



KWR 2017.083 | December 2017

## Optimale inrichting van DMA's



# Optimale inrichting van DMA's

KWR 2017.083 | December 2017

## Opdrachtnummer

401742 - 015

## Projectmanager

ir. A. (Andreas) Moerman

## Opdrachtgever

DPWE Stuurgroep, Vitens

## Kwaliteitsborger(s)

dr. P. (Peter) van Thienen

## Auteur(s)

I. (Ina) Vertommen MSc en dr. ir. K. A. (Karel) van Laarhoven

## Verzonden aan

DPWE Stuurgroep, Eelco Trietsch (Vitens)

Dit rapport is een jaar na publicatie openbaar.

Jaar van publicatie  
2017

### Meer informatie

Msc, Ina Vertommen  
T +31(0)611599514  
E ina.vertommen@kwrwater.nl

PO Box 1072  
3430 BB Nieuwegein  
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511  
F +31 (0)30 60 61 165  
E info@kwrwater.nl  
I www.kwrwater.nl



KWR 2017.083 | December 2017 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

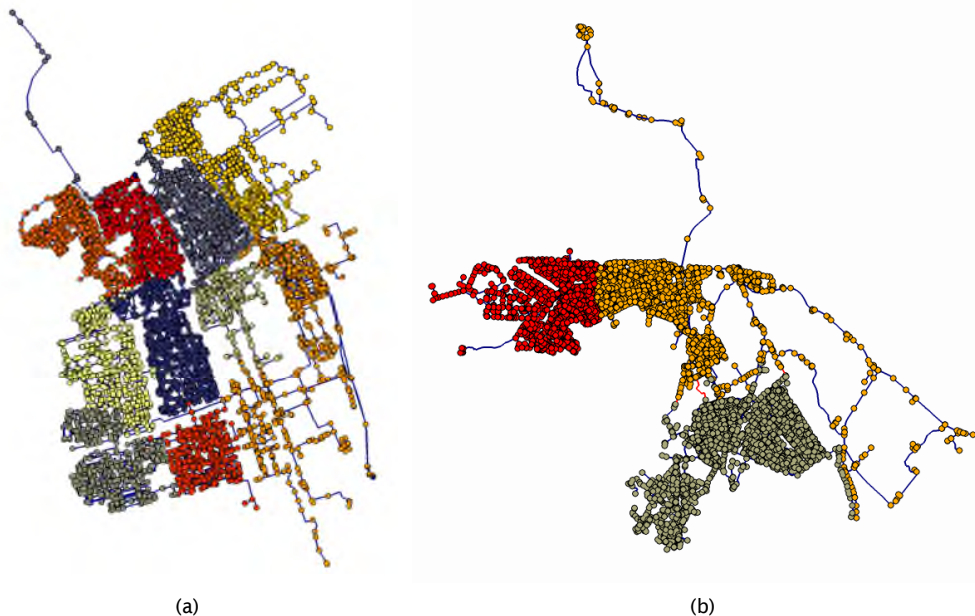
Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

# DPWE Managementsamenvatting

## Inrichting DMA's te optimaliseren met Gondwana

**Auteur(s)** MSc. I. (Ina) Vertommen en dr. ir. K. A. (Karel) van Laarhoven

De omvang van de bestaande DMA's (District Metered Area) in Nederland is erg gevarieerd: van 54 tot meer dan 100 000 aansluitingen per DMA<sup>1</sup>. Dit versterkt de noodzaak van het onderbouwen van de optimale DMA-grootte bij de doelstellingen die aan een DMA worden gesteld. Met behulp van het optimalisatieplatform Gondwana zijn voor de gebieden Delft en Velsen verschillende DMA-indelingen uitgerekend. Hiermee is inzicht gekregen in de verhouding tussen de DMA-grootte (en bijbehorende aantal volumestroommeters) en de gevoeligheid om anomalieën (zoals lekkages of veranderingen in de watervraag) te detecteren. Zoals verwacht moet om kleinere anomalieën te detecteren een gebied in kleinere (en meer) DMA's worden ingedeeld. Ook bij dezelfde anomaliegrootte maar bij een hogere detectie coëfficiënt wordt een gebied in kleinere DMA's ingedeeld. Op basis van deze informatie kunnen drinkwaterbedrijven onderbouwde beslissingen nemen over de DMA-indeling die het beste aansluit bij hun eisen en/of verwachtingen.



DMA-indeling voor het model van (a) Delft (zonder industriegebied) en (b) Velsen om anomalieën van  $7,5 \text{ m}^3/\text{u}$  te kunnen detecteren bij een detectiecoëfficiënt gelijk aan 10% (percentage van het verbruik dat overschreden moet worden om de gemeten afwijking als een anomalie te identificeren). De kleuren van de knooppunten tonen bij welke DMA ze horen.

<sup>1</sup> De definities van een DMA (versus een groter bemeten gebied) verschillen per waterbedrijf en daarmee de maximale grootte.

### Belang: DMA's om anomalieën te detecteren

Steeds meer drinkwaterbedrijven denken na over de inrichting van DMA's (District Metered Area). Zij worden ingericht met afsluiters, volumestroommeters, druk- en andere sensoren. Daarmee kunnen lekverliezen worden gekwantificeerd en lekken gelokaliseerd en leveren zij meer inzicht in het waterverbruik. Hierbij horen vragen zoals wat de geschikte ontwerpfilosofieën bij de belangrijkste doelen van een DMA zijn, wat de optimale omvang van een DMA is en welke meetsystemen (meetbereik, en -nauwkeurigheid) gegeven de grootte van lekken die je bijvoorbeeld wil kunnen detecteren het meest geschikt zijn.

### Aanpak: inventarisatie bestaande DMA's en inzet Gondwana

Om inzicht te krijgen in de bestaande DMA's in Nederland en hun kenmerken is samen met de begeleidingsgroep een DMA-Paspoort gecreëerd. Om vervolgens inzicht te krijgen in de relatie tussen de DMA-grootte en gevoeligheid om anomalieën te detecteren is het inrichten van DMA's als een optimalisatieprobleem uitgewerkt. Met behulp van het optimalisatieplatform Gondwana zijn voor twee gebieden (Delft en Velsen) verschillende DMA-indelingen doorgerekend. De resultaten zijn in overleg met de bedrijven geïnterpreteerd.

### Resultaten: DMA-grootte in functie van de gevoeligheid om anomalieën te detecteren

Door middel van het DMA Paspoort is geconstateerd dat de omvang van DMA's in Nederland erg varieert: van 54 tot meer dan 100 000 aansluitingen per DMA. Dit versterkt de noodzaak en belang van het onderbouwen van de optimale DMA-grootte bij de doelstellingen die aan een DMA worden gesteld. Met behulp van het optimalisatieplatform Gondwana zijn voor de gebieden Delft en Velsen verschillende DMA-indelingen uitgerekend. Uit de resultaten van de optimalisatie zijn relaties tussen de meetgevoeligheid van DMA's en hun grootte en het bijbehorende aantal volumestroommeters vastgesteld. Zoals verwacht moet om kleinere anomalieën te detecteren een gebied in kleinere (en meer) DMA's worden ingedeeld. Ook bij dezelfde

anomaliegrootte maar bij een hogere detectie coëfficiënt wordt een gebied in kleinere DMA's ingedeeld. Dit biedt een goed handvat voor bedrijven om onderbouwde keuzes te maken voor de DMA-grootte en -indeling, aansluitend op de meetbehoefte en -doelen en de inspanning die het meebrengt (in termen van het aantal volumestroommeters dat moet worden geïnstalleerd).

### Toepassing: optimalisatieprobleem aanpassen aan bedrijfsspecifieke doelen en eisen

Het in dit onderzoek uitgewerkte optimalisatieprobleem is maar één van talloze denkbare opties. Bij toepassing in de praktijk dient het optimalisatieprobleem naar wens te worden geformuleerd om bedrijfsspecifieke doelen en randvoorwaarden in aanmerking te kunnen nemen. Vervolgens kan het optimalisatieprobleem worden doorgerekend in Gondwana om de optimale DMA-indeling voor een gebied te bepalen. Een dergelijke benadering biedt ook de mogelijkheid om verschillende combinaties van doelen en randvoorwaarden uit te testen op een minder arbeidsintensieve manier dan bij een handmatige benadering.

### Rapport

Dit DPWE-onderzoek is begeleid door Michael van den Boom en Dennis Gardien (Dunea), Peter Schaap en Martin Klein Arfman (PWN), Ralf de Groot (Waternet), Henk de Kater (Evides) en Eelco Trietsch (Vitens) en beschreven in het rapport *Optimale inrichting van DMA's* (KWR 2017.083).

In een parallel traject is onderzoek gedaan naar praktijkervaringen omtrent DMA's. De resultaten van dit onderzoek zijn beschreven in het rapport *Praktijkervaring bij het inrichten van DMA's* (KWR 2017.056).

Jaar van publicatie  
2017

#### Meer informatie

MSc. Ina Vertommen  
T 31(0)611599514  
E ina.vertommen@kwrwater.nl

PO Box 1072  
3430 BB Nieuwegein  
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511  
F +31 (0)30 60 61 165  
E info@kwrwater.nl  
I www.kwrwater.nl





# Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>6</b>
1.1	Aanleiding	6
1.2	Doel	6
1.3	Aanpak	6
1.4	Leeswijzer	6
<b>2</b>	<b>Wat is een DMA?</b>	<b>8</b>
2.1	Fysieke DMA's	8
2.2	Virtuele DMA's	9
<b>3</b>	<b>DMA Paspoort</b>	<b>10</b>
3.1	Inleiding	10
3.2	Resultaten	11
<b>4</b>	<b>Inrichten van DMA's in Gondwana</b>	<b>13</b>
4.1	Inzet Gondwana	13
4.2	Literatuuronderzoek: inrichten van DMA's als een optimalisatieprobleem	13
4.3	Definitie van het optimalisatieprobleem	15
4.4	Uitbreiding Gondwana	18
<b>5</b>	<b>Case studies</b>	<b>19</b>
5.1	Case studies	19
5.2	Aannames	19
5.3	Berekeningen in Gondwana	20
5.4	Resultaten	20
<b>6</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>27</b>
6.1	Conclusies	27
6.2	Aanbevelingen	27
	<b>Referentielijst</b>	<b>29</b>

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

Steeds meer waterbedrijven denken na over de inrichting van (virtuele) DMA's (District Metered Area: gebieden waarvan de in- en uitstromende hoeveelheid water gemeten wordt), of over balansgebieden op kleinere schaal dan tot nog toe gangbaar is, of ze hebben deze reeds ingericht. DMA's worden ingericht met afsluiters, volumestroommeters, druk- en andere sensoren. Daarmee kunnen lekverliezen worden gekwantificeerd en lekken gelokaliseerd (naar DMA gebieden), en leveren zij meer inzicht in het waterverbruik (leveringspatronen, waterbalans).

De vragen die hierbij horen zijn: wat zijn geschikte ontwerpfilosofieën bij de belangrijkste doelstellingen van DMA's, wat is een optimale omvang per DMA (bijvoorbeeld in termen van aantal aansluitingen, incl. grootverbruikers), welke meetsystemen passen het best (meetbereik, en -nauwkeurigheid) gegeven de grootte van lekken die je bijvoorbeeld wil kunnen detecteren?

In een parallel traject is onderzoek gedaan naar praktijkervaringen omtrent DMA's. Hiervoor is een bureaustudie uitgevoerd naar internationale praktijkervaringen en is een workshop gehouden met alle Nederlandse drinkwaterbedrijven en De Watergroep. De resultaten van dit onderzoek zijn beschreven in het rapport KWR 2017.056 *Praktijkervaring bij het inrichten van DMA's* (Vertommen 2017).

## 1.2 Doel

Het doel van dit project is om (1) kenmerken van bestaande DMA's in Nederland te inventariseren en uniform te registreren, en (2) numerieke optimalisatietechnieken in te zetten om de optimale omvang van een DMA (of balansgebied) bij bepaalde doelstellingen te bepalen.

## 1.3 Aanpak

Om de kenmerken van bestaande DMA's te inventariseren en registreren is een DMA-Paspoort gecreëerd en is aan alle Nederlandse drinkwaterbedrijven gevraagd om deze in te vullen. Om de optimale omvang van een DMA te bepalen is een optimalisatieprobleem geformuleerd en opgelost met behulp van het optimalisatieplatform Gondwana.

## 1.4 Leeswijzer

Allereerst biedt hoofdstuk 2 enkele definities omtrent DMA's. In hoofdstuk 3 wordt het DMA-Paspoort geïntroduceerd en worden de resultaten van de inventarisatie bij de drinkwaterbedrijven toegelicht. In hoofdstuk 4 wordt het inrichten van DMA's door middel van een optimalisatieprobleem uitgewerkt. Hiervoor wordt een overzicht van optimalisatieproblemen uit de academische literatuur gepresenteerd en wordt een gedetailleerde uitwerking van het optimalisatieprobleem die aansluit bij de wensen van de begeleidingsgroep en de benodigde uitbreidingen van functionaliteit in Gondwana om aan een dergelijk probleem te kunnen rekenen beschreven. De voorgestelde benadering wordt in hoofdstuk 5 toegepast op twee casestudies. Tenslotte biedt hoofdstuk 6 conclusies en aanbevelingen.

In Bijlage I staan de ingevulde DMA-Paspoorten.



