

# Een onderzoek naar het sluiten van de overlaat aan de Buijs Ballotsingel ten behoeve van een reductie in rioolvreemd water



M.N. van der Ent

s1736051

Opdrachtgever: Hoogheemraadschap van Delfland

Universiteit: Universiteit Twente

Januari 2020

## Voorwoord

Voor u ligt de scriptie 'Een onderzoek naar het sluiten van de overlaat aan de Buijs Ballotsingel ten behoeve van een reductie in rioolvreemd water'. Deze is geschreven als onderdeel van mijn bacheloropleiding Civiele Techniek aan de Universiteit Twente.

Mijn bachelor opdracht wilde ik graag binnen een waterschap uitvoeren door het bijzondere orgaan wat een waterschap is. Toen Carlo Langelaan mij het vraagstuk van de overlaat te Schiedam voorlegde zag ik dit als een kans om de opgedane kennis vanuit de bachelor te delen, maar ook om te leren van het werken en de gang van zaken binnen het Hoogheemraadschap. Het proces is dan ook een leerzaam proces geweest, met zowel pieken als dalen.

Ik wil graag Maarten Krol bedanken voor zijn begeleiding vanuit de Universiteit. Maarten Krol heeft veel geholpen bij het bedenken van de onderzoeksvragen, en bij het vraagstuk hoe dit vraagstuk academisch aan te pakken was. Verder wil ik Folmer van Schooneveld bedanken voor de dagelijkse begeleiding bij Delfland. Hij heeft mij wegwijs gemaakt binnen Delfland, en geholpen met al mijn inhoudelijke vraagstukken, en wist hij het niet, dan bracht hij me direct bij de juiste persoon. Hier heb ik veel aan gehad. Als laatste wil ik Carlo Langelaan bedanken. Carlo Langelaan heeft vanuit de OAS DGL mij deze opdracht aangeboden, en heeft mij bij afwezigheid van Folmer van Schooneveld begeleid en geholpen met vraagstukken.

Ik wens u veel leesplezier.

Nils van der Ent, Delft, 24 december 2019

## Samenvatting

Het samenwerkingsverband OAS De Grootte Lucht heeft als doel de uitstoot van chemisch zuurstof verbruikers (CZV's) te verminderen voor afvalwaterzuiveringsinstallatie (AWZI) De Grootte Lucht. Dit betekent onder andere het terugdringen van rioolvreemd water. In het betreffende gebied kent de gemeente Schiedam kent al jaren een grote bijdrage aan rioolvreemd water voor AWZI De Grootte Lucht. Hier bevindt zich een overlaat, waar jaarlijks ongeveer  $405.000m^3$  aan (schoon) oppervlaktewater instroomt, om vervolgens afgevoerd te worden naar de AWZI. Deze situatie is onwenselijk en hier dient dan ook een oplossing voor te komen, waarbij de instroom verlaagd wordt, dan wel stopt.

Dit vraagstuk is opgelost met behulp van de systems engineering methodiek. De betreffende stakeholders uit de stakeholderanalyse zijn geïnterviewd voor de betreffende eisen en wensen voor het project. De stakeholderanalyse en het programma van eisen leidde er toe dat in de functieboom er drie belangrijke subfuncties ontstonden. Deze waren het behouden en verbeteren van de waterkwaliteit, het waterpeil beheren, en het verminderen van de instroom van oppervlaktewater over de overlaatsdempel aan de Cornelis Drebbelstraat. Deze subfuncties zijn verder uitgewerkt tot kleinere ordes van subfuncties, en hier zijn objecten aan gekoppeld. Van deze objecten is later gekeken in de oplossingen of deze al aanwezig waren in het systeem, zodat ze niet dubbel gemaakt zouden worden.

Er zijn twee oplossingen gemaakt, een waarbij strikt de eisen en de randvoorwaarden vanuit de stakeholders meegenomen zijn, en een tweede waarbij er ook is gekeken hoe de wensen van de stakeholders meegenomen konden worden.

Voor de eerste oplossing (zonder de wensen mee te nemen) volgde uit systems engineering dat bijna alle objecten in het systeem al bestonden. Hieruit kon geconcludeerd worden dat het systeem geoptimaliseerd diende te worden. Dit betekende de aanvoer vanuit de Schie en de afvoer van het gemaal Hoekersingel zo laten werken dat het gebruik van de overlaat onnodig wordt. Dit is gedaan aan de hand van een waterbalans. Na optimalisatie bleek dat in het afgelopen jaar het volledige watervolume wat de overlaatsdempel passeerde onnodig was, een reductie van ongeveer  $405.000m^3$ . Met deze optimalisatie kon het systeem een standaard Bui06 verwerken zonder gebruik te maken van de overlaat. Voor de optimalisatie was het echter nodig een automatische schuif te hebben in plaats van een hand bediende schuif. Deze dient automatisch te werken op het waterpeil. Verder dient het gemaal Hoekersingel ingesteld te worden op de HWZ (vijver Cornelis Drebbelstraat) in plaats van de LWZ (Hoekersingel). Er is echter verder onderzoek nodig om te kijken of dat het Rotterdamse watersysteem het wateraanbod kan verwerken. Het is namelijk onbekend wat in de huidige situatie het gemaal verpompt en de inlaat aan volume inlaat.

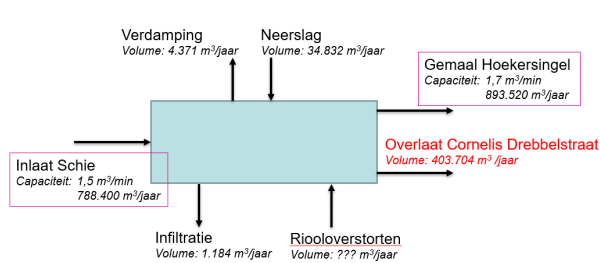
Wat betreft de waterkwaliteit waren er veel onbekende factoren. Hierdoor was het moeilijk om zonder verder onderzoek iets nuttigs te zeggen over de waterkwaliteit. Er is echter wel geconcludeerd dat een hogere doorstroming een verbeterde waterkwaliteit betekent voor het systeem. Het optimaliseren van het systeem (oplossing 1) betekent dat er dagelijks ongeveer  $1.650m^3$  doorgespoeld wordt vanuit de inlaat. Er is verder onderzoek nodig om te zien hoe dit zich verhoudt tot de doorstroming in de huidige situatie.

De belangen van de stakeholders worden in de eerste oplossing allen behartigd, echter, de optimalisatie voor minder

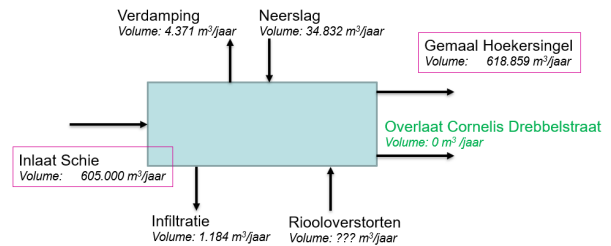
instroom van rioolwater over de overlaat heeft een negatief effect op de doorstroming en dus de waterkwaliteit. Ondanks dat het onbekend is wat de eerste oplossing voor de waterkwaliteit doet vergeleken met de huidige situatie kan deze wel beter gemaakt worden als er een oplossing komt waarbij verbeterde waterkwaliteit een expliciete rol speelt, en niet achter de optimalisatie aan komt.

Voor de tweede oplossing, waarbij de wensen wel meegenomen werden vanuit de stakeholders, werd met behulp van systems engineering geconcludeerd dat het systeem geoptimaliseerd moest worden net als bij oplossing 1, en dat er een nieuwe afvoermogelijkheid dient te komen, met eventueel een vergrote aanvoer capaciteit vanaf de Schie. Deze afvoermogelijkheid wordt gecreëerd door gebruik te maken van de berging bij Schieveste. Hier zal het water vanaf de vijver bij de Cornelis Drebbelstraat naartoe verpompt worden door een te bouwen gemaal, en zal vervolgens langs de berging van Schieveste aflopen naar de Schie. Hiervoor zijn echter nog veel onbekenden en dient er verder onderzoek gedaan te worden om inzicht te krijgen in welke debieten hierlangs afgevoerd kunnen worden.

Figuur 1 en 2 laten de huidige jaarvolumes van het systeem zien ten opzichte van de implementatie van oplossing 1. Oplossing 2 staat hier niet bij gezien deze niet gekwantificeerd is.



Figuur 1: De jaarvolumes van het huidige systeem



Figuur 2: De jaarvolumes met oplossing 1 geïmplementeerd

# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Begrippenlijst</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Inleiding</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Theoretisch Kader en Methodiek</b>	<b>10</b>
3.1	Doelstelling en Onderzoeksvragen . . . . .	10
3.2	Methodiek . . . . .	10
3.2.1	Systems Engineering . . . . .	10
3.2.2	Waterkwantiteitsanalyse . . . . .	11
<b>4</b>	<b>Systeemanalyse Huidige Situatie</b>	<b>13</b>
4.1	Scope . . . . .	13
4.2	Geografisch Watersysteem . . . . .	13
4.2.1	Peilgebieden . . . . .	13
4.2.2	Watergang . . . . .	13
4.3	Kwantitatieve Schematisatie . . . . .	15
4.3.1	Inlaat Schie . . . . .	15
4.3.2	Neerslag . . . . .	18
4.3.3	Infiltratie . . . . .	20
4.3.4	Verdamping . . . . .	21
4.3.5	Riooloverstorten . . . . .	21
4.3.6	Overlaat Cornelis Drebbestraat . . . . .	21
4.3.7	Gemaal Hoekersingel . . . . .	22
4.4	Kwalitatieve Schematisatie . . . . .	22
4.4.1	Huidige Systeemkwaliteit . . . . .	23
4.4.2	Inlaat Schie . . . . .	23
4.4.3	Riooloverstorten . . . . .	24
4.4.4	Neerslag . . . . .	24
4.4.5	Omgeving . . . . .	24
<b>5</b>	<b>Systems Engineering</b>	<b>25</b>
5.1	Stakeholderanalyse . . . . .	25
5.1.1	Hoogheemraadschap van Delfland . . . . .	25
5.1.2	Optimalisatie Afvalwater Systeem (OAS) De Groote Lucht . . . . .	25
5.1.3	Gemeente Schiedam . . . . .	25
5.2	Programma van Eisen . . . . .	26
5.3	Functieboom . . . . .	26

<b>6</b>	<b>O oplossingen</b>	<b>27</b>
6.1	Waterbalans Model . . . . .	27
6.2	Waterkwaliteit . . . . .	27
6.3	Oplossing 1: Optimaliseren Huidig Systeem . . . . .	28
6.3.1	Systems Engineering . . . . .	28
6.3.2	Optimalisatie . . . . .	29
6.3.3	Waterkwantiteit . . . . .	29
6.3.4	Waterkwaliteit . . . . .	32
6.3.5	Overlaat Cornelis Drebbelstraat . . . . .	32
6.4	Oplossing 2: Nieuwe afvoermogelijkheid creëren . . . . .	32
6.4.1	Systems Engineering . . . . .	32
6.4.2	Geografische Inpassing . . . . .	33
6.4.3	Waterkwantiteit en -kwaliteit . . . . .	34
<b>7</b>	<b>Verificatie en Validatie</b>	<b>36</b>
<b>8</b>	<b>Discussie</b>	<b>37</b>
<b>9</b>	<b>Conclusie en Aanbevelingen</b>	<b>39</b>
	<b>Referenties</b>	<b>41</b>
<b>A</b>	<b>Power-interest Grid Stakeholderanalyse</b>	<b>43</b>
<b>B</b>	<b>Tabel Programma van Eisen</b>	<b>44</b>
<b>C</b>	<b>Functieboom</b>	<b>46</b>
<b>D</b>	<b>RAS tabel</b>	<b>47</b>
<b>E</b>	<b>Debietberekeningen</b>	<b>48</b>
<b>F</b>	<b>Neerslagberekeningen</b>	<b>50</b>
<b>G</b>	<b>Neerslagcurve Berekeningen</b>	<b>52</b>

## Lijst van figuren

1	De jaarmetingen van het huidige systeem . . . . .	3
2	De jaarmetingen met oplossing 1 geïmplementeerd . . . . .	3
3	Relatief aandeel rioolvreemd water per deelgebied van de AWZI DGL. [16] . . . . .	8
4	Overzicht van het oppervlaktewatersysteem in bemalingsgebied Centrum, tezamen met de relevante kunstwerken en peilgebieden [16] . . . . .	9
5	Kwantitatieve schematisatie van het watersysteem. De paars omliggende fluxen zijn in het huidige systeem regelbaar. Onder neerslag valt ook afstromend volume uit neerslag. . . . .	15
6	Systematische weergave van het inlaat systeem . . . . .	16
7	”Flow regimes: (a) weirlike flow; (b) full pipe flow; (c) Borda free flow with orifice control; (d) Borda full flow; (e) perfect weir flow; and (f) Borda free flow with weir control. Uniformly grey areas indicate water, white areas indicate air, and shading areas indicates air–water spray” [21] . . . . .	17
8	De relatie tussen de positie van de schuif en de overstortende straal over de buis van de inlaat . . . . .	18
9	De relatie tussen het debiet van de inlaat en de positie van de schuif . . . . .	18
10	Neerslagverdeling over het afgelopen jaar te Schiedam (28-11-2018 - 28-11-2019) . . . . .	19
11	Afstromend oppervlak naar het systeem . . . . .	20
12	Infiltratie en kwel binnen het gebied . . . . .	21
13	Waterpeil met optimalisatie voor afgelopen jaar (28-11-2018 - 28-11-2019) . . . . .	30
14	Waterpeil met optimalisatie voor standaardbuizen . . . . .	31
15	Jaarmetingen met oplossing 1 geïmplementeerd . . . . .	31
16	Verloop nieuwe afvoermogelijkheid via Schieveste. Berging schieveste geen oppervlaktewater zoals staat aangegeven, maar een ondergrondse kelder. . . . .	34
17	Power - Interest grid van de stakeholders . . . . .	43
18	Functie- en objectenboom . . . . .	46

## Lijst van tabellen

1	Metingen overstortende straal inlaat Schie . . . . .	18
2	Dimensies van oppervlaktes . . . . .	20
3	Waterkwaliteitsmetingen Swabberdamsingel verricht op 29-10-2019 . . . . .	23
4	Waterkwaliteitsmetingen Schie verricht op 29-10-2019 . . . . .	23
5	Aanwezigheid objecten uit Systems Engineering in systeem . . . . .	28
6	Logica regels optimalisatie systeem . . . . .	29
7	Aanwezigheid objecten uit Systems Engineering in systeem inclusief wensen . . . . .	33
8	Neerslag gemeten te Rotterdam, in <i>mm/maand</i> . . . . .	37
9	Tabel Programma van Eisen . . . . .	44
9	Tabel Programma van Eisen . . . . .	45
10	Requirement Allocation Sheet van het onderdeel systems engineering. . . . .	47

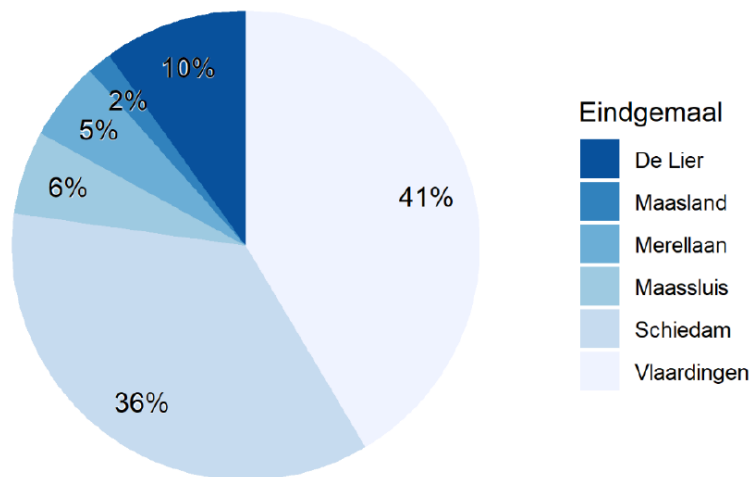
# 1 Begrippenlijst

CZV	Chemisch zuurstof verbruiker
BZV	Biologisch zuurstof verbruiker
DWA	Droogweerafvoer
RWA	Regenweerafvoer
Overlaat	Een waterbouwkundige constructie om hoogwater te reguleren en zo kritieke waterhoogten te voorkomen. Van oppervlaktewater naar riool.
Overstort	Een overstort is een kunstwerk met als doel het afvoeren van (pieken in) overtollig rioolwater vanuit de gemengde riolering naar het oppervlaktewater.
AWZI	Afvalwaterzuiveringsinstallatie
Delfland	Het Hoogheemraadschap van Delfland
OAS DGL	Samenwerkingsverband 'Optimalisatie Afvalwatersysteem De Groote Lucht'
Influent	Afvalwater dat voor behandeling op een zuiveringsinrichting wordt aangevoerd.
Rioolvreemd water	Water wat niet thuishoort in het riool.

## 2 Inleiding

Schiedam kent een gemengde riolering. Dit betekent dat oppervlaktewater en hemelwater worden afgevoerd via de riolering, samen met het rioolwater. Dit wordt samen in de AWZI De Groote Lucht gezuiverd en de Nieuwe-Waterweg opgelaten. Tijdens zware neerslag echter, is de capaciteit van de AWZI niet groot genoeg, en wordt het influent direct, en ongezuiverd op de Nieuwe-Waterweg geloosd. Dit proces heet overstorten. Er wordt dus ongereinigd rioolwater, verdund met hemelwater en oppervlaktewater geloosd. Met de huidige klimaatveranderingen worden regenbuien steeds intensiever en zal er dus ook vaker gebruikt gemaakt moeten worden van de overstort.

Het samenwerkingsverband OAS DGL heeft de afspraak gemaakt om lozingen uit de riolering naar het milieu terug te brengen [6], specifiek de hoeveelheid CZV's terug te dringen. Om dit te bereiken is er ingezet door de OAS DGL om de hoeveelheid rioolvreemd water terug te dringen naar de AWZI. Schiedam kent een groot aandeel in het leveren van rioolvreemd water aan de AWZI. Via een overlaat aan de Cornelis Drebbelstraat loopt er jaarlijks zo'n  $405.000m^3$  (schoon) oppervlaktewater het riool in (zie hoofdstuk 4.3). Wanneer deze instroom weggehaald wordt zal dit  $\sim 2\%$  van de gehele jaarlijkse instroom van de AWZI weghalen, gezien de zuiveringsinstallatie jaarlijks zo'n  $25.000.000m^3$  verwerkt [27]. Daarnaast vormt het van alle gemeenten die influent leveren aan de AWZI een groot aandeel van het totale rioolvreemd water, zoals te zien is in figuur 3[16]. Het beperken van de instroom van de overlaat zou dus betekenen dat er minder schoon oppervlaktewater naar de zuivering gaat, wat zorgt voor een efficiëntere zuivering, en minder lozingen van rioolwater in het milieu door middel van overstorten.



