

Rioolmodelleringsstudie Lokeren

Een onderzoek naar het bestaande rioolsysteem van Lokeren

Dyan Voetdijk

S1500287

3 april tot 9 Juni

2017

Antea group Gent

Contactgegevens

Hieronder zijn de contactgegevens van de betrokkenen weergegeven.

Student:

Naam: Dyan Voetdijk
Opleiding: Bachelor Civiele Techniek
Studentnummer: S1500287
Telefoonnummer: +31639661487
Email: d.j.g.voetdijk@student.utwente.nl

Begeleidend docent:

Naam: H.J. Hogeboom, MSc.
Telefoonnummer: +31 53 489 3911
Email: h.j.hogeboom@utwente.nl

Bedrijfsbegeleider:

Naam: Ing. Bart De Clerck
Telefoonnummer: +32 475 95 05 57
Email: Bart.DeClerck@anteagroup.com

Tweede beoordelaar:

Naam: Dr.ir. W. Tijhuis
Telefoonnummer: +31 53 489 3826
Email: w.tijhuis@utwente.nl

Externe organisatie:

Naam: Antea group Gent
Afdeling: BU Water
Adres: Buchtenstraat 9, 9051 Gent
Telefoonnummer: +32 9 261 63 00

Universiteit:

Naam: Universiteit Twente
Adres: Drienerlolaan 5
Postcode en plaats: 7500 AE, Enschede
Faculteit: Construerende technische wetenschappen



UNIVERSITEIT TWENTE.

Voorwoord

Voor u ligt het verslag 'Rioolmodelleringsstudie Lokeren'. Dit onderzoek is gedaan als afsluiting van de bachelor Civiele Techniek aan de universiteit Twente. In deze eindopdracht heb ik de opgedane kennis tijdens de opleiding in de praktijk mogen brengen. Dit heb ik gedaan voor een duur van 10 weken bij Antea Group in Gent in de periode van 3 april tot en met 9 juni. Tijdens het onderzoek is Lokeren een aantal keer bezocht.

Antea Group is een advies en ingenieursbureau dat internationaal actief is in zes continenten, meer dan honderd kantoren en ruim 3000 werknemers heeft. De vakgebieden waarin ze actief zijn, zijn onder andere infrastructuur, waterbouw, milieu en stedenbouw. Ik heb mogen ervaren hoe het is om bij een studiebureau te werken en heb hier veel van geleerd.

Tijdens de stage heb ik ervaring opgedaan met een aantal programma's met name ArcGis, InfoNet en InfoWorks.

Graag wil de mensen van Antea group bedanken voor hun hulp en als belangrijkste Bart de Clerck, de stagebegeleider, die de moeite heeft genomen mij alles uit te leggen en altijd bereid was mij te helpen.

Vanuit de Universiteit Twente wil ik Rick Hogeboom bedanken voor het begeleiden en beoordelen van het verslag. Ook wil ik de tweede beoordelaar Wilco Tijhuis bedanken

Samenvatting

In de Belgische stad Lokeren werkt de rioolwaterzuiveringsinstallatie niet optimaal. Dit komt doordat er in Lokeren grotendeels een gemengd rioolstelsel aanwezig is. In een gemengd rioolstelsel wordt het huishoudelijk afvalwater verdund met regenwater. Zuiveringsinstallaties functioneren slechter bij lage concentraties afvalstoffen. De rioolbeheerder Aquafin heeft gesteld dat het zuiveringsproces geoptimaliseerd moet worden. Dit willen ze doen door een gescheiden stelsel aan te leggen wat verdunning van afvalwater door regenwater voorkomt. Om dit te realiseren moet eerst onderzocht worden hoe het huidige rioolstelsel zich gedraagt. Aquafin heeft daarom gevraagd een rioolmodel van de huidige toestand in Lokeren te maken, waarbij de knelpunten geanalyseerd moeten worden. Dit is tevens de doelstelling van dit onderzoek.

Om deze doelstelling te halen is de werking van het rioolstelsel geanalyseerd en is bevonden dat in Lokeren grotendeels een gemengd stelsel aanwezig is. Dit is logisch aangezien vroeger vrijwel overal gemengde stelsels aangelegd zijn en men pas in het jaar 2000 is begonnen met het aanleggen van gescheiden stelsels. Het rioolwater wordt verplaatst door de zwaartekracht, het gaat hier dus om een gravitair rioleringsstelsel. Toch zijn er ook pompstations aanwezig om hoogtemeters te kunnen overbruggen. Knijpconstructies die zorgen voor een bufferende werking in het stelsel. En overstorten zodat er geen rioolwater bij mensen in de huizen komt te staan. Aan de hand van de rioolbekkenbenadering is er een schematische voorstelling gemaakt van het rioolstelsel wat duidelijkheid geeft in de afwatering van het systeem.

Om vervolgens tot een model in InfoWorks-ICM te komen is de aanvoer van rioolwater bepaald, zijn de structuren gedigitaliseerd en randvoorwaarden van het systeem bepaald.

Het model is gevalideerd om het te toetsen met de werkelijkheid. Dit is gedaan door gekende knelpunten te inventariseren en deze te vergelijken met de uitkomsten van het model. Ook is er een debietmeetcampagne uitgevoerd. Hierbij zijn pluviometers die de intensiteit van een bui meten op de daken geplaatst, en monitoren die de stroming in de rioolleiding meten in de rioolleidingen.

Als laatste zijn er simulaties gedaan met composietbuizen met een herhalingsstijd van 2 jaar. De eis van de Vlaamse overheid is dat bij deze bui er geen water op straat mag komen. Echter bleek uit de simulaties dat zich in het doelgebied een aantal plekken bevinden waar wel sprake was van wateroverlast bij een dergelijke bui. Door het model te analyseren zijn de oorzaken van de knelpunten vastgesteld en hiervoor zijn oplossingen voorgedragen. Hieronder zijn de locaties van de knelpunten en mogelijke oplossingen kort samengevat.

Locaties knelpunten

1. Zonnestraat
2. Bedrijventerrein-oost
3. Rozenstraat
4. Kruising Hekelaarslaan – Spinnerslaan
5. Everslaarstraat
6. Vierscharenstraat
7. Sterrestraat
8. Kapellestraat

Mogelijke oplossingen voor de knelpunten

- De rioolleiding in de Naastveldstraat vergroten.
- Dit gemengde stelsel afkoppelen op omliggende grachten.
- De rioolleiding in de Rozenstraat vergroten.
- De rioolleiding in de Weverslaan vergroten.
- Het creëren van een buffer met een pomp voor de Beerbakbeek.
- De rioolleiding zuidwest in de Zelebaan vergroten.
- Rioolleiding Sterrestraat verbinden met de rioolleiding in de Vondelstraat.
- Verlaging van een drempelpeil overstort Heilige Hartlaan.

Inhoudsopgave

Contactgegevens	1
Voorwoord	2
Samenvatting.....	3
1. Inleiding.....	5
1.1 Aanleiding	5
1.2 Probleemstelling	6
2 Doelstelling en onderzoeksvragen.....	6
2.1 Doelstelling	6
2.2 Onderzoeksvragen	7
3 Methodologie	7
3 Afbakening.....	9
4 Resultaten.....	12
4.1 Analyse rioolsysteem Lokeren	12
4.1.1 Aanvullen databank.....	12
4.1.2. Rioolbekkenschema.....	12
4.2. Modelopbouw.....	15
4.2.1 Modelleringsstelsel	15
4.2.2 Hydraulische structuren.....	15
4.2.3 Belasting op het stelsel	15
4.2.4 Opstellen randvoorwaarden	16
4.2.5 Validatie	17
4.3 Huidige knelpunten wateroverlast.....	19
5 Discussie	26
6. Conclusie	27
6.1 Aanbevelingen	28
7. Referenties	29
Bijlage A: Modelering structuren.....	30
Bijlage B: Terreinbezoek.....	36
Bijlage C: Belastingen op het stelsel	37
Bijlage D: Validatie debietmeetcampagne	41
Bijlage E: Bevraging bedrijven	42
Bijlage F: Inwoners equivalenten.....	43

1. Inleiding

1.1 Aanleiding

In de 20^e eeuw zijn de meeste rioolstelsels aangelegd (riool.info, 2017). Er werd vrijwel altijd gekozen voor een leiding die al het gezamenlijke afvalwater weg voerde. Dit was een goedkope oplossing en men was zelf van het afvalwater verlost, zo ook in Vlaanderen. Later is men pas tot de conclusie gekomen dat het beter was het afvalwater te zuiveren, en werden er rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI) gebouwd. In de loop der tijd is men erachter gekomen dat een gemengd rioolsysteem niet altijd de beste oplossing is (Rioolstelsel, 2017). De RWZI's functioneren niet efficiënt genoeg, de oorzaak hiervan is verdunning. Het afvalwater van de huishoudens wordt sterk verdund door regenwater, en komt met een lage concentratie afval bij de RWZI aan. Bij een gemengd riool systeem wordt 90% van de jaarlijkse neerslag afgevoerd naar een RWZI, terwijl voor optimale afbraak van de vervuiling het afvalwater geconcentreerd moet zijn (Ellis & Bertrand-Krajewski, 2010). Met name de afbraak van zuurstofbindende stoffen en nutriënten is moeilijker bij lage concentraties. Ook het verpompen van al het extra afvalwater kost veel energie. Verdunning wordt vaak gezien als het grootste probleem voor RWZI's. In Vlaanderen is gemiddeld 2/3 van al het rioolwater veroorzaakt door verdunning. (Dirckx, Bixio, Thoeve, Gueldre, & Steene, 2009).

De rioolwaterzuiveringsinstallaties en bovengemeentelijke rioleringsystemen van Vlaanderen worden beheerd door de organisatie Aquafin. Aquafin is in 1990 opgericht door het Vlaamse Gewest om de rioolwaterzuiveringsinfrastructuur in Vlaanderen verder uit te bouwen, te exploiteren en te financieren. Ze zorgen ervoor dat het rioolwater gezuiverd wordt volgens de Europese en Vlaamse normen. Aquafin vindt dat dit proces te veel geld en moeite kost, en heeft daarom gesteld dat de rioolsystemen van Vlaanderen aangepast moeten worden. Aquafin heeft als oplossing voor dit probleem het aanleggen van gescheiden rioolstelsels aangedragen bij het ministerie van Leefmilieu, Natuur en Cultuur van Vlaanderen. Bij een gescheiden rioolstelsel wordt het afvalwater en regenwater gescheiden afgevoerd. Het regenwater kan dan geloosd worden op een beek of plaatselijk infiltreren.

Tegenwoordig zijn vrijwel alle na het jaar 2000 gebouwde gebieden voorzien van een gescheiden stelsel, maar sluiten deze regelmatig nog aan op een gemengd stelsel waardoor het voordeel van een gescheiden stelsel vervalst. Een gescheiden stelsel functioneert het best als de regenwater-leiding afwatert naar een waterloop. De Vlaamse Regering keurde op 9 januari 2015 het optimalisatie programma van de Vlaamse Milieu Maatschappij 2016-2020 goed (Wateruitvoeringsprogramma 2015, 2015), waaronder het volgende project in 2016 is opgedragen aan Aquafin ter uitvoering.

Het projectplan is om het regenwater van het gescheiden stelsel van Lokeren te lozen in de Heirbrugbeek bij de Papestraat en de Appelzakbeek bij de Zelebaan/N47. Het project zal ontworpen worden op een volledig gescheiden systeem in Lokeren. Lokeren is gelegen tussen Gent en Antwerpen Figuur 1.



Figuur 1: Lokeren

Doordat het aanleggen van gravitaire riolering het goedkoopst is, is het Vlaamse gewest opgesplitst in elf rivierbekkens van de grootste rivieren van Vlaanderen. De elf rivierbekkens zijn vervolgens opgedeeld in zuiveringsgebieden met elk hun eigen RWZI. Het zuiveringsgebied Lokeren valt onder het bekken Gentse Kanalen Figuur 2.



Figuur 2: Elf bekkens van Vlaanderen

1.2 Probleemstelling

Voordat een rioleringsproject als bovenstaande uitgevoerd kan worden zullen er voorstudies gedaan moeten worden. De toekomstige situatie zal bestudeerd moeten worden aan de hand van verwachte neerslag, en het ontwikkelingspatroon van de stad. Maar eerst zal de huidige situatie met zijn knelpunten onderzocht moeten worden, om dit later te kunnen vergelijken met de toekomstige situatie. Dit is tot op heden nog niet onderzocht.

2 Doelstelling en onderzoeksvragen

2.1 Doelstelling

De doelstelling van deze studie luidt: Een operationeel model van de bestaande toestand van het rioolstelsel in Lokeren in InfoWorks-ICM te maken. Hierbij zullen de knelpunten en de werking van het stelsel ook geanalyseerd worden. Gekende knelpunten zullen in het model terug te zien moeten zijn. Dit model zal als basis dienen voor onderzoeken naar de geplande toestand.

InfoWorks-ICM voor vele rioolstudies gebruikt doordat het als enigste gelijktijdig rivier, waterlopen en riolen kan simuleren in één model (Innovyze, 2017). Deze software is ook gebruikt voor een rioolstudie in Henan Xincun (Peng, 2016). In deze studie zullen geen waterlopen in model gebracht worden, maar Aquafin wil de mogelijkheid open houden.

2.2 Onderzoeksvragen

Om de doelstelling van het onderzoek te halen zijn de volgende onderzoeksvragen opgesteld. De antwoorden op de deelvragen zullen tezamen leiden tot het beantwoorden van de hoofdvraag.

Hoofdvraag:

- Waar zitten de knelpunten van het huidige rioolstelsel van Lokeren en hoe kunnen deze opgelost worden?

Deelvragen:

1. Hoe ziet het huidige rioolsysteem van Lokeren eruit?
2. Hoe kan het riool systeem van Lokeren gemodelleerd worden in InfoWorks-ICM?
3. Wat zijn volgens model simulaties de knelpunten van het rioolsysteem van Lokeren en mogelijke oplossingen voor deze knelpunten?

3 Methodologie

De methodes die worden gebruikt om de deelvragen te beantwoorden zullen worden toegelicht in deze paragraaf. Aan de hand van de antwoorden op de deelvragen zal antwoord gegeven kunnen worden op de hoofdvraag.

3.1 Hoe ziet het huidige rioolsysteem van Lokeren eruit?

De databank van Aquafin is geanalyseerd in InfoNet, en onvolledige delen zijn aan de hand van as-built plannen (autocad tekeningen van de voltooidde werken) of een terreinonderzoek aangevuld. Op basis van de riooldeelbekkenbenadering is er een rioolbekkenschema opgesteld. De schematische voorstelling geeft inzicht hoe het systeem het afvalwater afvoert, en hoe de aanwezige kunstwerken met elkaar verbonden zijn.

3.2 Hoe kan het rioolsysteem van Lokeren gemodelleerd worden in InfoWorks-ICM?

De databank van InfoNet is overgezet naar InfoWorks, en overbodige data zoals: Kolken, huisaansluitingen en riolering wat niet meer in gebruik is verwijderd.

Voor het model is ook de aanvoer van het rioolwater bepaald. Deze aanvoer bestaat uit regenwater en afvalwater. En is bepaald door de volgende stappen:

De onverharde oppervlaktes die naar het riool afstromen zijn bepaald aan de hand van hoogte kaarten en het landgebruik is bepaald met satelliet beelden.

Het verharde oppervlakte bestand van Aquafin waarin de bebouwing en straten weergegeven zijn is geüpdate aan de hand van as-built plannen en google satelliet beelden. Vervolgens is het gebied (bekkengroep) dat op een rioolbuis afvoert ingetekend in InfoWorks en zijn de oppervlaktes correct aan het rioolstelsel toegekend.

Door de riooldeelbekkenbenadering te gebruiken, kan de invloed van omgelegen rioolbekkens gezien worden als randvoorwaarden. Bij alle in- en uitlaten van het stelsel zijn de huidige en de maximale

waterstand en sedimentatie geïnterpreteerd, en in het model gebracht. Zo wordt er rekening gehouden met omgelegen gebieden zonder ze volledig te modelleren.

De inwoners en industriële equivalenten zijn bepaald aan de hand van beschikbare gegevens van de gemeente Lokeren over de hoeveelheid mensen dat per straat woont. Deze mensen zijn vervolgens toegekend aan het juiste rioolbekken. Dit gebeurt ook voor de industriële equivalenten waarvan het lozingsdebiet via de vergunning aanvraag bekend is. Deze grote bedrijven zijn bevraagd per email **Bijlage E** over hoe ze aansluiten op het systeem en of ze hun afvalwater scheiden. Bij grote bedrijven is het vaker onduidelijk op welke leiding(en) ze aangesloten zijn, en ze hebben een grotere impact op het systeem dan woningen en kleine bedrijven.

3.2.1 Validatie op basis van gekende knelpunten

Om het model te testen aan de werkelijkheid zijn de gekende knelpunten onderzocht. Deze informatie is opgevraagd en verkregen bij de volgende instanties:

- Gemeente
- Brandweer
- Vlaamse Milieu Maatschappij (VMM)
- Omwonenden

De reden dat deze instanties bevraagd zijn is als volgt.