### 1.5 Begeleidingsgroep

De begeleidingsgroep bij dit project bestond uit Michael van den Boom, Dennis Gardien (Dunea), Peter Schaap, Martin Klein Arfman (PWN), Ralf de Groot (Waternet), Henk de Kater (Evides) en Eelco Trietsch (Vitens).

## 2 Wat is een DMA?

### 2.1 Fysieke DMA's

De acroniem "DMA" staat voor District Metered Area en betreft een afgebakend/begrensd (deel)gebied in een leveringsgebied waarvan de in- en uitstromende hoeveelheid water gemeten wordt. Dit gebied is fysiek afgesloten van aangrenzende gebieden door gesloten afsluiters of door permanent losgekoppelde leidingen. Op de open leidingen zijn watermeters geplaatst.

Het oorspronkelijke doel achter het inrichten van DMA's is het identificeren en kwantificeren van lekverlies (UK Water Authorities Association 1980): aan de hand van de gemeten in- en uitgaande stromen van een afgebakend gebied en de vergelijking met meterstanden kan het lekverlies voor dat gebied eenvoudig worden gekwantificeerd, door bijvoorbeeld het gemeten nachtverbruik te vergelijken met het verwachte nachtverbruik. Hiermee is ook de locatie van lekken in een totaal leveringsgebied naar de kleinere DMA-gebieden te bepalen. Het indelen van een leveringsgebied in DMA's biedt daarnaast ook voordelen voor de drukregeling (door bv. op elke open leiding ook een drukreducerende afsluiter te plaatsen). Ook dit aspect heeft een positieve invloed op het lekverlies (Farley 2001; Morrison, Tooms et al. 2007). Hoewel het toezicht op lekverlies en drukregeling de belangrijkste achterliggende doelen zijn bij het inrichten van DMA's, zijn er nog andere voordelen denkbaar, zoals het isoleren van gebieden getroffen door waterkwaliteitsincidenten (Di Nardo, Di Natale et al. 2013). Dit is van belang om de verspreiding van vreemde stoffen en de gevolgen daarvan te beperken. In dit geval wordt er gesproken over i-DMA's (*isolated DMA*): gebieden die helemaal geïsoleerd kunnen worden van alle aangrenzende gebieden.

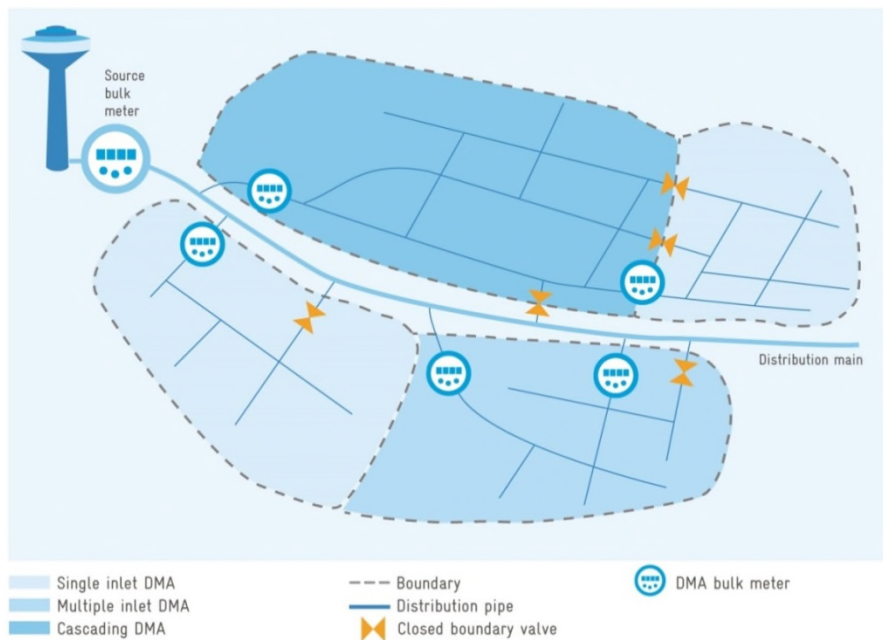
Afhankelijk van hun kenmerken kunnen DMA's geclassificeerd worden in (Farley 2001) (zie Figuur 1):

- DMA's met een enkele voeding;
- DMA's met meerdere voedingen;
- cascade-DMA (een DMA die uitstroomt in een andere DMA).

Daarnaast kunnen DMA's ook geclassificeerd worden op basis van hun grootte. De grootte van een DMA kan bepaald worden aan de hand van het aantal aansluitingen of de leidinglengte. Aan de hand van het aantal aansluitingen worden DMA's typisch ingedeeld in:

- klein: <1000 aansluitingen (normaliter wordt een minimum van 500 aansluiting gehanteerd);
- middelmatig: 1000-3000 aansluitingen;
- groot: 3000-5000 aansluitingen.

In Nederland verschillen de definities van een DMA (versus een groter bemeten gebied) per waterbedrijf en daarmee de maximale grootte van deze gebieden.



FIGUUR 1. INDELING VAN EEN LEVERINGSGBIED IN DMA'S MET VERSCHILLENDE KENMERKEN: DMA'S MET EEN ENKELE VOEDING, EEN DMA MET MEERDERE VOEDINGEN EN EEN CASCADE DMA (STRATEGIC ALLIANCE FOR WATER LOSS REDUCTION, 2015).

De fysieke scheiding tussen gebieden is een eenvoudige en efficiënte methode om metingen en waterbalansberekeningen uit te voeren, maar is ook gebonden aan enkele risico's (Morrison, Tooms et al. 2007; Di Nardo, Di Natale et al. 2012; Ferrari and Savic 2015). Door meerdere leidingen af te sluiten, wordt er een vertakte structuur gecreëerd. Dit heeft invloed op o.a. de drukgradiënt, de leveringszekerheid en de kwaliteit van het water (meer doodlopende leidingen). Het is daarom belangrijk om DMA's zorgvuldig te ontwerpen, zodanig dat het netwerk op deze aspecten niet onder de gewenste norm komt te presteren. Idealiter merken klanten geen verschil in de levering.

---

*The over-riding factor is to successfully create the DMA's without significantly affecting the quality of service to customers (Morrison, et al., 2007).*

---

De voordelen gebracht door de indeling van een leveringsgebied in DMA's moeten daarom worden afgewogen tegen effecten op de hydraulische prestatie van het leidingnetwerk.

## 2.2 Virtuele DMA's

Een alternatief op fysieke DMA's en het creëren van vertakte structuren is het inrichten van virtuele DMA's. Bij virtuele DMA's worden deelgebieden enkel begrensd door meters en niet van elkaar afgesloten (Di Nardo, Di Natale et al. 2012). De structuur van het netwerk wordt daarom niet veranderd en de risico's gebonden aan fysieke DMA's zijn daarom ook niet van toepassing. Het uitvoeren van een waterbalans en het bepalen van lekverlies zijn echter minder eenvoudig. Drukregeling en het isoleren van gebieden getroffen door waterkwaliteitsincidenten zijn daarnaast ook enkel mogelijk als er (drukreducerende) afsluiters geplaatst worden.

## 3 DMA-Paspoort

### 3.1 Inleiding

Om een overzicht te maken van de huidig bestaande DMA's en/of balansgebieden in Nederland en hun kenmerken is samen met de projectgroep een DMA-Paspoort gecreëerd (zie Tabel 1). Het DMA-Paspoort beoogt een uniforme registratie van kenmerken van DMA's. Deze gegevens bieden een bron van informatie om in een vervolgtraject DMA's te vergelijken, mogelijkheden bij verschillende DMA eigenschappen in beeld te brengen en te bepalen welke criteria van een DMA van belang zijn bij welke toepassing.

TABEL 1. DMA-PASPOORT: IN TE VULLEN PER INDIVIDUELE DMA.

DMA: naam DMA		
Aansluitingen	Lengte aansluitingen [m]	
	Aantal aansluitingen	
Leidingen	Aantal verbruiksadressen	
	Aantal inwoners	
	Totale lengte [km]	
	Lengte distributienet [km]	
	Lengte transportnet [km]	
	Leidinginhoud (totaal) [m <sup>3</sup> ]	
	Leidinginhoud (distributienet)	
Samenstelling materiaal	Leidingoppervlak (totaal) [m <sup>2</sup> ]	
	Leidingoppervlak (distributienet) [m <sup>2</sup> ]	
	% PVC	
	% PE	
	% GG	
	% NG	
	% AC	
	% ST	
	% BET	
	% CU	
Verbruik	% PVCBV	
	% HPE	
	% ZPE	
	% SLA	
	% onbekend	
	Facturatie - huishoudelijk	
	Facturatie - kleinzakelijk	
	Facturatie totaal [m <sup>3</sup> ]	
	Verhouding huishoudelijk/kleinzakelijk	
	Individueel gemeten grootverbruikers	
Totaal jaarverbruik [m <sup>3</sup> ]		
Nachtverbruik [m <sup>3</sup> /u]		
Instroom/uitstroom (doorlevering)	ILI <sup>2</sup> (afgeleide)	
	theoretische verblijftijd (afzet/inhoud)	
Verblijftijd	cumulatieve frequentieverdeling (p50, p75, p90)	
Storingsfrequentie (per jaar)		
Klacht dichtheid (per 1000 inwoners)		

<sup>2</sup> ILI - Infrastructure Leakage Index (Farley and Trow, 2003).

Aan alle Nederlandse drinkwaterbedrijven is gevraagd om bij te dragen aan het project door het DMA-Paspoort in te vullen: 8 van de 10 drinkwaterbedrijven hebben gereageerd op het verzoek.

### 3.2 Resultaten

Op dit moment zijn er ca. 92 DMA's ingericht in Nederland (stand van zaken 31-08-2017). Ter informatie beschikt De Watergroep (België) over 325 DMA's. Tabel 2 bevat hier een overzicht van. Bij Waterbedrijf Groningen, WMD en WML zijn er momenteel geen DMA's ingericht. De ingevulde DMA-Paspoorten zijn weergegeven in Bijlage I van dit document. Meerdere velden van het Paspoort zijn niet ingevuld door de drinkwaterbedrijven. Bijvoorbeeld is het veld "Klacht dichtheid" door geen van de drinkwaterbedrijven ingevuld. De velden "Lengte aansluitingen", "Leidinginhoud (distributienet)", "Leidingoppervlak (distributienet)", "ILI (afgeleide)", "Theoretische verblijftijd", "Cumulatieve frequentieverdeling (verblijftijd)" en "Storingsfrequentie" zijn beperkt ingevuld. Kennelijk zijn deze gegevens niet altijd direct beschikbaar of gemakkelijk te achterhalen.

TABEL 2. BESTAANDE DMA'S IN NEDERLAND EN BELGIË (STAND VAN ZAKEN 31-08-2017).

Drinkwaterbedrijf	Aantal ingerichte DMA's		Noot
Brabant Water	2	Brabant Water heeft twee DMA's ingericht om te zien of het toepassen van een DMA van toegevoegde waarde is.	
Dunea	3		-
Evides	49	Evides is actief bezig met het inrichten van DMA's. Het aantal DMA's is daarom geen statisch getal. Kenmerken van 3 typische DMA's zijn ingevuld in het Paspoort.	
Oasen	21		-
PWN	2		DMA Paspoort niet ingevuld.
Vitens	9	Vitens kent 100+ bemeten gebieden, maar heeft voor de definitie van een DMA een maximale grootte van 10.000 aansluitingen gehanteerd.	
Waterbedrijf Groningen	0	Waterbedrijf Groningen heeft momenteel geen DMA's, maar wil deze in de nabije toekomst wel inrichten.	
WMD	0		DMA's zijn geen prioriteit voor WMD.
WML	0	WML heeft een aantal kleinere gebieden (drukzones) die zouden kunnen gezien worden als DMA's. Deze zijn echter niet ontstaan vanuit de "DMA"-gedachte maar vanuit de hoge ligging. De gebieden worden gevoed door een drukverhogingsinstallatie en zijn ook bemeterd. WML doet in deze gebieden geen extra inspanningen om lekkages op te sporen en het ongemeten niet in rekening gebracht verbruik terug te dringen.	
Waternet	6		DMA Paspoort niet ingevuld.
TOTAAL	92		-

De bestaande DMA's zijn erg verschillend in grootte. Tabel 3 en Tabel 4 geven hier een overzicht van (bij de berekening zijn slechts 3 van de 49 DMA's van Evides in aanmerking genomen, gegevens van Waternet en De Watergroep zijn niet in aanmerking genomen). Op basis van het aantal verbruiksadressen is Helmond BZOB (Brabant Water) de kleinste DMA, met 54 verbruiksadressen. Rotterdam Noord (Evides) is de grootste DMA, met 116 556 verbruiksadressen. De meeste DMA's hebben tussen de 1001 en 5000 verbruiksadressen.

Op basis van de leidinglengte is Bilgaard II Mini de kleinste DMA, met 3 km leidingen, en Rotterdam Noord de grootste, met 459 km leidingen.

TABEL 3. VERDELING VAN DE DMA'S IN NEDERLAND O.B.V. HET AANTAL VERBRUIKSADRESSEN.

	Min.	Max.	< 500	501 - 1000	1001 - 3000	3001 - 5000	5001 - 10000	10001 - 20000	> 20001
Aantal verbruiksadressen	54	115655	3	2	8	7	3	2	2

TABEL 4. VERDELING VAN DE DMA'S IN NEDERLAND O.B.V. DE TOTALE LEIDINGLENGTE.