Figuur 3: Relatief aandeel rioolvreemd water per deelgebied van de AWZI DGL. [16]

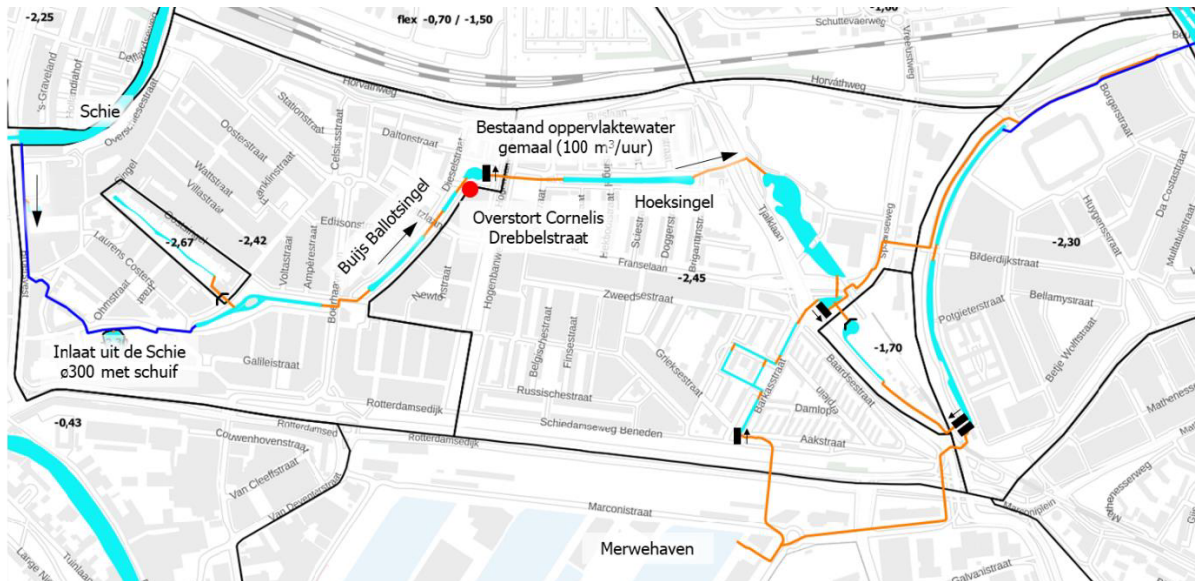
Wel moet worden onderzocht hoe, en waarlangs, dit oppervlaktewater dan moet worden afgevoerd. De hoofdvraag die beantwoord zal moeten worden luidt:

*Wat zijn de mogelijkheden om de instroom van de overlaat aan de Buijs Ballotsingel te reduceren tot  $0 m^3/jaar$ ?*

Binnen de vooraf gestelde kaders zullen de mogelijkheden in kaart worden gebracht. Het project vindt plaats in nauwe samenwerking tussen het Hoogheemraadschap van Delfland en Gemeente Schiedam. Bij beide partijen intern

moeten veel teams worden betrokken bij deze ontwikkeling.

In figuur 4 is het relevante watersysteem te zien in Schiedam. De instroom van de overlaat wordt nu voornamelijk gebruikt om de stroming, en dus de waterkwaliteit [26][29], door de Buijs Ballotsingel te borgen. Tijdens droogte spoelt het gemaal Hoekersingel de Hoeksingel door te Rotterdam, wat in dit gebied de waterkwaliteit borgt.



Figuur 4: Overzicht van het oppervlaktewatersysteem in bemalingsgebied Centrum, tezamen met de relevante kunstwerken en peilgebieden [16]

### 3 Theoretisch Kader en Methodiek

In dit hoofdstuk zullen de doelstellingen en onderzoeksvragen uiteengezet worden, waarna er uitgebreid zal worden over de methodiek waarmee de doelstellingen behaald en onderzoeksvragen beantwoord zullen worden.

#### 3.1 Doelstelling en Onderzoeksvragen

De doelstelling van dit onderzoek is om inzicht te krijgen in de mogelijkheden om de instroom van de overlaat aan de Buijs Ballotsingel te reduceren. De hoofdvraag die beantwoord zal moeten worden tijdens dit onderzoek luidt:

*Wat zijn de mogelijkheden om de instroom van de overlaat aan de Cornelis Drebbelstraat te reduceren tot 0 m<sup>3</sup>/jaar?*

Om deze hoofdvraag te beantwoorden zijn er een aantal deelvragen geformuleerd. De oplossing zal aan verschillende kaders of randvoorwaarden en eisen moeten voldoen. Dit geeft de eerste deelvraag.

*1. Binnen welke randvoorwaarden kan er worden gezocht worden naar oplossingen?*

Het programma van eisen zal hier een antwoord op zijn. Naast randvoorwaarden en eisen kunnen stakeholders ook wensen hebben. De vraag die daaruit volgt is wat voor invloed de wensen hebben op het uiteindelijke eindproduct. De tweede deelvraag luidt dan ook als volgt.

*2. Wat is de invloed van de wensen van de stakeholders op de oplossing?*

Om deze reden zullen er twee oplossingen aangedragen worden, een waarin strikt de randvoorwaarden en eisen meegenomen worden, en een waarbij naast de genoemde twee ook de wensen meegenomen zullen worden. Binnen deze oplossingen is de vraag of en hoe het fysieke systeem aangepast zal moeten worden. Dit geeft de derde deelvraag.

*3. Wat is de invloed van de oplossingen op het fysieke systeem?*

Als laatste is het belangrijk dat in de oplossing de waterbalans correct is, zodat er geen onnodige inundatie of uitdroging ontstaat. Dit levert de laatste deelvraag voor het project.

*4. Hoe wordt de waterkwantiteit gemanaged in de oplossingen?*

#### 3.2 Methodiek

In dit hoofdstuk zal de methodiek uiteengezet worden waarmee de onderzoeksvragen beantwoord zullen worden.

##### 3.2.1 Systems Engineering

Om de eerste drie deelvragen te beantwoorden zal er gebruikt gemaakt worden van de systems engineering methodiek. Er zal een stakeholderanalyse worden uitgevoerd, een programma van eisen zal gemaakt worden, en er zal een functie- en objectenboom gemaakt worden.

## **Stakeholderanalyse**

In de stakeholder analyse staat de volgende vraag centraal: ‘Wat is de situatie?’. Hierin dient er geanalyseerd te worden welke partijen er betrokken zijn in het project. Dit wordt dan gedocumenteerd in een power-interest grid. Hierin is te zien hoeveel ‘power’ of macht en ‘interest’ of belang de betrokken partijen hebben in het project [12]. Op deze manier kunnen de partijen op de juiste wijze gemanaged worden. Dit is een cruciale stap voor het programma van eisen. Wanneer de verkeerde stakeholders geïnterviewd worden voor het programma van eisen kan de oplossing er geheel anders uit zien [18].

## **Programma van Eisen**

In het programma van eisen staan alle eisen, randvoorwaarden en wensen verzameld in tabelvorm van de gedefinieerde stakeholders bij de stakeholderanalyse. Eisen worden per onderwerp ondergeschikt, en dienen SMART [20] geformuleerd te worden; Strategisch, Meetbaar, Acceptabel, Realistisch en Tijdgebonden [14]. Het programma van eisen is het antwoord op de eerste deelvraag. De eisen, randvoorwaarden en wensen van de stakeholders gecombineerd met de relevante wetgeving vormen de randvoorwaarden waarbinnen een oplossing gemaakt kan worden.

## **Functie- en objectenboom**

In de functie- en objectenboom worden functies waar de oplossing uit dient te bestaan uitgewerkt tot een aantal lagen subfuncties. Bij de laagste laag subfuncties kunnen er objecten aan deze functies gekoppeld worden, die deze functie vervullen. De functies zullen gebaseerd worden op de eisen, randvoorwaarden en wensen vanuit het programma van eisen. Wanneer deze objecten ingepast worden binnen de omgeving en met elkaar in interactie gebracht worden, dan ontstaat er een systeem wat voldoet aan de eisen van de stakeholders, en dus, een oplossing biedt voor het probleem. Bij het kiezen van de objecten staat de vraag centraal welk deel van het systeem die functie vervullen kan. Dit is onderworpen aan enige bias, gezien er vaak meerdere objecten zijn die een functie kunnen vervullen. De ontwerper zelf maakt hierin de keuze. [18] [28] [5] [13]. In de functieboom geldt dat de vraag ‘hoe’ beantwoord moet worden wanneer deze gelezen wordt van hoofdfunctie naar subfunctie, en de vraag ‘waarom’ zal beantwoord worden wanneer deze gelezen wordt van subfunctie naar hoofdfunctie.

Nadat deze objecten gealloceerd zijn, kunnen deelvraag twee en drie beantwoord worden. Er zal een oplossing gemaakt worden zonder de wensen van de stakeholders te betrekken, en er zal een oplossing gemaakt worden met het betrekken van de wensen van de stakeholders. Hierin zullen de verschillen benoemd worden tussen deze twee als antwoord op de tweede deelvraag. Voor de derde deelvraag zal er een vergelijking getrokken worden tussen de twee systemen van de oplossingen en het huidige systeem, waarbij de verschillen benoemd zullen worden.

### **3.2.2 Waterkwantiteitsanalyse**

Om de waterkwantiteit te analyseren zal er gebruik gemaakt worden van Matlab. In Matlab zal een waterbalans gemaakt worden, met alle afvoeren en aanvoeren van het systeem. De waterbalans zal gebruikt worden om een inzicht te krijgen in de effectiviteit van de oplossingen. Enerzijds zal het gedrag van het systeem over tijd geanalyseerd worden, en anderzijds kan er inzicht verkregen worden in extreme situaties, en hevige neerslag.

Het model kent als input de fluxen van het systeem, en als output het waterpeil in het systeem. Over tijd kan er dus geanalyseerd worden wat bepaalde fluxen met het waterpeil doen in het systeem. Het is hierbij belangrijk wat de initiële condities zijn van het model. Dit kan namelijk een grote invloed hebben op de uitkomst. BRONNN . Het is belangrijk een model zo simpel mogelijk te houden, dit biedt de minste kans op fouten [17]. Om deze reden is er dan ook gekozen voor een waterbalans tegenover een bakjesmodel.

Deze methode zal gebruikt worden om antwoord te geven op de vierde deelvraag. Met de waterbalans kan bepaald worden wat een effectieve methode is om de waterkwantiteit te managen, en deze kan daarbij getoetst worden aan de juiste parameters (waterpeil).

## 4 Systeemanalyse Huidige Situatie

In dit hoofdstuk zal het watersysteem geanalyseerd worden. Allereerst zal de scope uiteengezet worden, en daarna zal het geografische gebied uiteengezet worden, waarna het watersysteem geschematiseerd zal worden.

### 4.1 Scope

De scope van het project is belangrijk om te definiëren zodat er niet onnodig werk wordt verzet, en de hoofdvraag goed beantwoord kan worden. Deze zal gedefinieerd worden door grenzen in het watersysteem. De bovenstroomse grens ligt bij de inlaat van de Schie, te zien in figuur. Vanaf het moment dat water deze inlaat doorgaat is het onderdeel geworden van het project. Gezien dit een project is in samenwerking met Gemeente Schiedam, eindigt het gebied benedenstrooms bij de gemeentelijke grens, namelijk waar Rotterdam begint. Concreet houdt dit in dat als het water verpompt is door het gemaal Hoekersingel, dat het dan geen onderdeel meer is van het project. Daarnaast zal de watergang aan het Land van Ris niet meegenomen worden, gezien dit ook verder een afgekoppelde watergang is, op de geregelde input vanuit het watersysteem na. Deze input is echter verwaarloosbaar vergeleken met de overige fluxen van het systeem. Verder zal alleen het maaiveld meegenomen worden, alles daarboven niet. Regen zal dus pas meegenomen worden als het gevallen is op het maaiveld, of in de het watersysteem. Oplossingsrichtingen kunnen dan ook in Schiedam gezocht worden. Waar de grenzen van het systeem liggen is het echter wel belangrijk om de kwantiteit en de kwaliteit van de in- of output te weten.

### 4.2 Geografisch Watersysteem

In dit gedeelte zal de geografie van het watersysteem toegelicht worden.

#### 4.2.1 Peilgebieden

Figuur 4 laat het gehele watersysteem zien, met de relevante peilgebieden en de bijbehorende hoogtes.. De zwarte lijnen vormen de grenzen per peilgebied.

#### 4.2.2 Watergang

In dit hoofdstuk zal voor het systeem geografisch de relevante zaken omschreven worden.

##### *1: Inlaat Schie*

In figuur is de locatie van de inlaat van de Schie te zien. Het water stroomt hier onder vrij verval door een lange duiker. Aan het eind van deze duiker zit een vernauwing en een schuif, waarmee de toevoer gereguleerd kan worden. Deze schuif wordt in de huidige situatie handmatig bediend door Irado, de uitvoerende kracht van Gemeente Schiedam, op gevoel aan de hand van het waterpeil.

##### *2: Marconivijver*

De Marconivijver is afgesloten van de rest van het watersysteem. Deze gebruikt dezelfde inlaat van de Schie als het watersysteem, echter in de aftakking naar de vijver kent de vijver haar eigen schuif. Deze wordt dus apart

van het watersysteem bediend, maar op dezelfde wijze, het onderbuikgevoel. De output van deze vijver is een overlaat, waar het teveel aan water inloopt. De overlaat drempel bevindt zich op een hoogte van  $-2.41m + NAP$ . Het waterpeil bevindt zich logischerwijs dan ook op dezelfde hoogte. Omdat deze vijver geheel los is gekoppeld van het watersysteem zal deze dan ook niet meegenomen worden in de oplossingen.

### 3: Land van Ris

Vanuit de Swindensingel zit er een ingang naar het Land van Ris, welke te zien is in figuur De inlaat is automatisch gereguleerd, en werkt op het waterpeil van het Land van Ris. Als het peil in dit slootje te laag wordt, wordt er water toegevoerd vanuit de Swindensingel. Wanneer het peil op het waterpeil het peil van het peilgebied bereikt heeft, stopt de invoer van water vanuit de Swindensingel. Deze sloot heeft een hoge ecologische waarde, dus het is van groot belang dat het waterpeil constant blijft. Dit slootje valt buiten de scope van het project, echter dient er wel voldoende aanvoer mogelijkheid te zijn. Het aanvoer debiet is echter dusdanig klein dat het niet relevant is voor het project.

### 4: Overstort Laurens Costerstraat

Op deze plaats ligt een groot riooloverstort. De overstort drempel ligt op  $-2,25m + NAP$ . Met een drempelbreedte van  $15m$  is dit een zeer brede overstort drempel. Omdat deze drempel ver boven het waterpeil ligt in dit gebied ontstaat er nooit een situatie waar het oppervlaktewater het riool inloopt.

### 5: Overlaat aan de Cornelis Drebbelstraat

Het water uit de Buijs Ballotsingel komt uit in de vijver aan de Cornelis Drebbelstraat. Deze vijver heeft op het moment twee uitlaten. Het grootste gedeelte van het water gaat via de overlaat. Deze is niet waar te nemen vanaf de kade van de vijver. De theoretische drempelhoogte van deze overlaat bevindt zich op  $-2.34m + NAP$  [16]. Dit zou echter betekenen dat bij het streefpeil de drempel  $10cm$  hoger zou moeten liggen dan het waterpeil. Bij nadere inspectie was dit niet het geval, en was er bij streefpeil een overstortende straal van  $\pm 5cm$  geschat. De drempelhoogte is daarna gemeten, en vastgesteld op  $-2,45m + NAP$ . In hoofdstuk 4.3.6 wordt verder beschreven wat hier aan volume overheen gaat. Dit is tevens de overlaat waarvan het jaarvolume geminimaliseerd moet worden binnen dit project.

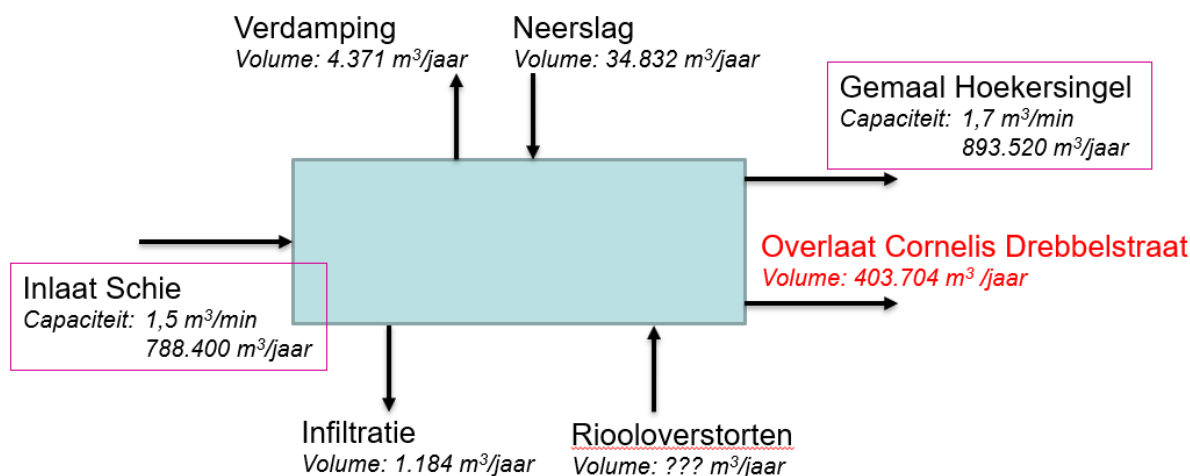
### 6: Gemaal Hoekersingel

De tweede uitlaat van de vijver aan de Cornelis Drebbelstraat is via het gemaal. Voor 2013 stond dit gemaal er niet [19], en liep al het water de overlaat in. Toen waren het Schiedamse en Rotterdamse watersysteem dus gescheiden. Recentelijk is het gemaal is er geplaatst om het benedenstroomse watersysteem van Rotterdam door te spoelen, om zo de waterkwaliteit te verbeteren. Op het moment dat het gemaal het water verpompt gaat dit over naar Rotterdamse gemeentegrond. Dit gemaal heeft een capaciteit van  $1,7m^3/min$ , en is door de gemeente Rotterdam gefinancierd en gerealiseerd. Het gemaal is geprogrammeerd op de LWZ, de waterzijde te Rotterdam. Bij  $-1cm + streefpeil$  treedt het gemaal in werking, en bij  $+3cm + streefpeil$  stopt het gemaal. Het gemaal kan of aan of uit, dus er kan of  $0m^3/min$  verpompt worden of  $1,7m^3/min$ .

### 4.3 Kwantitatieve Schematisatie

Om een kwantitatieve oplossing te kunnen maken dient er een waterbalans te zijn van het huidige systeem. Er gelden namelijk strenge eisen voor het waterpeil in het systeem, zie hoofdstuk 5.2. Daarvoor dienen de aan- en afvoeren van het systeem bekend te zijn, met de daarbij behorende debieten. Het systeem kent de volgende fluxen, te zien in figuur 5. Hierbij staan de betreffende capaciteiten of jaarvolumes. Het watersysteem laat zich kenmerken als een grote bak met water, met verschillende aanvoeren en afvoeren. Als deze gebalanceerd zijn, blijft het waterpeil gelijk, maar wanneer er een verschil zit tussen de aanvoer en afvoer zal het waterpeil ook veranderen. De aan- en afvoeren zullen hieronder beschreven worden.

Wat later duidelijk zal worden, in de rest van hoofdstuk 4, is dat er geen waterbalans gemaakt kan worden met een grote tijdstap (jaar). Dit omdat er sommige fluxen zijn die een onregelmatige aan- of afvoer hebben, zie bijvoorbeeld figuur 10. Om deze reden zal de waterbalans gekozen worden voor een korte tijdstap (5 min). Om echter inzicht te krijgen in de bijdrage van bepaalde fluxen zal in dit hoofdstuk het jaarvolume berekend worden over de periode 28-11-2018 - 28-11-2019.

