uitleg

Als de varianten nader zijn uitgewerkt, kunnen we de effecten van de varianten ten opzichte van de beoordelingscriteria bekijken. Het maken van de keuze kan op basis van argumenten, maar kan ook op basis van een scoringsmatrix of trade-off matrix. Daarbij krijgen de verschillende beoordelingscriteria een wegingsfactor. De variant die het beste scoort (ofwel die de hoogste “waarde” vertegenwoordigt), wordt uiteindelijk gekozen tot oplossing voor het systeem. Deze keuze moet expliciet worden gemaakt en moet worden vastgelegd.

Producten

§ Expliciete vastlegging van de keuze, bijvoorbeeld in een trade-off matrix.

Voorbeeld: scoringsmatrix

In onderstaand schema is voorbeeld gegeven van een scoringsmatrix. Hierbij wordt de keuze bepaald en vastgelegd van oplossing voor de oeververbinding in de vorige paragraaf. De beste oplossing van een criteria krijgt een 1, de één na beste een 2, enzovoort.

Criteria	Variant 1	Variant 2	Variant 3	Variant 4	
Omschrijving van de oplossing	Een stalen zinker	Een betonnen duiker	Dek met damwanden	Dek met landhoofden	
(maatgevende)eisen					
1.2.1	Dragen verkeersbelasting, algemeen	4	3	2	1
1.2.2	Dragen omgevingsbelasting, algemeen	4	3	2	1
2.2.1	Kruisen door wegverkeer, vaargeul	4	2	1	3
2.2.2	Kruisen door wegverkeer, nat dwarsprofiel	4	2	1	3
2.2.3	Kruisen door wegverkeer, vrije hoogte	4	1	3	2
2.3.1	Verbinden ecologie, algemeen	4	1	3	2
	<i>Gemiddelde score</i>	4	2	2	2
Raakvlakken					
I.01	Raakvlak met wegconstructie	1	2	4	3
	<i>Gemiddelde score</i>	1	2	4	3
Risico's					
R	Totale risico's	4	1	3	2
	<i>Gemiddelde score</i>	4	1	3	2
Kosten indicatie					
K	Totale kosten	1	2	3	4
	<i>Gemiddelde score</i>	1	2	3	4
Totaal					
	<i>Totaal gem. score</i>	2,50	1,75	3	2,75
	<i>Gekozen variant</i>	Gekozen wordt voor variant nummer 2			

3.3 Het uitwerken van het ontwerp

Uitleg

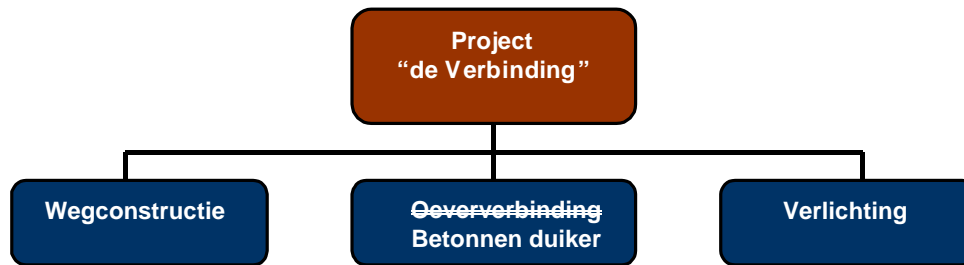
In deze fase wordt het gekozen ontwerp als oplossing voor het systeem nader uitgewerkt en gedimensioneerd. Hierbij geven we de aan het object of het proces gestelde eisen en toegeschreven functies een definitieve invulling tot op het gewenste detailniveau. Het gekozen ontwerp, met de bijhorende definitieve invulling, wordt vaak als “baseline” bevroren, zodat bijvoorbeeld deze in een overeenkomst kan worden opgenomen. Het gaat hier niet alleen om overeenkomsten tussen opdrachtgever en opdrachtnemer, maar ook om interne “contracten” tussen verschillende afdelingen. De baseline vormt dan de basis van de afspraken tussen de betrokken partijen. Tevens wordt het oplossingsvrije object in de objectenboom vervangen of nader ingevuld in door de gekozen oplossing.

Producten

- § Uitgewerkt ontwerp tot een bepaald detailniveau
- § Baseline documenten, bijvoorbeeld voorlopig of definitief ontwerp.
- § Nadere invulling van de objectenboom (SBS)

Voorbeeld: nadere invulling objectboom

Het oplossingsvrije object “oeververbinding” kan worden ingevuld door de gekozen oplossing “betonnen duiker”



Figuur 6: Ingevlde objectenboom (SBS)

3.4 Het verifiëren van het ontwerp

Uitleg

Na het ontwerpproces vindt verificatie plaats. Het doel van de verificatie is objectief aantonen dat het ontwerp in overeenstemming is met de gestelde eisen. Over het algemeen maken we bij het opstellen van een specificatie voor een object tegelijkertijd een verificatiematrix voor dat object. De gekoppelde eisen aan een object in de objectenboom (SBS) zijn tevens de verificatie punten. Nadat we het object vervolgens hebben ontworpen, leggen we in een verificatiematrix vast of het ontwerp al dan niet aan alle gestelde eisen voldoet. Bij een verificatie matrix wordt dikwijls nog onderscheid gemaakt tussen een verificatieplan en een verificatierapport. In een verificatieplan wordt de verificatie punten beschreven met eventueel omschrijving van de verificatie methode. In een verificatierapport worden de resultaten van de verificatie vastgelegd.