	Min.	Max.	<10	11 - 25	26 - 50	51 - 100	101 - 200	201 - 400	> 401
Leidinglengte [km]	3	459	2	7	10	5	1	1	1

De bestaande DMA's zijn erg verschillende in grootte. Dit kan zowel in theorie als in de praktijk inzicht geven op de invloed van de DMA grootte op de detail van informatie die gemeten kan worden. Hierbij is het volgende denkbaar:

- modelmatig onderzoek doen naar de mate van detail van informatie die bij verschillende DMA-groottes kan worden verwacht;
- metingen en verkregen informatie uit de verschillende DMA's vergelijken om de invloed van de DMA-grootte in de praktijk te bepalen.

Het huishoudelijk verbruik overheerst in de meerderheid van de DMA's. In de DMA's Helmond BZOB (Brabant Water), Delft (Evides), en RdrkDnkr en BdgrvnZuid (Oasen) is het aandeel kleinzakelijk verbruik belangrijker.

## 4 Inrichten van DMA's in Gondwana

### 4.1 Inzet Gondwana

Hoewel richtlijnen en tips voor het goed inrichten van DMA's beschreven zijn in de literatuur (Farley 2001; Morrison, Tooms et al. 2007), blijft het een complex probleem: er moet rekening gehouden worden met verschillende variabelen, doelen en randvoorwaarden. Daarnaast, vanwege het grote aantal mogelijkheden kan het handmatig inrichten van DMA's snel onoverzichtelijk en onhandelbaar worden. Numerieke optimalisatietechnieken zoals geïmplementeerd in Gondwana (van Thienen and Vertommen 2015 ) bieden hierin de helpende hand. Gondwana is een softwaretool die in staat is om op gestructureerde wijze wijzigingen aan te brengen in het ontwerp van DMA's, de prestatie van het gewijzigde ontwerp te bepalen op één of meerdere doelstellingen, en aan de hand hiervan nieuwe wijzigingen aan te brengen, zodanig dat in een iteratief proces naar een optimaal presterend ontwerp wordt gewerkt. Gondwana vormt daarom een geschikte tool om het ontwerp van DMA's te ondersteunen.

### 4.2 Literatuuronderzoek: inrichten van DMA's als een optimalisatieprobleem

Bij het ontwerp van DMA's kunnen verschillende aspecten en benaderingen in aanmerking genomen worden. Tabel 5 geeft een overzicht van enkele mogelijke benaderingen uit de literatuur. De focus ligt voornamelijk op het inrichten van fysieke DMA's, maar enkele aspecten kunnen ook toegepast worden op virtuele DMA's.

TABEL 5. OVERZICHT VAN AANPAKKEN EN FACTOREN DIE IN DE LITERATUUR IN BEELD KOMEN BIJ HET ONTWERP VAN DMA'S.

Referentie	Aspecten	Benadering
Farley (2001) en Morrison et al. (2007)	<p><b>Beoogde lekverlies:</b> afhankelijk van doelen van het drinkwaterbedrijf.</p> <p><b>Grootte en kosten:</b> enerzijds bieden kleinere DMA's voordelen bij lekdetectie:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• nieuwe lekkages worden sneller gedetecteerd;</li> <li>• lekkages worden sneller en met minder kosten gelokaliseerd;</li> <li>• het is eenvoudiger om kleinere lekkages van ruis te onderscheiden.</li> </ul> <p>Anderzijds, hoe kleiner de DMA's hoe meer afsluiters en watermeters er nodig zijn om deze af te bakenen en als bijgevolg hoe hoger de kosten.</p> <p><b>Waterkwaliteit:</b> hoe meer afsluiters er gebruikt worden, hoe groter de kans op waterkwaliteitsproblemen door doodlopende leidingen.</p>	<p>De DMA-grootte wordt voornamelijk bepaald aan de hand van het beoogde lekverlies, hydraulische condities en het beschikbare budget. Op basis daarvan wordt een ontwerp handmatig bepaald. Aspecten zoals o.a. minimum verschil in maaiveld, gewenste drukregeling, waterkwaliteit en het open laten van hoofdleidingen worden daarin ook in aanmerking genomen.</p>

Referentie	Aspecten	Benadering
Alvisi en Franchini (2014a; 2014b)	<p><b>Veerkracht (<i>Resilience</i>):</b> gemeten als een functie van het druk/energie-overschot op knooppunten (<i>head surplus</i>) (Todini 2000).</p> <p><b>Grootte:</b> gekwantificeerd door het aantal aansluitingen en gefixeerd tussen gewenste minimum en maximum waarden.</p>	<p>Verschillende mogelijke DMA-ontwerpen met een vastgestelde grootte worden gegenereerd door een methodologie gebaseerd op grafentheorie.</p> <p>De ontwerpen worden vergeleken aan de hand van hun weerbaarheid en het beste ontwerp wordt geselecteerd.</p>
Savic en Ferrari (2014)	<p><b>Kosten:</b> gemeten als een functie van het aantal leidingen die afgesloten worden.</p> <p><b>Veerkracht (<i>Resilience</i>):</b> gemeten als een functie van het druk/energie-overschot op knooppunten (<i>head surplus</i>) (Todini 2000).</p> <p><b>Waterkwaliteit:</b> gemeten als een functie van de gemiddelde verblijftijd van het water in het leidingnet (<i>water age</i>).</p>	<p>Kosten, weerbaarheid en waterkwaliteit vormen de zogenaamde "prestatie-indicatoren".</p> <p>Verschillende mogelijke DMA-ontwerpen worden gegenereerd (hiervoor wordt de methodologie ontwikkeld door Ferrari et al. (2014) gevolgd die gebaseerd is op grafentheorie). Deze ontwerpen worden met elkaar vergeleken aan de hand van de voorgenoemde prestatie-indicatoren. De prestatie van het huidige netwerk (zonder DMA's) wordt ook beschouwd.</p>
Ferrari en Savic (2015)	<p><b>Afname lekverlies:</b> gemeten als de ratio van het lekverlies voor en na de implementatie van DMA's, waarin het lekverlies bepaald wordt als een functie van de druk en leidingmateriaal.</p> <p><b>Afname frequentie van leidingbreuken:</b> gemeten als een functie van de drukverlaging door implementatie van DMA's. De verhouding van breuken die niet drukafhankelijk zijn wordt ook in aanmerking genomen.</p> <p><b>Afname drukafhankelijk verbruik:</b> gemeten als de ratio tussen het drukafhankelijk verbruik voor en na de implementatie van de DMA's.</p>	<p>Lekverlies, frequentie van leidingbreuken en drukafhankelijk verbruik, vormen de "prestatie-indicatoren". In dit geval beschrijven de prestatie-indicatoren expliciet de voordelen van DMA's (besparingen voor DWB door implementatie van DMA's). Verschillende mogelijke DMA-ontwerpen worden gegenereerd (hiervoor wordt de methodologie ontwikkeld door Ferrari et al. (2014) gevolgd). Deze ontwerpen worden met elkaar vergeleken aan de hand van de voorgenoemde prestatie-indicatoren.</p>
Gomes et al. (2014)	<p><b>Nettowaarde:</b> gemeten als het verschil tussen de benodigde investeringskosten (meters, afsluiters, drukreducerende afsluiters, versterking leidingen) en de bereikte baten (afname drukafhankelijk</p>	<p>Het ontwerp van DMA's wordt uitgevoerd aan de hand van een optimalisatietechniek (<i>Simulated annealing</i>) waarin de nettowaarde van het ontwerp gemaximaliseerd</p>



Referentie	Aspecten	Benadering
	lekverlies) bij het inrichten van de DMA's (over het gehele duur van het projectplan).	wordt.

De voornoemde benaderingen zijn toegepast op enkele casestudies (die bestaan uit de indeling van leidingnetwerkenmodellen in DMA's en waarin de prestatie-indicatoren uitgerekend zijn aan de hand van het hydraulisch model). Daaruit is gebleken dat voor de casestudies:

- de indeling van een leveringsgebied in DMA's kan leiden tot een afname in lekverlies tussen de 26 en 59%, een afname in leidingbreuken tussen de 53 en 60% en een afname in het drukafhankelijk verbruik tussen de 67 en 85% (Ferrari and Savic 2015);
- de indeling van een leveringsgebied in DMA's kan leiden tot een toename in de reistijd van het water in het leidingnetwerk tussen 1 en 3% (Savic and Ferrari 2014) en een gemiddelde afname in de veerkracht tussen de 2,5 en 6% (Savic and Ferrari 2014; Alvisi and Franchini 2014a; Alvisi and Franchini 2014b);
- hoe hoger het aantal DMA's waarin een leveringsgebied wordt ingedeeld hoe hoger de bijbehorende ontwerpkosten en hoe hoger de afname in de veerkracht en waterkwaliteit (Savic and Ferrari 2014);
- de onzekerheid in verbruikspatronen en toekomstig verbruiken een significante invloed kan hebben op de nettowaarde van de DMA's (Gomes, Sousa et al. 2014).

#### 4.3 Definitie van het optimalisatieprobleem

De eerste stap om DMA's in te richten in Gondwana is het opstellen van een passend optimalisatieprobleem. Uit de literatuur is gebleken dat verschillende ontwerpfilosofieën mogelijk zijn bij het inrichten van DMA's. Een optimale inrichting is enkel optimaal ten opzichte van bepaalde doelstellingen en randvoorwaarden. Het vastleggen van de gewenste doelstellingen en randvoorwaarden is daarom de eerste stap die gezet moet worden bij het inrichten van DMA's. In overleg met de projectgroep is besloten om een iets andere richting te volgen dan voorgesteld in de academische literatuur, en is vastgesteld dat in dit project het primaire doel bij het inrichten van DMA's het verzamelen van zinvolle informatie is, om kennis op te doen over het leidingsysteem (en zodanig antwoord te krijgen op de vraag "wat gebeurt er in de black box?"). Daarnaast is het ook gewenst om inzicht te krijgen in de ideale DMA-grootte (in aantal aansluitingen) en bijbehorende benodigde aantal meters.

Deze vraag is vertaald in het volgende optimalisatieprobleem:

Doelfunctie:	$Minimaliseer\ kosten =\ aantal\ volumestroommeters$
Randvoorwaarden:	$c \cdot M_j \leq d$
$c$ – detectiecoëfficiënt (bv. 10%)	
$M_j$ – gemeten verbruik in DMA $j$ , $j = 1, \dots, n$	
$d$ – grootte anomalie (bv. volumestroom lekkage)	

Het geformuleerde optimalisatieprobleem bepaalt hoeveel volumestroommeters nodig zijn om een gebeurtenis van een bepaalde grootte te kunnen detecteren in een DMA. Dit

optimalisatieprobleem kan vervolgens opgelost worden met behulp van numerieke optimalisatietechnieken, zoals ontwikkeld in Gondwana.

De voorgestelde benadering is toepasbaar om een gebied zowel in DMA's of deelbalansgebieden in te delen.

#### 4.3.1 Doelstelling

In dit probleem worden DMA's enkel begrensd door volumestroommeters. De doelstelling is het minimaliseren van het aantal benodigde meters om de DMA-grenzen in een leveringsgebied te definiëren.

Naar verwachting geldt dat hoe groter de DMA's, hoe minder meters er in totaal nodig zijn om de DMA grenzen te definiëren in het leveringsgebied. Het optimalisatieproces probeert dus zo groot mogelijke DMA's te creëren. Indien er geen randvoorwaarden worden opgelegd aan het probleem convergeert het proces naar een enkele DMA die gelijk is aan het hele leveringsgebied. Om dit te voorkomen dienen er dus geschikte randvoorwaarden gedefinieerd te worden.

#### 4.3.2 Randvoorwaarden

Het verbruik in een DMA kan worden bepaald aan de hand van een waterbalans (de sommatie van in- en uitstromen van de DMA). In absolute waarde wordt elke gebeurtenis of afwijking van het normale verbruik in een DMA gemeten. Een gebeurtenis van  $10\text{m}^3/\text{u}$  in een DMA waarin het verbruik  $1000\text{m}^3/\text{u}$  is, is echter moeilijker te identificeren dan een gelijke gebeurtenis in een DMA waarin het verbruik  $100\text{m}^3/\text{u}$  is. In dit laatste geval betreft de gebeurtenis een afwijking van 10% van het verbruik in de DMA, terwijl in het eerste geval de afwijking maar 1% van het verbruik is. Het inzicht dat de detectiegrens voor een lek vaak een percentage van de gemiddelde volumestroom van het gebied waarin het lek zich bevindt is, wordt gepresenteerd door de detectiecoëfficiënt  $c$ . Deze detectiecoëfficiënt is afhankelijk van o.a.:

- de verbruikspatronen (afhankelijk van de type verbruikers in een gebied, grootte gebied, normale variatie van het verbruik, tijdstap van metingen, moment van de dag van belang voor de analyse);
- de meetnauwkeurigheid van volumestroommeters;
- de analyse die zal worden toegepast op de metingen (bv. VLPV-methode of directe bewaking).

De gebruiker kan zelf bepalen welke percentage van het verbruik overschreden moet worden om de gemeten afwijking als een gebeurtenis te identificeren. Dit stelt een drinkwaterbedrijf in staat om het optimalisatieprobleem op te zetten in termen van kennis, data en randvoorwaarden afkomstig uit de bedrijfsvoering.