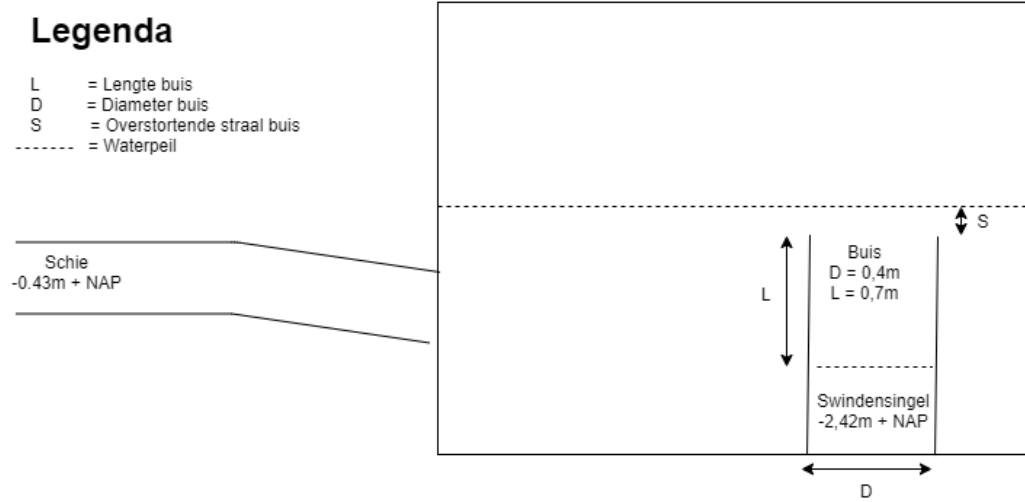


Figuur 5: Kwantitatieve schematisatie van het watersysteem. De paars omliggende fluxen zijn in het huidige systeem regelbaar. Onder neerslag valt ook afstromend volume uit neerslag.

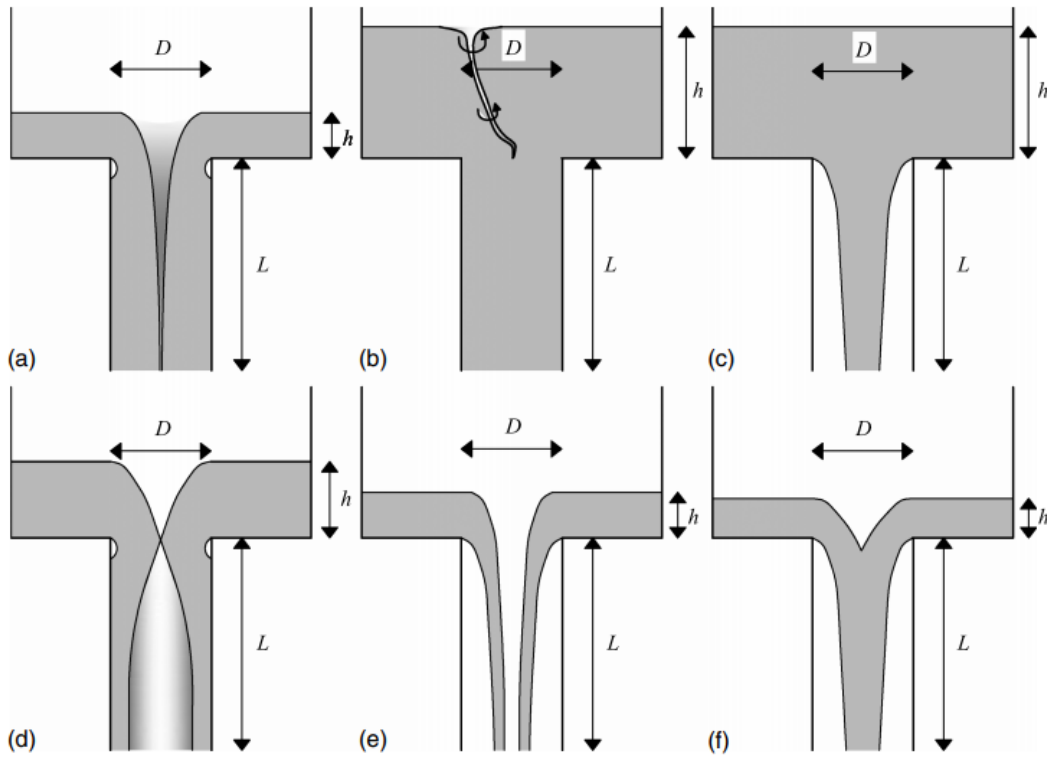
#### 4.3.1 Inlaat Schie

De schuif bij de Schie wordt handmatig op onderbuik gevoel open en dicht gedraaid. Om deze reden kan er niet een jaarvolume aan geplakt worden, er kan echter wel wat worden gezegd over de mogelijke debieten. Het systeem achter de inlaat is complex. Het systeem is te zien in figuur 6. De schuif kan de duiker vanaf de Schie geheel afsluiten, of voor vrije doorstroming zorgen. Om te bepalen welk debiet er door de inlaat kan is er besloten om gebruik te maken van de overstortende straal van de verticale duiker volgens Padulano en Del Giudice [21].

Om te bepalen welke formule er gebruikt moet worden dient er eerst bepaald te worden wat het flow type is in de pijp. Figuur 7 laat zien welke mogelijkheden er zijn. In alle gevallen is er bij deze inlaat sprake van 'perfect weir flow', en zal er dan ook gebruik gemaakt worden van de formule zoals omschreven in formule 1.



Figuur 6: Systematische weergave van het inlaat systeem



Figuur 7: "Flow regimes: (a) weirlike flow; (b) full pipe flow; (c) Borda free flow with orifice control; (d) Borda full flow; (e) perfect weir flow; and (f) Borda free flow with weir control. Uniformly grey areas indicate water, white areas indicate air, and shading areas indicates air-water spray" [21]

$$Q = \frac{2}{3} * C_{WF} * \pi * D * h * \sqrt{2gh} \quad (1)$$

waarin:

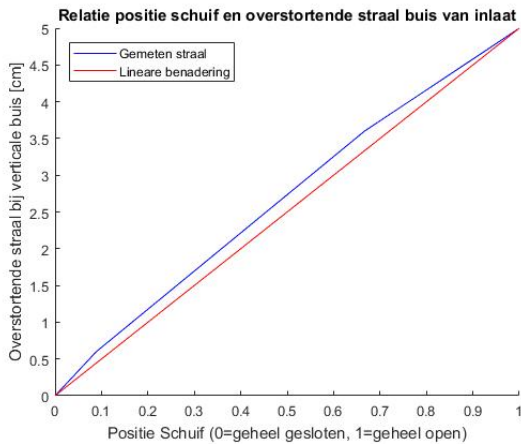
- Q debiet [ $m^3/s$ ]
- $C_{WF}$  karakteristieke afvoercoëfficiënt [-]
- D diameter pijp [ $m$ ]
- g valversnelling [ $m/s^2$ ]
- h overstortende straal [ $m$ ]

Er is gekozen om de schuif in verschillende posities te zetten, vervolgens vijf minuten het systeem zichzelf te laten balanceren, en dan de overstortende straal te meten. Van geheel open naar geheel dicht zijn er 45 omwentelingen nodig van de mechanische bediening. Er is hierbij aangenomen dat er een lineair verloop zit in de verplaatsing van de schuif. In tabel 1 zijn de meetresultaten te zien.

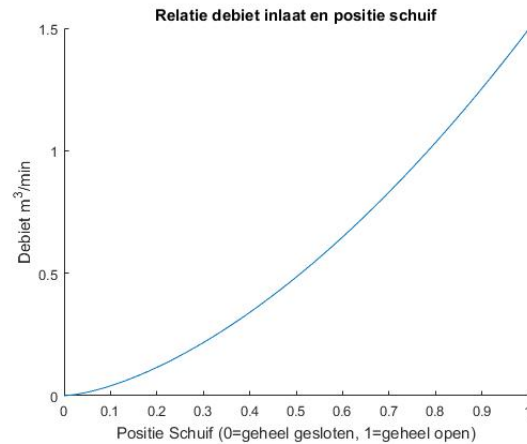
Stand schuif (0 = geheel gesloten, 1 = geheel open)	Overstortende straal [cm]
1	5,0
$\frac{30}{45}$	3,6
$\frac{4}{45}$	0,6
0	0

Tabel 1: Metingen overstortende straal inlaat Schie

Deze metingen zijn uitgezet in figuur 8, en hierin is te zien dat dit nagenoeg overeenkomt met een lineair verloop, met dit lineaire verloop zal dan ook verder gerekend worden. Het lineaire verloop wordt verder bevestigd door het feit dat de eerste meting met de schuif volledig open was, en daarna werden de metingen verricht met een meer dichte schuif. Omdat de schuif 500m eerder in het systeem zit zal het systeem waarschijnlijk nog niet geheel in balans zijn geweest, en zal de daadwerkelijke overstortende straal dus iets lager uit vallen van de metingen tussen geheel open en geheel dicht. De karakteristieke afvoercoëfficiënt verandert over de straal heen, van 0,5 naar 0,6 bij een straal van 0 en 5 respectievelijk [21]. Dit verloop is lineair. Hieruit volgt een debiet per positie van de schuif, met een maximaal debiet van  $1,5 \text{ m}^3/\text{min}$ , te zien in figuur 9. De precieze berekeningen zijn te zien in bijlage E, in het Matlab script.



Figuur 8: De relatie tussen de positie van de schuif en de overstortende straal over de buis van de inlaat



Figuur 9: De relatie tussen het debiet van de inlaat en de positie van de schuif

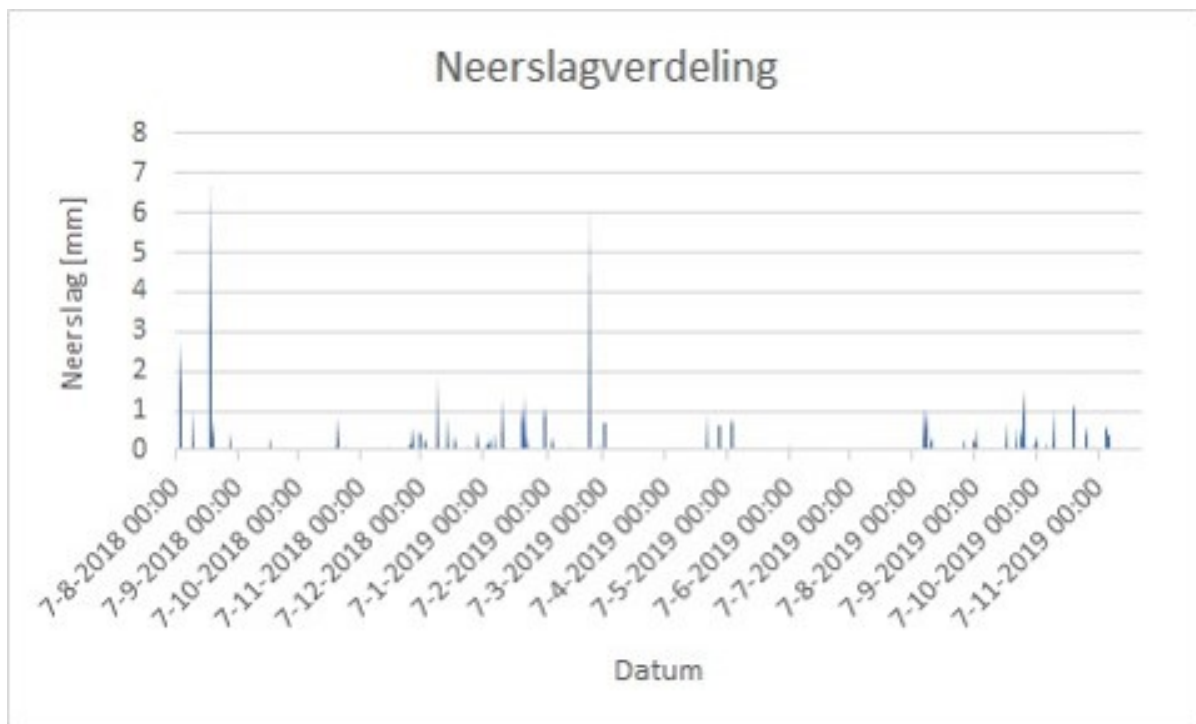
### 4.3.2 Neerslag

De invloed van hemelwater op het systeem werkt op drie verschillende manieren. Het kan direct op het oppervlaktewater vallen, het kan afstromen via onverhard oppervlak, en het kan afstromen via verhard oppervlak. Bij afstroming via onverhard oppervlak zal niet al het water terecht komen in het systeem, omdat nog een deel zal infiltreren. Allereerst zijn de betreffende oppervlaktes bepaald. Zoals gezegd wordt er onderscheid gemaakt tussen oppervlaktewater, onverhard afstromend gebied en verhard afstromend gebied. In figuur 11 zijn de afstromende oppervlaktes te zien. De precieze oppervlaktes staan weergegeven in tabel 2. De infiltratiewaarden voor het gebied

zijn te zien in 12.

Met de neerslag gegevens van het afgelopen jaar kan er gekeken worden hoeveel watervolume er in het systeem komt. Hierbij wordt er gekeken naar dagelijkse neerslag totalen, en zal aangenomen worden dat de regen gespreid over de dag valt. Daarnaast wordt aangenomen dat al het water wat op verhard afstromend gebied valt, daadwerkelijk in het systeem komt, en er dus niets achter blijft. Voor de neerslag wat valt op onverhard afstromend gebied zal aangenomen worden dat eerst de maximale infiltratie capaciteit gebruikt wordt, waarna de rest af zal stromen, en in het systeem zal komen. De neerslag data die is gebruikt is gemeten door neerslag station 344, te Rotterdam [15]. Deze ligt zo'n 4,5km van het betreffende gebied af. Er is aangenomen dat deze neerslag over het gehele gebied gelijk is aan dat gemeten op het neerslagstation.

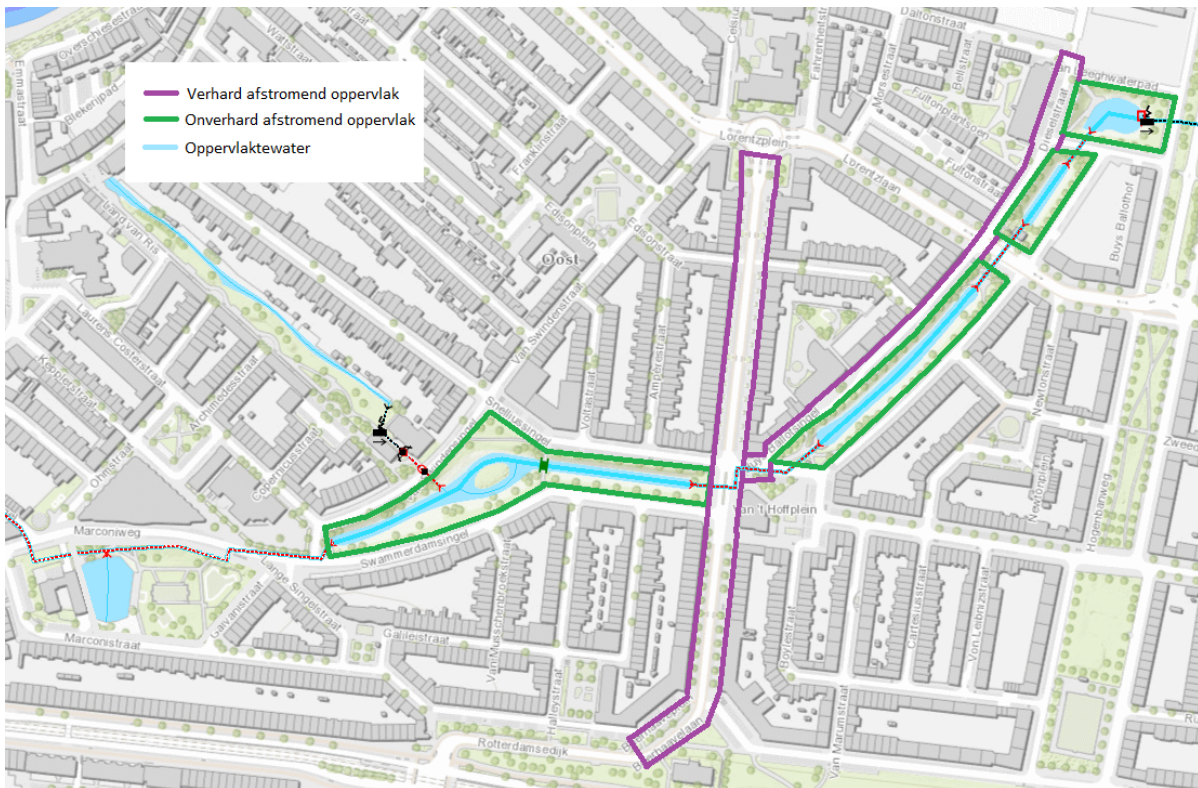
In het afgelopen jaar (28-11-2018 tot 28-11-2019) was de input van neerslag in het systeem  $27.509m^3$ . Deze berekeningen zijn terug te vinden in bijlage F, in de vorm van een Matlab script. Neerslag is echter niet een stabiele aanvoer, zie figuur 10. Op een aantal momenten zorgt dit voor een grote afvoer, en daarna is het weer lang droog. Om deze reden zal er niet direct gerekend worden met de neerslag, maar is het een indicatie voor hoeveel volume dit jaarlijks zorgt in het systeem.