Mensen die last hebben van riool overlast kunnen dit melden bij de gemeente. Daarom zou de gemeente in principe moeten weten waar overlast is. Echter niet alle overlast wordt gemeld bij de gemeente, en het is ook niet dat een melding van overlast altijd doorgevoerd wordt in hun databank. De informatie is verkregen bij de gemeente Lokeren.

De brandweer wordt vaak ingeschakeld om rioolproblemen tijdelijk op te lossen. Daarom is bij de brandweer opgevraagd op welke plekken wateroverlast voorkomt.

De Vlaamse Milieumaatschappij meet en controleert de kwaliteit van het water. Zij weten waar het water vervuult is door werkende overstorten. Ook meten zij de kwaliteit van het rioolwater, en weten hierdoor ook op welke plaatsen verdunning optreedt.

Met de terreinbezoeken (Bijlage B) zijn er via gesprekken met omwonenden enkele knelpunten aan het licht gekomen. Ook is er via de bevraging van de bedrijven hoe zij op het riool aansluiten, één knelpunt doorgegeven.

De gekende knelpunten zijn vergeleken met de model simulaties. De composietbuien die hiervoor gebruikt zijn hebben een herhalingstijd van $T = 1/10, 1/7, 2, 5, 10$ en 20 jaar. De reden dat deze buien gekozen worden is doordat ze via de "Code van goede praktijk voor rioolsystemen" beschikbaar zijn gesteld voor hydronautstudies (Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid, 2012). De belangrijkste karakteristieke waarden van de composietbuien zijn weergegeven in onderstaande Tabel 1.

Tabel 1: Karakteristieke waarden composiet buien

Type bui	Maximale neerslagintensiteit (mm/uur)	Duur van de bui (uur)	Totale hoeveelheid neerslag (mm)
T1/10	18,45	48	12,44
T1/7	24,32	48	15,46
T2	72,78	48	53,30
T5	88,47	48	63,45
T10	100,33	48	71,89
T20	112,19	48	81,52

3.2.2 Validatie door bewoners

Niet alle knelpunten worden gemeld bij de instanties. Bijvoorbeeld water op straat wordt niet altijd gezien als overlast, vaak is dit het geval wanneer woningen hoger liggen dan de straat. Deze punten zijn ook van belang om het model goed te valideren. Daarom zijn de locaties van de gesimuleerde knelpunten bezocht en aan de bewoners gevraagd of hier sprake was van wateroverlast.

Het model wordt als gevalideerd beschouwd. Als de gesimuleerde knelpunten met een bui met herhalingsdij T=2 jaar ook in werkelijkheid gekend zijn als plekken waar met zware regenval water op straat blijft staan.

3.2.2 Validatie op basis van de debietmeetcampagne

Om het model op een hoger detail niveau te brengen en knelpunten met hogere zekerheid te kunnen oplossen is een debietmeetcampagne uitgevoerd. Dit zal ervoor zorgen dat oorzaken van knelpunten uitgesloten kunnen worden en de gedane aannames controleren.

3.3 Wat zijn volgens model simulaties de knelpunten van het rioolstelsel van Lokeren en mogelijke oplossingen voor deze knelpunten?

Om de knelpunten te bepalen zijn modelsimulaties met een composiet bui met een herhalingsdij van T = 2 jaar gedaan. Omdat volgens de "Code van goede praktijk voor rioolsystemen" er dan geen water op straat mag komen (Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid, 2012). Deze code is de handleiding voor Aquafin, rioolbeheerders, gemeenten en studiebureaus. De simulatie resultaten zijn geanalyseerd en bij deze gesimuleerde knelpunten zijn de oorzaken vastgesteld. Voor deze oorzaken is een gepaste oplossing bedacht aan de hand van het model.

3 Afbakening

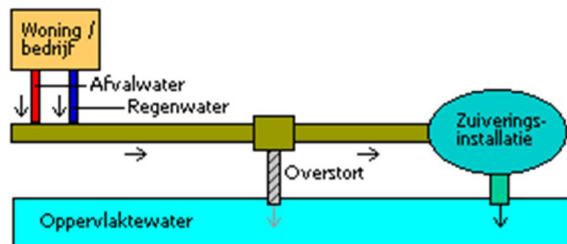
In dit hoofdstuk is het onderzoek afgebakend. Dit zal helpen de gebruikte vaktaal te verstaan en een aantal belangrijke termen zijn omschreven. Ook zijn de soorten rioolstelsels uitgelegd.

Een rioolstelsel zorgt ervoor dat het afvalwater en regenwater afgevoerd wordt naar een plek waar het behandeld wordt, en vervolgens afgevoerd kan worden op het oppervlakte water. Een rioolstelsel bestaat vrijwel altijd uit ondergrondse leidingen met bijbehorende structuren. In België zijn 86% van de huizen aangesloten op het rioolstelsel (RioNED, 2011). Er zijn twee soorten rioolstelsels aanwezig in Lokeren, een gemengd en een gescheiden systeem. Het type systeem in

Lokeren is een gravitatie systeem. Dit is een systeem waarbij de leidingen onder een helling liggen, en het afvalwater dus door gravitatie naar het RWZI stroomt.

3.1 Gemengd rioolstelsel

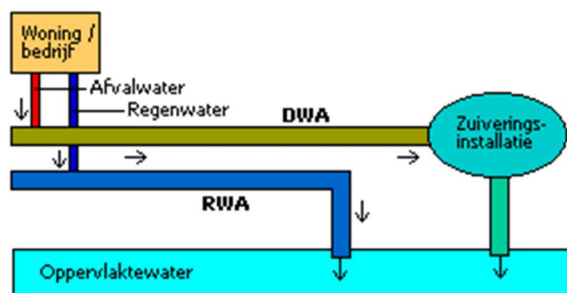
Bij een gemengd rioolstelsel wordt het sanitaire afvalwater en het regenwater geloosd in dezelfde leiding. Vroeger werd vrijwel overal een gemengd systeem aangelegd, omdat dit een simpel en goedkoop systeem is. Maar het nadeel van dit systeem is dat het niet gedimensioneerd is op maximale afvoer, maar op een lagere waarde. Dit betekent dat dit systeem soms zal overstorten, en er afvalwater ongezuiverd in het oppervlaktewater terecht komt en dit is slecht voor het milieu.



Figuur 3: Gemengd rioolstelsel

3.2 Gescheiden rioolstelsel

Bij een gescheiden stelsel wordt het regenwater en afvalwater gescheiden afgevoerd. Het zorgt ervoor dat het afvalwater niet verdund wordt door het regenwater, en dus goed gezuiverd kan worden. Ook heeft de afvoer van afvalwater droogweerafvoer (DWA) geen overstort meer nodig omdat er geen extreme pieken en dalen meer zijn. Dit geeft dus geen vervuiling voor het milieu. Het regenwater stelsel heeft wel overstorten, maar dit is niet slecht voor het milieu. Een nadeel van direct lozen op het oppervlakte water is, dat straten en daken ook wat vervuiling met zich mee brengen. De nieuwere systemen beschikken over een koppeling met een terugslagklep tussen het RWA en DWA systeem. Waardoor de eerste hoeveelheid water van een bui, wat de vervuiling van straten en daken draagt, toch door de RWZI gaat. Een nadeel van dit systeem is dat de DWA leiding eerder verstopt raakt doordat het afvalwater geconcentreerd is.

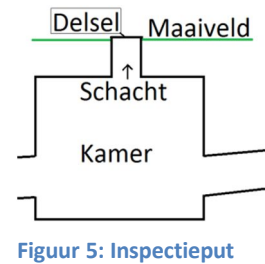


Figuur 4: Gescheiden stelsel

3.3 Terminologie

Hieronder zijn termen uitgelegd die belangrijk zijn om een model te kunnen maken en het verslag goed te begrijpen.

- Inspectieput: Ook wel putten genoemd zorgen voor de verbinding tussen twee leidingen. Deze bestaan uit een kamer met daarin de in- en uitkomende leidingen. De kamer is doormiddel van een schacht en een deksel bereikbaar voor inspectie. Figuur 5
- Waterlopen: Dit zijn de afwateringskanalen boven- en ondergronds die in de Vlaamse Hydrologische Atlas staan.
- Grachten: de lokale afwateringskanalen voor regenwater. Deze kunnen voor een korte afstand ondergronds liggen door een duiker maar behoren niet tot het rioolsysteem.
- Pompstation: Hierin bevindt zich één of meerdere pompen die (afval)water verpompen om een hoogteverschil te overbruggen.
- Knelpunten: Dit zijn punten waar riooloverlast aanwezig is. Hieronder valt: Wateroverlast, geuroverlast, lozing en verdunning.
- Bergbezinkingsbekken: Dit is een bekken dat dient als een buffer voor het riool. Dankzij extra capaciteit wordt bij hevige regen het overstorten van verdund afvalwater vaak voorkomen. Het bekken is zodanig ontworpen dat het vuil in het water er ook kan bezinken. Als het riool dan nog overstort is het minder vervuild.

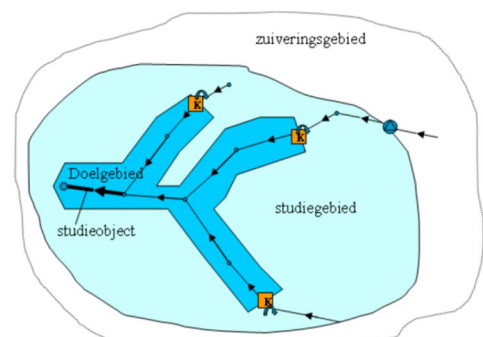


Figuur 5: Inspectieput

Knijpconstructies

- Knijpleiding: Een leiding met een kleine diameter die ervoor zorgt dat het doorvoerdebiet beperkt is, en niet alles te snel naar de RWZI stroomt.
- Knijpopening: een opening met een kleine diameter.
- Wervelventiel: Werkt hetzelfde als een knijpopening, maar raakt niet verstopt bij zeer kleine doorvoerdebieten door de cycloonwerking. Het doorvoerdebiet is constanter bij verschillende waterhoogtes dan dat van een knijpopening.
- Zuiveringsgebied: Het gebied waar één zuiveringsinstallatie het afvalwater zuivert.
- Studiegebied: Het gebied rondom het studieobject dat hydraulisch afkoppelbaar is. Invloeden van buitenaf kunnen gezien worden als randvoorwaarden, doordat ze zich onafhankelijk van elkaar gedragen.
- Studieobject: Het object dat het onderwerp is van de studie dus het rioleringsstelsel.
- Doelgebied: Het gebied dat onderwerp van de studie is. Alle riooldeelbekkens waarin het studieobject zich bevindt.

Figuur 6 kan de relatie tussen de gebieden verduidelijken.



Figuur 6: Relatie zuiveringsgebied, studiegebied, studieobject en doelgebied

4 Resultaten

4.1 Analyse rioolsysteem Lokeren

4.1.1 Aanvullen databank

De aangeleverde databank in InfoNet van Aquafin was niet geheel compleet. Er ontbraken leidingen, knopen, en in- en uitlaten. Door de databank te analyseren zijn de gebreken aan het licht gekomen. Bijvoorbeeld een niet aansluitende leiding of een gracht die op niks afwatert. Doormiddel van terrein bezoek zijn deze niet logische punten geprobeerd uit te zoeken. Bij leidingen die volgens de databank nergens op aansloten, is nagegaan door de bijbehorende inspectieputten te openen waar deze op het systeem aansluiten. Ook is er tracer (kleurstof) in het riool gestopt, en geanalyseerd hoe dit zich heeft verspreid.

Recente nieuwbouw

Recent gebouwde gebouwen waren ook niet aanwezig in de databank. Enkele gebouwen zijn aan de hand van satelliet beelden ingetekend. Maar bij een project van een hele straat werd het as-built plan aangevraagd en zijn de gebouwen op basis hiervan ingetekend.

De leidingen en knopen van een as-built plan worden eerst onderworpen aan een kwaliteitscontrole. Er worden steekproefsgewijs een paar inspectieputten uitgepakt, en deze zijn vervolgens opgemeten door een landmeter. Deze metingen zijn vergeleken met de as-built plannen. Om een as-built plan goed te keuren moet het voldoen aan de onderstaande eisen:

- De structuur van de put op het as-built plan en de meting moet overeenkomen. (Gelijke hoeveelheid inkomende en uitkomende leidingen)
- De vorm en diameters van de leidingen moet overeenkomen.
- Het verschil in absolute afstand van de locatie van de inspectieput tussen de meting en het as-built plan mag maximaal 0,089 meter zijn.
- Het verschil in de meting binnenkant onderkant buis (BOK) mag bij een buis met een diameter kleiner dan 400 mm maximaal 0.07 m bedragen, en met een diameter groter dan 400 mm maximaal 0.1 m bedragen.

Als het as-built plan de kwaliteitscontrole doorstaat, dan is deze opgenomen in de databank. Als er een waarde afwijkt is het as-built plan niet overgenomen in de databank, maar is dit rioolstelsel opgemeten door een landmeter.

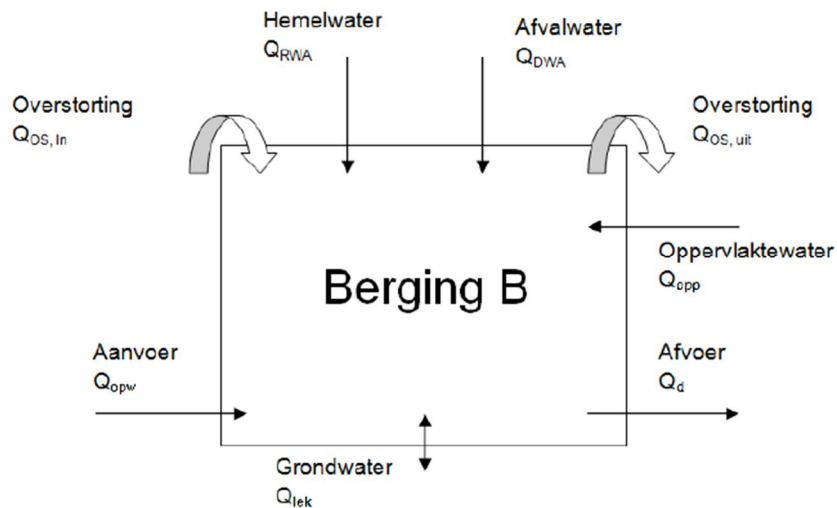
4.1.2. Rioolbekkenschema

Om een goed beeld te krijgen hoe het huidige rioolstelsel werkt, wordt er een riooldeelbekkenschema opgesteld. Om het gedrag van een rioolstelsel te vereenvoudigen wordt de riooldeelbekkenbenadering gebruikt (Aquafin, 2015). Een riooldeelbekken ook wel overstortbak genoemd, is een eenvoudige voorstelling die ervoor zorgt dat het model minder belangrijke details van het stelsel weg kan laten. Het rioolstelsel zal dus voorgesteld worden als een reeks van riooldeelbekkens met elk hun eigen parameters:

- Q_d = Afvoer uit het riooldeelbekken (m^3/s)
- Q_{opw} = Aanvoer vanuit opwaartse riooldeelbekkens (m^3/s)
- Q_{DWA} = Aanvoer van afvalwater (m^3/s)

- Q_{RWA} = Aanvoer van regenwater (m^3/s)
- Q_{opp} = Instroming van oppervlaktewater (m^3/s)
- Q_{lek} = Instroming van grondwater (m^3/s)
- $Q_{OS, uit}$ = Overstort die het riooldeelbekken uitgaat naar een ander riooldeelbekken (m^3/s)
- $Q_{OS, in}$ = Overstort die het riooldeelbekken in komt vanuit een ander riooldeelbekken (m^3/s)
- B = Bergingsvolume (m^3)

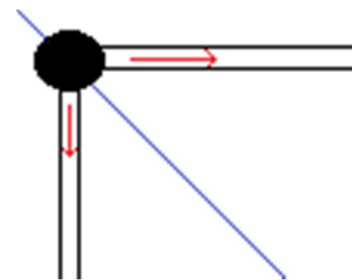
Het principe van de riooldeelbekkenbenadering is weergegeven in Figuur 7