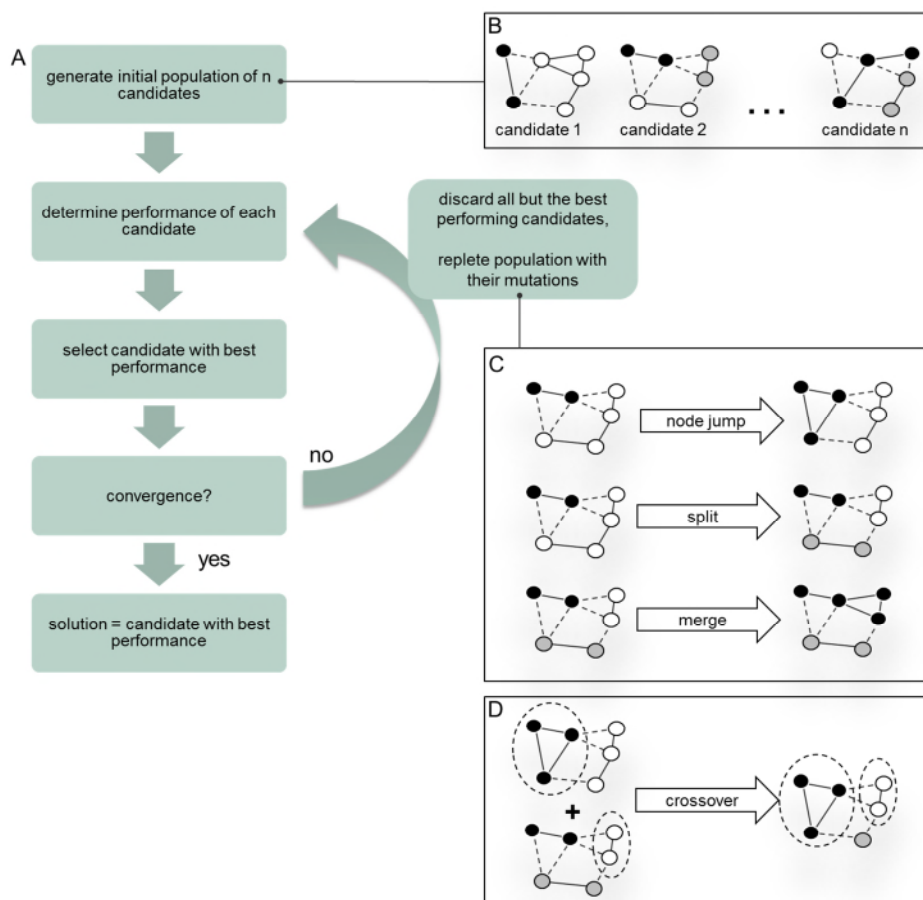
De voorgestelde randvoorwaarde legt dus vast hoe groot een DMA mag zijn om een gebeurtenis van een bepaalde grootte te kunnen detecteren. Deze randvoorwaarden beperkt de DMA grootte tot een maximum en het bijbehorende minimaal aantal benodigde meters om dit te bereiken. Bijvoorbeeld: om een lek van  $5\text{m}^3/\text{u}$  ( $d$ ) te identificeren bij een detectie coëfficiënt van 10% ( $c$ ), is het maximale gemeten verbruik in een DMA gelijk aan  $50\text{m}^3/\text{u}$ . Bij een detectie coëfficiënt van 5% ( $c$ ), is maximale gemeten verbruik in een DMA gelijk aan  $100\text{m}^3/\text{u}$ .

#### 4.3.3 Beslisvariabelen

De voorkeur van de begeleidingsgroep ligt bij het inrichten van virtuele DMA's. In dit geval zijn de beslisvariabelen de locaties van de volumestroommeters in het leidingnet. De locaties van de meters bepalen de grenzen van de DMA's.

#### 4.3.4 Diagram

Figuur 2 biedt een schematisch overzicht van hoe het optimalisatiealgoritme in elkaar zit en hoe de kandidaatoplossingen gegenereerd en geëvalueerd worden. Het optimalisatieproces start met de generatie van een populatie van  $n$  kandidaatoplossingen: verschillende mogelijk DMA-indelingen die aan de gestelde randvoorwaarden voldoen (in dit geval: kandidaten die een anomalie van een bepaalde grootte kunnen detecteren). De prestatie van elk kandidaat wordt bepaald (door middel van de doelfunctie) en de  $x$  beste kandidaten worden gekozen (in dit geval: de kandidaten met de minste volumestroommeters). De gekozen kandidaten worden gebruikt om een nieuwe populatie van  $n$  kandidaten te genereren door hun eigenschappen te combineren (crossover, zie Figuur 2D) en aan te passen (mutatie, zie Figuur 2C). De prestatie van deze nieuwe kandidaten wordt bepaald en opnieuw worden de beste kandidaten gekozen. Dit iteratief proces gaat door tot een afbreekcriterium wordt bereikt. De beste kandidaat van de laatste populatie is de oplossing van het probleem.



FIGUUR 2. A - SCHEMATISCH OVERZICHT VAN HET OPTIMALISATIEPROCES IN GONDWANA. B - VOORBEELD VAN DE GENERATIE VAN KANDIDAATOPLOSSINGEN. ELKE DMA BESTAAT UIT EEN CLUSTER VAN KNOOPPUNTEN IN DEZELFDE GRIJSTINT. DE GESTIPPELDE LIJNEN ILLUSTREREN DE LOCATIES VAN VOLUMESTROOMMETERS. C - AANMAKEN VAN NIEUWE KANDIDAATOPLOSSINGEN DOOR "OVERLOPEN" VAN KNOPEN TUSSEN DMA'S, "SPLITSEN" EN "SAMENVOEGEN" VAN DMA'S. D - AANMAKEN VAN NIEUWE KANDIDAATOPLOSSINGEN DOOR UIT CLUSTERS AFKOMSTIG VAN VERSCHILLENDE "OUDERS" EEN NIEUW "KIND" SAMEN TE STELLEN.

#### 4.4 Uitbreiding Gondwana

De onderstaande tabel geeft een overzicht van de functionaliteit die in het kader van dit project geïmplementeerd is in Gondwana.

TABEL 6. UITBREIDING VAN FUNCTIONALITEIT IN GONDWANA VOOR HET INRICHTEN VAN DMA'S.

Tabblad	Uitbreiding
Beslisvariabelen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• groep van knopen waarbinnen de DMA's worden gedefinieerd (selectie van knopen of alle knopen);</li> <li>• minimaal en maximaal aantal DMA's dat wordt gevormd;</li> <li>• functionaliteit om DMA indelingen te genereren en op te slaan (Figuur 2A).</li> </ul>
Doelstelling	<ul style="list-style-type: none"> <li>• prestatie in termen van het verschil in meetsignaal tussen een lekkagescenario en de nominale situatie;</li> <li>• de koppeling aan scenario's die bij het bovenstaande punt hoort;</li> <li>• prestatie in termen van het aantal watermeters dat nodig is voor een DMA-indeling;</li> <li>• prestatie in termen van een benadering van het laagste meetsignaal dat detecteerbaar is bij een bepaalde DMA-indeling (anomaliegrootte <math>d</math>);</li> <li>• prestatie in termen van het aantal aansluitingen per DMA;</li> <li>• koppeling aan lijsten met aansluitingen per knoop voor bovenstaand punt;</li> <li>• prestatie in termen van de druk op iedere knoop in een DMA;</li> <li>• prestatie in termen van de flow over de grenzen van een DMA.</li> </ul>
Randvoorwaarden	<p>Alles wat een doelstelling kan zijn, kan ook als randvoorwaarde worden opgegeven (dus: <i>maximaliseer het gemiddelde verschil tussen de nominale en de verstoorte situaties voor alle drukmeetpunten wordt dit verschil moet minimaal <math>X</math> zijn</i>).</p>
Optimalisatie	<p>Instellingen voor de variatie van het DMA-ontwerp:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• mutatie: kans dat binnen een DMA-indeling een bepaalde DMA wordt gesplitst of 2 DMA's worden samengevoegd (Figuur 2C);</li> <li>• mutatie: kans dat binnen een DMA-indeling een knooppunt "overloopt" van een DMA naar het aangrenzende DMA (Figuur 2C);</li> <li>• crossover: kans dat een nieuwe kandidaat met een nieuwe DMA-indeling wordt gegenereerd door het ontwerp van twee voorgaande DMA-indelingen te kruisen (figuur 2D).</li> </ul>
Visualisatie	<p>Visualisatie van een DMA-indeling door het markeren van grensleidingen en het toekennen van een aparte kleur aan de knopen van één DMA.</p>

De uitbreidingen in Gondwana zijn getoetst op het leidingnetmodel van Sittard. De verkregen resultaten zijn beschreven in van Laarhoven *et al.* (2017).

# 5 Casestudies

## 5.1 Case studies

Het uitgewerkte optimalisatieprobleem is toegepast op twee casestudies: de leidingnetmodellen van Delft en van Velsen (Figuur 3). Het leidingnetmodel van Delft heeft 9332 knopen, 10201 leidingen en 3 reservoirs (in werkelijkheid zijn er geen reservoirs in Delft, maar in het gebruikte EPANET-deelmodel zijn de voedende leidingen voorzien van reservoirs om een stabiele druk te leveren zonder moeilijke pompregelingen te modelleren). Het leidingnetmodel van Velsen heeft 10330 knopen, 9069 leidingen en een 1 reservoir. In beide modellen is een tijdstap van één uur gebruikt voor de hydraulische berekeningen.



FIGUUR 3. CASESTUDIES: LEIDINGNETMODELLEN VAN (A) DELFT EN (B) VELSEN.

## 5.2 Aannames

Bij het uitvoeren van de casestudies zijn de volgende aannames gemaakt:

- Elke leiding van het model is een mogelijk locatie voor een volumestroommeter. Natuurlijk barrières en andere geografische informatie worden niet in aanmerking genomen.
- De locatie en werking van de volumestroommeters is niet diameterafhankelijk: er wordt enkel gekeken naar het aantal volumestroommeters en niet naar hun diameter (wat mogelijk invloed zou hebben op kosten en type volumestroommeters) en de nauwkeurigheid van volumestroommeters is 100% en onafhankelijk van de diameter.
- De twee uren met het laagste verbruik zijn in aanmerking genomen om de DMA-groottes (randvoorwaarden) te bepalen.

### 5.3 Berekeningen in Gondwana

In Gondwana zijn voor elk model optimalisaties uitgevoerd voor verschillende detectie-coëfficiënten ( $c$ ) en anomaliegroottes ( $d$ ), met name:

- $c = 5, 10$  en  $20\%$ .
- $d = 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5$  en  $15 \text{ m}^3/\text{u}$ .

Dit betekent dat voor elk model 18 optimalisaties zijn uitgevoerd. Voor het model van Delft zijn ook nog 12 extra optimalisaties uitgevoerd voor  $c = 10, 20\%$  en  $d = 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5$  en  $15 \text{ m}^3/\text{u}$  waarin het industriegebied (Bedrijfsterreinen Delft Noord (DSM/Calvé)) buiten beschouwing is gelaten.

De volgende optimalisatieparameters zijn gebruikt (zie Bijlage II voor een toelichting):

- populatie = 100
- aantal generaties = 400
- mutatiekans (*node jump*) = 0,3
- mutatiekans (*merge en split*) = 0,3
- crossoverkans = 0,1 (1 point)
- initialisatie = *randomize*
- selector = *tournament*
- elitisme = 15%

### 5.4 Resultaten

Het resultaat van elke optimalisatie is een DMA-indeling voor de specifieke detectie-coëfficiënt en anomaliegrootte die in aanmerking zijn genomen. Bij enkele optimalisaties is gebleken dat het optimalisatieproces niet geconvergeerd is. Dit betekent dat er in deze gevallen nog ruimte voor verbetering is, en er DMA-indelingen met minder volumestroommeters mogelijk zijn. Hiervoor dient het aantal generaties te worden verhoogd (langere rekentijd).

#### 5.4.1 Delft

Bij een veronderstelling over de fractie die gedetecteerd kan worden (detectiecoëfficiënt) en een eis die gesteld wordt aan de omvang van de te detecteren anomalie, wordt het gebied Delft ingedeeld in een geschikt aantal DMA's. Figuur 4 illustreert enkele resultaten voor het model van Delft, met name de DMA-indelingen om een anomalie van  $7.5 \text{ m}^3/\text{u}$  te kunnen detecteren bij detectiecoëfficiënten gelijk aan 5, 10 en 20%. Hieruit is te zien dat bij een detectiecoëfficiënt gelijk aan 5% Delft in 4 DMA's wordt ingedeeld waarbij 18 volumestroommeters worden ingezet. Wanneer wordt verondersteld dat een anomalie van 10% van de gemiddelde volumestroom van het gebied gedetecteerd kan worden en men graag een anomalie van  $7.5 \text{ m}^3/\text{u}$  wil kunnen detecteren, dan wordt Delft in 6 DMA's ingedeeld, met 29 volumestroommeters. Het industriegebied vormt in dit geval één enkele DMA (zie rode vierkant in Figuur 4b). Het waterverbruik in het industriegebied is relatief hoog en heeft daarom een grote invloed op de DMA-indeling. Bij een veronderstelling over de fractie die gedetecteerd kan worden (detectiecoëfficiënt) gelijk aan 10% kan het industriegebied nog worden ingedeeld in een DMA waarin een anomalie van  $5 \text{ m}^3/\text{u}$  kan worden gedetecteerd. Voor kleinere anomalieën kan dit gebied niet meer aan de eis voldoen. Hetzelfde geldt voor een anomaliegrootte van  $10 \text{ m}^3/\text{u}$  bij een detectiecoëfficiënt van 20%. Het gebied buiten het industriegebied kan wel in DMA's van een kleinere omvang worden ingedeeld. De analyse is daarom herhaald voor Delft zonder industriegebied.