Figuur 10: Neerslagverdeling over het afgelopen jaar te Schiedam (28-11-2018 - 28-11-2019)

	Totaal oppervlak [ $m^2$ ]	Oppervlakte per infiltratiewaarde [ $m^2$ ]		
		0,8mm/dag	0,15mm/dag	0mm/dag
Oppervlaktewater	5.355	3.415	1.940	-
Afstromend gebied onverhard	14.054	9.159	4.895	-
Afstromend gebied verhard	12.878	-	-	12.878
Totaal	32.287			

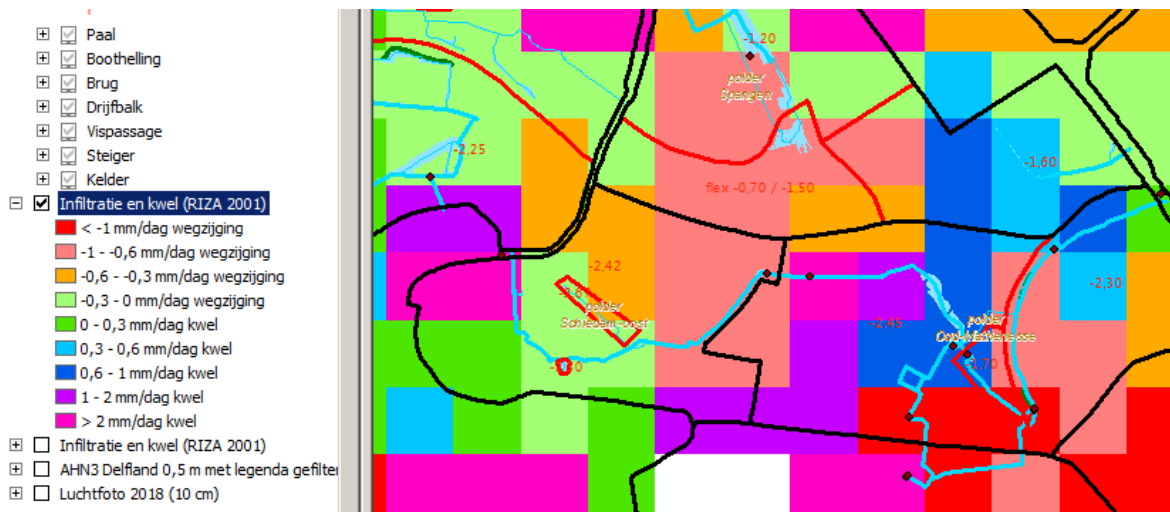
Tabel 2: Dimensies van oppervlaktes



Figuur 11: Afstromend oppervlak naar het systeem

### 4.3.3 Infiltratie

De infiltratie van het oppervlaktewater is een constante factor gedurende het jaar. Het gebied kent op verschillende infiltratie waarden op verschillende plekken waar oppervlaktewater aanwezig is. Deze zijn te zien in figuur 12. Wanneer het oppervlak van het oppervlaktewater hiermee vermenigvuldigd worden komt men op de infiltratie in het gebied. Het gebied kent  $3.415m^2$  met een infiltratiewaarde van  $0,8mm/dag$ , en  $1.940m^2$  met een infiltratiewaarde van  $0,15mm/dag$ . Er is gekozen om aan de hand van figuur 12 de infiltratiewaardes te kiezen, en hiervan de gemiddelde waarde te nemen. Zo krijgt grond met een infiltratiewaarde van  $-1 - 0,6mm/dag$  een infiltratiewaarde van  $-0,8mm/dag$ . Wanneer dit toegepast wordt betekent het dat er jaarlijks een volume van  $1.103m^3$  infiltreert.



Figuur 12: Infiltratie en kwel binnen het gebied

#### 4.3.4 Verdamping

Voor de verdamping van het systeem zullen de Referentiegewasverdampings gegevens van het KNMI gebruikt worden [15]. Deze gegevens zijn net als de neerslag gegevens afkomstig van het KNMI weerstation 344 te Rotterdam [15]. Hierbij wordt aangenomen dat de gewasverdamping gelijk is aan de openwaterverdamping die er plaatsvindt, en wordt alle potentiële verdamping benut, gezien het watersysteem nooit droog staat. Hierbij wordt aangenomen dat de verdamping gemeten op het weerstation geldt voor het gehele watersysteem,  $4,5\text{ km}$  verderop. Het totaal oppervlak van het oppervlaktewater is  $5.355\text{ m}^2$ , zie tabel 2. De data geeft een dagwaarde voor de verdamping. Hiervan is over een jaar berekend wat de gemiddelde verdampingswaarde is, welk vermenigvuldigd is met het totaal oppervlak. Voor het jaar 28-11-2018 - 28-11-2019 was dit een verdamping van  $3.417\text{ m}^3$  uit het systeem. Zie bijlage F voor de gehele berekening.

#### 4.3.5 Riolverstorten

Het is onbekend wat de frequentie en volume van riolverstorten in het systeem zijn. Wel zijn er een aantal meetpunten in het riool die de waterstand hier meten. De waterstanden in het riool overschrijden echter nooit de overstort drempels in de afgelopen twee jaar. Dit zou betekenen dat er in de afgelopen twee jaar niet is overgestort vanuit het riool. Deze meetlocaties echter waren niet in de overstort putten zelf. Dit zou kunnen verklaren dat buurtbewoners hier toch op zijn tijd menselijke ontlasting zien drijven, en beweren dat er vissterfte heeft opgetreden, wat duidt op een riolverstort. Er zijn hier echter dus geen cijfers over bekend. Wat wel bekend is, is dat deze riolverstorten alleen in werking zullen treden bij of na hevige neerslag. Bij droog weer zullen deze dus geen input leveren.

#### 4.3.6 Overlaat Cornelis Drebbelstraat

De afvoer van het systeem is geschat op 260.000 tot 480.000 op jaarbasis. Hier zit echter een enorme foutmarge in [16]. Om hier beter iets over te kunnen zeggen zijn er een aantal metingen uitgevoerd. Aan de hand van deze

metingen zal opnieuw de jaarlijkse afvoer worden bepaald en ook het onderscheid tussen de droog weer afvoer en de regenwater afvoer. Om het debiet door de overlaat te kunnen bepalen kan gebruik gemaakt worden van de afvoer formule volgens Kindsvater-Carter [2]:

$$Q = C_d * \frac{2}{3} * \sqrt{2g} * b * h^{3/2} \quad (2)$$

waarin:

- Q debiet [ $m^3/s$ ]
- $C_d$  karakteristieke afvoercoëfficiënt [-]
- g valversnelling [ $m/s^2$ ]
- b effectieve afvoerende breedte [ $m$ ]
- h effectieve overstortende straal [ $m$ ]

In de debiet berekening van de overlaat is in het rapport rioolvreemd water  $C_d = 0,5$  [16]. Echter, volgens Fenton [10] blijkt dat  $C_d = 0,64$  een nauwkeurigere waarde zou geven. Te lezen in 4.2.2, is de breedte van de overlaat,  $0,6m$ . Om het jaarvolume te berekenen dient de overstortende straal op elk tijdstip bekend te zijn. De overstortende straal wordt hier echter niet gemeten. In plaats daarvan zal eenmalig de overstortende straal gemeten worden, en aan de hand van de waterhoogte aan de HWZ van het gemaal, zal deze berekend worden voor ieder tijdstip. Hierbij wordt aangenomen dat de waterhoogte bij de overlaat en de waterhoogte bij het gemaal een direct verband hebben met elkaar. Op 15-11-2019 om 11:40 was de overstortende straal vastgesteld op  $5,5cm$ . Het waterpeil op dit moment was  $-2,385m + NAP$ . Dit is geëxtrapoleerd voor de rest van de waterpeil geschiedenis. Als het waterpeil  $1cm$  stijgt, is de overstortende straal ook  $1cm$  hoger. Voor elke vijf minuten kan dan de overstortende straal bepaald worden, dus voor elke vijf minuten ook het debiet. Hieruit kan het watervolume bepaald worden wat er in de volgende vijf minuten over de overlaat stroomt. Hierbij is aangenomen dat de straal gedurende deze vijf minuten gelijk blijft. Wanneer deze waardes allen opgeteld worden voor het gehele jaar (28-11-2018 - 28-11-2019), volgt er een jaarvolume. Deze is  $403.704m^3$ . De gehele berekeningen zijn te zien in bijlage E.

#### 4.3.7 Gemaal Hoekersingel

Het gemaal aan de Hoekersingel reageert momenteel op de LWZ, aan de Rotterdamse kant. Deze schakelt in wanneer het waterpeil  $1cm$  onder streefpeil is, en schakelt uit wanneer het waterpeil  $3cm$  boven streefpeil is. De capaciteit van deze pomp is  $1,7m^3/min$ .

## 4.4 Kwalitatieve Schematisatie

De waterkwaliteit kan op verschillende manieren worden gedefinieerd. Het waterkwaliteitsrapportage van Delfland stelt dat deze zowel chemisch als ecologisch kan worden gedefinieerd [26]. Verder kan men ook nog spreken van een belevingswaarde van het water. Voor de chemische waterkwaliteit is er een lijst van stoffen waaraan een norm is gegeven [23]. De ecologische waterkwaliteit wordt gemeten aan de hand van ecologische sleutelfactoren [29]. Een goede chemische waterkwaliteit ligt aan de basis voor een goede ecologische waterkwaliteit. De belevingswaarde is

afhankelijk van hoe mensen het water beleven. Dit komt in de praktijk neer op stank, kroos, en afval wat wel of niet aanwezig is in het water, deze drie zijn ongewild in een goede belevingswaarde. Een schematisatie van het systeem staat weergegeven in ??.

#### 4.4.1 Huidige Systeemkwaliteit

Omdat het onbekend was wat de chemische waterkwaliteit in het systeem is, is er een waterkwaliteitsmeting uitgevoerd. Deze is uitgevoerd op de Swabberdamsingel. De resultaten van deze meting staat weergegeven in tabel 3. De belevingswaarde van het water is matig. Er ligt veel kroos en afval in het water, en in de zomer wil het water nog wel eens stinken. De ecologische waterkwaliteit is goed, er is veel macro fauna aanwezig, hetgeen alleen in stand gehouden wordt door micro fauna [11]. Er zijn enkele inputs in het systeem die invloed zullen hebben op de waterkwaliteit. Deze staan hieronder beschreven in hoofdstuk 4.4.2 tot 4.4.5.

<b>Meting</b>	<b>Eenheid</b>	<b>Resultaat Swabberdamsingel</b>
Fosfor totaal	mg/l	0,26
Stikstof totaal	mg/l	2,5
Temperatuur	°C	11,5
Zuurstofverzadiging	%	58
Doorzicht	m	0,6

Tabel 3: Waterkwaliteitsmetingen Swabberdamsingel verricht op 29-10-2019

#### 4.4.2 Inlaat Schie

De Schie is een Europees KaderRichtlijn Water (KRW) waterlichaam [26]. Dit betekent dat er veel meetpunten in dit water aanwezig zijn en de waterkwaliteit makkelijk te achterhalen is. De waterkwaliteit van de Schie staat weergegeven in tabel 4. Wanneer deze vergeleken wordt met de waterkwaliteit in de Swabberdamsingel valt op dat de nutriënten waarden nagenoeg gelijk zijn, echter de zuurstofverzadiging, de doorzicht en de temperatuur worden beïnvloed in het watersysteem. Rondom de dagen van de meting vond er geen neerslag plaats, dus neerslag heeft geen invloed gehad de metingen in de Swabberdamsingel, en dit zal dan ook voornamelijk Schiewater zijn.

<b>Meting</b>	<b>Eenheid</b>	<b>Resultaat Schiewater</b>
Fosfor totaal	mg/l	0,24
Stikstof totaal	mg/l	2,5
Temperatuur	°C	10,6
Zuurstofverzadiging	%	69
Doorzicht	m	1.1

Tabel 4: Waterkwaliteitsmetingen Schie verricht op 29-10-2019

#### 4.4.3 Riooloverstorten

Het is bekend dat afvalwater (rioolwater) een hoge hoeveelheid aan nutriënten bevat (Fosfaat en Stikstof), en dat het een zeer hoog biologisch zuurstof verbruik heeft [24]. Bij overstorting wordt dit water (sterk) verdund met regenwater in het systeem geloosd. Dit betekent dat op het moment van een riooloverstort er veel fosfaat en stikstof het systeem ingebracht zal worden, en de zuurstof verzadiging zal dalen door de CZV's. Het zal dan ook een negatief effect hebben op de doorzicht. Er wordt aangenomen dat het water de temperatuur heeft van de buitentemperatuur, gezien het meeste regenwater is. Doordat er echter zo weinig bekend is van overstort frequenties, volumes en omdat de samenstelling elke keer verschilt is dit moeilijk concreet te maken.

#### 4.4.4 Neerslag

Regenwater wat uit de lucht valt is schoon. Dit bevat nauwelijks nutriënten [7], en is relatief hoog in zuurstofverzadiging, omdat dit veel in contact is geweest met de lucht. Het regenwater wat dus direct in de singel valt zal dus een verdunnend effect hebben, het brengt weinig nutriënten mee in veel volume. Het water wat echter wat valt op het maaiveld, en afloopt naar de singel is niet zo schoon. Men heeft hier te maken met het 'first flush' fenomeen [1]. Hierbij spoelt het regenwater verontreinigingen van het maaiveld met zich mee. Ondanks dit fenomeen, is de aanname gemaakt dat regenwater altijd een verdunnend effect op het water in het systeem zal hebben wat betreft nutriënten. Het regenwater zal voornamelijk de temperatuur hebben van de buitentemperatuur. Hierbij wordt aangenomen dat het afstromend oppervlak dezelfde temperatuur heeft. Ook is er aangenomen dat het regenwater een positief effect hebben op de doorzicht, omdat het, ondanks het first-flush fenomeen, schoon is.

#### 4.4.5 Omgeving

De interactie met het watersysteem en de omgeving zal voornamelijk invloed hebben op temperatuur en zuurstofverzadiging. Wanneer water warmer wordt, neemt de oplosbaarheid van zuurstof af [9]. Zomers zal het watersysteem dus geleidelijk opwarmen, en hiermee de zuurstof verzadiging afnemen. De verblijftijd van het water is hiervoor dus erg belangrijk. Hoe langer het water in het systeem verblijft, hoe meer het richting de buitentemperatuur zal gaan. Daarnaast kunnen er in de herfst bladeren in het systeem vallen, of andere organische zaken, wat zuurstof verbruikt in het rottingsproces.

## 5 Systems Engineering

In dit hoofdstuk zal systems engineering toegepast worden om toe te werken naar de oplossingen. Allereerst de stakeholderanalyse, dan het programma van eisen, en als laatste de functie- en objectenboom.

### 5.1 Stakeholderanalyse

In dit hoofdstuk zullen de stakeholders behandeld worden. Iedere stakeholder is geïnterviewd, met de vragen wat het belang is van de partij, en wat voor eisen er worden gesteld vanuit de partij aan de oplossingsmogelijkheden. Deze interviews zullen geparafraseerd worden, waarbij het belang per partij in dit hoofdstuk wordt aangehaald, en de eisen zullen worden verwerkt in hoofdstuk ???. In dit hoofdstuk zal er dus kort uitgelegd worden wie de stakeholder is en waarvoor deze staat. Daarnaast zal bepaald worden hoeveel macht en belang de stakeholder heeft binnen het project. Dit zal ook weergegeven worden in een power-interest grid, zie figuur 17.

#### 5.1.1 Hoogheemraadschap van Delfland

Delfland is een van de eenentwintig waterschappen die Nederland kent. De voornaamste taken van Delfland zijn het zorgen voor voldoende water, het zorgen voor schoon water, zorgen dat de dijken in orde zijn zodat er geen overstromingen plaatsvinden, en het zuiveren van afvalwater [25]. Dit zijn dan ook tevens de belangen van Delfland. Delfland kent echter talloze projecten, dus het belang is redelijk hoog. De macht is hoog, gezien Delfland de opdrachtgever is van dit onderzoek.

#### 5.1.2 Optimalisatie Afvalwater Systeem (OAS) De Groote Lucht

De OAS is een samenwerkingsverband tussen de Gemeente Maassluis, Gemeente Middel-Delfland, Gemeente Schiedam, Gemeente Vlaardingen, Gemeente Westland, het Hoorheemraadschap van Delfland, en Rijkswaterstaat West-Nederland Zuid. In deze overeenkomst is vastgesteld dat er in wordt gezet op de realisatie van maatregelen die de lozing van CZV's naar het milieu terugdringt voor de waterzuiveringsinstallatie de Groote Lucht, tegen de laagst mogelijke maatschappelijke kosten [? ]. Het verminderen van de instroom van rioolvreemdwater betekent voor de Groote Lucht minder overstorten, dus minder uitstoot van CZV's. Dit betekent dat het belang van de OAS hoog is binnen het project. De macht van de OAS is hoog. Het OAS belang is uiteindelijk de reden dat het project is opgezet.

#### 5.1.3 Gemeente Schiedam

Gemeente Schiedam is de gemeente waarbinnen de overlaat en het watersysteem zich bevinden. Het belang van de gemeente is om de best mogelijke leefomgeving te creëren voor haar bewoners. Daarnaast heeft de gemeente ook een belang binnen de OAS, gezien zij hier onderdeel van is. Dit maakt het belang vrij hoog. Omdat de overlaat in deze gemeente ligt, heeft deze er zeggenschap over, wat er wel en niet mee mag gebeuren etcetera. Dit houdt in dat de macht van de Gemeente Schiedam hoog is.

## 5.2 Programma van Eisen

In dit hoofdstuk zullen de eisen en wensen van de stakeholders beschreven staan. Het tabel van het programma van eisen staat in tabel 9. Dit tabel zijn gebaseerd op interviews die met de stakeholders zijn gehouden, vanuit hoofdstuk 5.1.

Opvallend is de wens voor een betere waterkwaliteit bij zowel Delfland als Gemeente Schiedam, als de strenge eisen aan waterkwantiteit in het systeem, gericht op inundatie. Verder is het opvallend dat alle partijen geen achteruitgang willen zien binnen het systeem.

## 5.3 Functieboom

In de functieboom staan de eisen van de stakeholders, vertaald tot functies die het nieuwe systeem moet hebben. Deze worden dan weer onderverdeeld in subfuncties. Aan de subfuncties worden objecten gekoppeld. Deze objecten zullen nodig zijn om de eisen van de stakeholders te bevredigen. Omdat dit niet een apart staand systeem is, maar een systeem wat geïntegreerd zal moeten worden met het huidige systeem zullen in sommige gevallen de functieboom objecten en functies vertonen die al in het systeem zitten. In het hoofdstuk 6 zullen deze oplossingen worden gealloceerd, en eventuele zaken die al aanwezig zijn zullen dan benoemd worden. De functie- en objectenboom is te zien in figuur 18, in bijlage C. De groene vakjes zijn wensen vanuit de stakeholders, waar witte vakjes eisen zijn.

Wat opvalt is dat heel veel van de objecten al aanwezig zijn in het huidige systeem, echter dat de functies niet behaald worden door het systeem. Ook zijn valt op dat de enige wensen van stakeholders terug te vinden zijn in waterkwaliteit.

## 6 Oplossingen

In dit hoofdstuk zullen de mogelijke oplossingen uitgezet worden. Deze zullen worden getoetst op het onderdeel systems engineering (zie hoofdstuk 5), waterkwantiteit, waterkwaliteit, en vermindering van het debiet over de overlaat aan de Cornelis Drebbelstraat. Omdat waterkwaliteit een wens is, en de waterbalans een eis, zal het kloppend maken van de waterbalans prioriteit hebben. Er zijn twee oplossingen uiteengezet. De eerste oplossing zal een uiteenzetting zijn van hoe de eisen met de minste moeite gehaald kunnen worden. De tweede oplossing zal zich richten op de wensen van de stakeholders, en hoe deze vervuld kunnen worden in de oplossing. Dit zal voornamelijk de waterkwaliteit zijn. Met de oplossingen zal vooral gekeken worden naar het effect wat deze gehad zouden hebben op het systeem met de neerslag van het afgelopen jaar. Ook zal er gerekend worden met een aantal standaardbuien.

Riooloverstort situaties zullen niet meegenomen worden in de oplossingen gezien hier geen data van bekend was. Wanneer er echter een riooloverstort plaatsvindt zal er ook een grote hoeveelheid neerslag vallen. Met neerslag pieken is dan ook rekening gehouden in de oplossingen, dus indirect worden riooloverstorten ook meegenomen.

### 6.1 Waterbalans Model

Het model in Matlab waarmee de waterbalans gemaakt zal worden bestaat uit een balans die elke 5 minuten wordt uitgevoerd. Elke tijdstap worden de fluxvolumes bij elkaar opgeteld, welk een positief of negatief volume geeft voor die tijdstap. Dit volume is omgerekend naar waterpeil. Elke tijdstap wordt aan de hand van de fluxen dus bepaald hoeveel het waterpeil zal stijgen of dalen. De begin situatie van een simulatie begint met het peil op streefpeil. In de praktijk is de invloed van de initiële waarde van het waterpeil klein. Het systeem is zelfregulerend, en binnen een half uur zich weer kan normaliseren naar streefpeil bij een initieel peil van streefpeil + 2cm.