Producten

§ Verificatie matrix.

Voorbeeld: Verificatie matrix

In onderstaande tabel is de verificatie matrix gegeven van de betonnen duiker.

Verificatiematrix betonnen duiker

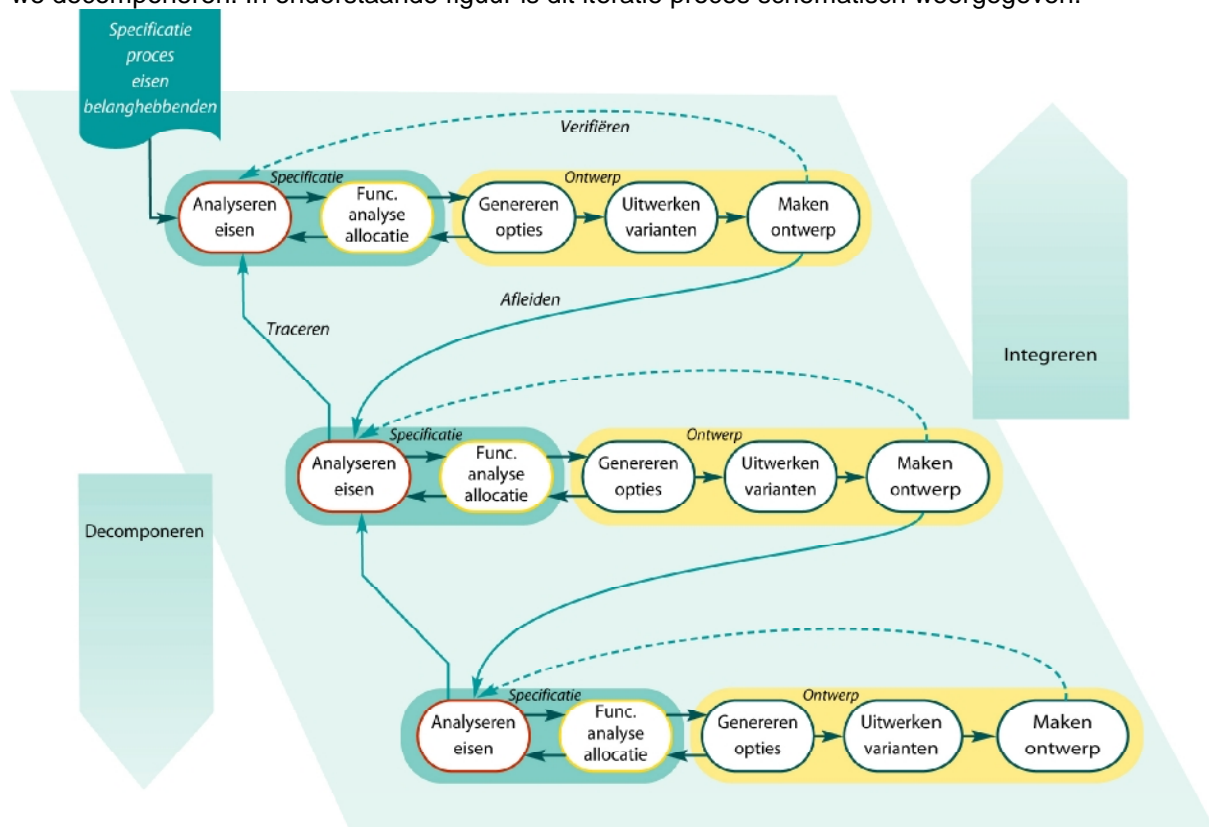
Code	Eis	Beschrijving	Voldoet	Referentie van aantonen
1.2.1.1	Dragen verkeersbelasting, verkeersklasse	De verbinding dient geschikt te zijn voor wegverkeer met verkeersklasse VOSB 60.	Ja	Zie berekening xx-xx
1.2.1.2	Dragen verkeersbelasting, zetting overgangsconstructies	De verbinding dient ter plaatse van de overgangen tussen kunstwerken en aardebanen in een tijdsbestek van 5 jaar na oplevering niet meer zetting te vertonen dan 10 mm/m van het lengteprofiel.		
1.2.2.1	Dragen omgevingsbelasting, veranderlijk en permanent	De verbinding dient bestand te zijn tegen alle veranderlijke en permanente belastingen vanuit de omgeving conform NEN 6702.	Ja	Zie berekening xx-xx
1.2.2.2	Dragen calamiteitenbelasting, algemeen	De verbinding dient bestand te zijn tegen alle belastingen veroorzaakt door calamiteiten zoals beschreven in NEN6702.	Ja	Zie berekening xx-xx
2.1	Kruisen door wegverkeer, conflictvrij	De verbinding dient voorzien te zijn van een conflictvrije, bovenlangs kruising van het wegverkeer en fietsverkeer met de Vaart.	Ja	Zie tekening xx-xx
2.2.1	Kruisen door wegverkeer, vaargeul	De verbinding dient geschikt te zijn voor het passeren van een maaiboot, de afmeting van de maaiboot zijn 1,0 * 2,5 m. heeft.	Ja	Zie tekening xx-xx
2.2.2	Kruisen door wegverkeer, nat dwarsprofiel	De verbinding dient een doorstroom profiel te hebben van minimaal 10 m ² , met een maximale diepte van 1,5 m'	Ja	Zie tekening xx-xx
2.2.3	Kruisen door wegverkeer, vrije hoogte	De verbinding dient de vaart zodanig te kruisen dat de onderkant van de constructie op een hoogte ligt van minimaal + 1,50 m. boven waterpeil	Ja	Zie tekening xx-xx
2.3.1.1	Verbinden ecologie, breedte	De loopstroken dienen een minimale breedte van 60 cm te hebben.	Ja	Zie tekening xx-xx
2.3.1.2	Verbinden ecologie, vrije ruimte	De ruimte tussen de loopstroken en de plafonds van de verbinding dient minimaal 75 cm te bedragen.	Ja	Zie tekening xx-xx
2.3.1.3	Verbinden ecologie, hoogte	De loopstroken dienen minimaal 20 cm boven het waterpeil te liggen.	Ja	Zie tekening xx-xx