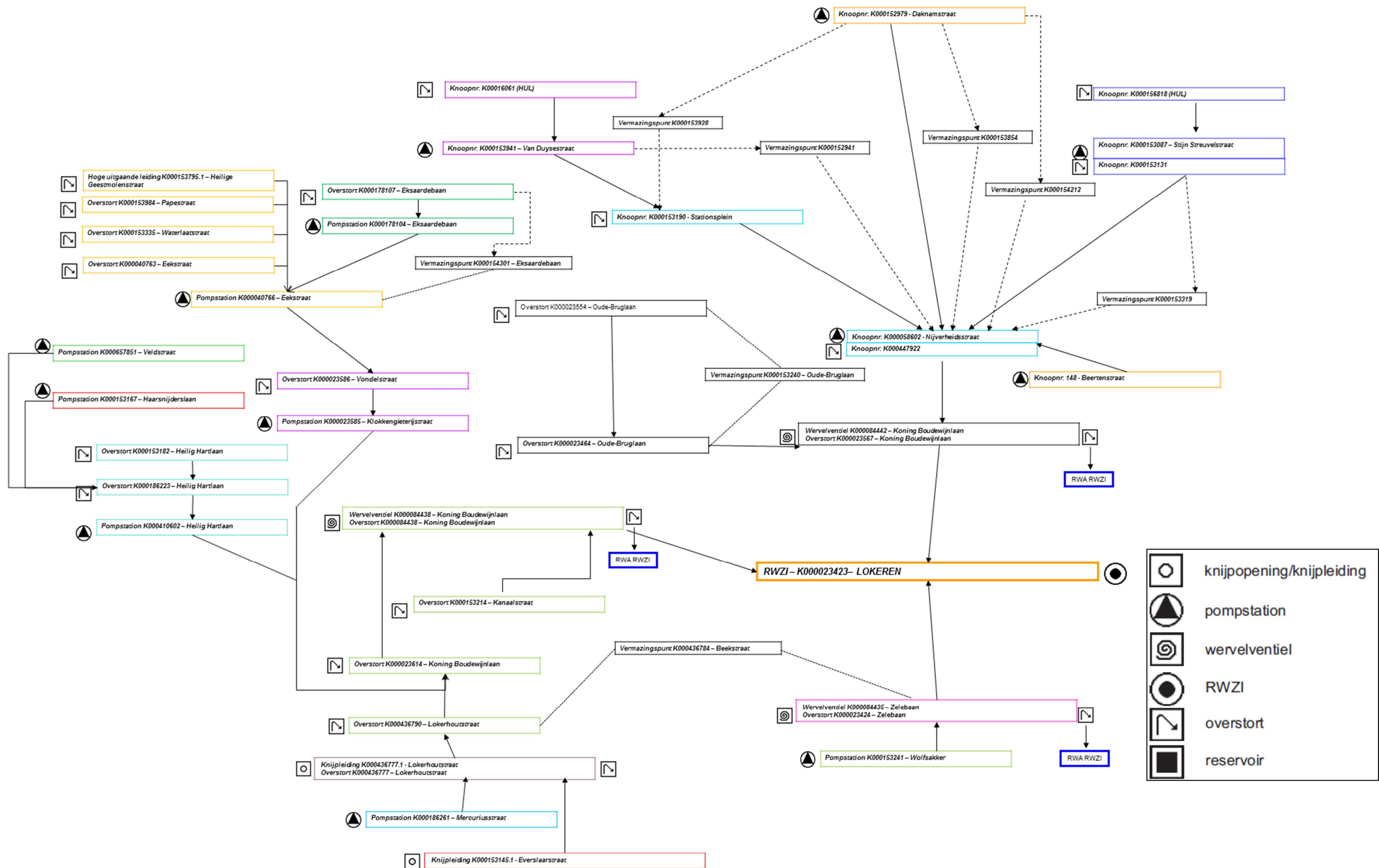
Figuur 7: Riooldeelbekkenbenadering

Door de riooldeelbekkenbenadering is het eenvoudig per riooldeelbeken een waterbalans op te stellen. Een riooldeelbeken wordt begrensd door een constructie met een beperkt doorvoerdebiet, zoals een knijpconstructie of pompstation. In Figuur 9 is het riooldeelbekkenschema van Lokeren te zien. De verschillende kleuren geven verschillende riooldeelbekkens aan. De vermazingen zijn weergegeven met stippellijnen. Een vermazing Figuur 8 is een verbinding met een ander riooldeelbeken, waarbij twee leidingen met een tegenovergestelde afstroomrichting samenkomen. Bij droogte of lichte regenval zal de afstroomrichting gelden, maar bij grote afvoeren en benedenstroomse opstuwung kan er water opwaarts stromen van de ene naar de andere leiding.

In het rioolbekkenschema is zichtbaar dat Lokeren een complex rioolsysteem heeft met vele structuren. De oorzaak ligt in het feit dat de stad niet in één keer gebouwd is, maar door de jaren heen verscheidene keren uitgebreid is, en er vele kleine herinrichtings projecten zijn geweest. Aan de hoeveelheid vermazingen is ook te zien dat er niet altijd goed nagedacht is over de riolering, maar eerder de filosofie 'het water stroomt waar het stromen gaat' gehanteerd is.



Figuur 8: Vermazing



Figuur 9: Rioolbekkenschema Lokeren, weergegeven is hoe de structuren in het stelsel met elkaar verbonden zijn en wat de riooldeelbekkens zijn.

4.2. Modelopbouw

Beschreven in deze paragraaf is welke stappen gehanteerd zijn om van een complete databank naar een goed functionerend model te komen.

4.2.1 Modelleringsstelsel

De databank van InfoNet is geëxporteerd naar InfoWorks. Deze databank bevat alle structuren, maar ook overbodige structuren. Hydraulische irrelevante leidingen zijn uit het model verwijderd. Dit zijn leidingen of putten die wel in het onderzoeksgebied liggen, maar bijvoorbeeld niet meer aangesloten zijn.

Sedimentatie is aan de leidingen toegekend aan de hand van metingen uit de databank. Voor leidingen waarvan geen metingen gedaan zijn is door interpolatie van de eerst volgende metingen stroomopwaarts en stroomafwaarts een waarde aangenomen.

4.2.2 Hydraulische structuren

Voor het digitaliseren van het stelsel is het invoeren van de karakteristieken van de hydraulische structuren (knijpconstructies, overstorten en pompen) een belangrijk punt. Deze structuren zijn zeer bepalend in de doorvoer van het rioolwater. In **Bijlage A** is uitgelegd hoe elk type structuur in het model verwerkt is.

4.2.3 Belasting op het stelsel

Nu de fysieke toestand van het rioolsysteem in het model zit, zal het rioolwater nog gemodelleerd moeten worden. Het rioolwater bestaat uit regenwater en afvalwater. De aanvoer van regenwater gebeurt op basis van afstroming van verharde gebouwen en afstroming van onverharde oppervlaktes. Voor de onverharde oppervlaktes is er gekeken hoeveel van het regenwater infiltreert, en hoeveel er naar het riool afstroomt. Vervolgens is door het intekenen van bekkengroepen om het gebied die op één leiding afstroomt, bepaald wat de aanvoer van rioolwater is. Een gedetailleerde beschrijving van dit proces is te vinden in **Bijlage C**.

Bepaling inwoners equivalenten

Om het afvalwater te bepalen is de afvoer van inwoners bepaald. In de gemeente Lokeren is de riooleringsgraad 84,44% (Vlaamse Milieumaatschappij, 2017). De riooleringsgraad is het aandeel van de bevolking dat op het riool aangesloten is. Dit betekent dat niet iedereen op het rioolstelsel is aangesloten. Om te bepalen hoeveel mensen op het systeem zijn aangesloten, is een inwoners equivalenten telling (IE-telling) uitgevoerd. 1IE staat voor 150 liter afvalwater verspreid over een 14 uur durende dag.

Via de gemeente Lokeren zijn de volgende gegevens bekend:

- De hoeveelheid inwoners per straat.
- De gebieden waarvan de gemeente verantwoordelijk is voor de riolering, maar die niet aangesloten zijn op het stelsel. Zij lozen via een bezinkingsbak op een gracht.
- De niet aangesloten huizen, mensen die ver van de weg afwonen en die zelf verantwoordelijk zijn voor hun riolering.
- De industriële afvoer per bedrijf.

Om nu tot het aantal inwoners per riooldeelbekken te komen zijn de volgende stappen uitgevoerd. Van de hoeveelheid inwoners per straat worden de niet aansluitende huizen afgehaald. Dit gaat met

een gemiddelde waarde van 2.5 mensen per woning (Aquafin, 2015). Vervolgens blijft er over de hoeveelheid inwoners per straat die op het rioolstelsel aangesloten zijn. Deze inwoners moeten toegekend worden aan een riooldeelbekken. De inwoners van straten die geheel in een riooldeelbekken liggen worden aan deze toegekend. In een straat waar meerdere leidingen liggen kunnen delen op verschillende riooldeelbekkens aangesloten zijn. Deze inwoners zijn opgesplitst over de juiste riooldeelbekkens, aan de hand van de verhouding waarin de huizen aansluiten op de leidingen. Straten die buiten het doelgebied liggen zijn niet meegenomen.

Voor industriële equivalenten (afvalwater van bedrijven) zijn via vergunning aanvragen aan de gemeente bekend en vervolgens is aan de bedrijven gevraagd hoe en waar zij aansluiten op het systeem en deze zijn vervolgens aan de juiste riooldeelbekken toegekend. Een voorbeeld van deze bevraging is te vinden in **Bijlage E**.

De uitkomst van deze IE-telling is te vinden in **Bijlage F**

4.2.4 Opstellen randvoorwaarden

Voor de simulaties gedaan kunnen moeten de randvoorwaarden opgesteld worden. Volgens de rioolbekkenbenadering zijn de randvoorwaarden van een rioolmodel de in- en uitlaten. Deze zijn opgemeten door een landmeter, maar deze meet niet de maximale water hoogte. Tijdens het terreinbezoek is het maximale waterpeil, het waterpeil en sedimentatie niveau opgemeten ter controle van alle in- en uitlaten. De resultaten hiervan zijn verwerkt in het model. Indien het waterpeil niet boven de onderkant van de leiding kwam, werd er geen peil opgelegd in het model.

Voor de uitlaten die afvoeren op de Durme zijn de waterpeilen verkregen via de databank van water info Vlaanderen (WaterInfo, 2017). Voor de periode van de debietmeetcampagne zijn de waterstanden overgenomen in het model. De waterstand in de Benedendurme wordt namelijk beïnvloed door het getij van de Noordzee.

4.2.5 Validatie

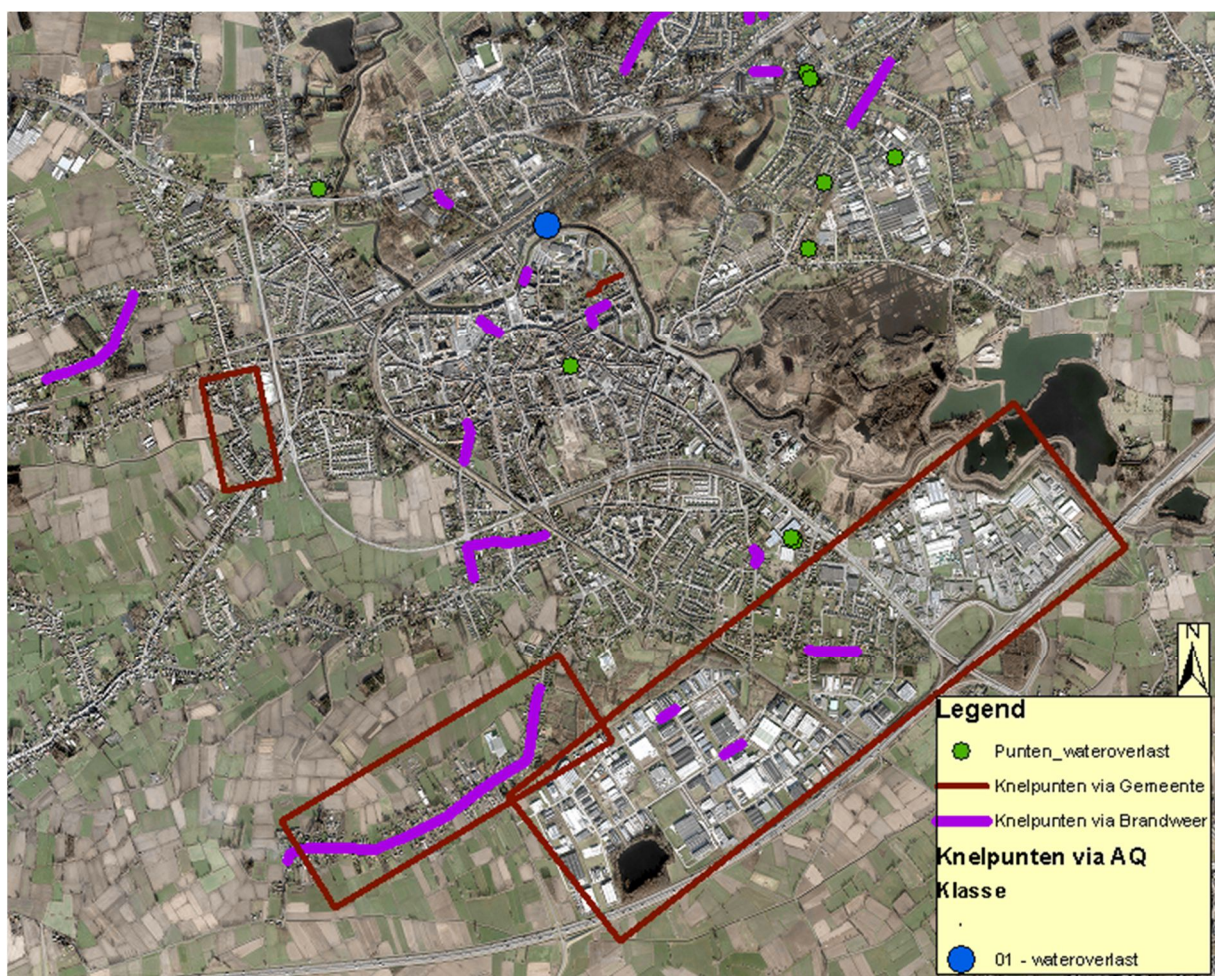
In deze paragraaf staat beschreven hoe het model getest is, en of het representatief is met de werkelijkheid. Voor deze studie is een meetcampagne gehouden.

4.2.5.1 Validatie door InfoWorks

InfoWorks kent zelf al een functie genaamd: Network Validation. Deze functie valideert het model op missende data en inconsistente data. Hieruit komt een error lijst maar voren, en deze fouten zijn opgelost. Soms miste er een aan- en afslag peil bij een paar pompen, en bevonden zich wat knopen boven het maaiveld door verkeerde gegevens.

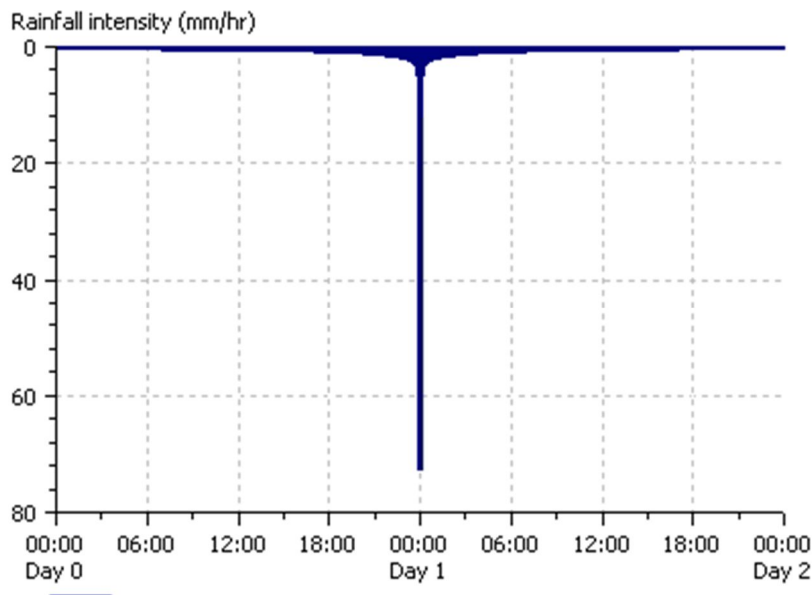
4.2.5.2 Validatie door gekende knelpunten.

De opgevraagde knelpunten bij de instanties waarbij sprake was van overlast door water op straat zijn weergegeven in Figuur 10.



Figuur 10: Gekende knelpunten wateroverlast

Aan de hand van deze gegevens is het model gevalideerd door simulaties te doen met composietbuizen. De composietbuizen zijn gebaseerd op de periode 1970 tot 2007, en de gebruikte tijdstap is vijf minuten. Van de composietbui met een herhalingsijd van $T=2$ jaar is hieronder de karakteristiek weergegeven Figuur 11.



Figuur 11: Karakteristieke grafiek composietbui T=2

Zichtbaar is dat de composietbui een grote piek kent. De buien hebben een duur van 48 uur waarvan ongeveer twee uur er zeer veel neerslag valt. De eerste dag is de aanloop naar de piek, en de tweede dag een exacte spiegeling van de eerste dag. Op plekken waar het model niet overeenkwam met de gegevens is nog eens gekeken of hier de bekkengroepen wel juist waren ingetekend en of er onverharde oppervlaktes te veel of te weinig afstroomden. Na deze aanpassingen waren er nog twee knelpunten van wateroverlast die niet terugkwamen in het model. Echter ging het hier om wateroverlast op privaat domein en om een verstopping die al verholpen bleek te zijn.

4.2.5.3 Validatie op basis van bewoners

Hieronder zijn de resultaten van de validatie op basis van bewoners weergegeven.

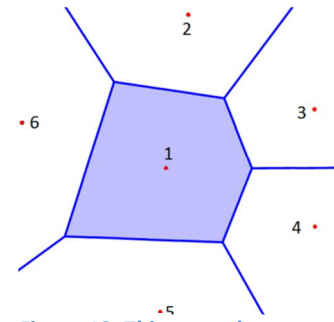
Tabel 2: Validatie knelpunten wateroverlast bewoners

Locatie knelpunt	Validatie wateroverlast
1. Zonnestraat	Bij elke zware bui staat hier de straat vol met water
2. Bedrijventerrein-oost	Vorig jaar hebben de straten hier onder water gestaan.
3. Rozenstraat	Er is hier sprake van wateroverlast, maar een tiental meter zuidelijker dan de simulatie resultaten tonen.
4. Kruising Hekelaarslaan – Spinnerslaan	Bij onweersbuien staat hier water op de kruising
5. Everslaarstraat	Bij zware regenval loopt de gracht bij mensen de tuin in en staat er water op straat.
6. Vierscharenstraat	Enkel bij zeer zware regenval staat er water hier op straat
7. Sterrestraat	Hier liggen zandzakken en schotten voor de deuren en is er vaak sprake van wateroverlast
8. Kapellestraat	Bij het winkelcentrum de grote Kaai is er wateroverlast bij hevige buien. Bij de Oeversweg ook, maar bij bejaardenhuis grote Kaai was er geen wateroverlast bekend.