In dit geval wordt Delft ingedeeld in 10 DMA's om een anomalie van  $7.5 \text{ m}^3/\text{u}$  te kunnen detecteren bij een detectiecoëfficiënt gelijk aan 20% (zie Figuur 4d). Om een anomalie van  $7.5 \text{ m}^3/\text{u}$  te kunnen detecteren bij een detectiecoëfficiënt van 10% worden 4 DMA's gecreëerd met 27 volumestroommeters (Figuur 4c).



(a) DMA indeling voor Delft voor  $d=7.5 \text{ m}^3/\text{u}$  en  $c=5\%$ .



(b) DMA indeling voor Delft voor  $d=7.5 \text{ m}^3/\text{u}$  en  $c=10\%$ .



(c) DMA indeling voor Delft voor  $d=7.5 \text{ m}^3/\text{u}$  en  $c=10\%$ , zonder industriegebied.

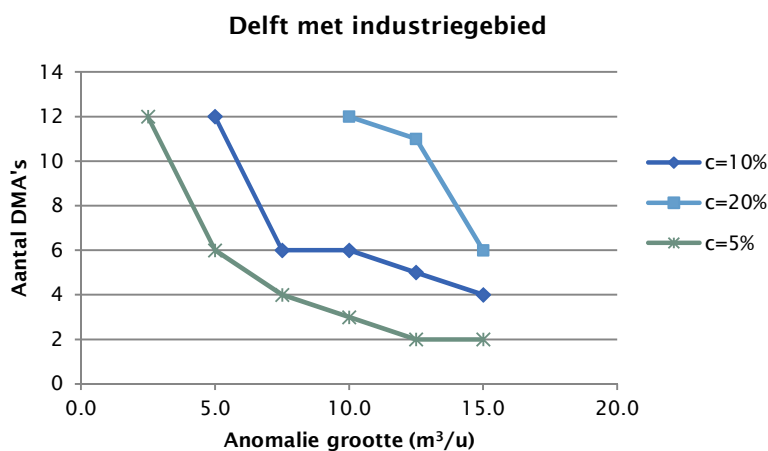


(d) DMA indeling voor Delft voor  $d=7.5 \text{ m}^3/\text{u}$  en  $c=20\%$ , zonder industriegebied.

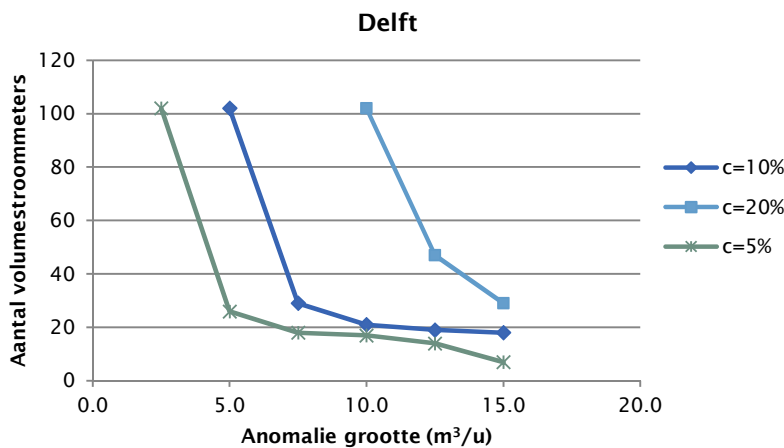
FIGUUR 4. RESULTATEN VAN DE DMA-INDELING VOOR HET LEIDINGNETMODEL DELFT VOOR VERSCHILLENDE DETECTIECOËFFICIËNTEN BIJ EEN ANOMALIEGROOTTE GELIJK AAN  $7.5 \text{ M}^3/\text{U}$ . KNOPEN MET DEZELFDE KLEUR HOREN BIJ DEZELFDE DMA. DE RODE VIERKAND DUIDT HET INDUSTRIEGEBIED AAN DAT ALS ÉÉN DMA WORDT INGEDEELD.

Het valt op dat bij verschillende DMA-indelingen steeds bepaalde (schijnbare) natuurlijke grenzen terugkomen. Zoals verwacht moet om kleinere anomalieën te detecteren een gebied in kleinere (en meer) DMA's worden ingedeeld. Ook bij dezelfde anomaliegrootte maar bij een hogere detectie coëfficiënt wordt een gebied in kleinere DMA's ingedeeld.

De verhouding tussen het aantal DMA's en de gevoeligheid om anomalieën te detecteren voor het model van Delft is verder uitgewerkt in Figuur 5a en Figuur 6a, respectievelijk inclusief en exclusief het industriegebied. De bijbehorende aantallen volumestroommeters zijn geïllustreerd in Figuur 5Error! Reference source not found.b en Figuur 6b. Een toename in de detectiecoëfficiënt verschuift de curves naar boven in termen van het benodigde aantal DMA's. Dit betekent dat bij een hogere detectie coëfficiënt meer DMA's en volumestroommeters nodig zijn om een bepaalde anomaliegrootte te kunnen detecteren.



(a) Aantal DMA's voor verschillende anomalie groottes en detectie coëfficiënten.



(b) Aantal volumestroommeters voor verschillende anomalie groottes en detectie coëfficiënten.

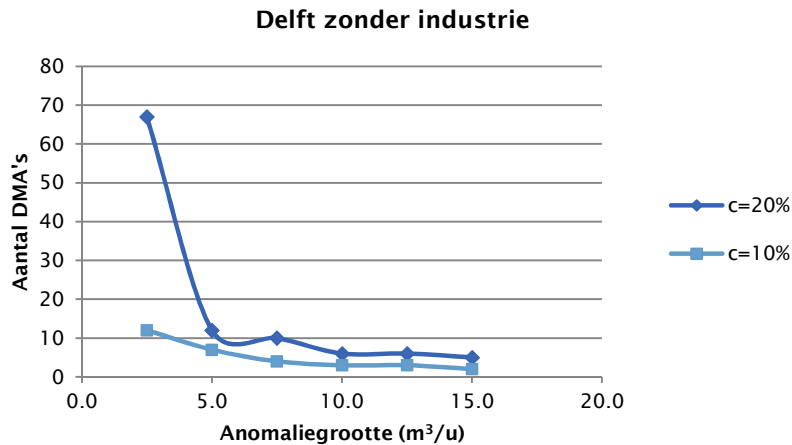
FIGUUR 5. VERHOUDINGEN TUSSEN HET AANTAL DMA'S EN BIJBEHORENDE VOLUMESTROOMMETERS EN DE GEVOELIGHEID OM ANOMALIËN TE DETECTEREN VOOR HET LEIDINGNETMODEL DELFT INCLUSIEF (A) RESPECTIEVELIJK EXCLUSIEF (B) INDUSTRIEGEBIED.

Voor een detectiecoëfficiënt gelijk aan 5% is het aantal benodigde DMA's om een anomalie van 12.5 en 15 m³/u te kunnen detecteren in het gebied Delft gelijk: 2. De bijbehorende aantallen volumestroommeters zijn echter niet gelijk: deze zijn respectievelijk 14 en 7. Dit

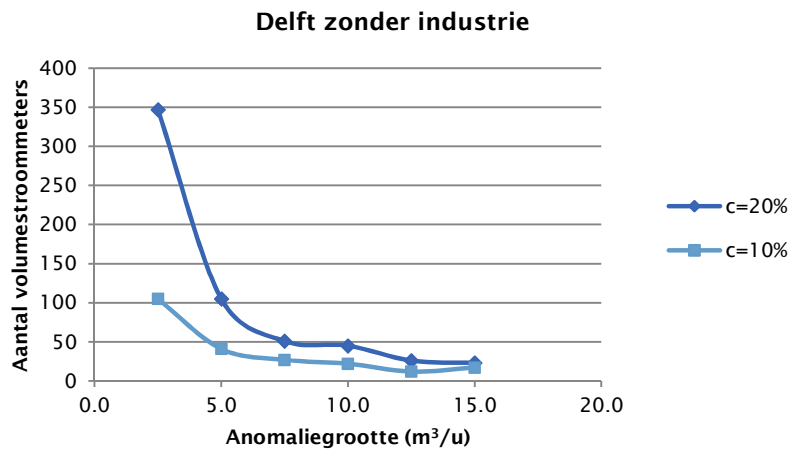


resultaat laat de invloed van de randvoorwaarden goed zien. Bij een anomaliegrootte van  $15 \text{ m}^3/\text{u}$  is er net wat meer ruimte om een voordeligere DMA-indeling te vinden dan bij een anomaliegrootte van  $12.5 \text{ m}^3/\text{u}$ . Een dergelijke situatie geldt voor een detectiecoëfficiënt gelijk aan 10% en anomalieën gelijk aan  $7.5$  en  $10 \text{ m}^3/\text{u}$ .

De verkregen curves bieden drinkwaterbedrijven informatie om onderbouwde beslissingen te nemen over de DMA-grootte en benodigde aantal volumestroommeters dat het beste aansluit op hun verwachtingen omtrent detectie van anomalieën en mate van detail in metingen.



(a) Aantal DMA's voor verschillende anomaliegroottes en detectiecoëfficiënten.



(b) Aantal volumestroommeters voor verschillende anomaliegroottes en detectiecoëfficiënten.<sup>3</sup>

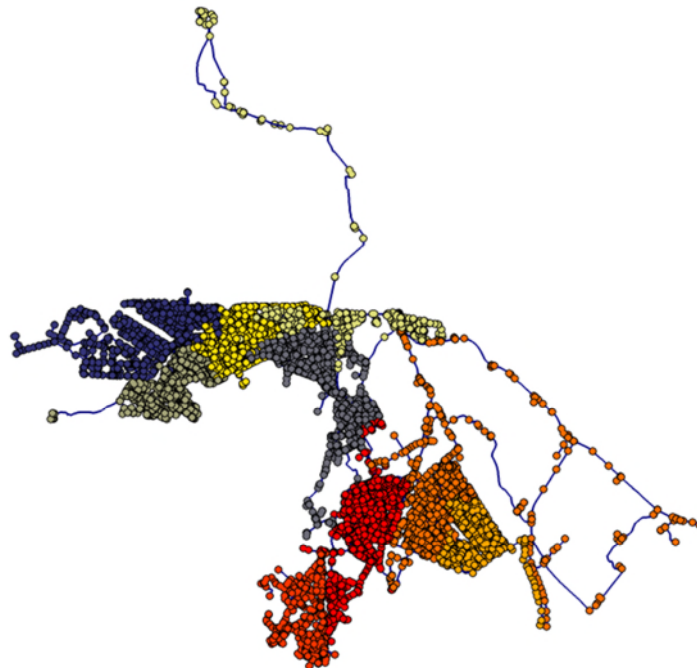
FIGUUR 6. VERHOUDINGEN TUSSEN HET AANTAL DMA'S EN BIJBEHORENDE VOLUMESTROOMMETERS EN DE GEVOELIGHEID OM ANOMALIËN TE DETECTEREN VOOR HET LEIDINGNETMODEL DELFT EXCLUSIEF INDUSTRIEGEBIED.

<sup>3</sup> In Figuur 6b is te zien dat het aantal benodigde volumestroommeters om Delft zonder industrie in te delen in 2 DMA's ( $d=15 \text{ m}^3/\text{u}$  en  $c=10\%$ ) hoger is dan om Delft zonder industrie in te delen in 3 DMA's ( $d=12.5 \text{ m}^3/\text{u}$  en  $c=10\%$ ). Dit heeft te maken met de convergentie van de optimalisatieproblemen: het optimalisatieprobleem voor  $d=15 \text{ m}^3/\text{u}$  en  $c=10\%$  is niet naar een optimale oplossing geconvergeerd en het gerapporteerde resultaat is daarom (nog) niet optimaal. Het verder doorrekenen van het probleem zou tot een beter resultaat leiden.

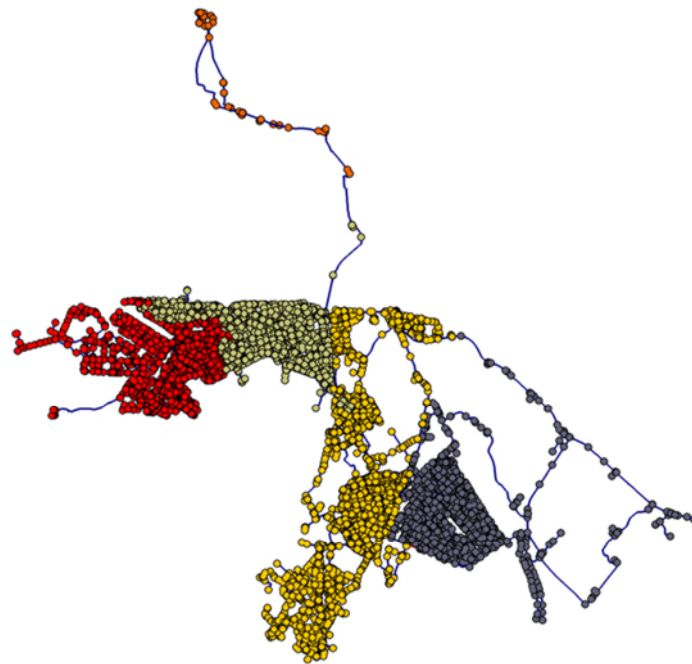
In overleg met Evides is gebleken dat de verkregen resultaten realistisch zijn voor de gebruikte modellen en patronen, en een goede eerste stap zijn in de richting van een goede aansluiting op de behoefte van de praktijk.