Bij de berekeningen is aangenomen dat de neerslag afstroomt zoals beschreven is in hoofdstuk 4.3.2. Riooloverstorten niet zijn meegenomen. Een riooloverstort vind alleen plaats in een extreme neerslag situatie. Dit zou een situatie zijn waar de overlaat al met zekerheid gebruikt moet worden. Om deze reden is dit genegeerd. Verder is de tijdstap die gebruikt is 5 minuten. Dit voor zowel de lange termijn van het neerslag jaar, als de korte termijn van enkele buien, figuur 13 en 14 respectievelijk. Deze keuze is gemaakt omdat de standaard regenbuien met deze tijdstap aangeleverd worden. De constante fluxen kunnen hier op aangepast worden, maar een langere tijdstap maakt de fluxen als neerslag niet betrouwbaar. Voor de berging geldt dat er is aangenomen dat het wateroppervlak gelijk blijft bij peilstijging of -daling. Dit betekent dat bij elk waterpeil de berging per extra centimeter gelijk is genomen. Als laatste geldt de aanname dat het waterpeil direct overal reageert op een flux. Bij neerslag zal het water onmiddellijk afstromen, en zal het gehele waterpeil onmiddellijk, op elke plaats gelijk stijgen.

### 6.2 Waterkwaliteit

Waterkwaliteit valt onder één van de wensen die door vele stakeholders genoemd is. Zoals te lezen in hoofdstuk 4.4, er zijn veel zaken onbekend over de waterkwaliteit. De waterkwaliteitsmeting is maar eenmalig uitgevoerd,

er is geen data over wat het regenwater precies voor input heeft, etc. Wat wel bekend is, is dat hoe langer het water verblijft in het systeem, hoe lager het zuurstof gehalte wordt, hoe meer nutriënten er in het systeem komen, evenals een verhoging van de temperatuur en doorzicht [29][1][24]. Van al deze onderdelen is dit niet gewenst, dus dient men de verblijftijd in het systeem zo laag mogelijk te houden. Om dit te bereiken dient er een zo hoog mogelijke doorstroming te zijn. De waterkwaliteitsnormen zullen niet altijd gehaald worden, gezien het water vanuit de Schie hier ook op momenten niet aan voldoet, echter zal op deze manier wel de beste waterkwaliteit behaald worden.

Voor de oplossingen zal er een jaarlijks doorstroomvolume bepaald worden. Zo kunnen deze oplossingen met elkaar vergeleken worden, om zo iets te kunnen zeggen over de waterkwaliteit. Hiervoor wordt aangenomen dat de doorstroming gelijk verdeelt wordt gedurende het jaar.

### 6.3 Oplossing 1: Optimaliseren Huidig Systeem

Bij deze oplossing zullen enkel de eisen en randvoorwaarden vanuit de stakeholders meegenomen worden. Door het huidige systeem te vergelijken met hetgeen geconcludeerd in systems engineering zal er blijken wat er nog mist in het huidige systeem.

#### 6.3.1 Systems Engineering

In deze oplossing zullen de wensen niet meegenomen worden van de stakeholders, tenzij dit geen extra moeite kost. Dit betekent dat alleen de witte objecten nog meegenomen zullen worden vanuit hoofdstuk 5.3. In tabel 5 zal gevalideerd worden of de objecten gevonden met systems engineering ook bestaan het syteem.

Object	Aanwezig in de vorm van	Nog afwezig
Gemaal / zwaartekracht (afhankelijk van peilgebieden) voor aanvoer	Zwaartekracht (instroom onder vrij verval vanaf Schie)	
Gemaal / zwaartekracht (afhankelijk van peilgebieden) voor afvoer	Gemaal (Hoekersingel)	
Automatische schuif		Met de hand bedienbare schuif. Dient te veranderen naar automatische schuif.
Watergang aanvoer	Duiker vanaf de Schie	
Watergang afvoer	Hoekersingel	
Barrière		Overlaat Cornelis Drebbestraat maar dient opgehoogd te worden

Tabel 5: Aanwezigheid objecten uit Systems Engineering in systeem

Uit deze tabel volgt dat de overlaat opgehoogd dient te worden, en dat de schuif bij de inlaat in deze staat niet voldoet. Deze dient vervangen te worden door een automatische schuif.

### 6.3.2 Optimalisatie

In hoofdstuk 4 staat beschreven hoe het huidige systeem geregeld wordt. In deze oplossing zal dat aangepast worden. Met de nieuwe optimalisatie is in Matlab een waterbalans uitgevoerd. Met deze analyse zal voor het afgelopen jaar berekend worden wat het waterpeil zou zijn geweest, mocht deze optimalisatie toen al in werking zijn, en daarna zullen er een aantal standaard buien beschreven door RioNed [22] als input verwerkt worden door het systeem.

De nieuwe optimalisatie wordt gedefinieerd als zijnde een automatische schuif bij de inlaat van de Schie, en een verandering van de instellingen van het gemaal Hoekersingel. Hierbij zal ook de overlaat verhoogd worden tot haar oude theoretische niveau zoals beschreven in het rapport rioolvreemd water [16], naar  $-2,34m + NAP$ . Dit creëert berging die gebruikt kan worden ten tijden van neerslag. Het behouden van de overlaat is wel aan te raden, gezien er in het geval van een extreme situatie er ruimte blijft om dit debiet op te vangen, gezien er een extra afvoer in het systeem zit dan. Door het verhogen van de overlaat komt het gebruik er van echter niet vaak meer voor. Hoe de automatische schuif en het gemaal geregeld dienen te worden is te zien in tabel 6. Zoals gezegd is de tijdstap van het model 5 minuten. In de praktijk is het aan te raden de automatische schuif en het gemaal op dezelfde tijdstap in te stellen, anders kan het gemaal en de schuif om de paar seconden aan of uit schakelen als het waterpeil rond streefpeil is. Het debiet van de Schuif dient  $1,2 m^3/min$  te zijn wanneer deze open staat, en het debiet van het gemaal dient  $1,7m^3/min$  te zijn wanneer deze aan staat. Voor de waterkwaliteit geldt dat bij een hogere doorstroming de waterkwaliteit beter wordt [8]. Om deze reden zal de schuif dus altijd open staan, tenzij het waterpeil te hoog is, of er input is in het systeem van neerslag. Er is gekozen om geen gebruik te maken van het maximale debiet van de inlaat in de huidige vorm ( $1,5m^3/min$ ) zodat het gemaal niet aan zijn capaciteit zou zitten bij DWA. Mocht er dan neerslag onverwachts vallen dan zal dit niet gelijk een flinke peilstijging tot gevolg hebben.

Object	Aan wanneer voldoet aan	Uit wanneer voldoet aan
Gemaal Hoekersingel	Peil > streefpeil	Peil < streefpeil
	Neerslag valt en Peil > $-2cm + \text{streefpeil}$	
Schuif inlaat Schie	Peil < $3cm + \text{streefpeil}$	Peil > $3cm + \text{streefpeil}$
		Neerslag valt

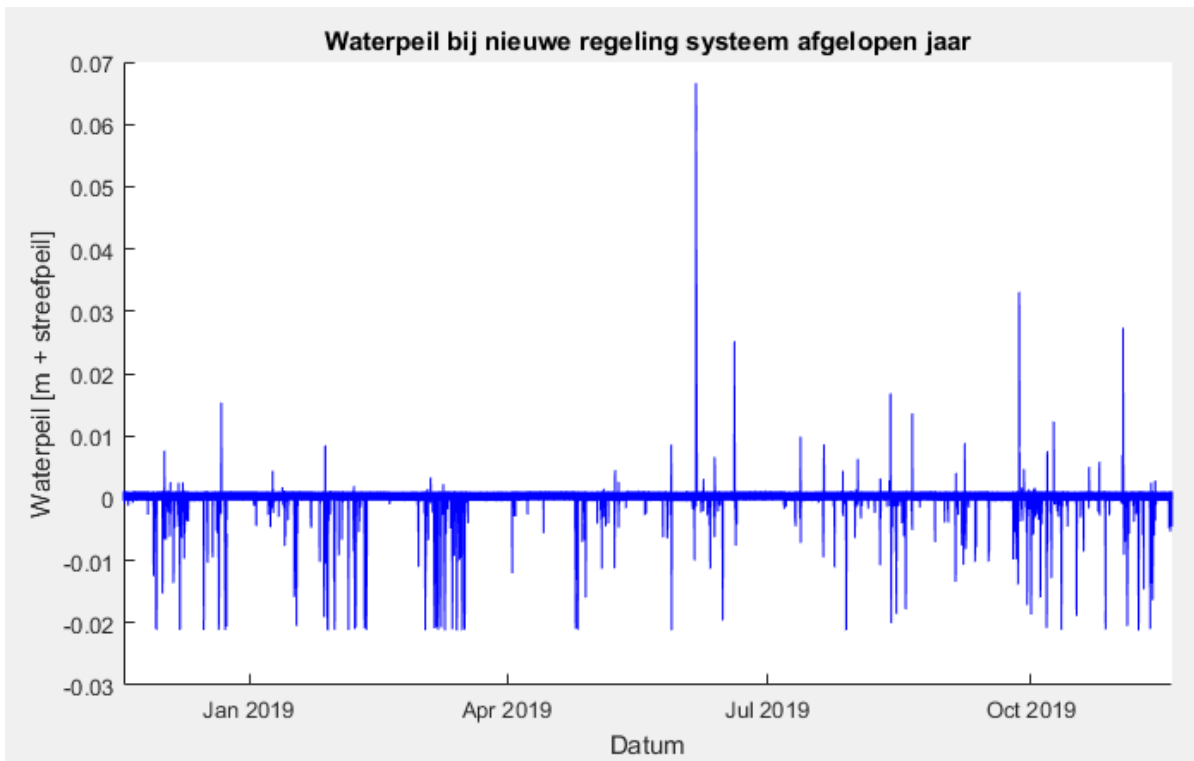
Tabel 6: Logica regels optimalisatie systeem

Het gemaal aan de Hoekersingel wordt momenteel geregeld door het waterpeil aan de Hoekersingel (LWZ). Voor deze oplossing zou deze moeten gaan werken op het waterpeil aan de Cornelis Drebbelstraat (HWZ). Er dient dus nog onderzocht te worden of het Rotterdamse watersysteem hier achter liggend deze aanpassing aan kan.

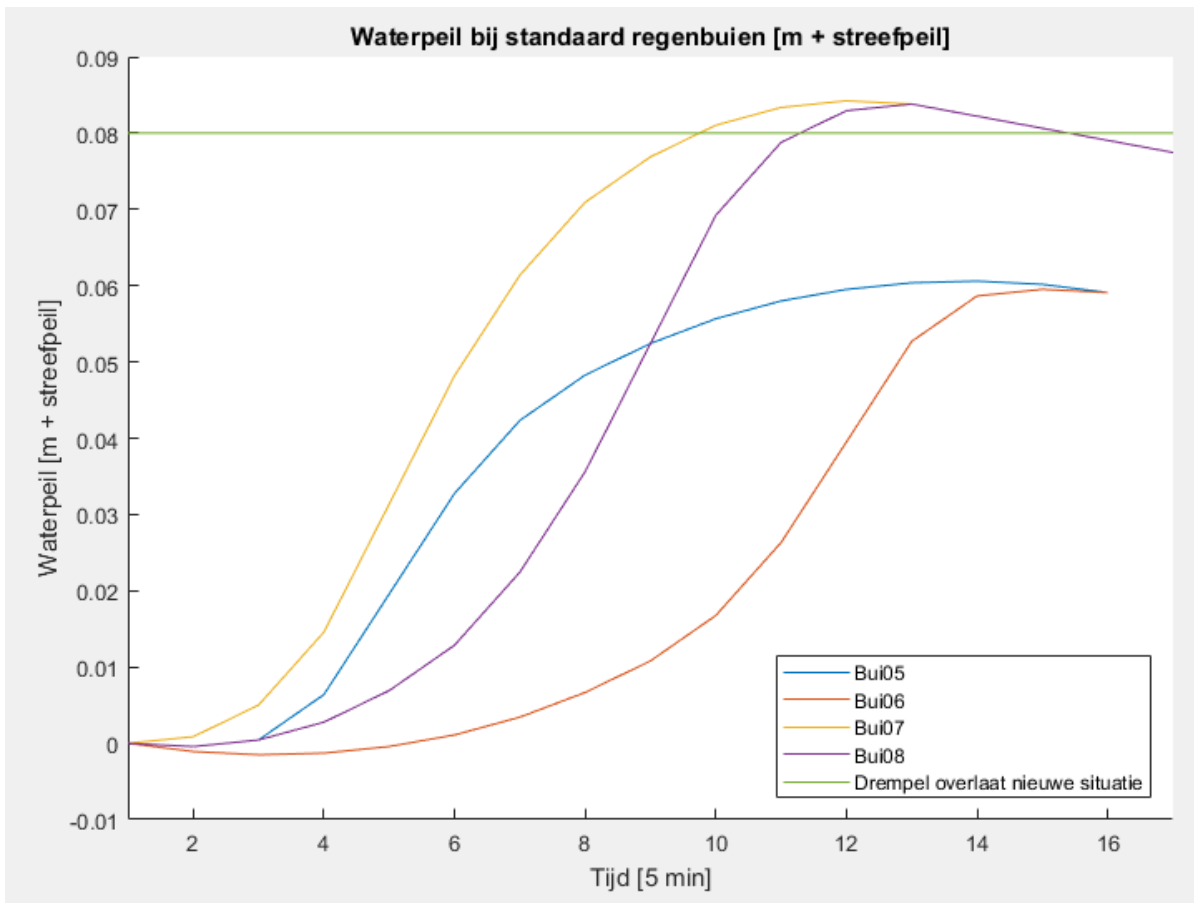
### 6.3.3 Waterkwantiteit

Wanneer de neerslag van het afgelopen jaar als input in het systeem gebruikt ziet er waterpeil er gedurende het jaar er uit als in figuur 13. Wetende dat de overlaat zich in de nieuwe situatie zich bevindt op  $8cm$  boven de overlaat is te zien dat de overlaat geen enkele keer gebruikt zou zijn geweest. Neerslag van het afgelopen jaar is echter

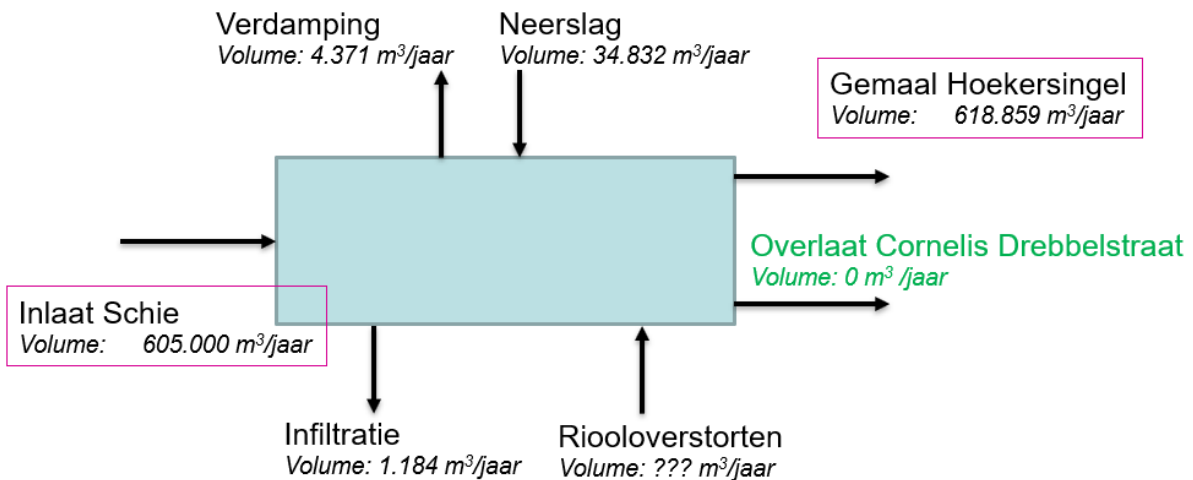
niet een houvast, gezien dit misschien juist een extreem jaar was, of totaal niet. Om deze reden zijn er een aantal standaard buien als input aan het systeem gegeven. De uitkomst hiervan op het waterpeil is te zien in figuur 14. Bui05 tot en met Bui08 zoals beschreven door RioNed zijn hiervoor gebruikt [22]. Zoals te zien, kan het systeem een Bui06 ( $T=1$ ) goed verwerken, maar voor een Bui07 ( $T=2$ ) dient de overlaat in werking te treden. De maximale overstortende straal zal echter maar een halve centimeter zijn in dit geval voor een korte periode, zoals te zien in de figuur. De berekeningen zijn terug te vinden in bijlage G. In figuur 15 zijn de jaarvolumes te zien met input van oplossing 1.



Figuur 13: Waterpeil met optimalisatie voor afgelopen jaar (28-11-2018 - 28-11-2019)



Figuur 14: Waterpeil met optimalisatie voor standaardbuien



Figuur 15: Jaarvolumes met oplossing 1 geïmplementeerd

### 6.3.4 Waterkwaliteit

Met de optimalisatie stroomt zou er afgelopen jaar zo'n  $605.000m^3$  aan water door de inlaat zijn gestroomd. Hierbij wordt aangenomen dat dit relatief constant verdeeld is per dag. Op dagen dat er weinig doorstroming is, vind er weer meer doorspoeling plaats door middel van neerslag, dus uiteindelijk zal de doorstroming vrij constant zijn.

Het is echter onbekend wat de doorstroming is in het huidige systeem. Om te weten hoe de waterkwaliteit dus relatief wordt beïnvloed dient er verder onderzoek gedaan te worden naar de doorstroming in de huidige situatie.

### 6.3.5 Overlaat Cornelis Drebbelstraat

De overlaat aan de Cornelis Drebbelstraat dient dus terug te worden gezet naar de oude theoretische hoogte. Deze is ingemeten op  $-2,45m + NAP$ , maar dient te staan op  $-2,34m + NAP$  [16].

## 6.4 Oplossing 2: Nieuwe afvoermogelijkheid creëren

Bij deze oplossing zullen zowel de eisen en randvoorwaarden als de wensen vanuit de stakeholders meegenomen worden. Door het huidige systeem te vergelijken met hetgeen geconcludeerd in systems engineering zal er blijken wat er nog mist in het huidige systeem.

### 6.4.1 Systems Engineering

In deze oplossing worden ook de wensen meegenomen van de stakeholders. Dit betekent dat alle objecten meegenomen worden vanuit de functieboom vanuit hoofdstuk 5.3. In tabel 7 zal gevalideerd worden of de objecten gevonden met systems engineering ook bestaan het systeem.