Code	Eis	Beschrijving	Voldoet	Referentie van aantonen
2.3.2	Verbinden ecologie, aansluiting	De loopstroken dienen aan de uiteinden van de verbinding zodanig aan te sluiten op de oevers dat de betreffende fauna de loopstroken kan verlaten dan wel betreden.	Ja	Zie tekening xx-xx
5.1	Vormgeving, afwerking beton	De verbinding dient zodanig te zijn afgewerkt dat de vlakheid van definitieve, in het zicht blijvende, betonoppervlakken voldoet aan klasse A conform NEN 6722:2000.		
5.2	Vormgeving, coating beton	De verbinding dient zodanig te zijn afgewerkt dat in het zicht blijvende definitieve betonoppervlakken voorzien zijn van een antigraffiti coating.		
5.3	Vormgeving, afwerking staal	De verbinding dient zodanig te zijn afgewerkt dat in het zicht blijvende definitieve staaloppervlakken ofwel thermisch verzinkt zijn ofwel voorzien zijn van een gekleurde coating.		
1.01	Raakvlak tussen Oeververbinding en wegconstructie	De breedte van de oeverconstructie moet afgestemd worden op de totale breedte van de wegconstructie, inclusief bermbeveiliging	Ja	Zie weg tekening xx en vormtekening xx-xx

4 Decomponeren van objecten en eisen

Uitleg

Het engineeringproces wordt meestal niet één maal, maar verschillende malen doorlopen. Dit is een iteratieproces waarin de engineering procedures, van specificeren en ontwerpen. Dit proces noemen we decomponeren. In onderstaande figuur is dit iteratie proces schematisch weergegeven.



Figuur 7: Het iteratieve engineeringproces

Op elk detailniveau lager in het engineeringproces decomponeren we het systeem weer verder. Als gevolg van het decomponeren ontstaan tijdens het engineeringproces de zogenaamde 'boomstructuren' van eisen en objecten. Het uiteindelijke resultaat van het engineeringproces is een uitvoeringsgereed ontwerp van het te bouwen systeem.

Producten

- § Volledige eisenboom (met geleide en gedecomposeerde eisen)
- § Volledige objectenboom (SBS)
- § Uitvoeringsgereed ontwerp

Voorbeeld: Afgeleide en gedecomposeerde eisen

Doordat gekozen voor de oplossing van duikerconstructie aangebracht tot onderzijde wegconstructie, dient er extra voorziening voor kabels en leidingen meegenomen te worden. Dit wordt kenbaar gemaakt door afgeleide eis 1.4.1