#### 5.4.2 Velsen

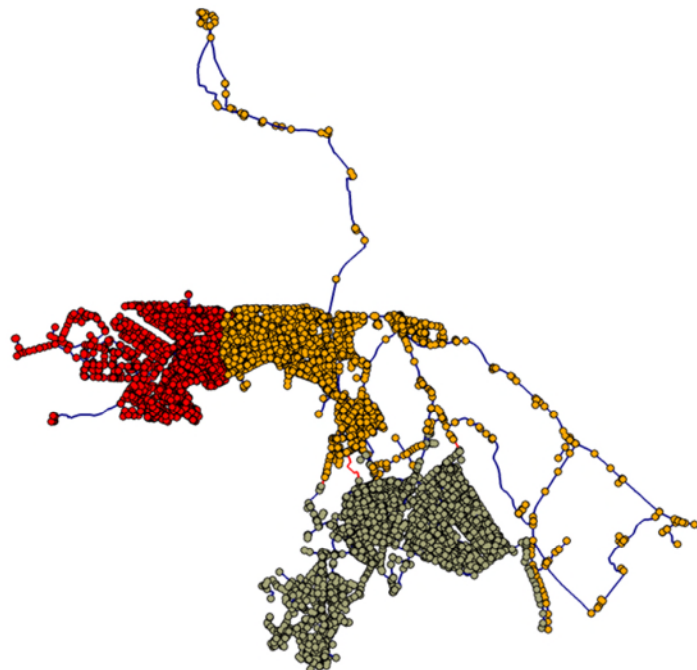
Figuur 7 illustreert enkele resultaten voor het model van Velsen, met name de DMA-indelingen om een anomalie van 2.5, 5 en 7.5, m<sup>3</sup>/u te kunnen detecteren bij detectiecoëfficiënten gelijk aan 10%. Hieruit is te zien dat om een anomalie gelijk aan 2.5 m<sup>3</sup>/u te kunnen detecteren het gebied in 8 DMA's wordt ingedeeld, waarvoor 63 volumestroommeters nodig zijn. Om een anomalie van 5 m<sup>3</sup>/u te detecteren zijn 5 DMA's en 24 volumestroommeters nodig, en om een anomalie van 7.5 m<sup>3</sup>/u te kunnen detecteren zijn 3 DMA's en 12 volumestroommeters voldoende.



(a) DMA indeling voor Velsen voor  $d=2.5$  m<sup>3</sup>/u en  $c=10\%$ : 8 DMA's, 63 volumestroommeters.



(b) DMA indeling voor Velsen voor  $d=5 \text{ m}^3/\text{u}$  en  $c=10\%$ : 5 DMA's en 24 volumestroommeters.



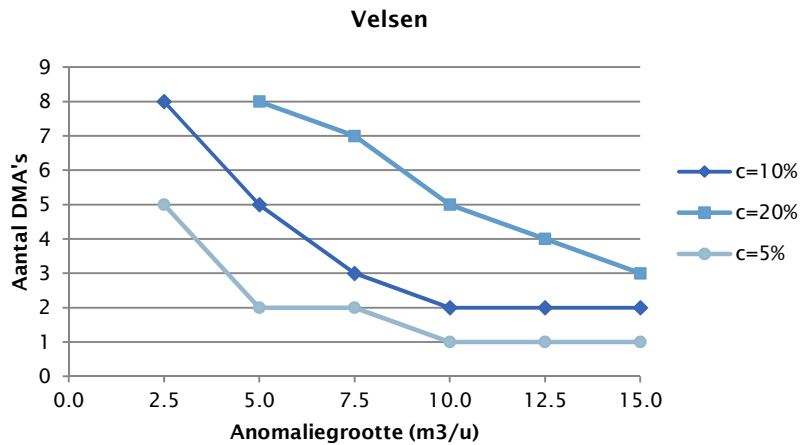
(c) DMA indeling voor Velsen voor  $d=7.5 \text{ m}^3/\text{u}$  en  $c=10\%$ : 3 DMA's en 12 volumestroommeters.

FIGUUR 7. RESULTATEN VAN DE DMA-INDELING VOOR HET LEIDINGNETMODEL VELSEN VOOR VERSCHILLENDE ANOMALIEGROOTTES BIJ EEN DETECTIECOËFFICIËNT GELIJK AAN 10%. KNOPEN MET DEZELFDE KLEUR HOREN BIJ DEZELFDE DMA.

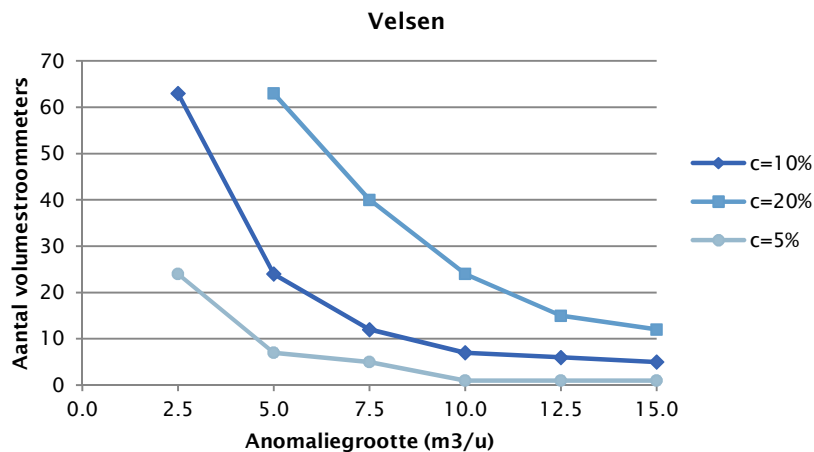
De verhouding tussen het aantal DMA's en de gevoeligheid om anomalieën te detecteren is verder uitgewerkt in Figuur 8a. De bijbehorende aantallen volumestroommeters zijn geïllustreerd in Figuur 8b. Ook in dit geval wordt duidelijk gemaakt dat hoe kleiner de anomalie en hoe groter de detectiecoëfficiënt (dus hoe groter het anomaliesignaal moet zijn ten opzichte van de normale volumestroom om het te kunnen herkennen), hoe kleiner de

DMA's waarin het gebied moet worden ingedeeld. Ook voor Velsen doen zich situaties voor waarin het aantal DMA's gelijk is, maar het aantal benodigde volumestroommeters niet, met name voor anomaliegroottes gelijk aan 10, 12.5 en 15 m<sup>3</sup>/u en detectiecoëfficiënten gelijk aan 5 en 10%.

In overleg met PWN is gebleken dat het aantal benodigde DMA's bij de verschillende anomaliegroottes lager is dan verwacht. Dit heeft waarschijnlijk te maken met het afgevlakte uur-patroon dat in de berekeningen gebruikt is. Om een meer realistische indeling te verkrijgen zouden patronen op minuutbasis moeten worden gebruikt.



(a) Aantal DMA's voor verschillende anomalie groottes en detectie coëfficiënten.



(b) Aantal volumestroommeters voor verschillende anomalie groottes en detectie coëfficiënten.

FIGUUR 8. VERHOUDINGEN TUSSEN (A) HET AANTAL DMA'S EN (B) BIJBEHORENDE VOLUMESTROOMMETERS EN DE GEVOELIGHEID OM ANOMALIËN TE DETECTEREN VOOR HET LEIDINGNETMODEL VELSEN.

## 6 Conclusies en aanbevelingen

### 6.1 Conclusies

Uit dit onderzoek is het volgende gebleken:

- In Nederland is (nog) geen overeenstemming van wat DMA's moeten opleveren. Doelen en randvoorwaarden bij het inrichten van DMA's zijn daarom (nog) niet duidelijk. Hieruit volgt ook dat de bestaande DMA's in Nederland erg verschillend zijn in grootte en er nog geen uniforme aanpak of een best-practices om DMA's in te richten is (zie ook (Vertommen 2017)).
- De ideale omvang van een DMA is afhankelijk van de doelen waarvoor die wordt ingericht en de randvoorwaarden waaraan die moet voldoen. In dit project is gekozen om het onderzoek te richten op de detecteerbaarheid van anomalieën, zoals bv. lekkages.
- DMA's kunnen worden ingericht met behulp van optimalisatietechnieken. In dit onderzoek is een optimalisatieprobleem voor het inrichten van DMA's geïmplementeerd en getest. De benadering kan ook worden toegepast om leveringsgebieden in te delen in balansgebieden.
- Uit de resultaten van de optimalisatie zijn relaties tussen de meetgevoeligheid van DMA's en die hun grootte en bijbehorende aantal volumestroommeters vastgesteld. Bij toepassingen van deze benadering bij drinkwaterbedrijven, waarin ook een geschikte detectiecoëfficiënt  $c$  voor is bepaald, biedt dit een goed handvat om onderbouwde keuzes te maken tussen de DMA-grootte en -indeling die het beste aansluit aan de meetbehoefte en -doelen en de inspanning (in termen van aantal volumestroommeters die moeten worden geïnstalleerd) die daar bij hoort.
- Het in dit onderzoek uitgewerkte optimalisatieprobleem is maar één van talloze denkbare opties. Optimalisatieproblemen kunnen naar wens worden uitgebreid om bedrijfsspecifieke doelen en randvoorwaarden in aanmerking te nemen. Een dergelijke benadering biedt ook de mogelijkheid om verschillende combinaties van doelen en randvoorwaarden uit te testen op een minder arbeidsintensieve manier dan door middel van een handmatige benadering.

### 6.2 Aanbevelingen

Op basis van de uitkomsten van dit onderzoek wordt, implementatiegericht, aanbevolen om:

- de inventarisatie van de bestaande DMA's in Nederland up-to-date te houden, door het DMA-Paspoort regelmatig te laten invullen door de drinkwaterbedrijven;
- het DMA-Paspoort uit te breiden met de volgende aanvullende kenmerken: aantal in- en uitstromen per DMA, aantal volumestroommeters en afsluiters die elke DMA begrenzen, detectienauwkeurigheid en -ondergrens van flowmeters op in- en uitstromen, aanwezigheid drukmeters;
- metingen van de verschillende bestaande DMA's te vergelijken om op een praktische wijze inzicht te krijgen op de invloed van de DMA grootte op de mate van detail van informatie die gemeten kan worden;
- ontwerpgedachten te formaliseren om het inrichten van DMA's te standaardiseren en automatiseren.
- de hier verkregen inzichten toe te passen bij de inrichting van DMA's. Concreet betekent dit het definiëren van gewenste doelen en randvoorwaarden en daarvoor de optimale DMA-indeling te bepalen.

Op basis van de uitkomsten van dit onderzoek wordt, onderzoeksgericht, aanbevolen om:

- aanvullende geografische informatie in aanmerking te nemen in het optimalisatieproces om de optimale en praktisch haalbare locaties voor volumestroommeters te bepalen;
- de meetnauwkeurigheid van volumestroommeters en de kenmerken van de data-analyse (bv. hoe wordt een afwijking gedetecteerd) in aanmerking te nemen om een onderbouwde en geschikte detectie-coëfficiënt te bepalen;
- het optimalisatiealgoritme verder te verbeteren, door onderzoek te doen naar:
  - de beste parameterinstellingen voor optimalisatieproblemen omtrent DMA-indeling;
  - specifieke mutators en crossoverprocessen te implementeren die (nog) sneller convergeren en lokale optima (nog) slimmer kunnen mijden.