Object	Aanwezig in de vorm van	Nog afwezig
<i>Eisen en Randvoorwaarden</i>		
Gemaal / zwaartekracht (afhankelijk van peilgebieden) voor aanvoer	Zwaartekracht (instroom onder vrij verval vanaf Schie)	
Gemaal / zwaartekracht (afhankelijk van peilgebieden) voor afvoer	Gemaal (Hoekersingel)	
Automatische schuif		Met de hand bedienbare schuif. Dient te veranderen naar automatische schuif.
Watergang aanvoer	Duiker vanaf de Schie	
Watergang afvoer	Hoekersingel	
Barrière		Overlaat Cornelis Drebbelstraat maar dient opgehoogd te worden
<i>Wensen</i>		
Gemaal / zwaartekracht (afhankelijk van peilgebieden) voor afvoer		Gemaal welke water naar berging Schieveste pompt dient gebouwd te worden
Watergang afvoer		Duiker van de Cornelis Drebbelstraat naar berging Schieveste dient aangelegd te worden
Gemaal / zwaartekracht (afhankelijk van peilgebieden) voor aanvoer	Zwaartekracht (instroom onder vrij verval vanaf Schie)	
Watergang aanvoer		Huidige aanvoer eventueel te klein met max. debiet $1,5m^3/min$
Bassin		Berging in de vorm van berging Schieveste

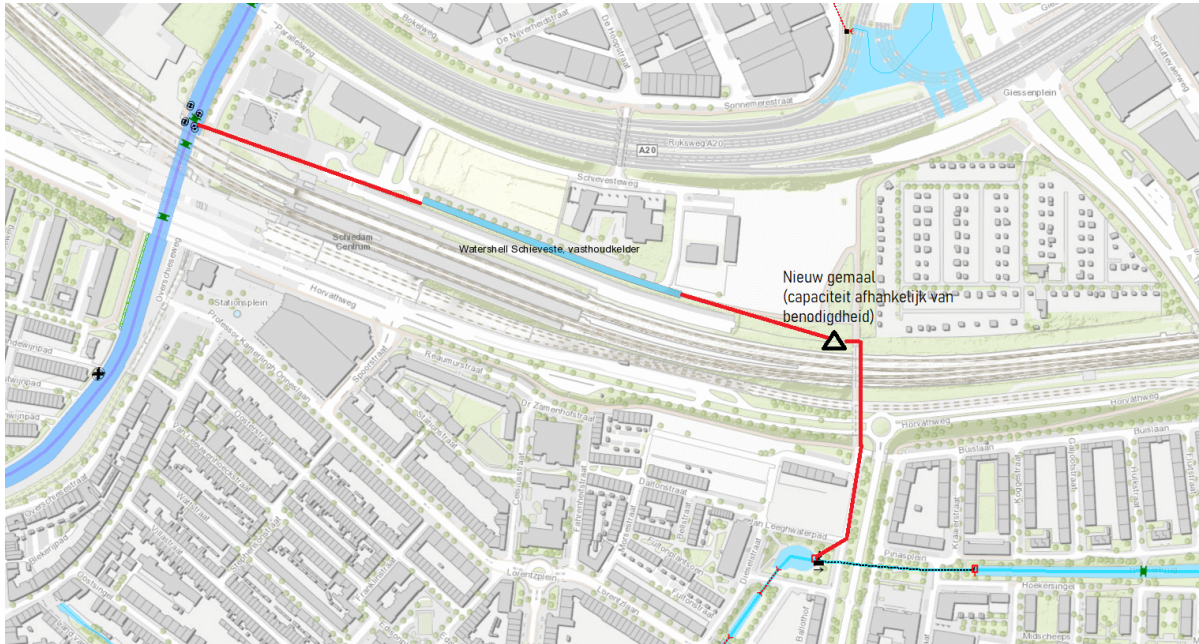
Tabel 7: Aanwezigheid objecten uit Systems Engineering in systeem inclusief wensen

Uit de tabel kan geconcludeerd worden dat het systeem net als in oplossing 1 geoptimaliseerd dient te worden. Naast deze optimalisatie dient een extra afvoermogelijkheid gecreëerd te worden, en dient eventueel de aanvoercapaciteit verhoogd te worden. In de geografische inpassing zal er uitgelicht worden hoe dit gedaan dient te worden.

#### 6.4.2 Geografische Inpassing

In figuur 16 is de nieuwe afvoermogelijkheid uitgetekend. Deze mogelijkheid is al eens uitgedacht bij de Gemeente Schiedam. Deze is destijds om onbekende reden niet voortgezet. Het water zal onder vrij verval tot naar het treinspoor lopen, en daar onder de fietstunnel door. Hier is in het verleden al een gemaal kelder aangebracht, maar nog zonder gemaal, voor deze maatregel. Hier dient een gemaal geplaatst te worden die het water omhoog pompt

naar de berging toe die daar ligt. Vanaf de berging zal dit onder vrij verval naar de Schie lopen.



Figuur 16: Verloop nieuwe afvoermogelijkheid via Schieveste. Berging schieveste geen oppervlaktewater zoals staat aangegeven, maar een ondergrondse kelder.

### 6.4.3 Waterkwantiteit en -kwaliteit

De berging en haar afvoersysteem is gebouwd voor Schieveste. Dit betekent dat deze kwantitatief op de waterafvoer benodigheden van Schieveste is gebouwd, en dat het de vraag is of er zomaar extra debiet uit het watersysteem bij kan.

Buiten deze capaciteit om geldt dat er  $28,8\text{mm/ha/dag}$  aan neerslag afgevoerd mag worden op de Schie voor het afstromende gebied [3]. Meer dan dit dient dus geborgen te worden in het systeem, of in de berging van Schieveste. Zoals te zien in tabel 2, is het totale afstromende gebied  $32.287\text{m}^2$ . In berekening 3 is te zien dat dit neerkomt op  $930\text{m}^3/\text{dag}$ .

$$\begin{aligned}
 28,8\text{mm/ha/dag} &= 28,8\text{mm/m}^2/\text{dag} \\
 28,8\text{mm/m}^2/\text{dag} &= 0,0288\text{m/m}^2/\text{dag} \\
 \text{totaal oppervlakte} &= 32.287\text{m}^2 \\
 0,0288 * 32.287 &= 929,87\text{m}^3/\text{dag}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Ditzelfde geldt voor het Schieveste gebied. Hiervoor is een maximale afvoer capaciteit ingebouwd van  $6,1\text{m}^3/\text{min}$ , in de vorm van een wervelventiel. De berging zelf kent een capaciteit van  $1.745\text{m}^3$  [3].

Omdat het gebied Schieveste en haar berging teveel onzekere factoren kennen, waardoor het onbekend is welk

debiet daar op welk moment aangeleverd kan worden, kan er niks verder worden gezegd over zowel de kwaliteit als de kwantiteit van het watersysteem. Er dient verder onderzoek gedaan te worden naar de mogelijkheden om het systeem op Schieveste aan te sluiten. Zaken die onderzocht dienen te worden zijn onder andere; welke debiet er geleverd mag worden aan Schieveste, of het wervelventiel aangepast dient te worden door een grotere afvoercapaciteit bij Schieveste, het debiet wat het gemaal dient te hebben die gemaakt moet worden. Met de maximale afvoer naar Schieveste dient dan ook een nieuwe optimalisatie van de waterbalans gecreëerd te worden.

## 7 Verificatie en Validatie

De verificatie en validatie van de oplossing zal gedaan worden aan de hand van een Requirements Allocation Sheet (RAS), onderdeel van systems engineering [4]. Hierin wordt gecontroleerd of elke eis en wens vanuit de stakeholders een functie hebben gekregen (zie hoofdstuk 5.2 en 5.3), en of elke functie een object heeft gekregen (zie hoofdstuk 5.3). De tabel is te vinden in bijlage D. Hierin valt op dat alle zaken gehaald worden, zowel welke eis kent een functie, evenals elke functie kent een object.

## 8 Discussie

Een groot deel van dit onderzoek en haar resultaten is gebaseerd op één jaar (28-11-2018 - 28-11-2019). Dit omdat er voor veel gevallen geen verdere data beschikbaar was. Het is belangrijk om dit jaar te zien in de context van normale neerslag jaren. In tabel 8 staat uitgewerkt wat de norm is vanuit het klimaat, ten opzichte van het neerslagjaar [15]. Uit de tabel valt te concluderen dat het neerslagjaar 6% natter was dan gemiddelde jaren, maar dat er vooral een paar extreme maanden waren. Dit past in het beeld van klimaatverandering [15]. Al met al kan geconcludeerd worden dat het jaar relatief representatief is ten opzichte van overige jaren, zeker wanneer klimaatverandering meegenomen wordt in de overweging, echter blijft dit altijd nog iets om mee te nemen in de overweging. Hierin zijn namelijk niet individuele buien meegenomen, maar alleen maanden.

Maand	Norm vanuit klimaat	Verschil	Neerslagjaar
December	89	-2	87
Januari	76	-6	70
Februari	59	5	64
Maart	73	41	114
April	45	-12	33
Mei	63	-15	48
Juni	69	43	112
Juli	83	-20	63
Augustus	92	-17	75
September	91	-2	89
Oktober	97	10	107
November	95	32	127
Totalen	932	57	989

Tabel 8: Neerslag gemeten te Rotterdam, in  $mm/maand$

Om te bepalen hoeveel neerslag in  $m^3$  er in het systeem komt bij een bepaalde neerslag in  $mm$  is er gerekend met afstromende gebieden. Hier is echter aangenomen dat al het water op verhard oppervlak direct afstroomt. In de praktijk zal echter niet alles afstromen, en zit er nog een vertraging in, gezien het water in sommige gevallen bijna een halve kilometer dient af te leggen. Op onverhard gebied is aangenomen dat eerst de gehele dagwaarde aan infiltratie plaatsvindt, ook al valt dit binnen 5 minuten. Hierbij is, net zoals bij verhard oppervlak, aangenomen dat hetgeen niet infiltreert direct afstroomt naar het oppervlaktewater. Dit zal in de praktijk niet gebeuren, maar met een flinke vertraging. Al met al kan er dus gesteld worden dat de daadwerkelijke aanvoer van neerslag lager zal zijn dan de gestelde pieken bij de standaardbuien.

Bij het bepalen van de straal van de overlaat aan de Cornelis Drebbelstraat is gebruik gemaakt van het waterpeil zoals gemeten door het gemeentelijk Hoekersingel. Hierbij is aangenomen dat het waterpeil hier hetzelfde was als die bij de overlaat. Met het waterpeil bij het gemeentelijk is de overstortende straal voor het gehele jaar berekend. Hierin zit

onzekerheid, omdat het niet zeker is of deze hetzelfde zijn en of ze zich lineair verhouden.

Voor de inlaat is ook de overstortende straal gemeten. Dit is gedaan met de schuif op verschillende standen. De schuif echter zit 500m eerder in het systeem. Er zat vijf minuten tussen het draaien van de schuif en het meten van de straal. Er zit echter onzekerheid in of het systeem zich dan geheel zou hebben gestabiliseerd.

Uiteindelijk is de conclusie betreft waterkwaliteit alleen gebaseerd op doorstroming, en dat meer beter is. Deze conclusie mist echter wel concrete getallen, iets wat met de huidige data niet haalbaar bleek. Het is dus echter wel een minder accurate conclusie dan een die met getallen is onderbouwd.

De eerste oplossing kent voornamelijk een risico, namelijk dat het gemaal Hoekersingel niet de hoeveelheid water kan verwerken die nodig is. Dit zou twee dingen als gevolg kunnen hebben. Allereerst kan de waterkwaliteit hier onder lijden, gezien er minder doorstroming plaatsvindt bij droogweer. Ten tweede kan het betekenen dat bij regenweer er geen gebruik kan worden gemaakt van het gemaal. Dit betekent dat de regenbuien die verwerkt kunnen worden minder groot zijn dan geconcludeerd in hoofdstuk 6. De tweede oplossing kent een aantal risico's. Allereerst geldt het risico van de eerste oplossing in mindere mate voor de tweede oplossing. Verder kent de tweede oplossing een grote investering ten opzichte van de eerste oplossing. Het risico hiermee is dat de winst die behaald wordt met deze oplossing niet de kosten uitweegt.

Het gebruik maken van systems engineering voor dit probleem kende veel voordelen. Het gaf inzicht in de voornaamste problemen, en in wat de stakeholders graag zien wilden. De functie- en objectenboom echter kent enige bias in het koppelen van objecten aan de functies. Deze bias ontstaat vanuit dat er vaak verschillende objecten zijn die de bepaalde subfunctie vervullen, echter wordt er maar een gekozen om als object te koppelen. In dat geval was er gekozen om objecten te kiezen die al aanwezig waren in het systeem. Dit is immers goedkoop en makkelijk. Dit sluit echter wel de deur voor oplossingen die meer out of the box liggen, en totaal andere objecten kennen.

## 9 Conclusie en Aanbevelingen

Afgelopen jaren is het watersysteem in Schiedam niet goed geregeld betreft aanvoer en afvoer. Er werd veel te veel water aangevoerd en te weinig water afgevoerd via gewenste afvoermogelijkheden. Dit resulteerde in het onnodig veel gebruiken van de overlaat aan de Cornelis Drebbelstraat.

Om dit op te lossen is een nieuwe balans nodig tussen aanvoer en afvoer. Een balans zonder, of zo weinig mogelijk gebruik makend van de overlaat. Er zijn twee opties waarmee dit kan gebeuren. Deze oplossingen staan omschreven in hoofdstuk 6. Het is belangrijk dat ongeacht de oplossing, de drempelhoogte van de overlaat terug gezet dient te worden naar de oude hoogte. Deze is momenteel verzakt naar  $-2,45m + NAP$ . De oude theoretische hoogte is  $-2,34m + NAP$ . Dit zorgt voor berging in het gebied, welke gebruikt kan worden voor het opvangen van neerslag evenementen.

Voor oplossing 1 is het nodig dat er wordt onderzocht of een herprogrammering van het gemaal Hoekersingel mogelijk is, dat deze werkzaam wordt afhankelijk van het waterpeil aan de kant van Schiedam. Als dit mogelijk is, dan dient er een automatische schuif te komen, welke dan geprogrammeerd zal moeten worden zoals beschreven in hoofdstuk 6. Dan kan er een besparing van riolvreemd water plaatsvinden van 100% over het afgelopen jaar (28-11-2018 - 28-11-2019) van zo'n  $405.000m^3$ , of kan het systeem een standaard Bui06 [22] verwerken zonder gebruik te maken van de overlaat. Deze oplossing is zeer effectief voor het oplossen van het probleem van riolvreemd water, voor een vrij lage investering. Betreft de wensen voor waterkwaliteit is onzeker, hoe dit zich verhoudt tegenover de huidige situatie. Hier dient dan ook verder onderzoek naar gedaan te worden.

Voor oplossing 2 is nog veel verder onderzoek nodig. Voor deze oplossing wordt er nog een afvoer gecreëerd in het systeem. Afhankelijk van wat de capaciteit hiervoor is, zal de doorstroming in het systeem veel hoger kunnen zijn, wat de waterkwaliteit ver bevordert. Daarnaast zou er, wederom afhankelijk van de capaciteit, een heftigere regenbui opgevangen kunnen worden door het systeem, zonder gebruik te maken van de overlaat. Om hier een goed beeld van te krijgen dient er nader onderzoek gedaan te worden naar de volgende zaken.

Allereerst zal gekeken moeten worden hoeveel volume er extra toegevoegd mag worden aan de berging. Dit ten tijden van DWA, zowel als RWA. Verder dient er gekeken te worden naar de maximale capaciteit van de afvoer van de berging, en of dat dit dan voldoende is voor het nieuwe debiet. Als laatste dient er een gemaal geplaatst te worden die het water omhoog pompt naar de berging. Er moet onderzocht worden wat de capaciteit van het gemaal dient te zijn.

De waterbalans gaf een goed inzicht in het systeem en oplossingsmogelijkheden voor de korte termijn (5 minuten). Dit is namelijk een tijdschaal die congruent blijkt met alle fluxen. Voor een grote tijdschaal (1 jaar) blijkt dit geen goede tool. Hiervoor kan men het beste de jaarvolumes van elke flux met elkaar vergelijken om zo inzicht te verkrijgen in ordegroottes, echter de input van neerslag is te onregelmatig om een goede analyse te maken met een grote tijdschaal (1 jaar).

Systems engineering bleek een goede tool te zijn bij het zoeken naar een oplossing. Het gaf een diepgaand inzicht

in welke aanpassingen er aan het huidige systeem gemaakt moesten worden om zo een systeem te creëren die de stakeholders bevredigde. Door het vergelijken van de objecten uit de functieboom met het huidige systeem werd inzicht verkregen in welke objecten er misten in het huidige systeem. In sommige gevallen bleek dat de fysieke objecten aanwezig waren, maar de functionaliteit niet gehaald werd. Hier kon geconcludeerd worden dat er een optimalisatie gemaakt moest worden.

De eerste deelvraag is beantwoordt door het programma van eisen. Deze zijn terug te vinden in de vorm van eisen en randvoorwaarden. De voornaamste waren hierin het beheersbaar houden van het waterpeil, geen achteruitgang in waterkwaliteit, en een vermindering van water over de overlaat.

De tweede deelvraag is terug te vinden door het verschil in oplossing 1 en 2. Oplossing 1 kent een beperking in de maximale doorstroom van water door het systeem. Om deze reden is er een extra watergang aangelegd waarlangs water afgevoerd kan worden. Dit brengt veel extra kosten met zich mee, om louter de wensen te behartigen van de stakeholders. De vraag die hier gesteld moet worden is of dit wel wenselijk is. Hiervoor dient verder onderzoek gedaan te worden naar de kosten van beide oplossingen.

De derde deelvraag wordt beantwoord door de beide oplossingen te vergelijken met het huidige systeem. Voor oplossing 1 geldt dat er alleen een nieuwe schuif dient te komen, die automatisch werkt in plaats van mechanisch. Voor oplossing 2 geldt dat er naast een automatische schuif er een geheel nieuwe watergang aangelegd gaat worden samen met een gemaal. Voor oplossing 1 zal de invloed dus klein zijn, maar voor oplossing 2 zal het een vrij ingrijpende gebeurtenis zijn.