Uit deze validatie blijkt dat de model resultaten redelijk overeenkomen met de werkelijkheid. Het model wordt nu beschouwd als gevalideerd.

4.2.5.4 Validatie op basis van de debietmeetcampagne

Om het model kwantitatief te valideren is er een debietmeetcampagne uitgevoerd. Dit houdt in dat er pluviografen op daken zijn geplaatst en monitoren in de riolen. De meetcampagne is begonnen op 1 oktober 2016 en beëindigd op 9 november 2016. In deze periode zijn er een aantal buien gevallen. De intensiteit van deze buien is gemeten door pluviografen op de daken. Aangenomen is dat de intensiteit van de neerslag rondom de pluviograaf gelijk is. Door zogenoemde Thiessen polygonen zijn deze intensiteiten getransformeerd tot een bui Figuur 12.



Figuur 12: Thiessenpolygonen

In InfoWorks zijn met deze buien simulaties uitgevoerd. Deze resultaten zijn vergeleken met de metingen van de monitoren. De gemeten waarden door de monitoren zijn:

- De stroomsnelheid U van het rioolwater door de rioolbuis (m/s)
- De waterhoogte h in de buis (m)

Met de waarde voor waterhoogte wordt door het inwendige oppervlak van de buis te weten de natte zone bepaald (m^2). En vervolgens wordt door onderstaande formule het debiet bepaald.

$$Q = U * A(h)$$

Met hierin U [m/s] de stroomsnelheid en A [m^2] het oppervlak van de natte zone. De monitoren zijn niet meer betrouwbaar bij een waterhoogte onder de 5 cm, of een stroomsnelheid van minder dan 0.1 m/s. Deze meetwaardes zijn dus niet gebruikt.

Uit deze gegevens zijn 2 droge periodes en 3 buien geselecteerd om te vergelijken met het model.

Deze validatie is niet voltooid, omdat er niet genoeg tijd was het model op het geschikte detailniveau te brengen voor deze validatie. Structuren zoals muurtjes in de rioolbuis zijn niet verwerkt in het model. Deze kleine structuren hebben bij droog weer een relatief grote invloed. Ook de aannames van de aan- en afslagpeilen en van de pompen hebben een grote invloed bij droog weer.

Doordat het model niet gevalideerd is op basis van de debietmeetcampagne zal bij het bespreken van de resultaten van de simulaties niet gesproken worden over de hoeveelheid water op straat, aangezien het model hier niet voldoende accuraat voor is.

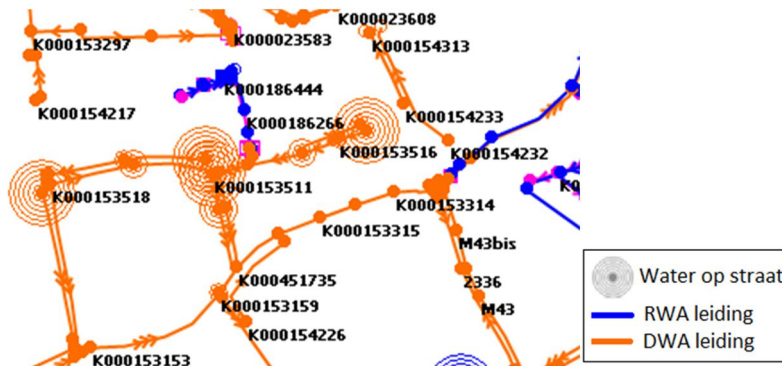
4.3 Huidige knelpunten wateroverlast

Bij simulaties met composietbui T=2 jaar mag er geen water op straat komen (Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid, 2012). Echter bij simulaties met een dergelijke bui is er wel wateroverlast op straat te vinden.

Hieronder zijn de gesimuleerde knelpunten geanalyseerd, en de waarschijnlijke oorzaken bepaald. Ook is er een oplossing bedacht voor deze knelpunten. De oranje leidingen zijn van het gemengde stelsel, roze leidingen DWA en blauwe leidingen RWA.

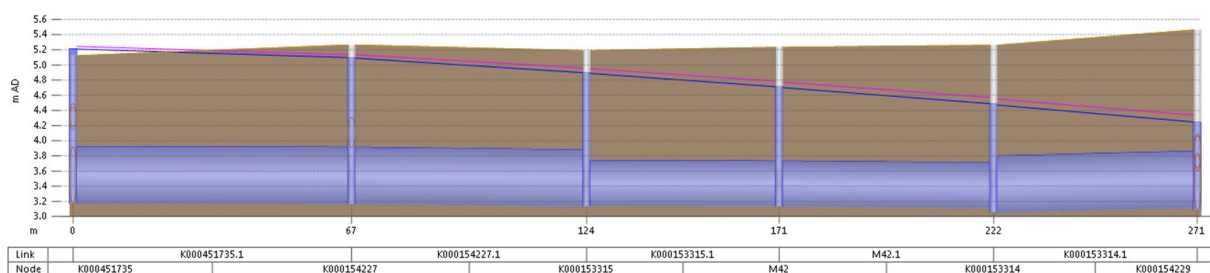
1. Knelpunt Zonnestraat

Bij een composiet bui T2 loopt de Zonnestraat al volledig onder water. De cirkels bij de inspectieputten in Figuur 13 geven aan dat de inspectieputten het water niet kwijt kunnen, hoe meer cirkels hoe zwaarder de wateroverlast. Het water komt hier dus op straat te staan.



Figuur 13: Knelpunt Zonnestraat de inspectieputten kunnen het water niet kwijt wat betekent dat er wateroverlast is.

Het gaat hier om een straat met arbeiderswoningen, waarbij relatief veel verhard oppervlakte aanwezig is. Ook is er hier een nieuwe verkaveling gerealiseerd (zichtbaar door het aanwezige stuk gescheiden stelsel) dat aangesloten is op het oude systeem. Dit zorgt voor een grotere aanvoer van rioolwater. De buizen in de Zonnestraat zijn groot genoeg om deze debieten te verwerken, maar stroomafwaarts in de Naastveldstraat is de leiding niet berekend op een grote hoeveelheid rioolwater. Dit is zichtbaar in de verhanglijn van het rioolwater Figuur 14

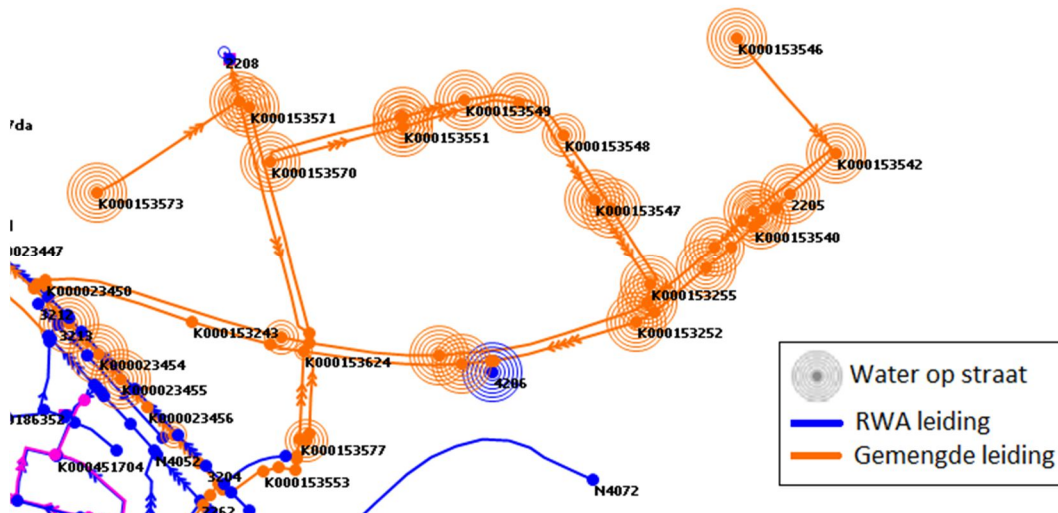


Figuur 14: Stijgende verhanglijn Naastveldstraat toont aan dat de leiding het debiet niet volledig kan verwerken.

In deze figuur is zichtbaar dat de leiding volledig onder druk staat. Dit betekent dat het waterpeil stroomopwaarts steeds hoger wordt, en de leiding zijn maximale capaciteit bereikt heeft. Dit levert nog geen problemen op voor de mensen die hier wonen aangezien het waterniveau onder het maaiveld blijft. Echter stijgt de verhanglijn sterk in deze straat wat betekent dat deze leiding te klein is voor de hoeveelheid rioolwater. Stroomopwaarts bij de Zonnestraat ontstaan hierdoor problemen. Een goede oplossing voor dit knelpunt zou zijn, de leiding in de Naastveldstraat te vergroten. Dit kan, want stroomafwaarts van dit punt tot de RWZI zijn er geen problemen gekend.

2. Knelpunt bedrijventerrein-oost Lokeren

Verspreid over het bedrijventerrein van Lokeren komt er water op straat te staan bij een composietbui T=2 Figuur 15. Al deze knelpunten hebben met elkaar te maken doordat geheel dit gebied via de Zelebaan afwatert.



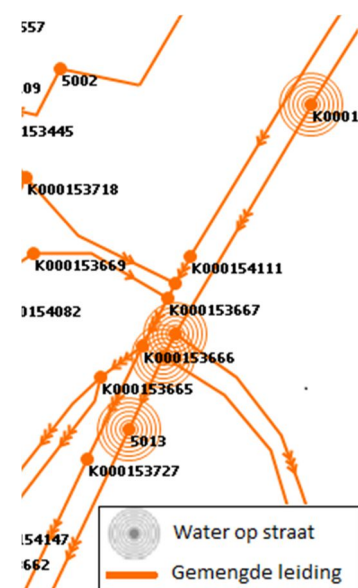
Figuur 15: Knelpunt bedrijventerrein-oost Lokeren, vele inspectieputten kunnen het water niet afvoeren. Het water komt op straat te staan

De oorzaak van al deze knelpunten ligt in het feit dat de verhanglijn in de Zelebaan al dicht tegen het maaiveld aan ligt. Dit komt omdat er een zeer groot gebied op deze leidingen afstroomt. Het vergroten van deze leidingen zou stroomafwaarts bij de RWZI zeer waarschijnlijk problemen veroorzaken doordat deze leiding al een diameter van 1.8 m heeft. Daarom zou een betere oplossing zijn dit gemengde stelsel af te koppelen op omliggende grachten. Dit zou de belasting op het gemengde stelsel aanzienlijk verminderen.

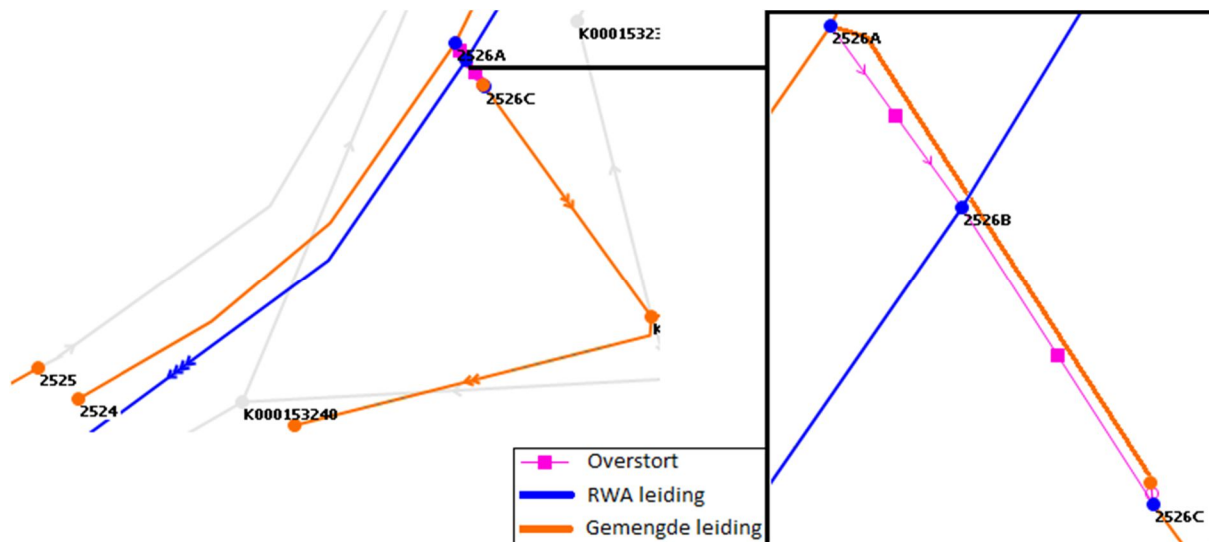
3. Knelpunt Rozenstraat

In de Rozenstraat zijn er problemen met water op straat Figuur 16. Het rioolwater van deze straat kan benedenstrooms niet goed weg lopen, zichtbaar in Figuur 17. Het water kan niet via knoop 2524 naar knoop 2525 stromen. Ook is de leiding van knoop 2526A naar 2526C volledig dicht geslibd.

Al het rioolwater gaat dus altijd via de interne overstort naar de RWA leiding. Dit betekent dat het waterniveau in de leiding altijd op de overstort hoogte staat, de bufferende werking van deze leiding vervalt.

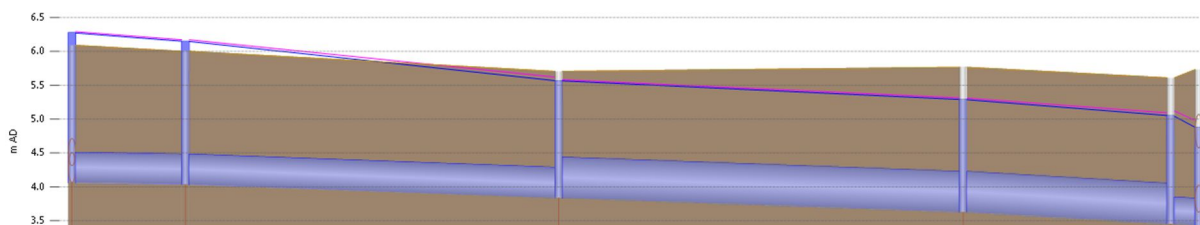


Figuur 16: Knelpunt Rozenstraat, één zijde van de straat kan de hoeveelheid water niet verwerken



Figuur 17: Ontwatering Rozenstraat, gemengde leiding eindigt bij knoop 2524, leiding 2526A naar 2526C volledig verstopt. Ontwatering vindt plaats via overstort op RWA stelsel

Echter dit is niet de hoofdoorzaak, want de leiding in de Rozenstraat is ook te klein om het debiet snel genoeg af te voeren. Dit is zichtbaar doordat de verhanglijn hier aanzienlijk stijgt Figuur 18. Ook was er al een simulatie zonder sedimentatie (dan kan er wel water van 2526A naar 2526C stromen) gedaan en ook toen kwam er hier water op straat te staan. De hoofdoorzaak is dus dat de leidingen in de Rozenstraat te klein gedimensioneerd zijn. De beste oplossing zou zijn de leiding in de Rozenstraat te vergroten. Ook zou het beter zijn als de knop 2525 en 2524 met elkaar in verbinding stonden en de verstopte leiding leeg halen.

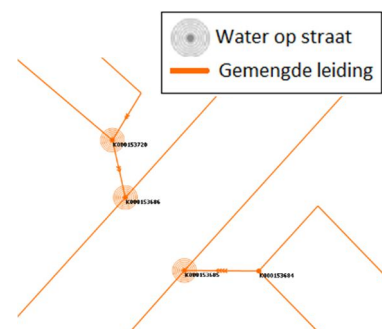


Figuur 18: Stijgende verhanglijn Rozenstraat. Leidingen kunnen het debiet niet verwerken

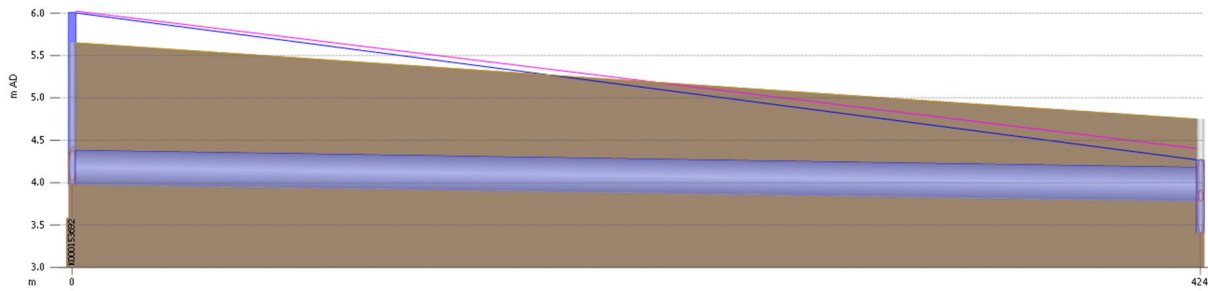
4. Knelpunt kruising Hekelaarslaan – Spinnerslaan

Uit de simulaties blijkt dat op de kruising van de Hekelaarslaan en de Spinnerslaan er water op straat komt Figuur 19. Wederom is de oorzaak van dit knelpunt stroomafwaarts te vinden. In de Weverslaan is de leiding niet groot genoeg. De diameter van deze leiding is slechts 400 mm, terwijl er 10 leidingen met ook diameter 400 mm op aansluiten.