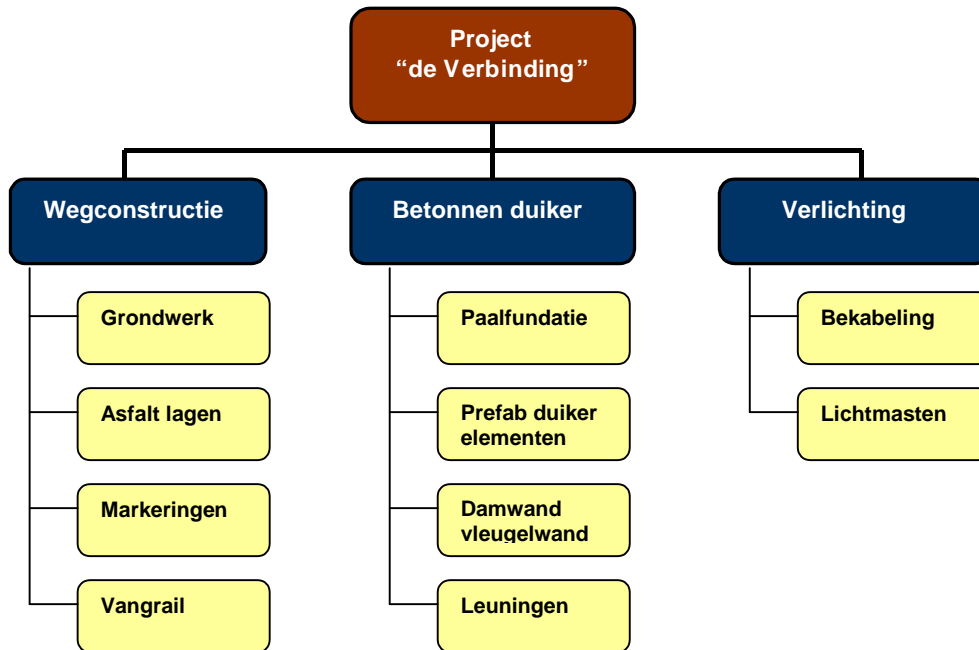
Code	Eis	Beschrijving	boven	onder
1.4	Verbinden, algemeen	De verbinding dient geschikt te zijn voor de aanleg door derden van alle kabel- en leidingverbindingen ten behoeve van het wegverkeer.	1	1.4.1
1.4.1	Verbinden, kabel doorvoerbuizen	De betonnen duiker dient te zijn van kabel doorvoerbuizen t.p.v. schampkanten.	1.4	Geen

Tevens is gekozen voor een betonnen constructie waardoor eis 4.1, betreffende de levensduur van de constructie, verder gespecificeerd kan worden in eis 4.1.1.

Code	Eis	Beschrijving	boven	onder
4.1	Beschikbaarheid, levensduur niet vervangbaar constructie	De levensduur niet vervangbare onderdelen van de verbinding tenminste 100 jaar te bedragen.	4	4.1.1
4.1.1	Beschikbaarheid, levensduur niet vervangbaar betonconstructie	De betonconstructie dient bestand te zijn tegen belastingen uit milieuklasse 3 (vochtig in combinatie met doozouten).	4.1	Geen

Voorbeeld: Volledige objectenboom (SBS)

Door het elke engineeringslag steeds weer dieper te herhalen, wordt het systeem verder opgedeeld in kleinere objecten. Hierdoor wordt meer invulling gegeven aan de verdere detailniveaus van de objectenboom. Uiteindelijk kan dit voor dit beeldproject leiden tot volgende objectenboom (SBS).



Figuur 8: Uitgewerkte objectenboom (SBS)

5 Realisatieproces

Na het engineeringproces, waarin het te realiseren ontwerp is gedefinieerd, volgt het realisatieproces. In deze fase wordt het systeem daadwerkelijk fysiek gerealiseerd. Het realiseren van complexe systemen vindt evenals het engineeringproces gefaseerd plaats. Hierbij worden de verschillende objecten uiteindelijk samengevoegd tot één systeem. Bij de beheersing van het realisatieproces zijn een aantal deelprocessen of activiteiten van belang;

- § Activiteiten boom (WBS)
- § Uitvoerings- en werkplannen
- § Het keuren en testen

5.1 Activiteitenboom (WBS)

Uitleg

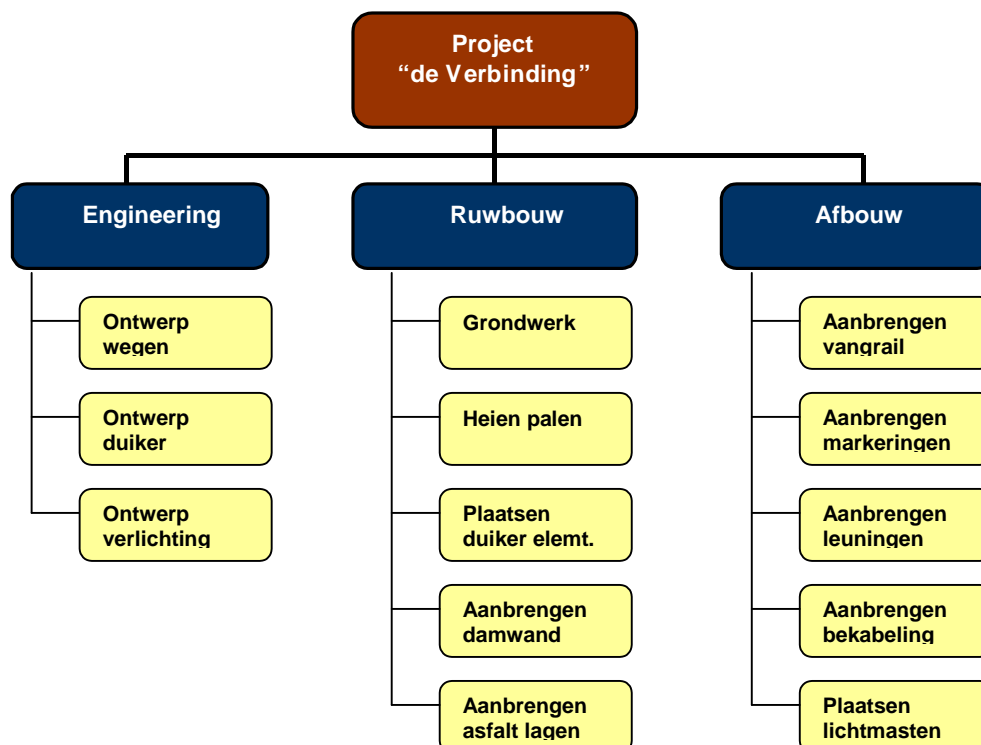
Bij het realisatieproces worden de verschillende objecten gerealiseerd en samengevoegd tot één geheel. Ook tijdens dit proces hebben we te maken beheren en verwerken van verschillende gegevens en informatie, zoals realisatie eisen, raakvlakken, enzovoort. De verschillende activiteiten worden vaak gestructureerd in een activiteitenboom (WBS). Hierbij rangschikken we de activiteiten op basis van tijd en/plaats, de projectplanning wordt vaak hiervoor als basis gebruikt. Aan deze activiteiten kunnen, vergelijkbaar als de objecten bij de objectenboom, de verschillen eisen en raakvlakken worden gekoppeld. Het gestructureerd vastleggen van deze gegevens waarborgt dat de juiste informatie op het juiste moment beschikbaar is voor de realisatie. De activiteiten kunnen we verder groeperen in werkpakketten, welke vaak gebruikt wordt als basis voor de betalingen en vergoedingen.