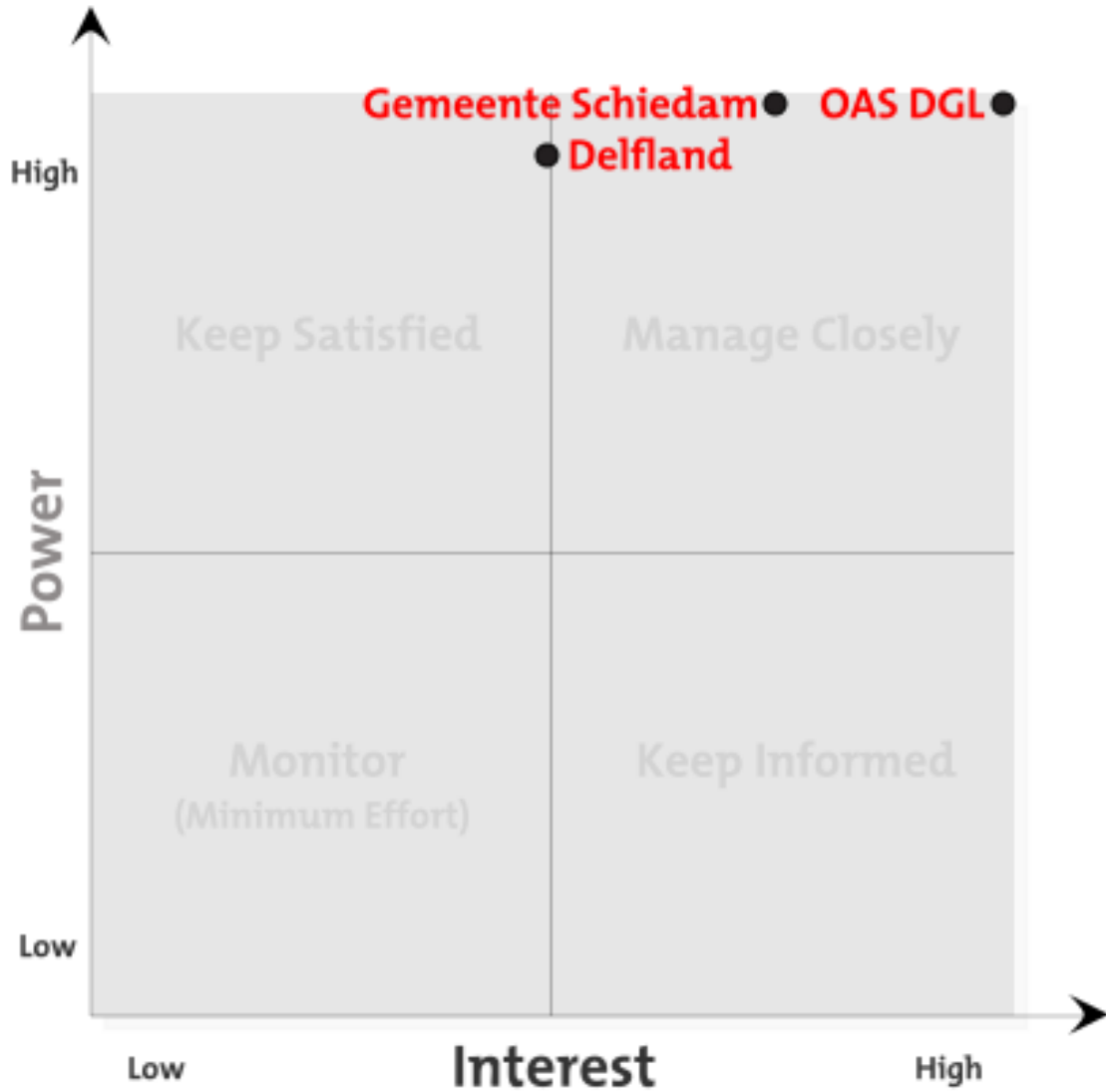
De vierde deelvraag wordt beantwoord in de oplossingen door het waterbalans model. Hierin wordt er voornamelijk in oplossing 1 een antwoord geformuleerd, omdat oplossing 2 geen concrete getallen kent. Voor oplossing 1 zal dit een samenspel zijn tussen inlaat en gemaal, samen met het gegeven of er neerslag valt of niet.

## Referenties

- [1] Jean-Luc Bertrand-Krajewski, Ghassan Chebbo, and Agnes Saget. Distribution of pollutant mass vs volume in stormwater discharges and the first flush phenomenon, Sep 1998. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S004313549700420X>.
- [2] W. Boiten. Debietmeting met een rechthoekige scherpe overlaat. *H2O*, 1981. <https://edepot.wur.nl/386834>.
- [3] Onno Claassen. Watersysteem plangebied schieveste. Technical report, Gemeente Schiedam, 2011.
- [4] Robin de Graaf. Design of constructions, 2017.
- [5] Robin de Graaf. Systems engineering. Technical report, Universiteit Twente, 2017.
- [6] OAS DGL. Jaarverslag 2017. Technical report, OAS De Groote Lucht, 2017.
- [7] D. Didde. Water drinken van eigen dak, Apr 2016. <https://www.technischweekblad.nl/nieuws/water-drinken-van-eigen-dak>.
- [8] Lianne Dijkhuizen. Zorg voor een goede doorstroom - nationaal kennis- en innovatieprogramma water en klimaat, Mar 2018. <https://waterenklimaat.nl/nl/onderzoeklijnen/klimaatbestendige-stad/kenniskrant-voor-een-klimaatbestendige-stad/droge-kost/zorg-voor-een-goede-doorstroom/>.
- [9] Lenntech Waterbehandeling en luchtbehandeling. Water treatment solutions. <https://www.lenntech.nl/zuurstofoplosbaarheid.htm>.
- [10] John D. Fenton. Calculating flow over rectangular sharp-edged weirs. *Alternative Hydraulics Paper 6*, Sep 2015.
- [11] Sebastian A. Gerlach. Food-chain relationships in subtidal silty sand marine sediments and the role of meiofauna in stimulating bacterial productivity, 1978. <https://doi.org/10.1007/BF00376996>.
- [12] R. Graaf. Kick-off project.civil engineering module 4: Design of constructions. Technical report, Universiteit Twente, 2017.
- [13] H. Huerne. Alternatieves, solutions and evaluation. Technical report, Universiteit Twente, 2017.
- [14] H. Huerne. Design strategy and integration. Technical report, Universiteit Twente, 2017.
- [15] KNMI. Daggegevens van het weer in nederland, 2019. <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/daggegevens>.
- [16] Langeveld. Rapport rioolvreemd water. 2019.
- [17] Pion Ltd. Simple and complex models, 2012.
- [18] NASA. Nasa systems engineering handbook, 2007.
- [19] onbekend. Gemaalbestek hoekersingel, Sep 2013.
- [20] J. O'Neill. Smart goals, smart schools. Technical report, Educational Leadership, 2000.

- [21] Roberta Padulano and Giuseppe Del Giudice. Vertical drain and overflow pipes: Literature review and new experimental data. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 144, 06 2018.
- [22] RioNed. Standaardbuien bui01 - bui10. <https://www.riool.net/bui01-bui10>.
- [23] RIVM. Risico's van stoffen. <https://rvs.rivm.nl/stoffenlijsten>.
- [24] Hardy Temmink and Hardy Temmink. Bekijk: Ons dagelijks (afval)water. <https://www.nemokennislink.nl/publicaties/ons-dagelijks-afval-water/>.
- [25] Hoogheemraadschap van Delfland. Delfland, 2019. [www.hhdelfland.nl](http://www.hhdelfland.nl).
- [26] Hoogheemraadschap van Delfland. Waterkwaliteitsrapportage, 2019.
- [27] Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard. S.c.h.o.o.n. <https://www.hhdelfland.nl/inwoner/afvalwater-schoonmaken/s-c-h-o-o-n-1>.
- [28] Nicole Viola, Sabrina Corpino, Marco Fioriti, and Fabrizio Stesina. Functional analysis in systems engineering: Methodology and applications, 2012.
- [29] Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer. Ecologische sleutelfactoren, 2018.

## A Power-interest Grid Stakeholderanalyse



Figuur 17: Power - Interest grid van de stakeholders

## B Tabel Programma van Eisen

Tabel 9: Tabel Programma van Eisen

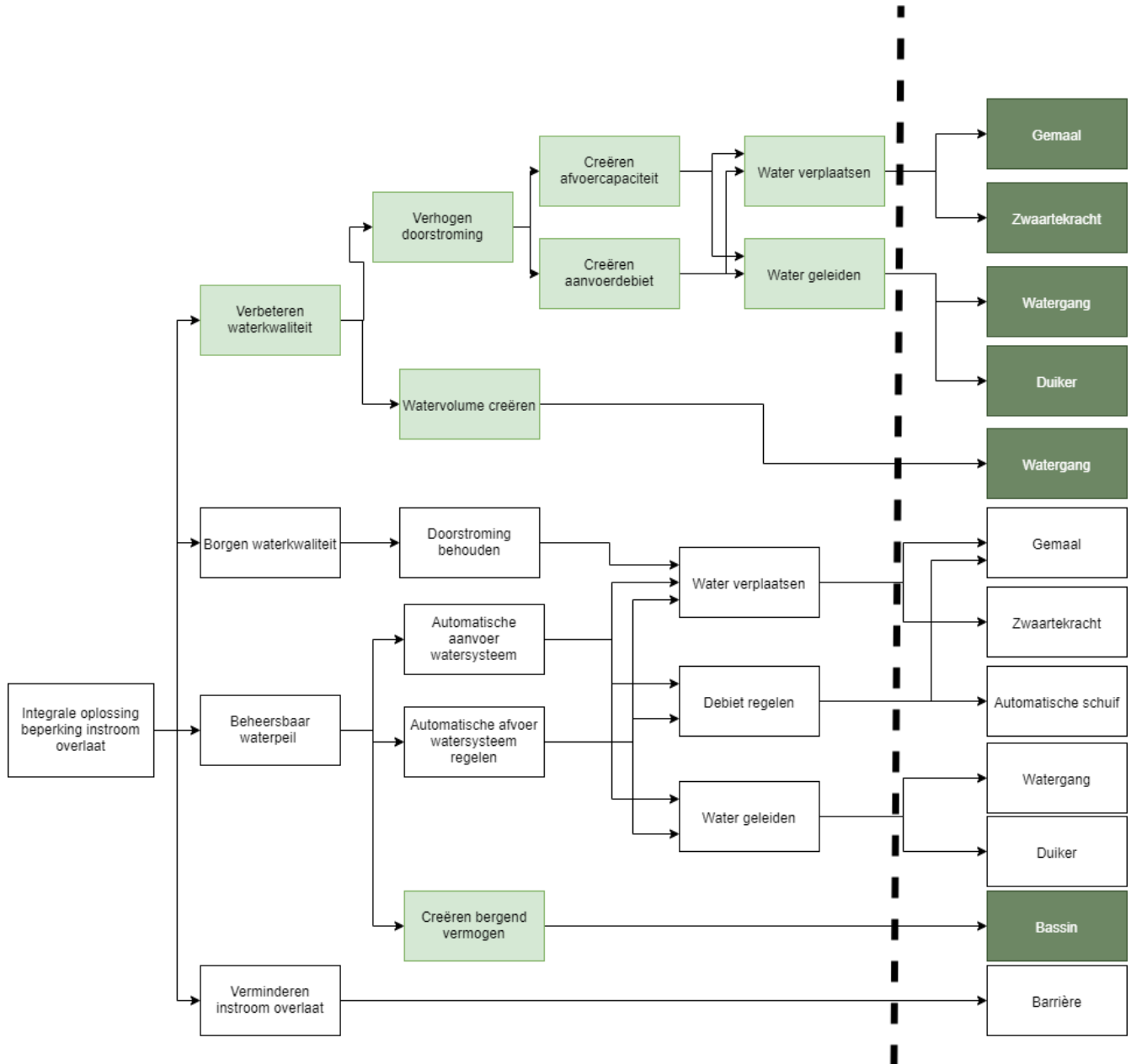
ID	Omschrijving	Criteria	Prestatie	Bandbreedte	Prioriteit	Bron
<b>1</b>	<b>Overlaat Cornelis Drebbelstraat</b>					
1.1	Uitstoot CZV's verlagen door verminderen riol-vreemd water overlaat Cornelis Drebbelstraat	Volume $m^3$	in Zo groot mogelijke reductie tegen de laagst mogelijke kosten	NVT	Eis	OAS DGL
<b>2</b>	<b>Waterkwantiteit</b>					
2.1	Het bergend vermogen van het watersysteem mag niet afnemen	Berging $m^3$	in 49.578 $m^3$ voordat de T10 norm wordt overschreden	Min. 49.578 $m^3$	Randvoorwaarde	Delfland
2.2	Bergend vermogen creëren in het watersysteem	Berging $m^3$	in NVT	NVT	Wens	Gemeente Schiedam
2.3	Waterpeil moet beheersbaar zijn	Waterpeil $m + NAP$	in Peil per gebied, te zien in hoofdstuk 4.2.1	$\pm 5 \text{ cm}$	Eis	Delfland
2.4	De inundatie kans mag niet toenemen in het Schiedamse watersysteem	Afvoercapaciteit $m^3/min$	in $2,7m^3/min$	Min. $2,7m^3/min$	Eis	Gemeente Schiedam
<b>3</b>	<b>Waterkwaliteit</b>					
3.1	Het water in het Schiedamse watersysteem mag niet gaan stinken	NVT	NVT	NVT	Eis	Gemeente Schiedam
3.2	Water parameters					
3.2.1	Stikstof concentratie	Concentratie $mg/l$	$\leq 1,8 \text{ mg/l}$	Max. $1,8 \text{ mg/l}$	Wens	Delfland
3.2.2	Fosfaat concentratie	Concentratie $mg/l$	$\leq 0,3 \text{ mg/l}$	Max. $0,3 \text{ mg/l}$	Wens	Delfland
3.2.3	Zuurstofverzadiging	Percentage	40-120 %	40-120 %	Wens	Delfland
3.2.4	Temperatuur	Temperatuur $^{\circ}C$	$\leq 25 \text{ }^{\circ}C$	Max. $25^{\circ}C$	Wens	Delfland
3.2.5	Doorzicht	Zicht in $m$	$\geq 0,65 \text{ m}$	Min. $0,65 \text{ m}$	Wens	Delfland
3.3	De waterkwaliteit mag niet achteruit gaan	NVT	NVT	NVT	Eis	Delfland

Tabel 9: Tabel Programma van Eisen

<b>ID</b>	<b>Omschrijving</b>	<b>Criteria</b>	<b>Prestatie</b>	<b>Bandbreedte</b>	<b>Prioriteit</b>	<b>Bron</b>
<b>4</b>	<b>Watergang</b>					
4.1	Oppervlakte oppervlak- tewater mag niet afne- men	Oppervlak in $m^2$	8059 $m^2$	Min. $m^2$	8059 Randvoor- waarde	Delfland

# C Functieboom

.png



Figuur 18: Functie- en objectenboom

## D RAS tabel

ID	Eis / Wens	Functie	Eis en Object Functie gekoppeld?	Object	Functie en Object gekoppeld?
1.1	Uitstoot CZV's verlagen	Verminderen instroom overlaat	OK	Barrière	OK
2.2	Bergend vermogen creëren in systeem	Creëren bergend vermogen	OK	Bassin	OK
2.3	Waterpeil moet beheersbaar zijn	Beheersbaar waterpeil	OK	Regelsysteem in en uitlaat	OK
2.4	Inundatiekans mag niet toenemen	Beheersbaar waterpeil	OK	Regelsysteem in en uitlaat	OK
3.1	Watersysteem mag niet gaan stinken	Borgen waterkwaliteit	OK	Gemaal	OK
3.2	Waterparameters	Verbeteren waterkwaliteit	OK	Watergang en doorstromingbevorderaars	OK
3.3	Waterkwaliteit mag niet afnemen	Borgen waterkwaliteit	OK	Gemaal	OK

Tabel 10: Requirement Allocation Sheet van het onderdeel systems engineering.

## E Debietberekeningen

```
1 clf, clear title xlabel ylabel
2 Meetmoment = 109114; % moment van meting in vector
3 load('CETCEST.mat') % tijden van watermetingen inladen
4 load('WaterhoogteNAP5min.mat') % waterhoogte metingen inladen
5
6 %% Overstortende straal
7
8 %%onbekende drempelhoogte
9 Drempelhoogte_the = WaterhoogteNAP5min(Meetmoment) - 0.055 % theoretische drempelhoogte tov
   waterhoogte en overstortende straal overlaat
10
11 Straal_ged_jaar = WaterhoogteNAP5min - Drempelhoogte_the; % overstortende straal per meetmoment
   bepalen
12 Straal_ged_jaar(Straal_ged_jaar < 0) = 0; % corrigeren voor 'negatieve' stralen
13 figure(1) % overstortende straal overlaat plotten
14 hold on
15 plot(CETCEST, Straal_ged_jaar)
16 xlabel('Datum')
17 ylabel('Overstortende straal overlaat [m]')
18 title('Overstortende straal overlaat')
19 hold off
20
21
22
23 %% Waterhoogte en drempel
24
25 drempel = Drempelhoogte_the + zeros(length(CETCEST), 1);
26 figure(2) % waterhoogte en drempelhoogte plotten
27 hold on
28
29 plot(CETCEST, WaterhoogteNAP5min, 'b')
30 plot(CETCEST, drempel, 'r')
31 xlabel(['Datum'])
32 ylabel(['Hoogte [+NAP]'])
33 legend('Waterpeil HWZ Hoekersingel', 'Drempel Overlaat')
34 title('Waterhoogte en Drempelhoogte overlaat')
35 hold off
36
37
38 %% Overlaat
39 datapoints_jaar = 288*365; %totaal aantal datapoints in een jaar
40
41 Q_inst = 0.6 .* sqrt(9.81) .* 0.6 .* (Straal_ged_jaar).^(3/2); % debiet in m3/s per meetmoment
42 Q_delta_jaar = Q_inst((length(Q_inst)-datapoints_jaar):length(Q_inst)) .* 300; % ogenblikkelijk
   debiet naar watervolume tot volgende meetmoment
43 Q_tot = sum(Q_delta_jaar) % totaal volume per jaar
44
45
```

```

46 %% Inlaat
47 omwentelingen = 45; %totaal aantal omwentelingen schuif van geheel gesloten naar geheel open
48 T = omwentelingen +1 ; %aan benodigde datapunten
49 Metingen_inlaat = [1,5;30/45,3.6;4/45,0.6;0,0]; %gemeten stralen
50 rechte lijn = [linspace(0,1,T);linspace(0,5,T)]; %lineair verloop van meting
51 C_WFd = [linspace(0,1,T);linspace(0.5,0.6,T)]; %verloop karakteristiek afvoercoefficient
52
53 figure(3) %plotten van straal tov positie schuif
54 hold on
55 plot(Metingen_inlaat(:,1),Metingen_inlaat(:,2),'b')
56 plot(rechte lijn(1,:),rechte lijn(2,),'r')
57 %plot(C_WFd(1,:),C_WFd(2,:))
58 xlabel('Positie Schuif (0=geheel gesloten, 1=geheel open)')
59 ylabel('Overstortende straal bij verticale buis [cm]')
60 title('Relatie positie schuif en overstortende straal buis van inlaat')
61 legend('Gemeten straal','Lineaire benadering','Location','northwest')
62 hold off
63
64 %% Debiet inlaat
65
66 Q_inlaat_m3s = (2/3).*C_WFd(2,:).*pi.*0.4.*(rechte lijn(2,:)./100).*sqrt(2*9.81.*(rechte lijn(2,:).
    ./100)); %debiet per straal in m3/s
67 Q_inlaat_ls = Q_inlaat_m3s .* 1000; %debiet per straal in l/s
68 Q_inlaat_m3min = Q_inlaat_m3s .* 60; %debiet per straal in m3/
    min
69
70 figure(4) %debiet plotten tegenover schuif stand
71 hold on
72 plot(rechte lijn(1,:),Q_inlaat_m3min)
73 xlabel('Positie Schuif (0=geheel gesloten, 1=geheel open)')
74 ylabel('Debiet m^3/min')
75 title('Relatie debiet inlaat en positie schuif')