# Referentielijst

- Alvisi, S. and M. Franchini (2014a). A Procedure for the Design of District Metered Areas in Water Distribution Systems. 12th International Conference on Computing and Control for the Water Industry (CCWI2013), Perugia, Italy, Procedia Engineering.
- Alvisi, S. and M. Franchini (2014b). "A heuristic procedure for the automatic creation of district metered areas in water distribution systems." Urban Water Journal 11(2): 137-159.
- Deb, K., A. Pratap, et al. (2002). "A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II." IEEE Transactions on Evolutionary Computation 6(2).
- Di Nardo, A., M. Di Natale, et al. (2012). Water Supply Network District Metering: Theory and Case Study. Second University of Naples, Springer.
- Di Nardo, A., M. Di Natale, et al. (2013). A district sectorization for water network protection from intentional contamination. 12th International Conference on Computing and Control for the Water Industry (CCWI2013), Procedia Engineering
- Farley, M. (2001). Leakage management and control: a best practice training manual. W. H. Organization. Geneva, Switzerland.
- Ferrari, G. and D. A. Savic (2015). Economic Performance of DMAs in Water Distribution Systems. Computing and Control for the Water Industry (CCWI2015), Leicester, UK, Elsevier.
- Ferrari, G., D. A. Savic, et al. (2014). "A graph theoretic approach and sound engineering principles for design of district metered areas." Water Resources Planning and Management 140(12).
- Goldberg, D. E. (1989). "Genetic algorithms in search, optimization and machine learning."
- Goldberg, D. E. and C. H. Kuo (1987). "Genetic Algorithms in Pipeline Optimization." Journal of Computing in Civil Engineering 1(2): 128-141.
- Gomes, R., J. Sousa, et al. (2014). Influence of future water demand patterns on the district metered areas design and benefits yielded by pressure management. Computing and Control for the Water Industry (CCWI2013), Perugia (Italy), Procedia Engineering.
- Holland, J. H. (1975). Adaptation in natural and artificial systems, MIT Press, Cambridge, Mass.
- Morrison, J., S. Tooms, et al. (2007). DMA Management Guidance Notes, International Water Association (IWA).
- Savic, D. A. and G. Ferrari (2014). Design and performance of district metering areas in water distribution systems. WDSA 2014, Elsevier Procedia Engineering.
- Savic, D. A. and G. Ferrari (2014). Design and Performance of District Metering Areas in Water Distribution Systems. 16th Water Distribution System Analysis Conference (WDSA2014), Bari (Italy), Urban Water Hydroinformatics and Strategic Planning
- Strategic Alliance for Water Loss Reduction. (2015). "District Metered Areas (DMAs) " Retrieved 02-02-2016, 2016.
- Todini, E. (2000). "Looped water distribution networks design using a resilience index based heuristic approach." Urban Water Journal 2(3): 115-122.
- UK Water Authorities Association (1980). Report 26 Leakage Control Policy & Practice
- van Laarhoven, K., I. Vertommen, et al. (2017). Optimal design of virtual DMA's with Gondwana. LESAM 2017. Trondheim, Norway.
- van Thienen, P. and I. Vertommen (2015). Gondwana: A Generic Optimization Tool for Drinking Water Distribution Systems Design and Operation. Computer Control for Water Industry Conference (CCWI 2015) Sharing the best practice in water management, Leicester, UK, Procedia Engineering.
- Vertommen, I. (2017). Praktijkervaring bij het inrichten van DMA's. KWR 2017.056, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein, The Netherlands.
- Yandamuri, S. R. M., K. Srinivasan, et al. (2006). "Multiobjective Optimal Waste Load Allocation Models for Rivers Using Nondominated Sorting Genetic Algorithm-II." Journal of Water Resources Planning and Management 132(3): 133-143.





# Bijlage I

## DMA-paspoorten

De DMA-Paspoorten zijn door de betreffende drinkwaterbedrijven ingevuld.

1. Breda Doornbos (Brabant Water)
2. Helmond BZOB (Brabant Water)
3. Nieuwerkerk ad IJssel (Dunea)
4. Duindorp (Dunea) *[nog niet operationeel]*
5. Wassenaar (Dunea)
6. Delft (Evides)
7. Rozenburg (Evides)
8. Rdam Noord (Evides)
9. Aldlân (Vitens)
10. Bilgaard I (Vitens)
11. Bilgaard II Mini (Vitens)
12. Camminghaburen (Vitens)
13. Hemrik (Vitens)
14. Westeinde (Vitens)
15. Woubrugge (Oasen)
16. ZtrwdeDrp (Oasen)
17. Leimuiden (Oasen)
18. BdgrvnZuid (Oasen)
19. Reeuwijk (Oasen)
20. GoudaGW (Oasen)
21. RdkBolnes (Oasen)
22. RdkSlkkevr (Oasen)
23. RdrkDnkrs (Oasen)
24. Leiderdorp (Oasen)
25. KrimpenNrd (Oasen)
26. Krmpnmdn (Oasen)
27. Krpmnoost (Oasen)

## 1. Breda Doornbos (Brabant Water)

DMA: Breda Doornbos		
Aansluitingen	Lengte aansluitingen [m]	2930
	Aantal aansluitingen	516
	Aantal verbruiksadressen	516
	Aantal inwoners	
Leidingen	Totale lengte [km]	8.63
	Lengte distributienet [km]	5.7
	Lengte transportnet [km]	0
	Leidinginhoud (totaal) [m3]	46
	Leidinginhoud (distributienet)	44.6
	Leidingoppervlak (totaal) [m2]	1876
	Leidingoppervlak (distributienet) [m2]	1684
Samenstelling materiaal	% PVC	22
	% PE	1
	% GG	-
	% NG	-
	% AC	38
	% ST	-
	% BET	-
	% CU	-
	% PVCBV	39
	% HPE	
	% ZPE	
	% SLA	
	% onbekend	
Verbruik	Facturatie - huishoudelijk	
	Facturatie - kleinzakelijk	
	Facturatie totaal [m3]	
	Verhouding huishoudelijk/kleinzakelijk	93% - 7%
	Individueel gemeten grootverbruikers	
	Totaal jaarverbruik [m3]	73126
	Nachtverbruik [m3/u]	Moet nog bepaald worden
	ILI (afgeleide)	
Instroom/uitstroom (doorlevering)		
Verblijftijd	theoretische verblijftijd (afzet/inhoud)	
	Cumulatieve Frequentie Verdeling (p50, p75, p90)	
Storingsfrequentie (per jaar)		
Klacht dichtheid (per 1000 inwoners)		

## 2. Helmond BZOB (Brabant Water)

DMA: Helmond BZOB		
Aansluitingen	Lengte aansluitingen [m]	2140
	Aantal aansluitingen	54
	Aantal verbruiksadressen	54
	Aantal inwoners	
Leidingen	Totale lengte [km]	12.14
	Lengte distributienet [km]	10
	Lengte transportnet [km]	0
	Leidinginhoud (totaal) [m3]	214
	Leidinginhoud (distributienet)	209
	Leidingoppervlak (totaal) [m2]	5300
	Leidingoppervlak (distributienet) [m2]	5000
Samenstelling materiaal	% PVC	98
	% PE	2
	% GG	-
	% NG	-
	% AC	-
	% ST	-
	% BET	-
	% CU	-
	% PVCBV	-
	% HPE	
	% ZPE	
	% SLA	
	% onbekend	
Verbruik	Facturatie - huishoudelijk	
	Facturatie - kleinzakelijk	
	Facturatie totaal [m3]	
	Verhouding huishoudelijk/kleinzakelijk	9% - 91%
	Individueel gemeten grootverbruikers	
	Totaal jaarverbruik [m3]	384869
	Nachtverbruik [m3/u]	32
	ILI (afgeleide)	
Instroom/uitstroom (doorlevering)		0 m3
Verblijftijd	theoretische verblijftijd (afzet/inhoud)	
	Cumulatieve Frequentie Verdeling (p50, p75, p90)	
Storingsfrequentie (per jaar)		2 storingen uit 2010 geregistreerd in de DMA
Klacht dichtheid (per 1000 inwoners)		

## 3. Nieuwkerk ad IJssel (Dunea)

DMA: Nieuwkerk ad IJssel		
Aansluitingen	Lengte aansluitingen [m]	84327
	Aantal aansluitingen	7163
	Aantal verbruiksadressen	9005
	Aantal inwoners	21750
Leidingen	Totale lengte [km]	95.696
	Lengte distributienet [km]	94.889
	Lengte transportnet [km]	0.807
	Leidinginhoud (totaal) [m3]	1926
	Leidinginhoud (distributienet)	
	Leidingoppervlak (totaal) [m2]	420505
	Leidingoppervlak (distributienet) [m2]	
Samenstelling materiaal	% PVC	80.93
	% PE	14.1
	% GG	0.01
	% NG	3.78
	% AC	0.79
	% ST	0.22
	% BET	0
	% CU	0.18
	% PVCBV	
	% HPE	
	% ZPE	
	% SLA	
	% onbekend	
	Verbruik	Facturatie - huishoudelijk
Facturatie - kleinzakelijk		179186
Facturatie totaal [m3]		
Verhouding huishoudelijk/kleinzakelijk		6.06
Individueel gemeten grootverbruikers		1/1
Totaal jaarverbruik [m3]		
Nachtverbruik [m3/u]		40
ILI (afgeleide)		
Instroom/uitstroom (doorlevering)		
Verblijftijd	theoretische verblijftijd (afzet/inhoud)	14
	Cumulatieve Frequentie Verdeling (p50, p75, p90)	
Storingsfrequentie (per jaar)		
Klacht dichtheid (per 1000 inwoners)		

## 4. Duindorp (Dunea) [nog niet operationeel]

DMA: Duindorp		
Aansluitingen	Lengte aansluitingen [m]	14608
	Aantal aansluitingen	2163
	Aantal verbruiksadressen	2780
	Aantal inwoners	5685
Leidingen	Totale lengte [km]	12.851
	Lengte distributienet [km]	12.851
	Lengte transportnet [km]	0
	Leidinginhoud (totaal) [m3]	140
	Leidinginhoud (distributienet)	
	Leidingoppervlak (totaal) [m2]	42926
	Leidingoppervlak (distributienet) [m2]	
Samenstelling materiaal	% PVC	48.39
	% PE	1.53
	% GG	29.08
	% NG	9.34
	% AC	11.09
	% ST	0
	% BET	0
	% CU	0.57
	% PVCBV	
	% HPE	
	% ZPE	
	% SLA	
	% onbekend	
Verbruik	Facturatie - huishoudelijk	280201
	Facturatie - kleinzakelijk	11413
	Facturatie totaal [m3]	
	Verhouding huishoudelijk/kleinzakelijk	24.55
	Individueel gemeten grootverbruikers	0/0
	Totaal jaarverbruik [m3]	
	Nachtverbruik [m3/u]	
	ILI (afgeleide)	
Instroom/uitstroom (doorlevering)		
Verblijftijd	theoretische verblijftijd (afzet/inhoud)	
	Cumulatieve Frequentie Verdeling (p50, p75, p90)	
Storingsfrequentie (per jaar)		
Klacht dichtheid (per 1000 inwoners)		

## 5. Wassenaar (Dunea)

DMA: Wassenaar		
Aansluitingen	Lengte aansluitingen [m]	115545
	Aantal aansluitingen	10390
	Aantal verbruiksadressen	11415
	Aantal inwoners	25859
Leidingen	Totale lengte [km]	176.705
	Lengte distributienet [km]	170.843
	Lengte transportnet [km]	5.862
	Leidinginhoud (totaal) [m3]	4487
	Leidinginhoud (distributienet)	
	Leidingoppervlak (totaal) [m2]	857550
	Leidingoppervlak (distributienet) [m2]	
Samenstelling materiaal	% PVC	55.3
	% PE	6.32
	% GG	14.41
	% NG	2.17
	% AC	21.6
	% ST	0.11
	% BET	0
	% CU	0.09
	% PVCBV	
	% HPE	
	% ZPE	
	% SLA	
	% onbekend	
Verbruik	Facturatie - huishoudelijk	1402260
	Facturatie - kleinzakelijk	192736
	Facturatie totaal [m3]	
	Verhouding huishoudelijk/kleinzakelijk	7.28
	Individueel gemeten grootverbruikers	0/1
	Totaal jaarverbruik [m3]	
	Nachtverbruik [m3/u]	75
	ILI (afgeleide)	0.45
Instroom/uitstroom (doorlevering)		
Verblijftijd	theoretische verblijftijd (afzet/inhoud)	22
	Cumulatieve Frequentie Verdeling (p50, p75, p90)	
Storingsfrequentie (per jaar)		
Klacht dichtheid (per 1000 inwoners)		

## 6. Delft (Evides)

DMA: Delft		
Aansluitingen	Lengte aansluitingen [m]	
	Aantal aansluitingen	26673
	Aantal verbruiksadressen	51671
	Aantal inwoners	101044
Leidingen	Totale lengte [km]	315.969
	Lengte distributienet [km]	293.851
	Lengte transportnet [km]	22.118
	Leidinginhoud (totaal) [m3]	15155
	Leidinginhoud (distributienet)	
	Leidingoppervlak (totaal) [m2]	176662
	Leidingoppervlak (distributienet) [m2]	
Samenstelling materiaal	% PVC	48
	% PE	8
	% GG	1
	% NG	-
	% AC	36
	% ST	7
	% BET	-
	% CU	
	% PVCBV	
	% HPE	
	% ZPE	
	% SLA	
	% onbekend	
Verbruik	Facturatie - huishoudelijk	3799017
	Facturatie - kleinzakelijk	3941781
	Facturatie totaal [m3]	
	Verhouding huishoudelijk/kleinzakelijk	0.96
	Individueel gemeten grootverbruikers	34
	Totaal jaarverbruik [m3]	
	Nachtverbruik [m3/u]	340
	ILI (afgeleide)	-
Instroom/uitstroom (doorlevering)		geen doorlevering
Verblijftijd	theoretische verblijftijd (afzet/inhoud)	17
	Cumulatieve Frequentie Verdeling (p50, p75, p90)	
Storingsfrequentie (per jaar)		-
Klacht dichtheid (per 1000 inwoners)		-

## 7. Rozenburg (Evides)

DMA: Rozenburg		
Aansluitingen	Lengte aansluitingen [m]	
	Aantal aansluitingen	4301
	Aantal verbruiksadressen	6158
	Aantal inwoners	9640
Leidingen	Totale lengte [km]	48.458
	Lengte distributienet [km]	47.376
	Lengte transportnet [km]	1.082
	Leidinginhoud (totaal) [m3]	888
	Leidinginhoud (distributienet)	
	Leidingoppervlak (totaal) [m2]	20316
	Leidingoppervlak (distributienet) [m2]	
Samenstelling materiaal	% PVC	60
	% PE	3
	% GG	-
	% NG	-
	% AC	32
	% ST	5
	% BET	-
	% CU	
	% PVCBV	
	% HPE	
	% ZPE	
	% SLA	
	% onbekend	
	Verbruik	Facturatie - huishoudelijk
Facturatie - kleinzakelijk		39584
Facturatie totaal [m3]		
Verhouding huishoudelijk/kleinzakelijk		13.05
Individueel gemeten grootverbruikers		0
Totaal jaarverbruik [m3]		
Nachtverbruik [m3/u]		9
ILI (afgeleide)		-
Instroom/uitstroom (doorlevering)		165
Verblijftijd	theoretische verblijftijd (afzet/inhoud)	14
	Cumulatieve Frequentie Verdeling (p50, p75, p90)	
Storingsfrequentie (per jaar)		-
Klacht dichtheid (per 1000 inwoners)		-