Producten

- § Activiteiten boom (WBS)

Voorbeeld: activiteitenboom (WBS)

Een mogelijke een activiteitenboom voor dit voorbeeldproject zou als volgt eruit kunnen zien. Hierbij is het werk opgedeeld in een 3-tal hoofdfasen; engineering, ruwbouw en afbouw. Per fase zijn hieraan de verschillende activiteiten gekoppeld.



Figuur 9: Voorbeeld activiteitenboom (WBS)

5.2 Uitvoeringsplannen en werkplannen

Uitleg

Tijdens het engineeringproces is alle informatie gekoppeld aan de objectenboom. Het (uitvoeringsgereed) ontwerp, inclusief de eisen aan het uitvoeringsproces, leveren vanuit het engineeringproces de input voor het realisatieproces. Voor het uitvoeren van (kritische)activiteit en wordt deze informatie, inclusief de beschrijving van de werkmethode, worden vast gelegd in werkplannen.

Producten

§ Uitvoeringsplannen (werkplannen).

Voorbeeld

Het monteren van de prefab betonnen duiker elementen kan als kritische activiteit worden aangeduid. Voor het monteren van de duiker elementen kan een werkplan opgesteld waarin; werkmethode, inzet van equipment, inzet personeel, eisen, risico's, raakvlakken, in vast gelegd kunnen worden.

5.3 Het keuren en testen

Uitleg

Ook in het realisatieproces is sprake van verificatie. Verificatie van eisen in het realisatieproces staat ook wel bekend als keuren ofwel testen. Bij verificatie in het realisatieproces toetsen we of object is gerealiseerd zoals het is ontworpen en zoals het is geëist. Om alle systeemonderdelen te kunnen verifiëren, is het belangrijk om al bij het opstellen van de eisen te beschrijven welke verificatiemethode(n) voldoen. Bij keuren/testen wordt getoetst tegen de eisen, hierbij wordt vaak gebruik gemaakt van de ontwerpdocumentatie.

Producten:

- § Keuringsplan
(een overzicht wat gekeurd moet worden, met omschrijving van de keuringsmethode)
- § Keuringsrapport
(een voerzicht met het resultaat van de keuringen)

Voorbeeld: keuringen

Voor keuren tijdens de realisatie van de duiker zijn diverse keuringen denkbaar. Dit kunnen keuringen zijn ten aanzien van het gemaakte ontwerp, bijvoorbeeld:

- § Kalenderen van heipalen ter toetsing van de draagkracht.
- § Toetsen betonkwaliteit van de duiker elementen.

Maar kunnen ook keuring zijn ten aanzien van realisatie eisen, bijvoorbeeld:

Code	Eis	Beschrijving	Voldoet	Referentie van aantonen
5.1	Vormgeving, afwerking beton	De verbinding dient zodanig te zijn afgewerkt dat de vlakheid van definitieve, in het zicht blijvende, betonoppervlakken voldoet aan klasse A conform NEN 6722:2000.	Ja	Zie keuringsrapport xx