De stijgende verhanglijn van de Weverslaan is zichtbaar in Figuur 20. Een goede oplossing voor dit knelpunt zou zijn om deze leiding te vergroten.



Figuur 19: Knelpunt kruising Hekelaarslaan – Spinnerslaan. Er wordt water op straat gemodelleerd

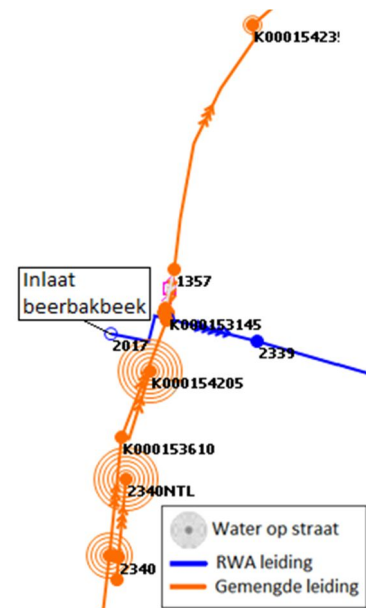


Figuur 20: Stijgende verhanglijn Weverslaan. Leiding kan het debiet niet verwerken

5. Knelpunt Everslaarstraat

In de Everslaarstraat zijn er problemen met water op straat, doordat de Beerbakbeek hier de stad binnenkomt (Figuur 21). De gemengde riolering en de beek staan in verbinding met elkaar door een overstort. Dit zorgt ervoor dat er water vanuit de beek het riool in kan, en andersom ook. Dit is geen ideale situatie, maar de reden is dat de beek anders elders overlast zou veroorzaken. Op deze beek wateren een groot aantal akkers en weilanden af, de beek is dus te zwaar belast.

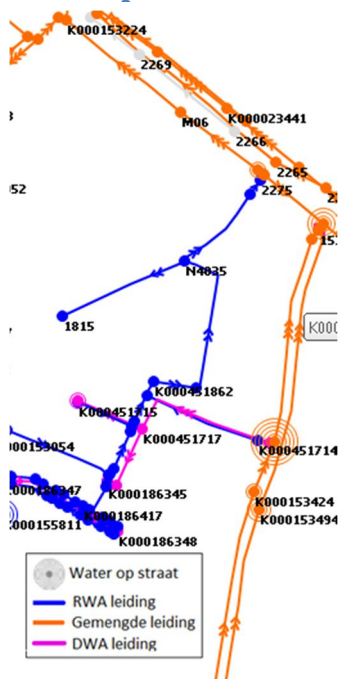
Een mogelijke oplossing zou zijn het creëren van een buffer met een pomp waardoor het water gebufferd kan worden en het niet in de tuinen van de mensen en het riool stroomt. Ook kan er gekeken worden of het aantal grachten wat op deze beek afwatert verminderd kan worden.



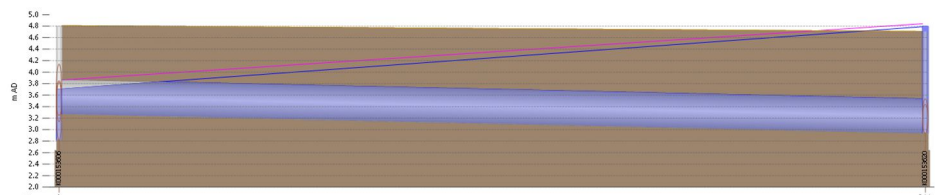
**Figuur 21: Knelpunt Everslaarstraat.
Water op straat door instroom
beerbakbeek in rioolstelsel**

6. Knelpunt Vierscharenstraat

In de Vierscharenstraat is er ook wateroverlast te vinden. Figuur 23. De hoeveelheden zijn wel kleiner dan bij de andere knelpunten. De oorzaak hier is vergelijkbaar met het knelpunt Zonnestraat. Ook hier is een nieuwe verkaveling gerealiseerd, echter is hier enkel de DWA leiding op het bestaande stelsel aangesloten. De hydraulische waarde hiervan is klein. Aan de verhanglijn is te zien dat de leidingen in de Zelebaan te klein zijn. Ook is het maaiveld in de Vierscharenstraat ruim 1 meter lager dan in de Zelebaan.



Figuur 23: Knelpunt Vierscharenstraat



Figuur 22: Stijgende verhanglijn leiding Zelebaan, toont aan dat deze leiding te klein is

De beste oplossing hier zou zijn de leiding die zuidwest in de Zelebaan ligt te vergroten.

7. Knelpunt Sterrestraat

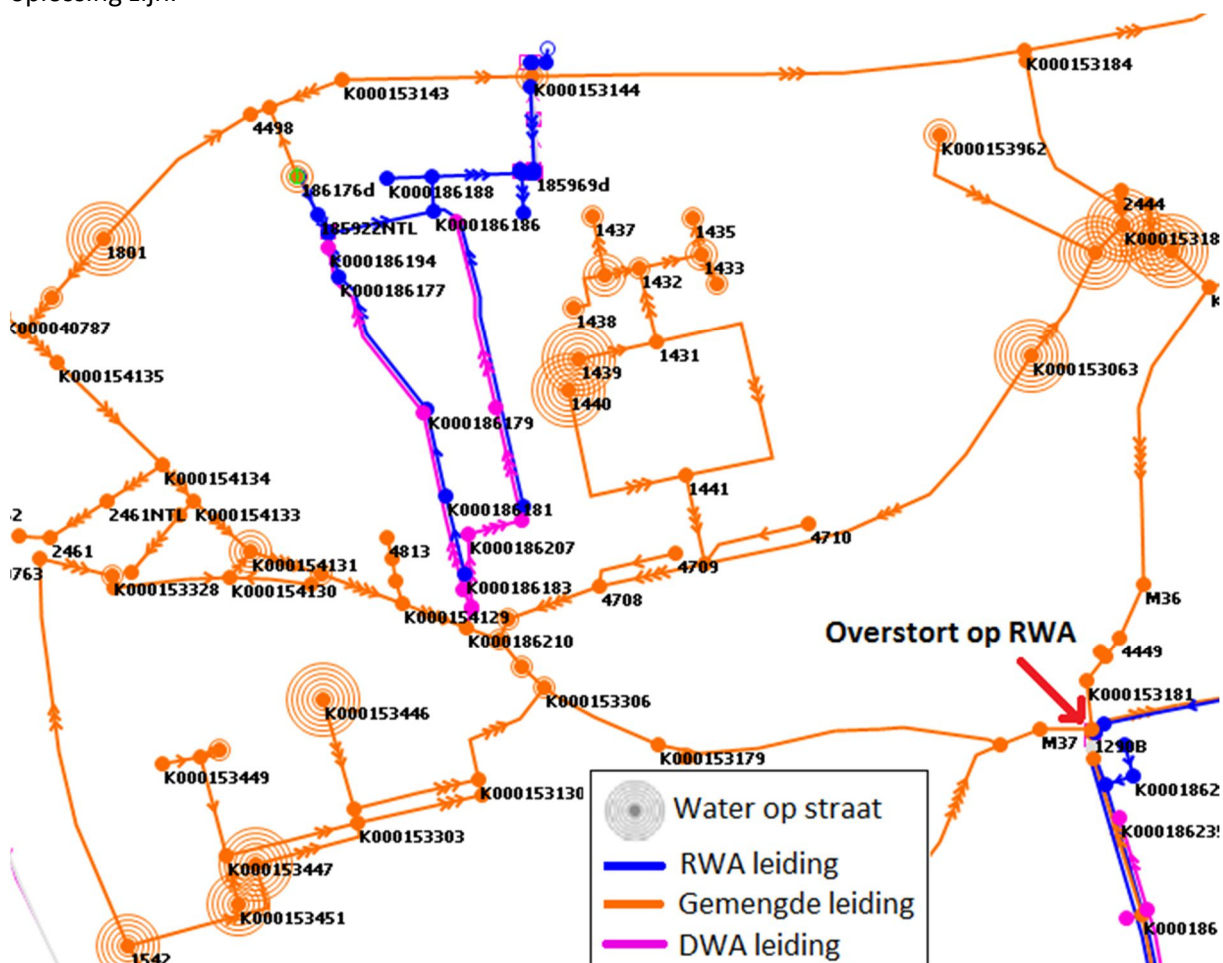
In de Sterrestraat komt er ook water op straat te staan Figuur 24. Dit knelpunt heeft dezelfde oorzaak als 8. knelpunt Kapellestraat. Ook hier is de verhanglijn hoog. Om dit op te lossen zou deze straat aangesloten kunnen worden aan de leiding in de Vondelstraat (onderin de figuur 24)

8. Knelpunt Kapellestraat

In het gebied rond de Kapellestraat zijn diverse knelpunten aanwezig Figuur 25. De oorzaak hier is een samenhang van een hoge verhanglijn en laag gelegen gebieden. Dit gehele gebied stroomt richting knoop 1290B (rechtsonder figuur) Hier bevindt zich een overstort op het RWA stelsel. De oorzaak van deze hoge verhanglijn zit hem in het drempelpeil van deze overstort. De afwatering naar de RWZI gaat namelijk niet snel genoeg, waardoor het water via de overstort het RWA stelsel intreed. Verlaging van dit drempelpeil zou water op straat verminderen maar zou de Durme meer vervuilen. Er zal hier een afweging gemaakt moeten worden tussen vervuiling en overlast. Een andere optie is het hele stelsel tot aan de RWZI te vergroten, maar dit zou een zeer prijzige en lastige oplossing zijn.



Figuur 24: Knelpunt Sterrestraat wateroverlast



Figuur 25: Knelpunt Kapellestraat, Gehele deelbekken watert af richting de overstort en heeft een hoge verhanglijn. Op plaatsen waar het maaiveld laag is resulteert dit in water op straat.

In onderstaande tabel 2 zijn de knelpunten en oplossingen samengevat.

Tabel 3: Knelpunten met aangedragen oplossingen

Locatie knelpunt	Mogelijke oplossing knelpunt
1. Zonnestraat	Rioolleiding in de Naastveldstraat vergroten
2. Bedrijventerrein-oost	Dit gemengde stelsel afkoppelen op omliggende grachten
3. Rozenstraat	Rioolleiding in de Rozenstraat vergroten
4. Kruising Hekelaarslaan – Spinnerslaan	Rioolleiding in de Weverslaan vergroten
5. Everslaarstraat	Creëren van een buffer met een pomp voor de Beerbakbeek
6. Vierscharenstraat	Rioolleiding zuidwest in de Zelebaan vergroten
7. Sterrestraat	Riool Sterrestraat verbinden met Vondelstraat
8. Kapellestraat	Verlaging van het drempelpeil overstort knoop 1290 B

5 Discussie

In dit hoofdstuk wordt beschreven wat er tijdens dit onderzoek beter gedaan had kunnen worden, en het onderzoek kritisch gereflecteerd.

De verkregen databank van Aquafin was niet geheel compleet. Door analyse van deze databank en de grachten inventarisatie zijn een aantal in- en uitlaten toegevoegd aan de databank. Toch zijn er waarschijnlijk nog enkele in- en uitlaten die niet gevonden zijn. Uitlaten hebben een positieve invloed op het stelsel omdat deze de belasting verlichten. Maar zouden er meer inlaten in werkelijkheid zijn dan nu in het model dan is de werkelijke belasting op het stelsel groter en zouden er mogelijk ook meer knelpunten zijn dan dat de model resultaten tonen.

Het grootste gebrek aan dit onderzoek is dat de validatie op basis van de debietmeetcampagne niet voltooid is. Via de debietmeetcampagne wordt gecontroleerd of de aannames voor de sediment waarden en pompeigenschappen kloppen en of er nog missende instromen zijn. Het model is wel gevalideerd door ondervraging aan de bewoners en de gesimuleerde knelpunten komen ook voor in de werkelijkheid. Maar de vastgestelde oorzaak van een knelpunt hoeft niet de enige oorzaak te zijn. Bijvoorbeeld tonen de resultaten dat de oorzaak van een knelpunt een te kleine leiding is, terwijl in werkelijkheid er een andere leiding $\frac{3}{4}$ vol sediment zit wat mede dit knelpunt veroorzaakt. De bevonden oorzaken van de knelpunten worden ondersteunt door de modelanalyse, en het verhelpen van deze oorzaken draagt ook bij aan het oplossen van de knelpunten. Echter kan niet uitgesloten worden dat er ook andere oorzaken zijn voor de knelpunten. De oplossingen kunnen dus ook mogelijk niet direct het gewenste effect leveren.

De voorgestelde oplossingen zijn niet doorgerekend dit betekend dat voor oplossingen die afvoer versnellen niet uitgesloten kan worden dat dit benedenstrooms geen nieuwe knelpunten zal creëren. Enkel de oplossingen voor knelpunten 2, 5 en 8 zullen zeker het rioolstelsel ten goede komen doordat deze oplossingen belasting verlichtend werken.

Ook moeten de voorgestelde oplossingen niet gezien worden als de enige keuze. De voorgestelde oplossingen houden geen rekening met milieuaspecten en zouden overstort werking kunnen bevorderen. Voor alle knelpunten behalve knelpunt 5 zou afkoppelen van het gebied ook een oplossing zijn dit is voor het milieu de beste oplossing maar ook een dure oplossing.

6. Conclusie

Deze opdracht heeft zich gericht op de knelpunten van het huidige rioleringsstelsel van Lokeren. Om tot een goede conclusie te komen zijn eerst onderstaande deelvragen beantwoord.

1. Hoe ziet het huidige rioolsysteem van Lokeren eruit?

Het huidige rioolsysteem van Lokeren blijkt grotendeels uit een gemengd stelsel te bestaan, slechts kleine delen zijn gescheiden. De riolering watert gravitair af waar mogelijk en wordt anders mechanisch verpompt. Het rioolbekkenschema geeft een schematische weergave van het systeem.

2. Hoe kan het riool systeem van Lokeren gemodelleerd worden in InfoWorks-ICM?

Doormiddel van de riooldeelbekkenbenadering konden in- en uitlaten gezien worden als randvoorwaarden. Het stelsel is gedigitaliseerd en aanvoer van rioolwater vastgesteld. Door validatie kon er tot een valide model gekomen worden.

3. Wat zijn volgens model simulaties de knelpunten van het rioolsysteem van Lokeren en mogelijke oplossingen voor deze knelpunten?

Uit de modelsimulaties blijkt dat er in Lokeren 8 knelpunten zijn waar het rioolsysteem niet aan de huidige eis voldoet. Bij een composietbui met een herhalingsdij van $T = 2$ jaar komt hier toch water op straat. Mogelijke oplossingen zijn aangedragen voor de oorzaken van deze knelpunten.

De hoofdvraag:

Waar zitten de knelpunten van het huidige rioolstelsel van Lokeren en hoe kunnen deze opgelost worden?

Geconcludeerd wordt dat het rioleringsstelsel van Lokeren niet voldoet aan de huidige eisen. Er zijn acht knelpunten gevonden waar statistisch gezien elke 2 jaar water op straat zal staan. Deze zijn hieronder beschreven met voorgestelde oplossingen.

Locaties knelpunten	Mogelijke oplossingen voor de knelpunten
1. Zonnestraat	De rioolleiding in de Naastveldstraat vergroten.
2. Bedrijventerrein-oost	Dit gemengde stelsel afkoppelen op omliggende grachten.
3. Rozenstraat	De rioolleiding in de Rozenstraat vergroten.
4. Kruising Hekelaarslaan – Spinnerslaan	De rioolleiding in de Weverslaan vergroten.
5. Everslaarstraat	Het creëren van een buffer met een pomp voor de Beerbakbeek.
6. Vierscharenstraat	De rioolleiding zuidwest in de Zelebaan vergroten.
7. Sterrestraat	Rioolleiding Sterrestraat verbinden met de rioolleiding in de Vondelstraat.
8. Kapellestraat	Verlaging van een drempelpeil overstort Heilige Hartlaan.

De doelstelling van de opdracht: Een operationeel model van de bestaande toestand van het rioolstelsel in Lokeren in InfoWorks-ICM te maken is behaald. Hoewel de validatie op basis van de debietmeetcampagne niet voltooid kon worden, is het model wel representatief door de inwoners validatie met het bestaande rioolstelsel van Lokeren.

6.1 Aanbevelingen

Een drie tal aanbevelingen is gedaan voor vervolg onderzoek.

De validatie op basis van de debietmeetcampagne zou voltooid kunnen worden zodat het detail niveau van het model te verhogen. Het model zal dan betrouwbaarder zijn en kunnen er oplossingen met meer zekerheid voorgesteld worden.