```

## F Neerslagberekeningen

```
1 load('Neerslag_cor');
2 load('CETCEST_neerslag');
3
4 %rijen    = oppervlaktewater; afstromend onverhard;  afstromend verhard
5 %kolommen = totaal;          0.8mm infiltratie;    0.15mm infiltratie
6 oppervlaktes = [5355 3415 1940; 14054 9159 4895; 12878 0 0];
7 totaal_opp = oppervlaktes(1,1)+oppervlaktes(2,1)+oppervlaktes(3,1)
8
9 %% Neerslag per dag berekenen
10 neerslag_dag(1)=sum(Neerslag_cor(1:17));
11 neerslag_dag(479)=0;
12 begin = 18;
13
14 for i = 2:((length(Neerslag_cor)-17-16)/24)
15
16     neerslag_dag(i) = sum (Neerslag_cor(begin:begin+23));
17     begin = begin+24;
18
19 end
20
21 sum(neerslag_dag)
22
23
24 %infiltratie mm 0.8
25 infiltratie_dag_08=neerslag_dag;
26 infiltratie_dag_08(infiltratie_dag_08 > 0.8) = 0.8;
27
28 %infiltratie mm 0.15
29 infiltratie_dag_015=neerslag_dag;
30 infiltratie_dag_015(infiltratie_dag_015 > 0.15) = 0.15;
31
32 %neerslag wat niet infiltreert
33 %0.8mm gebied
34 runoff_mm_08 = neerslag_dag - infiltratie_dag_08;
35 %0.15mm gebied
36 runoff_mm_015 = neerslag_dag - infiltratie_dag_015;
37
38 %input volume in systeem neerslag
39 neerslag_input_vol_dag = (neerslag_dag/1000).*(oppervlaktes(1,1)+oppervlaktes(3,1)) ...
40     +(runoff_mm_08/1000).* oppervlaktes(2,2)+(runoff_mm_015/1000).* oppervlaktes(2,3);
41
42 neerslag_input_vol_jaar = sum(neerslag_input_vol_dag(114:length(neerslag_input_vol_dag)))
43
44 %infiltratie vanuit systeem
45 infiltratie_sys_jaar = (oppervlaktes(1,2)*(0.8/1000)+oppervlaktes(1,3)*(0.15/1000))*365
46
47 %% Verdamping
```

```

48 Verdamping_m = 0.0001*[6  4 2 3 2 4 1 1 2 1 1 2 5 3 1 3 4 1 1 1 2 3 3 5 5 4 4 2 1 2 3 2 1 1 3 1 3
   4 1 2 1 1 2 3 2 2 3 1 1 1 2 2 4 2 3 1 1 4 2 1 3 4 6 5 5 2 4 3 2 2 2 4 5 2 2 2 3 6 2 2 2 9 3 8
   2 7 9 6 12  12  12  12  11  12  12  6 7 14  14  15  15  16  9 6 8 3 12  12  3 13  14  9 5 10
   6 5 9 6 7 12  14  13  9 7 20  10  20  17  17  12  8 23  22  19  26  13  17  15  25  12  30  27
   24 29 27 19 22 21 29 31 16 36 37 39 38 39 32 30 16 29 18 21 30 12 13
   14 17 26 27 17 20 15 33 28 38 32 41 41 43 37 19 38 20 11 13 41 46 45 27
   32 40 21 42 27 37 50 50 27 34 16 41 23 28 39 25 37 7 24 36 20 33 51 47
   24 31 42 47 49 52 50 32 52 48 59 50 45 42 39 48 41 32 37 25 36 13 40
   21 24 22 15 28 46 25 31 23 42 48 52 49 51 46 16 7 40 45 22 30 23 28 31
   36 35 39 40 14 31 19 18 27 27 22 20 14 18 32 31 34 39 38 40 39 37 36 23
   22 32 32 28 32 16 9 20 18 17 21 18 21 5 27 25 26 25 9 18 17 14 23 27 24
   16 8 11 4 12 12 5 15 10 14 10 6 13 3 6 7 10 15 4 4 8 7 6 6 13 9 9 6 4 8 8 10 8
   12 8 8 10 8 10 3 7 5 5 4 6 2 9 5 8 1 3 2 3 1 4 6 1
49 ];
50 verdamping_m3 = Verdamping_m*oppervlakte(1,1);
51 verdamping_m3_jaar = sum(verdamping_m3)

```

## G Neerslagcurve Berekeningen

```
1 clear , clc , clf
2 load('radardata.mat')
3 load('tijdradar.mat')
4 load('CETCEST2.mat')
5 %rijen    = oppervlaktewater; afstromend onverhard;  afstromend verhard
6 %kolommen = totaal;          0.8mm infiltratie;    0.15mm infiltratie
7 oppervlaktes = [5355 3415 1940; 14054 9159 4895; 12878 0 0];
8 neerslag_vb = 0:0.1:20;
9 infiltratieverdamping_jaar = 1103+3417;
10 infiltratieverdamping = infiltratieverdamping_jaar / (365*24*12);
11
12 for i = 1:length(neerslag_vb)
13     if neerslag_vb(i) < 0.15
14         vol_sys(i) = (oppervlaktes(1,1)+oppervlaktes(3,1))*(neerslag_vb(i)/1000);
15     elseif neerslag_vb(i) < 0.8
16         vol_sys(i) = (oppervlaktes(1,1)+oppervlaktes(3,1))*(neerslag_vb(i)/1000)+((neerslag_vb(i)
17             -0.15)/1000)*oppervlaktes(2,3);
18     else
19         vol_sys(i) = (oppervlaktes(1,1)+oppervlaktes(3,1))*(neerslag_vb(i)/1000)+((neerslag_vb(i)
20             -0.15)/1000)*oppervlaktes(2,3)+((neerslag_vb(i) -0.8)/1000)*oppervlaktes(2,2);
21     end
22 end
23
24 for i = 1:length(radardata)
25     if radardata(i) < 0.15
26         vol_his(i) = (oppervlaktes(1,1)+oppervlaktes(3,1))*(radardata(i)/1000);
27     elseif radardata(i) < 0.8
28         vol_his(i) = (oppervlaktes(1,1)+oppervlaktes(3,1))*(radardata(i)/1000)+((radardata(i)
29             -0.15)/1000)*oppervlaktes(2,3);
30     else
31         vol_his(i) = (oppervlaktes(1,1)+oppervlaktes(3,1))*(radardata(i)/1000)+((radardata(i)
32             -0.15)/1000)*oppervlaktes(2,3)+((radardata(i) -0.8)/1000)*oppervlaktes(2,2);
33     end
34 end
35
36 vec = 1:(length(radardata)+1);
37
38 gemaaldebiet = (-1.7) * 5; %an3/5min
39 inlaat = 1.2 * 5;        %an3/5min
40 berging_m = 5355        %an3
41
42 peil(1) = 0;            % beginsituatie op sp
43
44 peilmax = 0.08
45
46 volume(1) = 0;
47
48 pomptijd = ceil((berging_m * 0.02 )/(-1*gemaaldebiet)) %tijdstappen van 5 minuten benodigd om het
49     waterpeil terug te brengen naar 2 cm onder streefpeil
50
51
52 for v = 1:length(vol_his)
53     if peil(v) > 0
54         gemaal(v+1) = 1;
55     elseif peil(v) <= 0
```

```

44     gemaal(v+1) = 0;
45 end
46
47 if peil(v) > 0.03
48     schuif(v+1) = 0;
49 elseif vol_his(v) ~= 0 %sum(vol_his(v:(v+pomptijd))) ~= 0 && sum(vol_his(v:(v+2*pomptijd)) >
50     108) %% Als er meer dan 3.6 mm regen komt in komende 2 uur (dan stijgt peil 2cm)
51     schuif(v+1) = 0;
52     if peil(v) > -0.02
53         gemaal(v+1) = 1;
54     end
55 elseif peil(v) < 0.03
56     schuif(v+1) = 1;
57 end
58
59 if peil(v) > 0.08
60     overlaat(v) = 1;
61 else
62     overlaat(v) = 0;
63 end
64
65 volume(v+1) = vol_his(v) + inlaat*schuif(v+1) + gemaaldebiet*gemaal(v+1) + volume(v) -
66     infiltratieverdamping;
67 peil(v+1) = (volume(v+1) / berging_m);
68 end
69
70 figure(5)
71 hold on
72 title('Waterpeil bij nieuwe regeling systeem afgelopen jaar')
73 xlabel('Datum')
74 ylabel('Waterpeil [m + streefpeil]')
75 plot(CETCEST2, peil, 'b')
76 xlim([datetime(2018,11,18,0,05,0) datetime(2019,11,19,6,0,0)])
77 hold off
78
79 debietinlaatjaar = sum(schuif)*6
80 debietgemaaljaar = sum(gemaal)*8.5
81 neerslagjaar = sum(vol_his)
82 balans = neerslagjaar+debietinlaatjaar - debietgemaaljaar - infiltratieverdamping_jaar
83
84 %% Standaardbui
85 bui05 = [0.3 0.6 1.5 2.7 2.7 2.1 1.5 1.2 1.05 0.9 0.75 0.6 0.45 0.3 0.15];
86 bui06 = [0.15 0.3 0.45 0.6 0.75 0.9 1.05 1.2 1.5 2.1 2.7 2.7 1.5 0.6 0.3];
87 bui07 = [0.6 1.2 2.1 3.3 3.3 2.7 2.1 1.5 1.2 0.9 0.6 0.3];
88 bui08 = [0.3 0.6 0.9 1.2 1.5 2.1 2.7 3.3 3.3 2.1 1.2 0.6 0 0 0];
89
90 %% Bui 05
91 for i = 1:length(bui05)
92     if bui05(i) < 0.15
93         vol_bui05(i) = (oppervlakes(1,1)+oppervlakes(3,1))*(bui05(i)/1000);

```

```

92     elseif bui05(i) < 0.8
93         vol_bui05(i) = (oppervlaktes(1,1)+oppervlaktes(3,1))*(bui05(i)/1000)+((bui05(i)-0.15)
          /1000)*oppervlaktes(2,3);
94     else
95         vol_bui05(i) = (oppervlaktes(1,1)+oppervlaktes(3,1))*(bui05(i)/1000)+((bui05(i)-0.15)
          /1000)*oppervlaktes(2,3)+((bui05(i)-0.8)/1000)*oppervlaktes(2,2);
96     end
97 end
98
99
100 gemaaldebiet = (-1.7) * 5; %m3/5min
101 inlaat = 1.2 * 5; %m3/5min
102 berging_m = 5355 ; %m3
103 peilbui05(1) = 0; % beginsituatie op sp
104 peilmax = 0.08;
105 volumebui05(1) = 0;
106 pomptijd = ceil((berging_m * 0.02 )/(-1*gemaaldebiet)); %tjdstappen van 5 minuten benodigd om het
          waterpeil terug te brengen naar 2 cm onder streefpeil
107
108 for v = 1:length(vol_bui05)
109     if peilbui05(v) > 0
110         gemaalbui05(v+1) = 1;
111     elseif peilbui05(v) <= 0
112         gemaalbui05(v+1) = 0;
113     end
114
115     if peilbui05(v) > 0.03
116         schuifbui05(v+1) = 0;
117     elseif vol_bui05(v) ~= 0 % Als er meer dan 3.6 mm regen komt in komende 2 uur (dan stijgt peil
          2cm)
118         schuifbui05(v+1) = 0;
119         if peilbui05(v) > -0.02
120             gemaalbui05(v+1) = 1;
121         end
122     elseif peilbui05(v) < 0.03
123         schuifbui05(v+1) = 1;
124     end
125
126     if peilbui05(v) > 0.08
127         overlaatbui05(v) = 1;
128     else
129         overlaatbui05(v) = 0;
130     end
131
132     volumebui05(v+1) = vol_bui05(v) + inlaat*schuifbui05(v+1) + gemaaldebiet*gemaalbui05(v+1) +
          volumebui05(v);
133     peilbui05(v+1) = (volumebui05(v+1) / berging_m);
134 end
135
136 %% Bui06

```

```

137 for i = 1:length(bui06)
138     if bui06(i) < 0.15
139         vol_bui06(i) = (oppervlaktes(1,1)+oppervlaktes(3,1))*(bui06(i)/1000);
140     elseif bui06(i) < 0.8
141         vol_bui06(i) = (oppervlaktes(1,1)+oppervlaktes(3,1))*(bui06(i)/1000)+((bui06(i)-0.15)
142             /1000)*oppervlaktes(2,3);
143     else
144         vol_bui06(i) = (oppervlaktes(1,1)+oppervlaktes(3,1))*(bui06(i)/1000)+((bui06(i)-0.15)
145             /1000)*oppervlaktes(2,3)+((bui06(i)-0.8)/1000)*oppervlaktes(2,2);
146     end
147 end
148
149 gemaaldebiet = (-1.7) * 5; %m3/5min
150 inlaat = 1.2 * 5; %m3/5min
151 berging_m = 5355; %m3
152 peilbui06(1) = 0; % beginsituatie op sp
153 peilmax = 0.08;
154 volumebui06(1) = 0;
155 pomptijd = ceil((berging_m * 0.02 )/(-1*gemaaldebiet)); %tijdstappen van 5 minuten benodigd om het
156 waterpeil terug te brengen naar 2 cm onder streefpeil
157
158 for v = 1:length(vol_bui06)
159     if peilbui06(v) > 0
160         gemaalbui06(v+1) = 1;
161     elseif peilbui06(v) <= 0
162         gemaalbui06(v+1) = 0;
163     end
164
165     if peilbui06(v) > 0.03
166         schuifbui06(v+1) = 0;
167     elseif vol_bui06(v) ~= 0 % Als er meer dan 3.6 mm regen komt in komende 2 uur (dan stijgt peil
168         2cm)
169         schuifbui06(v+1) = 0;
170         if peilbui06(v) > -0.02
171             gemaalbui06(v+1) = 1;
172         end
173     elseif peilbui06(v) < 0.03
174         schuifbui06(v+1) = 1;
175     end
176
177     if peilbui06(v) > 0.08
178         overlaatbui06(v) = 1;
179     else
180         overlaatbui06(v) = 0;
181     end
182
183     volumebui06(v+1) = vol_bui06(v) + inlaat*schuifbui06(v+1) + gemaaldebiet*gemaalbui06(v+1) +
184         volumebui06(v);
185     peilbui06(v+1) = (volumebui06(v+1) / berging_m);

```

```

182 end
183
184 %% Bui07
185 for i = 1:length(bui07)
186     if bui07(i) < 0.15
187         vol_bui07(i) = (oppervlaktes(1,1)+oppervlaktes(3,1))*(bui07(i)/1000);
188     elseif bui07(i) < 0.8
189         vol_bui07(i) = (oppervlaktes(1,1)+oppervlaktes(3,1))*(bui07(i)/1000)+((bui07(i)-0.15)
190             /1000)*oppervlaktes(2,3);
191     else
192         vol_bui07(i) = (oppervlaktes(1,1)+oppervlaktes(3,1))*(bui07(i)/1000)+((bui07(i)-0.15)
193             /1000)*oppervlaktes(2,3)+((bui07(i)-0.8)/1000)*oppervlaktes(2,2);
194     end
195 end
196
197 gemaaldebiet = (-1.7) * 5; %m3/5min
198 inlaat = 1.2 * 5; %m3/5min
199 berging_m = 5355; %m3
200 peilbui07(1) = 0; % beginsituatie op sp
201 peilmax = 0.08;
202 volumebui07(1) = 0;
203 pomptijd = ceil((berging_m * 0.02)/(-1*gemaaldebiet)); %tijdstappen van 5 minuten benodigd om het
204 waterpeil terug te brengen naar 2 cm onder streefpeil
205
206 for v = 1:length(vol_bui07)
207     if peilbui07(v) > 0
208         gemaalbui07(v+1) = 1;
209     elseif peilbui07(v) <= 0
210         gemaalbui07(v+1) = 0;
211     end
212
213     if peilbui07(v) > 0.03
214         schuifbui07(v+1) = 0;
215     elseif vol_bui07(v) ~= 0 % Als er meer dan 3.6 mm regen komt in komende 2 uur (dan stijgt peil
216         2cm)
217         schuifbui07(v+1) = 0;
218         if peilbui07(v) > -0.02
219             gemaalbui07(v+1) = 1;
220         end
221     elseif peilbui07(v) < 0.03
222         schuifbui07(v+1) = 1;
223     end
224
225     if peilbui07(v) > 0.08
226         overlaatbui07(v) = 1;
227     else
228         overlaatbui07(v) = 0;
229     end
230 end

```

```

228     volumebui07(v+1) = vol_bui07(v) + inlaat*schuifbui07(v+1) + gemaaldebiet*gemaalbui07(v+1) +
        volumebui07(v);
229     peilbui07(v+1) = (volumebui07(v+1) / berging_m);
230 end
231
232 %% Bui08
233 for i = 1:length(bui08)
234     if bui08(i) < 0.15
235         vol_bui08(i) = (oppervlaktes(1,1)+oppervlaktes(3,1))*(bui08(i)/1000);
236     elseif bui08(i) < 0.8
237         vol_bui08(i) = (oppervlaktes(1,1)+oppervlaktes(3,1))*(bui08(i)/1000)+((bui08(i)-0.15)
        /1000)*oppervlaktes(2,3);
238     else
239         vol_bui08(i) = (oppervlaktes(1,1)+oppervlaktes(3,1))*(bui08(i)/1000)+((bui08(i)-0.15)
        /1000)*oppervlaktes(2,3)+((bui08(i)-0.8)/1000)*oppervlaktes(2,2);
240     end
241 end
242
243
244 gemaaldebiet = (-1.7) * 5; %m3/5min
245 inlaat = 1.2 * 5;         %m3/5min
246 berging_m = 5355;        %m3
247 peilbui08(1) = 0;        % beginsituatie op sp
248 peilmax = 0.08;
249 volumebui08(1) = 0;
250 pomptijd = ceil((berging_m * 0.02 )/(-1*gemaaldebiet)); %tjdstappen van 5 minuten benodigd om het
        waterpeil terug te brengen naar 2 cm onder streefpeil
251
252 for v = 1:length(vol_bui08)
253     if peilbui08(v) > 0
254         gemaalbui08(v+1) = 1;
255     elseif peilbui08(v) <= 0
256         gemaalbui08(v+1) = 0;
257     end
258
259     if peilbui08(v) > 0.03
260         schuifbui08(v+1) = 0;
261     elseif vol_bui08(v) ~= 0 % Als er meer dan 3.6 mm regen komt in komende 2 uur (dan stijgt peil
        2cm)
262         schuifbui08(v+1) = 0;
263         if peilbui08(v) > -0.02
264             gemaalbui08(v+1) = 1;
265         end
266     elseif peilbui08(v) < 0.03
267         schuifbui08(v+1) = 1;
268     end
269
270     if peilbui08(v) > 0.08
271         overlaatbui08(v) = 1;
272     else

```

```

273     overlaatbui08(v) = 0;
274 end
275
276     volumebui08(v+1) = vol_bui08(v) + inlaat*schuifbui08(v+1) + gemaaldebiet*gemaalbui08(v+1) +
        volumebui08(v);
277     peilbui08(v+1) = (volumebui08(v+1) / berging_m);
278 end
279
280 %% Figuren
281 vijf = 1:length(peilbui05);
282 zes = 1:length(peilbui06);
283 zeven = 1:length(peilbui07);
284 acht = 1:length(peilbui08);
285 drempeloverlaat = ones(1,17)*0.08;
286
287 figure(6)
288 hold on
289 plot(vijf, peilbui05, 'DisplayName', 'Bui05')
290 plot(zes, peilbui06, 'DisplayName', 'Bui06')
291 plot(zeven, peilbui07, 'DisplayName', 'Bui07')
292 plot(acht, peilbui08, 'DisplayName', 'Bui08')
293 plot(acht, drempeloverlaat, 'DisplayName', 'Drempel overlaat nieuwe situatie')
294 title('Waterpeil bij standaard regenbuien [m + streefpeil]');
295 xlabel('Tijd [5 min]');
296 ylabel('Waterpeil [m + streefpeil]');
297 legend('location', 'southeast')
298 xlim([1 17])
299 hold off

```