6 Bijlagen

6.1 Bijlage: Basis vraagspecificatie

Code	Eis	Beschrijving	boven	onder
1	Faciliteren wegverkeer, topeis	De verbinding dient geschikt te zijn voor het faciliteren van wegverkeer en fietsverkeer		1.1 t/m 1.5
1.1	Geleiden, algemeen	De verbinding dient het wegverkeer op een efficiënte, comfortabele en veilige wijze te geleiden.	1	1.1.1 t/m 1.1.6
1.1.1	Doorstromen, 2 richtingen	De verbinding dient het mogelijk te maken dat wegverkeer in beide rijrichtingen kan doorstromen.	1.1	Geen
1.1.2	Doorstromen, wegtype	De verbinding dient uitgevoerd te zijn als regionale stroomweg 2x1 conform het Handboek Wegontwerp.	1.1	1.1.2.1 t/m 1.1.2.2
1.1.2.1	Doorstromen, rijstroken	De verbinding dient uitgevoerd te zijn met 2 rijstroken, 1 rijstrook per rijrichting.	1.1.2	Geen
1.1.2.2	Doorstromen, fietsstroken	De verbinding dient uitgevoerd te zijn met 1-zijdig fietsstrook met een breedte van 2 m ¹ .	1.1.2	Geen
1.1.3	Doorstromen, wegconstructie	De verbinding dient uitgevoerd te zijn met een wegconstructie met verharding.	1.1	1.1.3.1 t/m 1.1.3.2
1.1.3.1	Verharding, algemeen	De verharding dient zodanig uitgevoerd te zijn dat de gedefinieerde verkeersbelastingen kunnen worden gedragen.	1.1.3	Geen
1.1.3.2	Verharding, asfalttype	De verharding dient uitgevoerd te zijn als een wegverharding in zeer open asfaltbeton (ZOAB).	1.1.3	1.1.3.2.1
1.1.3.2.1	Verharding, deklaag	De verharding dient uitgevoerd te zijn met een deklaag van tenminste 50 mm dik	1.1.3.1	Geen
1.1.4	Doorstromen, snelheid wegverkeer	De verbinding dient geschikt te zijn voor wegverkeer met een maximumsnelheid van 80 km/h.	1.1	Geen
1.1.5	Markeren, algemeen	De verbinding dient voorzien te zijn van wegmarkering die de te gebruiken rijbanen duidelijk markeren.	1.1	1.1.5.1
1.1.5.1	Markeren, type wegmarkering	De verbinding dient voorzien te zijn van wegmarkering van oplossingsvrij, wit thermoplastisch materiaal.	1.1.5	Geen
1.1.6	Verlichten rijbaan, algemeen	De verbinding dient voorzien te zijn van afdoende openbare verlichting voor het verlichten van de rijbanen.	1.1	1.1.6.1
1.1.6.1	Openbare verlichting, algemeen	Openbare verlichting dient de rijbanen te verlichten.	1.1.6	1.1.6.1.1 t/m 1.1.6.1.2
1.1.6.1.1	Openbare verlichting, verlichtingswaarde	Openbare verlichting dient de gehele weg te verlichten met een gemiddelde waarde van 1 CD/m ² .	1.1.6.1	Geen
1.1.6.1.2	Armaturen, straling	Armaturen dienen uitsluitend de wegverharding te verlichten	1.1.6.1	Geen
1.2	Dragen belastingen, algemeen	De verbinding dient alle mogelijke belastingen op afdoende wijze aan de bodem af te dragen zodat geen belemmeringen voor het wegverkeer ontstaan.	1	1.2.1 t/m 1.2.3
1.2.1	Dragen verkeersbelasting, algemeen	De verbinding dient de verkeersbelastingen door wegverkeer te dragen.	1.2	1.2.1.1 t/m 1.2.1.2
1.2.1.1	Dragen verkeersbelasting, verkeersklasse	De verbinding dient geschikt te zijn voor wegverkeer met verkeersklasse VOSB 60.	1.2.1	Geen
1.2.1.2	Dragen verkeersbelasting, zetting overgangsconstructies	De verbinding dient ter plaatse van de overgangen tussen kunstwerken en aardebanen in een tijdsbestek van 5 jaar na oplevering niet meer zetting te vertonen dan 10 mm/m van het lengteprofiel.	1.2.1	Geen
1.2.2	Dragen omgevingsbelasting, algemeen	De verbinding dient alle belastingen vanuit de omgeving te dragen.	1.2	1.2.2.1 t/m 1.2.2.2
1.2.2.1	Dragen omgevingsbelasting, veranderlijk en permanent	De verbinding dient bestand te zijn tegen alle veranderlijke en permanente belastingen vanuit de omgeving conform NEN 6702.	1.2.2	Geen
1.2.2.2	Dragen calamiteitenbelasting, algemeen	De verbinding dient bestand te zijn tegen alle belastingen veroorzaakt door calamiteiten zoals beschreven in NEN6702.	1.2.2	Geen
1.4	Verbinden, algemeen	De verbinding dient geschikt te zijn voor de aanleg door derden van alle kabel- en leidingverbindingen ten behoeve van het wegverkeer.	1	Geen
1.5	Isoleren wegverkeer, algemeen	De verbinding dient het wegverkeer te isoleren voor effecten vanuit de omgeving.	1	1.5.1 t/m 1.5.2
1.5.1	Keren personen, veiligheid	Er dienen voorzieningen te worden getroffen, die de veiligheid van personen garanderen	1.5	Geen