Ook de aangedragen oplossingen van de knelpunten zijn niet onderzocht. Deze kunnen in model gebracht worden, en de effecten van deze oplossingen kunnen onderzocht worden. Het toekomstplan is dan wel het stelsel volledig gescheiden te maken. Alsnog zou het lonen de huidige knelpunten van het gemengde stelsel te verhelpen.

Om het model te verbeteren zouden de omliggende waterlopen ook in model gebracht kunnen worden. Dit zou de waterlopen afhankelijk maken van de neerslag wat het model een stuk dichterbij de werkelijkheid brengt.

7. Referenties

- Agiv. (2015). Opgehaald van Agentschap voor geografische informatie Vlaanderen:
<http://www.agiv.be/>
- Wateruitvoeringsprogramma 2015. (2015, December 10). Opgeroepen op Mei 15, 2017, van integraalwaterbeleid:
<http://www.integraalwaterbeleid.be/nl/stroomgebiedbeheerplannen/wateruitvoeringsprogramma-wup/wup-2015-bekkenspecifiek-deel-bekken-gentse-kanalen>
- Centrifugaalpomp. (2017). Opgeroepen op Mei 25, 2017, van Sulteq:
<http://www.sulteq.com/centrifugaalpomp/centrifugaalpomp-principe/>
- Innovyze. (2017). Opgeroepen op juni 23, 2017, van InfoWorks-ICM:
http://www.innovyze.com/products/infoworks_icm/
- riool.info. (2017). Opgeroepen op Juli 18, 2017, van Ontstaan van het riool:
<https://www.riool.info/ontstaan-van-het-riool>
- Rioolstelsel. (2017). Opgeroepen op March 20, 2017, van Aquafin:
<http://www.aquafin.be/nl/indexb.php?n=9&e=43&s=47>
- Vlaamse Milieumaatschappij. (2017, januari 16). Opgeroepen op mei 15, 2017, van Riolerings- en zuiveringsgraden per gemeente: <https://www.vmm.be/data/riolerings-en-zuiveringsgraden/riolerings-en-zuiveringsgraden-per-gemeente.pdf>
- WaterInfo. (2017). Opgehaald van Actuele toestand: waterinfo.be
- Aquafin. (2015). *Hydronautprocedure 6.5*. Antwerpen: Aquafin.
- Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid. (2012, Augustus 20). *Code van goede praktijk voor het ontwerp, de aanleg en het onderhoud van rioleringsystemen*. Erembodegem: werkgroep Waterzuivering van de Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid.
- Dirckx, G., Bixio, D., Thoeye, C., Gueldre, G. D., & Steene, B. V. (2009). Dilution of sewage in Flanders mapped with mathematical and tracer methods. *Urban Water Journal*, 81-92.
- Ellis, J. B., & Bertrand-Krajewski, J.-L. (2010). *Assessing infiltration and exfiltration on the Performance of Urban Sewer Systems (APUSS)*. London: IWA Publishing.
- Peng, H. L. (2016). Urban stormwater forecasting model and drainage optimization based on water environmental capacity. *Environ Earth Sci*, 75-96.

Bijlage A: Modelering structuren

In deze bijlage staat beschreven hoe de aanwezige structuren opgenomen zijn in het model.

Pompstations

Pompstations zijn vooral in vlakke rioolstelsels de belangrijkste hydraulische structuren. Hun correcte modellering is van het grootste belang voor de kwaliteit en de betrouwbaarheid van het hydrodynamisch model (Aquafin, 2015). In het riooldeelbekkenschema is te zien dat er pompstations aanwezig zijn in het systeem. Al deze pompen moeten in het model gebracht worden. De soorten pompen die gebruikt worden in het gebied zijn centrifugaal pompen en vijzelpompen.

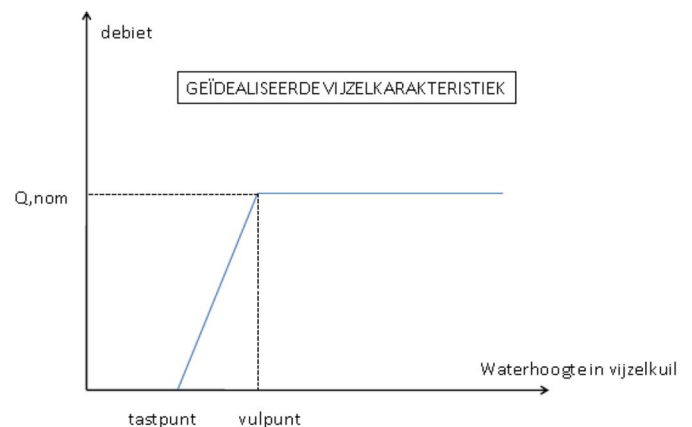
Vijzelpompen

Vijzelpompen worden gebruikt op plekken waar grote hoeveelheden rioolwater verpompt moeten worden. Doordat deze pompen zeer betrouwbaar zijn en geen probleem hebben zwaar vervuild water te verpompen worden deze vaak voor RWZI's geplaatst, zo ook in Lokeren.

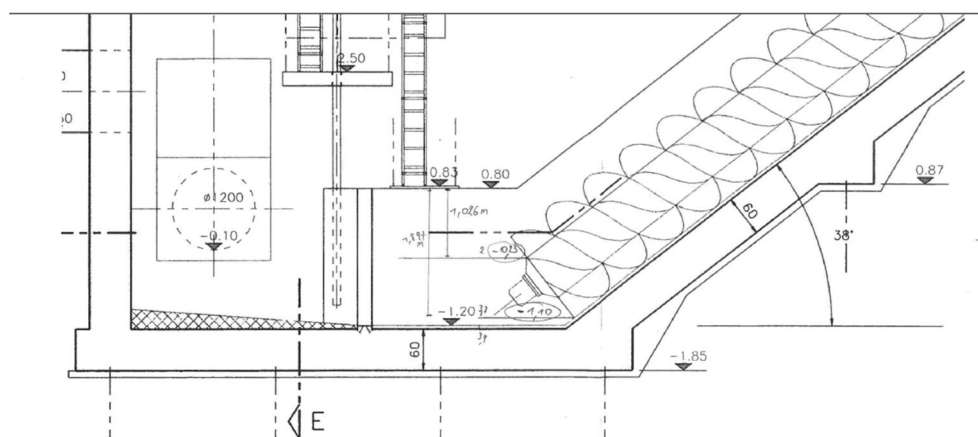
Vijzelpompen hebben een tast- en vulpunt. Tussen het tast- en vulpunt neemt het debiet min of meer lineair toe, van nul tot het nominaal debiet. Boven het vulpunt blijft het debiet min of meer constant op het nominaal debiet Figuur 26. Ze werken dus onafhankelijk van het afwaartse waterpeil.

De eigenschappen van deze vijzel zijn overgenomen uit de bouwtekening Figuur 27. Het nominale debiet van de vijzel bedraagt $745 \text{ m}^3/\text{h}$

of $206,9 \text{ l/s}$. Hiervan zijn er 4 aanwezig (2 DWA en 2 RWA)



Figuur 26: Idealistische vijzelkarakteristiek



Figuur 27: Bouwtekening vijzelpomp RWZI

Centrifugaalpompen

De centrifugaal pomp heeft een eenvoudige constructie waardoor de aanschafprijs laag is en kan eenvoudig geïnstalleerd worden (Centrifugaalpompen, 2017). Een nadeel van deze pompen is dat ze niet droog mogen pompen. Daarom worden ze bediend door een vlotter die is ingesteld op een bepaald aan- en afslag peil van het rioolwater. Dit aan- en afslag peil is belangrijk voor het model, en

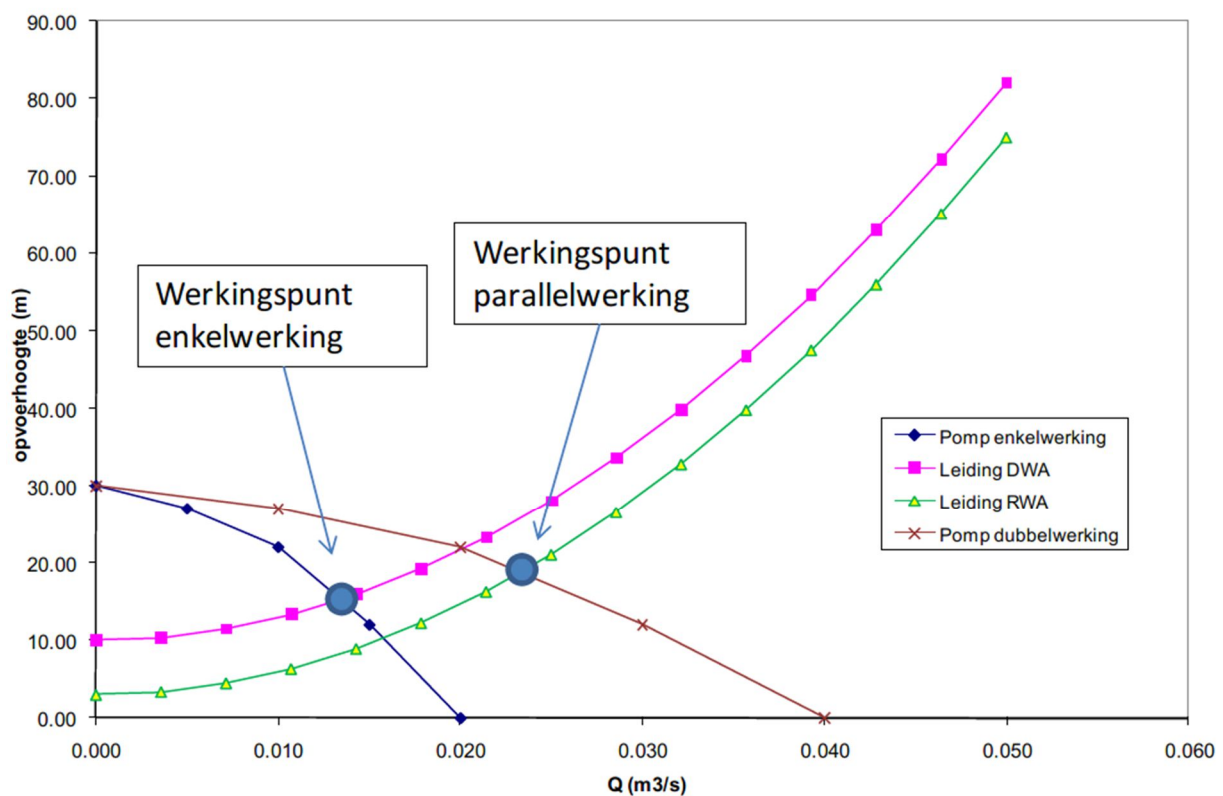
informatie hierover is verkregen via onderhoudsrapporten van de pompen via de gemeente. Vaak zijn er in een pompstation twee pompen geïnstalleerd. De reden hiervoor is dat mocht er één kapot gaan die makkelijker vervangen kan worden en niet gelijk het stelsel faalt.

De pompkarakteristiek, de karakteristiek van de persleiding en de aan en afslagpeilen geven de hydraulische werking van de pompen aan.

Centrifugaalpompen met persleiding

Een centrifugaalpomp met daarachter een persleiding is de meest voorkomende pomp structuur. De hydraulische werking hiervan wordt bepaald door de pompkarakteristiek, en de karakteristiek van de persleiding. Het punt waar beide karakteristieken snijden wordt het werkingpunt genoemd, en bepaalt het debiet en de opvoerhoogte voor de pompinstallatie Figuur 28.

WERKINGSPUNT POMPEN



Figuur 28: Werkingspunt samenvoeging van pomp karakteristiek en persleiding karakteristiek

Pompkarakteristiek

Een pompkarakteristiek geeft aan wat het doorvoerdebiet is van de pomp afhankelijk van het te overwinnen hoogte verschil. Deze karakteristiek is uniek per type pomp, en is opgevraagd bij de pomp leverancier en verwerkt in het model.

Karakteristiek persleiding

De karakteristiek van de persleiding bestaat uit twee delen wat energieverlies oplevert:

- De algemene wandruwheidsverliezen
- Verliezen door lokale bijzonderheden (Bochten, vernauwingen, etc.)

Voor de algemene wandruwheidsverliezen wordt de volgende formule gebruikt:

$$\Delta H_{alg} = KQ^2L$$

Waarbij Q het debiet door de persleiding en L de lengte van de persleiding is. De factor K wordt berekend door de formules van White-Colebrook en Darcy-Weisbach. Voor persleidingen met een cirkelvormige diameter is deze als volgt.

$$K = \frac{8f}{g\pi^2 D^5}$$

Hierin

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2,03 * \log \left[\frac{2,51}{Re * \sqrt{f}} + \frac{k_s}{3,7D} \right]$$

D = Interne diameter

Re = Reynolds getal

K_s = zandkorrelruwheid welke te bepalen is door onderstaande Tabel 4.

Tabel 4: Zandkorrelruwheidscoëfficiënt

Materiaal persleiding	K_s
HDPE	0.5
GVP	1.0
Asbest	1.0
Gietijzer/Staal	1.0

De leiding variabelen die de wandruwheidsverliezen beïnvloeden zijn de lengte, de interne diameter en het materiaal.

Verliezen door lokale bijzonderheden staan los van de algemene verliezen en worden berekend met een specifieke factor afhankelijk van de hoeveelheid invloed dat de lokale bijzonderheid heeft op de stroming.

Knijpconstructies

Knijpconstructies zorgen ervoor dat er water langer wordt vastgehouden in het stelsel, en het niet te snel bij de RWZI aankomt. Knijpconstructies hebben een bufferend effect op het systeem. De knijpconstructies die in het rioolsysteem van Lokeren voorkomen zijn: Schuiven, knijpopeningen en wervelventielen.

Schuiven en knijpopeningen

Een schuif is eigenlijk een knijpopening, maar dan met een variabele opening. De grote van deze opening is niet afhankelijk van het riool, maar een constant ingestelde waarde. Daarom wordt een schuif gemodelleerd als een knijpopening. Voor het berekenen van het doorvoerdebiet gebruikt InfoWorks-ICM de volgende formule:

$$Q = C_d A \sqrt{2gH}$$

C_d = debietcoëfficiënt

A = oppervlakte van knijpopening

G = gravitatieversnelling

H = waterhoogte ten opzichte van de knijpopening

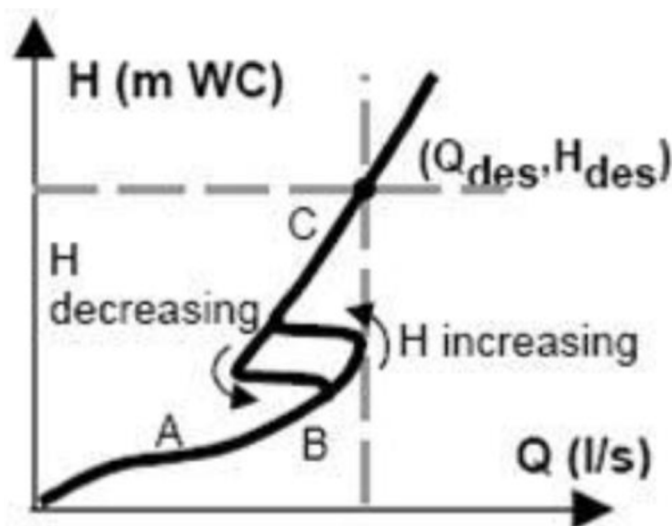
Bij deze formule zijn de volgende aannamen gedaan:

1. Dat de lengte van de opening klein is. De formule mag dus niet gebruikt worden voor knijpleidingen.
2. Er permanente stroming aanwezig is. (dit is in een rioolstelsel niet het geval)

Een wortelverband tussen water hoogte en het debiet, geeft een realistisch beeld voor het leeg lopen van een buffer door een kleine opening. Voor de debiets-coëfficiënt (C_d) gebruikt InfoWorks-ICM de waarde 0.6.

Wervelventielen

Een wervelventiel is een debietbegrenzer die al werkt bij zeer kleine waterhoogten en ervoor zorgt dat het debiet zo constant mogelijk is. Wervelventielen zorgen voor een cycloonvormig stromingspatroon, waardoor het water door een kleine opening gaat zonder te verstopen. Een knijpopening wordt vaak niet kleiner dan 25 cm gemaakt, maar een wervelventiel kan kleiner. Wervelventielen zijn nog steeds niet volledig constant, maar laten een specifiek debiet door afhankelijk van de waterstand. Deze curve is per type wervelventiel uniek, en is van belang voor de correctheid van het model. Deze curve is bij de producent opgevraagd en een algemene curve is zichtbaar in Figuur 29.



Figuur 29: Algemene karakteristiek, doorvoerdebiet afhankelijk van de waterhoogte wervelventiel

In de figuur 27 is zichtbaar dat bij een hogere waterstand plots het doorvoerdebiet verminderd. Dit is het moment waarop de stroming omslaat naar werveling. De zone waarin dit gebeurt heet de hysteresiszone. Dit omslagpunt is echter moeilijk te voorspellen. Op basis van laboratoriumtesten is duidelijk dat (Aquafin, 2015):

- De hysteresiszone is geen stabiele toestand en zal in werkelijkheid vrij snel van de lagere curve naar de hogere curve omslaan. De exacte opvoerhoogte is moeilijk te voorspellen doordat rioolwater geen vaste dichtheid heeft.
- Het debiet niet wezenlijk beïnvloed wordt door het al dan niet aanwezig zijn van een afwaarts waterpeil, zolang de stroming door het ventiel positief is. Dit zorgt ervoor dat een wervelventiel de grens van een riooldeelbekken aangeeft.
- De wervelende werking verdwijnt bij omgekeerde stroming door het ventiel. In dat geval blijft alleen de knijpende werking van de constructie behouden. Daarom wordt in het model bij omgekeerde stroming het wervelventiel gezien als knijpopening.
- Het nog niet duidelijk is wat precies de invloed is op de debietkarakteristiek van het al dan niet belucht zijn van het ventiel.