Code	Eis	Beschrijving	boven	onder
1.5.2	Keren hemelwater, opvangen en afvoeren	De verbinding dient zodanig uitgevoerd te zijn dat hemelwater op afdoende wijze wordt opgevangen en afgevoerd.	1.5	Geen
2	Kruisen omgeving door wegverkeer, topeis	De verbinding dient te zorgen dat het wegverkeer de omgeving ongehinderd doorkruist.		2.1 t/m 2.3
2.1	Kruisen door wegverkeer, conflictvrij	De verbinding dient voorzien te zijn van een conflictvrije, bovenlangse kruising van het wegverkeer en fietsverkeer met de Vaart.	2	Geen
2.2	Kruisen door wegverkeer, functionaliteit	De verbinding dient de Vaart het wegverkeer zodanig te kruisen dat de functionaliteit ervan gehandhaafd blijft.	2	2.2.1 t/m 2.2.3
2.2.1	Kruisen door wegverkeer, vaargeul	De verbinding dient geschikt te zijn voor het passeren van een maaboot, de afmeting van de maaboot zijn 1,0 * 2,5 m. heeft.	2.2	Geen
2.2.2	Kruisen door wegverkeer, nat dwarsprofiel	De verbinding dient een doorstroom profiel te hebben van minimaal 10 m2, met een maximale diepte van 1,5 m'	2.2	Geen
2.2.3	Kruisen door wegverkeer, vrije hoogte	De verbinding dient de vaart zodanig te kruisen dat de onderkant van de constructie op een hoogte ligt van minimaal + 1,50 m. boven waterpeil	2.2	Geen
2.3	Kruisen ecologie, handhaven	De verbinding dient de omgeving zodanig te doorkruisen dat ecologische verbindingzones gehandhaafd blijven.	2	2.3.1 t/m 2.3.2
2.3.1	Verbinden ecologie, algemeen	De verbinding dient voorzien te zijn van twee droge loopstroken.	2.3	Geen
2.3.2	Verbinden ecologie, aansluiting	De loopstroken dienen aan de uiteinden van de verbinding zodanig aan te sluiten op de oevers dat de betreffende fauna de loopstroken kan verlaten dan wel betreden.	1.6	Geen
3	Externe raakvlakeisen, algemeen	De verbinding dient aan te sluiten op externe raakvlakken.		3.1 t/m 3.2
3.1	Aansluiten, wegconstructie	De verbinding dient zodanig aan te sluiten op de aangrenzende wegconstructie dat het wegverkeer zonder enige hinder kan doorstromen.	3	Geen
3.2	Aansluiten, bermbeveiliging	De verbinding dient zodanig uitgevoerd te zijn dat de bermbeveiliging in horizontale en verticale zin vloeiend doorloopt.	3	3.2.1
3.2.1	Veiligheid exploitatiefase, eisen bermbeveiliging	De bermbeveiliging van De verbinding dient te voldoen aan de eisen in het handboek "Bermbeveiligingsvoorzieningen", hoofdstuk 8.	3.2	Geen
4	Beschikbaarheid, levensduur	De verbinding dient zodanig uitgevoerd te zijn dat alle onderdelen met inachtneming van het benodigde onderhoud in stand blijven gedurende de ontwerplevensduur.		4.1 t/m 4.2
4.1	Beschikbaarheid, levensduur niet vervangbaar constructie	De levensduur niet vervangbare onderdelen van de verbinding tenminste 100 jaar te bedragen.	4	Geen
4.2	Beschikbaarheid, levensduur vervangbaar constructie	Onderdelen met een levensduur korter dan 100 jaren dienen vervangbaar en direct inspecteerbaar te zijn.	4	Geen
5	Vormgeving, afwerking	De verbinding dient zodanig te zijn uitgevoerd dat de afwerking van objecten met een voldoende kwaliteitsniveau is geschied.		Geen

6.2 Bijlage: Ontwerpspecificatie per object

Ontwerpspecificatie wegconstructie

Code	Eis	Beschrijving	boven	onder
1.1.1	Doorstromen, 2 richtingen	De verbinding dient het mogelijk te maken dat wegverkeer in beide rijrichtingen kan doorstromen.	1.1	Geen
1.1.2.1	Doorstromen, rijstroken	De verbinding dient uitgevoerd te zijn met 2 rijstroken, 1 rijstrook per rijrichting.	1.1.2	Geen
1.1.2.2	Doorstromen, fietsstroken	De verbinding dient uitgevoerd te zijn met 1-zijdig fietsstrook met een breedte van 2 m'.	1.1.2	Geen
1.1.3.1	Verharding, algemeen	De verharding dient zodanig uitgevoerd te zijn dat de gedefinieerde verkeersbelastingen kunnen worden gedragen.	1.1.3	Geen
1.1.3.2.1	Verharding, deklaag	De verharding dient uitgevoerd te zijn met een deklaag van tenminste 50 mm dik	1.1.3.1	Geen
1.1.5.1	Markeren, type wegmarkering	De verbinding dient voorzien te zijn van wegmarkering van oplossingsvrij, wit thermoplastisch materiaal.	1.1.5	Geen
1.2.1.1	Dragen verkeersbelasting, verkeersklasse	De verbinding dient geschikt te zijn voor wegverkeer met verkeersklasse VOSB 60.	1.2.1	Geen
1.2.1.2	Dragen verkeersbelasting, zetting overgangsconstructies	De verbinding dient ter plaatse van de overgangen tussen kunstwerken en aardebanen in een tijdsbestek van 5 jaar na oplevering niet meer zetting te vertonen dan 10 mm/m van het lengteprofiel.	1.2.1	Geen
3.1	Aansluiten, wegconstructie	De verbinding dient zodanig aan te sluiten op de aangrenzende wegconstructie dat het wegverkeer zonder enige hinder kan doorstromen.	3	Geen
3.2.1	Veiligheid exploitatiefase, eisen bermbeveiliging	De bermbeveiliging van De verbinding dient te voldoen aan de eisen in het handboek "Bermbeveiligingsvoorzieningen", hoofdstuk 8.	3.2	Geen

Ontwerpspecificatie openbare verlichting

Code	Eis	Beschrijving	boven	onder
1.1.6.1.1	Openbare verlichting, verlichtingswaarde	Openbare verlichting dient de gehele weg te verlichten met een gemiddelde waarde van 1 CD/m ² .	1.1.6.1	Geen
1.1.6.1.2	Armaturen, straling	Armaturen dienen uitsluitend de wegverharding te verlichten	1.1.6.1	Geen

Ontwerpspecificatie oeververbinding

Code	Eis	Beschrijving	boven	onder
1.2.1.1	Dragen verkeersbelasting, verkeersklasse	De verbinding dient geschikt te zijn voor wegverkeer met verkeersklasse VOSB 60.	1.2.1	Geen
1.2.1.2	Dragen verkeersbelasting, zetting overgangsconstructies	De verbinding dient ter plaatse van de overgangen tussen kunstwerken en aardebanen in een tijdsbestek van 5 jaar na oplevering niet meer zetting te vertonen dan 10 mm/m van het lengteprofiel.	1.2.1	Geen
1.2.2.1	Dragen omgevingsbelasting, veranderlijk en permanent	De verbinding dient bestand te zijn tegen alle veranderlijke en permanente belastingen vanuit de omgeving conform NEN 6702.	1.2.2	Geen
1.2.2.2	Dragen calamiteitenbelasting, algemeen	De verbinding dient bestand te zijn tegen alle belastingen veroorzaakt door calamiteiten zoals beschreven in NEN6702.	1.2.2	Geen
2.1	Kruisen door wegverkeer, conflictvrij	De verbinding dient voorzien te zijn van een conflictvrije, bovenlangs kruising van het wegverkeer en fietsverkeer met de Vaart.	2	Geen
2.2.1	Kruisen door wegverkeer, vaargeul	De verbinding dient geschikt te zijn voor het passeren van een maaiboot, de afmeting van de maaiboot zijn 1,0 * 2,5 m. heeft.	2.2	Geen
2.2.2	Kruisen door wegverkeer, nat dwarsprofiel	De verbinding dient een doorstroom profiel te hebben van minimaal 10 m2, met een maximale diepte van 1,5 m'	2.2	Geen
2.2.3	Kruisen door wegverkeer, vrije hoogte	De verbinding dient de vaart zodanig te kruisen dat de onderkant van de constructie op een hoogte ligt van minimaal + 1,50 m. boven waterpeil	2.2	Geen
2.3.1.1	Verbinden ecologie, breedte	De loopstroken dienen een minimale breedte van 60 cm te hebben.	2.3.1	Geen
2.3.1.2	Verbinden ecologie, vrije ruimte	De ruimte tussen de loopstroken en de plafonds van de verbinding dient minimaal 75 cm te bedragen.	2.3.1	Geen
2.3.1.3	Verbinden ecologie, hoogte	De loopstroken dienen minimaal 20 cm boven het waterpeil te liggen.	2.3.1	Geen
2.3.2	Verbinden ecologie, aansluiting	De loopstroken dienen aan de uiteinden van de verbinding zodanig aan te sluiten op de oevers dat de betreffende fauna de loopstroken kan verlaten dan wel betreden.	1.6	Geen
5.1	Vormgeving, afwerking beton	De verbinding dient zodanig te zijn afgewerkt dat de vlakheid van definitieve, in het zicht blijvende, betonoppervlakken voldoet aan klasse A conform NEN 6722:2000.	5	Geen
5.2	Vormgeving, coating beton	De verbinding dient zodanig te zijn afgewerkt dat in het zicht blijvende definitieve betonoppervlakken voorzien zijn van een antigraffiti coating.	5	Geen
5.3	Vormgeving, afwerking staal	De verbinding dient zodanig te zijn afgewerkt dat in het zicht blijvende definitieve staaloppervlakken ofwel thermisch verzinkt zijn ofwel voorzien zijn van een gekleurde coating.	5	Geen