Bij wervelventielen waar de karakteristieke curve niet beschikbaar was, maar wel de opvoerhoogte en het ontworpen doorvoerdebiet, is er zelf een type wervelventiel bepaald aan de hand van onderstaande Tabel 5. In het grijze gebied zitten wervelventielen die eigenlijk te klein zijn voor een rioolstelsel en verstopt zouden raken.

Tabel 5: Standaard eigenschappen wervelventielen, grijze gebied zijn wervelventielen die te klein zijn voor gebruik in riolering.

D \ d		Standaardvarianten																	
		90	110	125	140	154	165	180	200	225	250	280	300	350	400	450	500	550	600
360		0,22 1,30 6,7	0,25 0,90 9,6	0,29 0,70 11,7	0,35 0,50 15,9														
420		0,20 2,00 7,6	0,22 1,40 10,6	0,24 1,20 12,9	0,27 0,90 16,3	0,31 0,70 19,4	0,34 0,55 22,7		← ← ←	μ = afvoercoëfficiënt H = nominale opvoerhoogte in m Q = capaciteit in l/s bij H-nominaal									
480		0,20 3,00 9,2	0,21 2,10 12,0	0,22 1,60 14,0	0,23 1,20 16,5	0,26 0,90 19,0	0,28 0,70 20,8	0,30 0,60 25,4											
545			0,19 3,00 13,6	0,20 2,40 15,7	0,21 1,90 18,2	0,22 1,40 20,2	0,23 1,00 21,6	0,26 0,90 25,4	0,30 0,70 33,8	0,36 0,60 43,0			wanddikte = 1 mm bij $d \leq 110$ " " = 2 mm bij $d \geq 125$						
590				0,19 3,20 17,5	0,20 2,50 20,1	0,21 1,90 22,4	0,22 1,50 24,1	0,23 1,20 27,6	0,26 0,90 32,4	0,32 0,70 45,0	0,37 0,65 56,7		D = diameter cyclooon in mm d = " uitwendig in- en uitstroombeniging in mm						
660					0,19 3,30 22,4	0,20 2,70 25,3	0,20 2,20 26,9	0,21 1,90 31,8	0,23 1,30 35,2	0,26 1,00 44,5	0,31 0,90 62,0								
750						0,19 3,70 28,3	0,19 3,10 30,2	0,20 2,60 33,9	0,21 2,20 40,8	0,23 1,60 49,2	0,26 1,20 59,0	0,30 0,90 76,4							
870									0,19 3,30 45,6	0,20 2,60 54,3	0,21 2,00 63,7	0,24 1,50 77,3	0,26 1,20 85,5						
1000												0,21 2,40 85,8	0,22 2,00 95,7	0,26 1,40 130	0,33 1,10 190				
1150														0,22 2,20 137	0,26 1,60 177	0,31 1,30 245			
1300															0,21 2,40 181	0,25 1,80 228	0,30 1,50 310		
1500																0,21 3,00 248	0,23 2,00 293	0,27 1,80 370	0,33 1,60 510

Overstort en terugslagklep

Overstort

Een overstort wordt in het model gesimuleerd door de volgende formule:

$$Q = C_d B h \sqrt{g \Delta h}$$

Waarin	Q	overgestort debiet
	C_d	debiet coëfficiënt
	B	drempellengte
	h	dikte overstortende laag
	Δh	het verschil in hoogte tussen de top van de overstortende laag en het afwaartse waterpeil.

De standaard debiet coëfficiënt is 0.66. Bij deze formule wordt uitgegaan van een rechthoekige overstort. De dikte van de overstortende laag (h) kan beperkt worden door een dakplaat. Wanneer de dikte van de overstortende laag groter is dan de vrije opening tussen drempel en onderzijde dakplaat, is de overstort verdrongen en wordt deze gemodelleerd als een knijpopening.

Terugslagklep

Een terugslagklep Figuur 30 zorgt ervoor dat er geen terugstroming kan plaatsvinden. De stroming kan dus maar in één richting plaatsvinden. In het model betekent dit, dat op het punt waar de terugslagklep zich bevindt het debiet niet negatief kan zijn.



Figuur 30: Terugslagklep

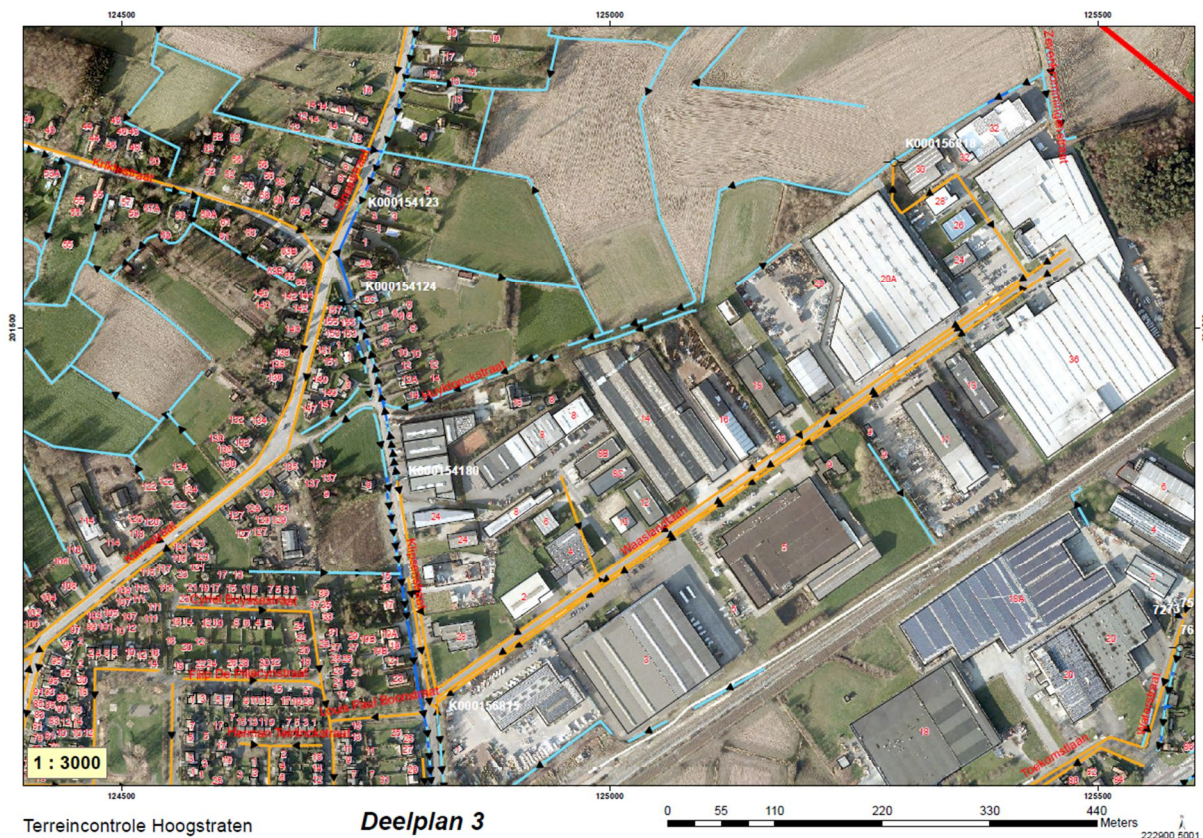
Inspectieputten

Voor het model is het belangrijk dat de inhoud van de put bekend is omdat deze functioneert als een kleine buffer. Het bodempeil en dakpeil van alle putten was bekend maar het bodemoppervlak niet. De meeste kamers van inspectieputten zijn rechthoekig of rond. De bodem oppervlakte wordt dan automatisch bepaald via de afmetingen van een rechthoekige put en de diameter van een ronde put. Maar bij putten die een unieke vorm hebben is het grondoppervlak niet zo makkelijk bepaald. Deze putten zijn vaak ter plekke gestort. Deze putten zijn opgemeten door een landmeter en door middel van zijn doorgegeven situeringsfische is het bodemoppervlak van deze inspectieputten bepaald.

Bijlage B: Terreinbezoek

In deze bijlage staat beschreven welke voorbereidingen er zijn getroffen om op terreinbezoek te gaan. Lokeren is tijdens het onderzoek een aantal keer bezocht. Het doel hiervan was: Het aanvullen van missende data van de riooldatabank en het meten van de in- en uitlaten voor het opstellen van de randvoorwaarden van het model.

Het terreinbezoek is voorbereid door het studiegebied op te delen in deelplannen. Hierin zijn de leidingen uit de databank, de grachten, satelliet foto's, straatnamen en huisnummers zichtbaar. Zo kan het te onderzoeken object ook daadwerkelijk gevonden worden. In Figuur 31 is een deelplan weergegeven.



Figuur 31: Voorbeeld van een deelplan bedoeld voor terreinbezoek

Bijlage C: Belastingen op het stelsel

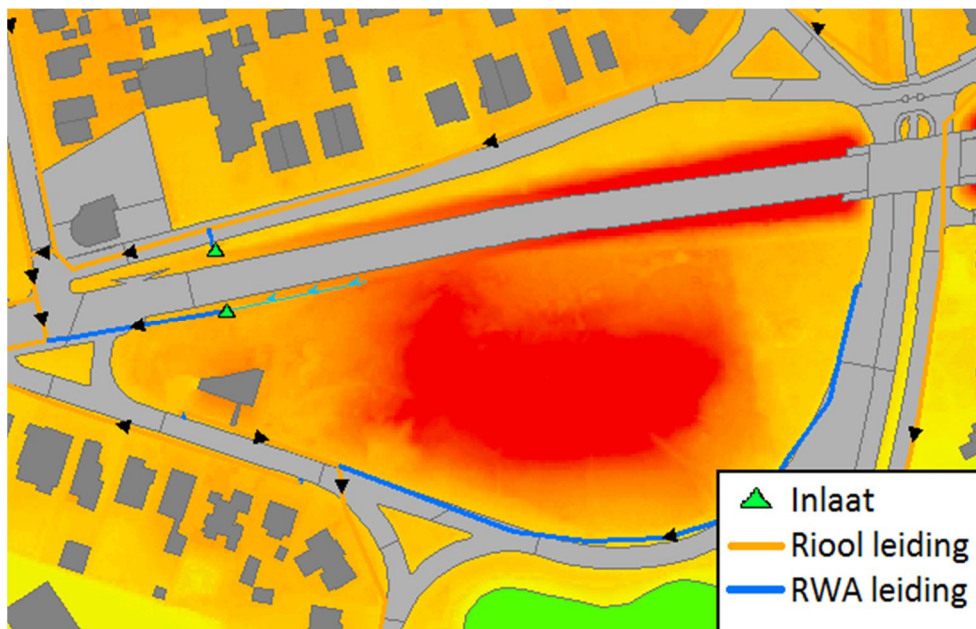
Deze bijlage beschrijft hoe de aanvoer van afvalwater aan het riool is bepaald.

Verharde oppervlaktes

In de databank die verkregen is via Aquafin, de opdrachtgever, was een bestand aanwezig met daarin de verharding van het gebied. Dit was een Shapefile bewerkbaar in ArcGis met daarin de gebouwen, straten en parkeerplaatsen ingetekend als polygonen. Deze dataset was niet meer up-to-date. Nieuw gebouwde gebouwen waren afwezig, en verwijderde gebouwen zaten er nog in. Door te kijken naar luchtfoto's (Agiv, 2015) en de satelliet beelden van google maps zijn de gebouwen ingetekend. Bij plaatsen waar as-built plannen van de gebiedsontwikkeling beschikbaar waren zijn hiervan de verharde oppervlaktes overgenomen. Om verschil tussen huizen en straten aan te geven hebben de polygonen van huizen Surface type 1 gekregen en van straten Surface type 2. Voor deze oppervlakten wordt er gebruik gemaakt van de afvoercoëfficiënt 0,9 die als standaardwaarde aangegeven is (Aquafin, 2015).

Onverharde oppervlaktes

Onverharde oppervlaktes die afstromen naar het rioolstelsel dragen ook bij aan de aanvoer van water in het stelsel. Het water komt via grachten en inlaten het systeem binnen of het stroomt af op een straat en komt via straatkolken het systeem in. Om te bepalen welke gebieden afstromen naar het systeem is gebruik gemaakt van hoogte kaarten, luchtfoto's en een kaart met grachten met bijbehorende stroomrichting. In Figuur 32 is een voorbeeld van een heuvel te zien die afstroomt op het systeem. Dit gebied stroomt gedeeltelijk af op een inlaat en gedeeltelijk via de straatkolken op de RWA leiding.



Figuur 32: Heuvel die afwatert op het rioolstelsel via een inlaat en de straatkolken

Om vervolgens te bepalen hoeveel er niet infiltreert maar afstroomt zijn de volgende eigenschappen vastgesteld:

- Het landgebruik op basis van luchtfoto's
- De grondsoort op basis van een kaart met grondsoorten in het gebied

- De helling op basis van een hellingkaart

Aan de hand van deze eigenschappen wordt door Tabel 6 de afstroom coëfficiënt bepaald.

Tabel 6: Afstroom coëfficiënten van onverharde oppervlaktes

Landgebruik	Helling (%)	Bodemsoort						
		Zand	Lemig zand	Licht zand- leem	Zandleem	Leem	Klei	Zware klei
Akkers	< 0.5	0.21	0.24	0.27	0.33	0.36	0.45	0.54
	0.5-5	0.25	0.28	0.31	0.37	0.40	0.49	0.58
	5-10	0.30	0.33	0.36	0.42	0.45	0.54	0.63
	> 10	0.41	0.44	0.47	0.53	0.56	0.65	0.74
Weiland	< 0.5	0.03	0.06	0.09	0.15	0.18	0.27	0.36
	0.5-5	0.06	0.08	0.11	0.16	0.19	0.29	0.41
	5-10	0.13	0.14	0.14	0.18	0.21	0.32	0.50
	> 10	0.18	0.19	0.20	0.24	0.26	0.38	0.54
Bos	< 0.5	0.03	0.06	0.09	0.15	0.18	0.27	0.36
	0.5-5	0.11	0.12	0.14	0.17	0.20	0.29	0.41
	5-10	0.25	0.23	0.23	0.23	0.24	0.32	0.45
	> 10	0.21	0.24	0.27	0.33	0.36	0.45	0.54
Braakland	< 0.5	0.30	0.33	0.36	0.42	0.45	0.54	0.63
	0.5-5	0.34	0.37	0.40	0.46	0.49	0.58	0.67
	5-10	0.39	0.42	0.45	0.51	0.54	0.63	0.72
	> 10	0.50	0.53	0.56	0.62	0.65	0.74	0.83
Bebouwing	< 0.5	0.32	0.34	0.36	0.41	0.43	0.49	0.55
	0.5-5	0.34	0.36	0.38	0.41	0.43	0.50	0.58
	5-10	0.39	0.39	0.40	0.43	0.44	0.53	0.65
	> 10	0.43	0.43	0.44	0.47	0.48	0.56	0.68
Open Water		1	1	1	1	1	1	1

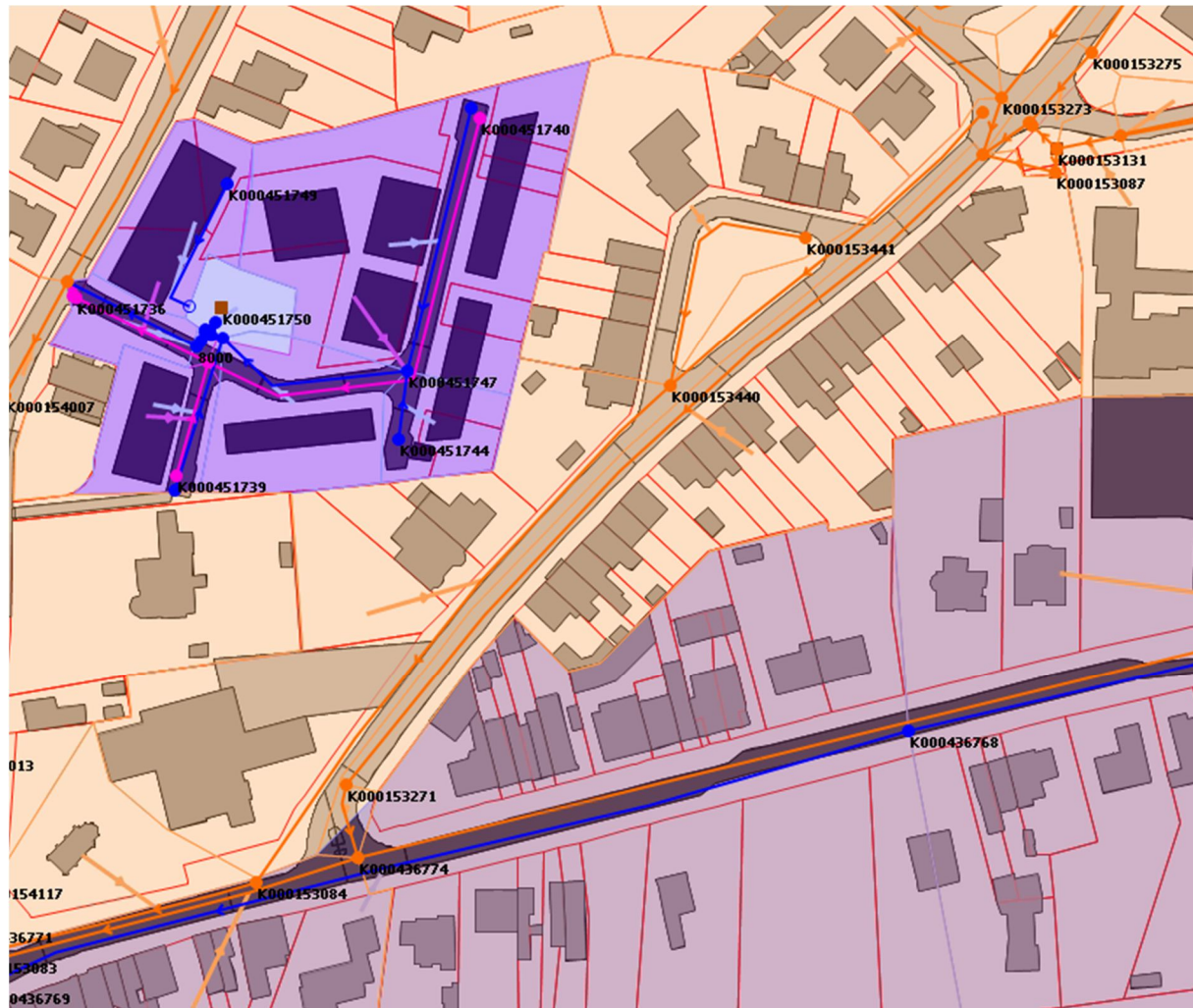
Kleine gebieden die afstromen op het systeem zoals tuinen worden hier niet in meegenomen, omdat dit hydraulisch gezien een lage invloed heeft en het te veel werk opleverd.

Toekennen oppervlaktes aan het stelsel

De verharde en onverharde oppervlaktes die nu bepaald zijn moeten aan specifieke leidingen of knopen in het stelsel gekoppeld worden. Dit gebeurt door het oppervlakte bestand in InfoWorks in te laden, en dan de zogenoemde bekkengroepen intetekenen

Een bekkengroep geeft het gebied aan wat op een leiding afwatert. Dit gebied is bepaald door te kijken naar de perceelgrenzen, en aan te nemen dat de woningen aangesloten zijn op de buis van de straat waar ook hun oprit naartoe gaat. Er zijn drie soorten bekkengroepen namelijk afvalwater(foul), regenwater (storm) en gemengd water (combined) met respectievelijk de kleuren roze, blauw en

oranje Figuur 33



Figuur 33: Ingetekende bekkengroepen gekoppeld aan rioleidingen, oranje gemeente afvoer, blauw RWA afvoer en roze DWA afvoer.

Op de plekken waar een gemengd stelsel aanwezig is worden gemengde bekkengroepen ingetekend. Waar een volledig gescheiden stelsel aanwezig is worden een foul en storm bekkengroep over elkaar heen getekend, en aan de juiste leiding toe gewezen. Bij plekken waar het stelsel gedeeltelijk gescheiden is, bijvoorbeeld alleen de straat voorzien is van een aparte RWA leiding wordt er een storm bekkengroep over een gemengde bekkengroep heen gelegd. Dit storm bekkengroep krijgt dan een user number toegevoegd. Dit user number zorgt ervoor dat later automatisch alleen de straat wordt toegekend aan deze bekkengroep. Tabel 7.

Tabel 7: Storm bekkengroep toevoeging

Omschrijving	User Number	Percentage dak afgekoppeld	Percentage straat afgekoppeld
Volledig afgekoppeld	200	100 %	100 %
Voorzijde dak en straat afgekoppeld (komt voor bij rijtjeshuizen)	150	50 %	100 %
Enkel straat afgekoppeld	100	0 %	100 %
Afstromend onverhard	800	N.v.t.	N.v.t.

Om de onverharde afstromende polygonen is ook een bekkengroep getekend en deze wordt toegekend aan de knoop waar dit gebied naar afstroomt.

De grote bedrijven zijn bevraagd per e-mail hoe ze op het stelsel aangesloten zijn en of het afvalwater scheiden. De reden hiervoor is dat grote bedrijven vaak op meerdere plekken aansluiten op het riool, en ze soms ook hun regenwater gescheiden lozen in een nabije gracht, of dit bufferen om dit bijvoorbeeld als bluswater te gebruiken. Zo is er een betonfabriek aanwezig die het regenwater gebruikt in het productieproces. Aan de hand van de verkregen informatie per email zijn deze bedrijven aan de juiste buizen gekoppeld. Als er niet gereageerd werd is er een aanname gedaan.

Vervolgens werden de ingetekende polygonen met hun data opgesplitst en aan de bijbehorende bekkengroepen toegevoegd. Doordat deze bekkengroepen gekoppeld zijn aan een specifieke leiding wordt dus de aanvoer van afvalwater voor het riool bepaald.

Koppeling IE telling aan het systeem

Het huishoudelijke afvalwater bepaald de DWA afvoer voor een huis. Dit gebeurt op basis van de volgende formule:

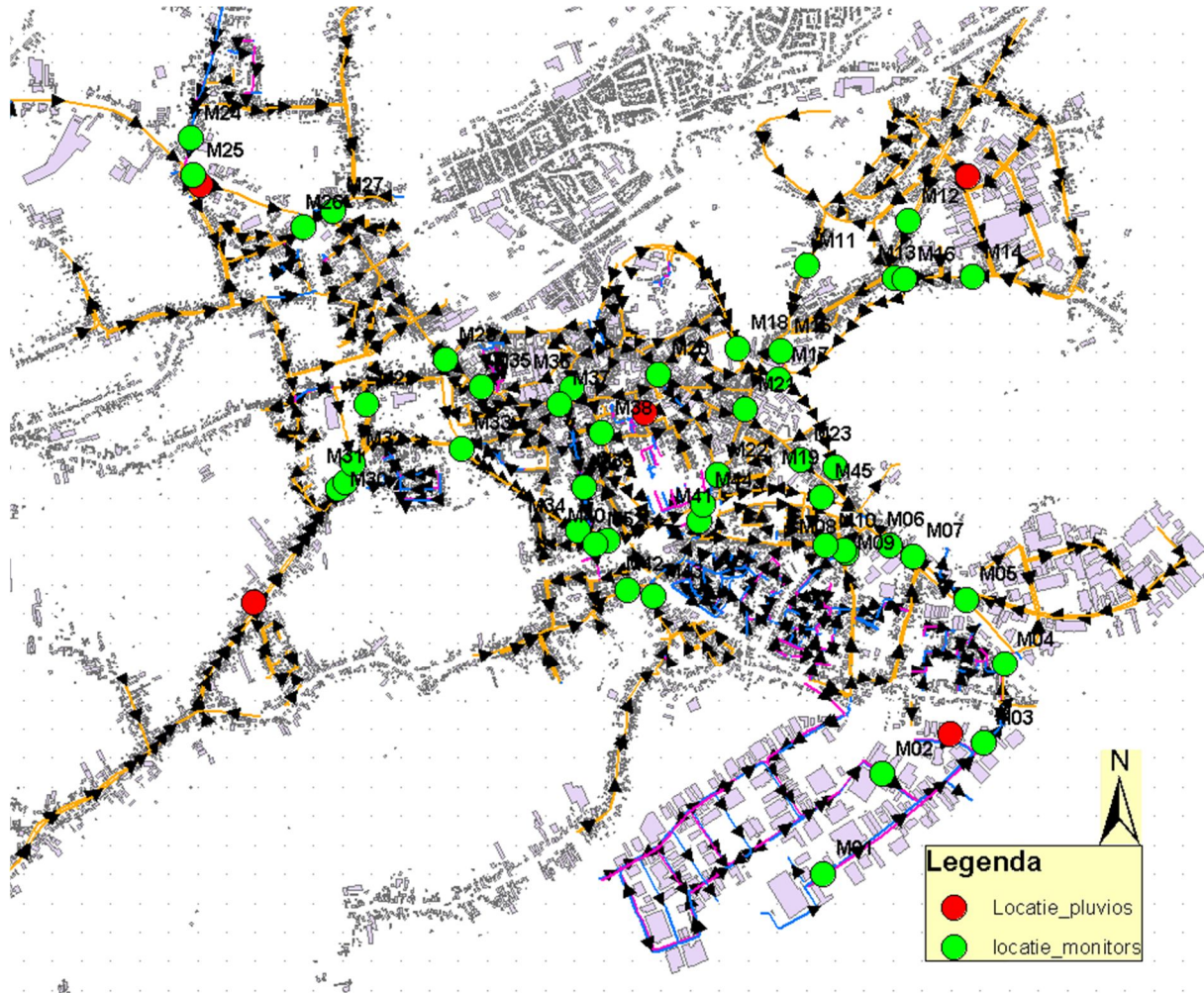
$$Q_{huis}(t) = IE * Flow\ per\ Inwoner * Profile\ multiplier(t)$$

- De Inwoners equivalent is berekend per rioolbekken en wordt verdeeld over het aantal gebouwen dat zich in deze rioolbekken bevindt.
- De flow per inwoner staat vast op 150 liter per dag. (Aquafin, 2015)
- De profile multiplier is een factor die aangeeft hoe de DWA wordt losgelaten over de dag met een piekfactor van 1.7.

Deze formule rekent op basis van gemiddelden. Appartementencomplexen krijgen dezelfde afvoer als een huis waar één iemand in woont. Aangezien de DWA geen grote hydraulische invloed heeft kan er met gemiddelden gerekend worden. De afvoer per huis wordt via de bekkengroep aan de juiste leiding gekoppeld.

Bijlage D: Validatie debietmeetcampagne

Voor de debietmeetcampagne zijn er monitoren en pluviometers geplaatst op de volgende locaties
Figuur 34. Het gaat hier om 5 pluviometers en 46 monitoren.



Figuur 34: Locaties pluviografen en monitoren

Bijlage E: Bevraging bedrijven

In deze bijlage is een voorbeeld e-mail welke verstuurd is naar de bedrijven in Lokeren, in dit voorbeeld gaat het om een school.

Geachte,

In opdracht van Aquafin zijn wij, het studiebureau Antea Group, bezig met een studie ter optimalisatie van een deel van het rioleringsnet van Lokeren.

Graag hadden wij van U volgende info bekomen van uw scholencomplex op locatie **Dwarsstraat 1** te **Lokeren**:

- De afbakening van uw school (kadastraal).
- Wordt het water gescheiden (regenwater – afvalwater) afgevoerd? Waar sluiten ze aan op de riolering?
- Hoe gebeurt de afwatering van de wegenis/parking?
- Wordt er water gebufferd?
 - Wat is de inhoud van de buffer (en/of regenwaterput)?
 - Wat is de oppervlakte van de buffer?
 - Hoe groot is de diameter van de knijpleiding onder de buffer?
 - Op welke diepte ligt de onderkant van de leiding (de binnenzijde)?
 - Op welk peil ligt de overloop van de buffer? Langs waar wordt die afgevoerd?
 - Wordt de buffer ook nog door anderen gebruikt? B.v. als bluswater? En wat is het volume dat daar voor is voorzien?
- Hoeveel leerlingen + personeel is grosso modo actief in de school?

Als het mogelijk is, zouden we bij voorkeur graag een afwateringsplan ontvangen waarop duidelijk is hoe het (afval)water wordt afgevoerd. In bijlage vindt U alvast zowel een luchtfoto ten behoeve van de te maken aanduidingen.

Graag hadden wij deze info, zo spoedig als mogelijk, bekomen, Me contacteren kan steeds via onderstaande coördinaten,

Dank bij voorbaat,

met vriendelijke groet,

Bart De Clerck | Project Ingenieur

Antea Group

[+32 \(0\)9 261 63 58](tel:+322616358) | [+32 \(0\)475 95 05 57](tel:+322475950557)

Bart.DeClerck@anteagroup.com

www.anteagroup.be

Bijlage F: Inwoners equivalenten

Samenvattende Tabel met cumulatieve IE's t.h.v. de verschillende structuren. Bepalend voor DWA

Structuur	Aard Lozing	Equivalenten			Debiet totaal (l/s)	Aansluiting Oppervlakte -water
		Inwoners	Industrieel	Totaal		
Overstort Waterlaatstraat (K000153335)	O	0	0	0	0	N
Overstort Papestraat (K000153984)	O	0	0	0	0	N
Pompstation 028 Sijpstraat (K000462135)	P	20	0	20	0.4	N
Pompstation 024 Eksaardebbaan 116 (1645A)	P	48	0	48	0.9	N
Pompstation 023 Eksaardebbaan 106 (1652A)	P	56	0	56	1	N
Pompstation 022 Eksaardebbaan 100 (1661A)	P	64	0	64	1.1	N
Pompstation 021 Eksaardebbaan 96 (1668A)	P	72	0	72	1.3	N
Overstort Eksaardebbaan (K000178107)	O	180	0	180	3.2	J
Pompstation 008 Eksaardebbaan (7157) (K000178104)	P	215	0	215	3.8	N
Overstort Heilige Geestmolenstraat (HUL) (K000158975)	O	0	0	0	0	N
Overstort Eekstraat (K000040763)	O	0	0	0	0	N
Pompstation Eekstraat (1721) (K000040766)	P	3381	140	3521	61.2	J
Overstort Vondelstraat (1233) (K000023586)	O	20649	891	21540	374	J
Pompstation Lammeken (1770) (K000023585)	P	5010	0	5010	70.5	N
Pompstation 016 Everslaarstraat (7163) (016A)	P	176	0	176	3.1	N
Pompstation 018 KleineMergen (K000186261)	P	0	0	0	0	N
Overstort Lokerhoutstraat (Knijpleiding) (K000436777.1)	O	1364	0	1364	24.4	N
Overstort Lokerhoutstraat (K000436790)	O	2165	0	2165	38.7	N
Overstort Lokerhoutstraat (K000153176)	O	2168	0	2168	38.7	N
Pompstation 004 Veldstraat (K000657851)	P	10	0	10	0.2	N
Overstort Heilig Hartlaan (1290C)	O	2934	0	2934	52.4	N
Pompstation 033 Brugstraat 11 (7164) (033)	P	0	0	0	0	N
Pompstation 011 Hoedhaar (1112A)	P	117	0	117	2.1	N
Overstort Heilig Hartlaan (K000186223)	O	3985	0	3985	71.2	N
Pompstation Heilig Hartlaan (2435) (K000410602)	P	4060	0	4060	72.5	N
Overstort Koning Boudewijnlaan (K000023614)	O	29487	1363	30850	535	N
Overstort Kanaalstraat (K000153214)	O	9	0	9	0.2	N
Wervelventiel Koning Boudewijnlaan (K000084438)	V	29832	1363	31195	541	N
Overstort Oeverstraat (2207A)	O	0	0	0	0	N
Pompstation 025 Molenberghof (K000186344)	P	0	0	0	0	N
Pompstation Vitsstraat (2907)	P	0	0	0	0	N
Pompstation 013 Wolfsakker E17 - DWA (7161) (K000153241)	P	60	1614	1674	10.7	N

Wervelventiel Zelebaan (K000084435)	V	2362	2496	4858	57	N
Pompstation 017 Waaslandwaal (250B)	P	0	0	0	0	N
Uitlaat Waaslandlaan (HUL) (K000156818)	U	0	0	0	0	N
Pompstation 001 Kopkapelstraat (7153) (K000153087)	P	593	1039	1632	16.8	J
Pompstation 036 Toekomstlaan (148)	P	0	0	0	0	N
Pompstation Daknamstraat (K000152979)	P	0	0	0	0	N
Uitlaat Van Duyestraat (HUL) (K000153943)	U	0	0	0	0	N
Pompstation 002 Van Duysestraat (K000153941)	P	10	0	10	0.2	N
Pompstation 014 Sportstadion (192A)	P	0	0	0	0	N
Overstort Stationsplein (K000153190)	O	341	0	341	6.1	N
Pompstation Nijverheidstraat (1657) (K000058602)	P	5988	1418	7406	115	J
Pompstation 029 Sportcomplex Durme (029)	P	0	0	0	0	N
Overstort Oudebruglaan (2526C)	O	0	0	0	0	N
Pompstation 015 Bosspark (015)	P	0	0	0	0	N
Overstort Oudebruglaan (2531A)	O	522	0	522	9.3	N
Overstort Oudebruglaan (2526A)	O	522	0	527	9.4	N
Overstort Oude - Bruglaan (K000023554)	O	1812	0	1817	32.4	N
Overstort Oude - Bruglaan (K000023464)	O	2278	236	2519	42.2	N
Wervelventiel Koning Boudewijnlaan (K000084442)	V	10323	1829	12157	195	N
Pompstation RWZI Lokeren - Zelebaan (K000023423)	P	42520	5688	48213	793	N

P: Pompstation

U: Uitlaat

O: Overstort

V: Wervelventiel

E: RWZI

F: Fictieve Uitlaat

W: Waterloop