## 8. Rdam Noord (Evides)

DMA: Rdam Noord		
Aansluitingen	Lengte aansluitingen [m]	
	Aantal aansluitingen	35073
	Aantal verbruiksadressen	115655
	Aantal inwoners	228690
Leidingen	Totale lengte [km]	459.128
	Lengte distributienet [km]	417.806
	Lengte transportnet [km]	41.322
	Leidinginhoud (totaal) [m3]	46152
	Leidinginhoud (distributienet)	
	Leidingoppervlak (totaal) [m2]	345595
	Leidingoppervlak (distributienet) [m2]	
Samenstelling materiaal	% PVC	74
	% PE	8
	% GG	3
	% NG	-
	% AC	-
	% ST	14
	% BET	1
	% CU	
	% PVCBV	
	% HPE	
	% ZPE	
	% SLA	
	% onbekend	
	Verbruik	Facturatie - huishoudelijk
Facturatie - kleinzakelijk		4134325
Facturatie totaal [m3]		
Verhouding huishoudelijk/kleinzakelijk		2.20
Individueel gemeten grootverbruikers		88
Totaal jaarverbruik [m3]		
Nachtverbruik [m3/u]		560
ILI (afgeleide)		-
Instroom/uitstroom (doorlevering)		1.73
Verblijftijd	theoretische verblijftijd (afzet/inhoud)	31
	Cumulatieve Frequentie Verdeling (p50, p75, p90)	
Storingsfrequentie (per jaar)		-
Klacht dichtheid (per 1000 inwoners)		-

## 9. Aldlân (Vitens)

DMA: Aldlân		
Aansluitingen	Lengte aansluitingen [m]	
	Aantal aansluitingen	1687
	Aantal verbruiksadressen	1665
	Aantal inwoners	
Leidingen	Totale lengte [km]	20
	Lengte distributienet [km]	16
	Lengte transportnet [km]	4
	Leidinginhoud (totaal) [m3]	?
	Leidinginhoud (distributienet)	
	Leidingoppervlak (totaal) [m2]	?
	Leidingoppervlak (distributienet) [m2]	
Samenstelling materiaal	% PVC	71.9
	% PE	4.1
	% GG	0.0
	% NG	0.0
	% AC	21.8
	% ST	0.0
	% BET	0.4
	% CU	0.0
	% PVCBV	
	% HPE	
	% ZPE	
	% SLA	0.00
	% onbekend	
Verbruik	Facturatie - huishoudelijk	
	Facturatie - kleinzakelijk	
	Facturatie totaal [m3]	
	Verhouding huishoudelijk/kleinzakelijk	
	Individueel gemeten grootverbruikers	
	Totaal jaarverbruik [m3]	
	Nachtverbruik [m3/u]	
	ILI (afgeleide)	
Instroom/uitstroom (doorlevering)		
Verblijftijd	theoretische verblijftijd (afzet/inhoud)	
	Cumulatieve Frequentie Verdeling (p50, p75, p90)	
Storingsfrequentie (per jaar)		
Klacht dichtheid (per 1000 inwoners)		

## 10. Bilgaard I (Vitens)

DMA: Bilgaard I		
Aansluitingen	Lengte aansluitingen [m]	
	Aantal aansluitingen	2838
	Aantal verbruiksadressen	2850
	Aantal inwoners	
Leidingen	Totale lengte [km]	20
	Lengte distributienet [km]	19
	Lengte transportnet [km]	0
	Leidinginhoud (totaal) [m3]	?
	Leidinginhoud (distributienet)	
	Leidingoppervlak (totaal) [m2]	?
	Leidingoppervlak (distributienet) [m2]	
Samenstelling materiaal	% PVC	42.7
	% PE	12.5
	% GG	2.3
	% NG	0.0
	% AC	42.3
	% ST	0.0
	% BET	0.0
	% CU	
	% PVCBV	
	% HPE	
	% ZPE	
	% SLA	
% onbekend		
Verbruik	Facturatie - huishoudelijk	
	Facturatie - kleinzakelijk	
	Facturatie totaal [m3]	
	Verhouding huishoudelijk/kleinzakelijk	
	Individueel gemeten grootverbruikers	
	Totaal jaarverbruik [m3]	
	Nachtverbruik [m3/u]	
	ILI (afgeleide)	
Instroom/uitstroom (doorlevering)		
Verblijftijd	theoretische verblijftijd (afzet/inhoud)	
	Cumulatieve Frequentie Verdeling (p50, p75, p90)	
Storingsfrequentie (per jaar)		
Klacht dichtheid (per 1000 inwoners)		

## 1.1. Bilgaard II Mini (Vitens)

DMA: Bilgaard II Mini		
Aansluitingen	Lengte aansluitingen [m]	
	Aantal aansluitingen	240
	Aantal verbruiksadressen	224
	Aantal inwoners	
Leidingen	Totale lengte [km]	3
	Lengte distributienet [km]	3
	Lengte transportnet [km]	0
	Leidinginhoud (totaal) [m3]	?
	Leidinginhoud (distributienet)	
	Leidingoppervlak (totaal) [m2]	?
	Leidingoppervlak (distributienet) [m2]	
Samenstelling materiaal	% PVC	78.9
	% PE	7.0
	% GG	0.0
	% NG	0.0
	% AC	5.3
	% ST	0.0
	% BET	0.0
	% CU	1.8
	% PVCBV	
	% HPE	
	% ZPE	
	% SLA	3.51
	% onbekend	
Verbruik	Facturatie - huishoudelijk	
	Facturatie - kleinzakelijk	
	Facturatie totaal [m3]	
	Verhouding huishoudelijk/kleinzakelijk	
	Individueel gemeten grootverbruikers	
	Totaal jaarverbruik [m3]	
	Nachtverbruik [m3/u]	
	ILI (afgeleide)	
Instroom/uitstroom (doorlevering)		
Verblijftijd	theoretische verblijftijd (afzet/inhoud)	
	Cumulatieve Frequentie Verdeling (p50, p75, p90)	
Storingsfrequentie (per jaar)		
Klacht dichtheid (per 1000 inwoners)		

## 12. Camminghaburen (Vitens)

DMA: Camminghaburen		
Aansluitingen	Lengte aansluitingen [m]	
	Aantal aansluitingen	4820
	Aantal verbruiksadressen	4788
	Aantal inwoners	
Leidingen	Totale lengte [km]	53
	Lengte distributienet [km]	48
	Lengte transportnet [km]	5
	Leidinginhoud (totaal) [m3]	?
	Leidinginhoud (distributienet)	
	Leidingoppervlak (totaal) [m2]	?
	Leidingoppervlak (distributienet) [m2]	
Samenstelling materiaal	% PVC	94.7
	% PE	1.5
	% GG	0
	% NG	0
	% AC	0
	% ST	0
	% BET	0
	% CU	0
	% PVCBV	
	% HPE	
	% ZPE	
	% SLA	0
	% onbekend	
Verbruik	Facturatie - huishoudelijk	
	Facturatie - kleinzakelijk	
	Facturatie totaal [m3]	
	Verhouding huishoudelijk/kleinzakelijk	
	Individueel gemeten grootverbruikers	
	Totaal jaarverbruik [m3]	
	Nachtverbruik [m3/u]	
	ILI (afgeleide)	
Instroom/uitstroom (doorlevering)		
Verblijftijd	theoretische verblijftijd (afzet/inhoud)	
	Cumulatieve Frequentie Verdeling (p50, p75, p90)	
Storingsfrequentie (per jaar)		
Klacht dichtheid (per 1000 inwoners)		

## 13. Hemrik (Vitens)

DMA: Hemrik		
Aansluitingen	Lengte aansluitingen [m]	
	Aantal aansluitingen	483
	Aantal verbruiksadressen	506
	Aantal inwoners	
Leidingen	Totale lengte [km]	18
	Lengte distributienet [km]	16
	Lengte transportnet [km]	2
	Leidinginhoud (totaal) [m3]	?
	Leidinginhoud (distributienet)	
	Leidingoppervlak (totaal) [m2]	?
	Leidingoppervlak (distributienet) [m2]	
Samenstelling materiaal	% PVC	86.0
	% PE	12.3
	% GG	0
	% NG	0
	% AC	0
	% ST	0
	% BET	0.3
	% CU	0
	% PVCBV	
	% HPE	
	% ZPE	
	% SLA	0.33
	% onbekend	
Verbruik	Facturatie - huishoudelijk	
	Facturatie - kleinzakelijk	
	Facturatie totaal [m3]	
	Verhouding huishoudelijk/kleinzakelijk	
	Individueel gemeten grootverbruikers	
	Totaal jaarverbruik [m3]	
	Nachtverbruik [m3/u]	
	ILI (afgeleide)	
Instroom/uitstroom (doorlevering)		
Verblijftijd	theoretische verblijftijd (afzet/inhoud)	
	Cumulatieve Frequentie Verdeling (p50, p75, p90)	
Storingsfrequentie (per jaar)		
Klacht dichtheid (per 1000 inwoners)		

## 14. Westeinde (Vitens)

DMA: Westeinde		
Aansluitingen	Lengte aansluitingen [m]	
	Aantal aansluitingen	1569
	Aantal verbruiksadressen	1532
	Aantal inwoners	
Leidingen	Totale lengte [km]	17
	Lengte distributienet [km]	14
	Lengte transportnet [km]	3
	Leidinginhoud (totaal) [m3]	?
	Leidinginhoud (distributienet)	
	Leidingoppervlak (totaal) [m2]	?
	Leidingoppervlak (distributienet) [m2]	
Samenstelling materiaal	% PVC	69.1
	% PE	2.5
	% GG	0.3
	% NG	0
	% AC	25.4
	% ST	0
	% BET	0.3
	% CU	0.3
	% PVCBV	
	% HPE	
	% ZPE	
	% SLA	0
	% onbekend	
Verbruik	Facturatie - huishoudelijk	
	Facturatie - kleinzakelijk	
	Facturatie totaal [m3]	
	Verhouding huishoudelijk/kleinzakelijk	
	Individueel gemeten grootverbruikers	
	Totaal jaarverbruik [m3]	
	Nachtverbruik [m3/u]	
	ILI (afgeleide)	
Instroom/uitstroom (doorlevering)		
Verblijftijd	theoretische verblijftijd (afzet/inhoud)	
	Cumulatieve Frequentie Verdeling (p50, p75, p90)	
Storingsfrequentie (per jaar)		
Klacht dichtheid (per 1000 inwoners)		

## 15. Woubrugge (Oasen)

DMA: Woubrugge		
Aansluitingen	Lengte aansluitingen [m]	
	Aantal aansluitingen	
	Aantal verbruiksadressen	1474
	Aantal inwoners (obv CBS)	3500
Leidingen	Totale lengte [km]	26.59
	Lengte distributienet [km]	25.3402
	Lengte transportnet [km]	0.2674
	Leidinginhoud (totaal) [m3]	271
	Leidinginhoud (distributienet)	
	Leidingoppervlak (totaal) [m2]	
	Leidingoppervlak (distributienet) [m2]	
Samenstelling materiaal	% PVC	36.3
	% PE	
	% GG	6.02
	% NG	0
	% AC	8.00
	% ST	1.04
	% BET	
	% CU	
	% PVCBV	
	% HPE	33.73
	% ZPE	14.85
	% SLA	
	% onbekend	0.01
Verbruik	Facturatie - huishoudelijk [2013,Qn 1,5 meters,[m3]]	175274.95
	Facturatie - kleinzakelijk	22784.84
	Facturatie totaal [m3]	198059.78
	Verhouding huishoudelijk/kleinzakelijk	7.69
	Individueel gemeten grootverbruikers	
	Totaal jaarverbruik [m3]	
	Nachtverbruik [m3/u]	5
	ILI (afgeleide)	
Instroom/uitstroom (doorlevering)		
Verblijftijd	theoretische verblijftijd (afzet/inhoud)	
	Cumulatieve Frequentie Verdeling (p50, p75, p90)	
Storingsfrequentie (per jaar)		
Klacht dichtheid (per 1000 inwoners)		



## 16. ZtrwdeDrp (Oasen)

DMA: ZtrwdeDrp		
Aansluitingen	Lengte aansluitingen [m]	
	Aantal aansluitingen	
	Aantal verbruiksadressen	2261
	Aantal inwoners (obv CBS)	5470
Leidingen	Totale lengte [km]	40.39
	Lengte distributienet [km]	35.25614
	Lengte transportnet [km]	2.0904
	Leidinginhoud (totaal) [m3]	494
	Leidinginhoud (distributienet)	
	Leidingoppervlak (totaal) [m2]	
	Leidingoppervlak (distributienet) [m2]	
Samenstelling materiaal	% PVC	59.00
	% PE	
	% GG	2.52
	% NG	0
	% AC	2.60
	% ST	1.18
	% BET	
	% CU	
	% PVCBV	
	% HPE	29.56
	% ZPE	5.14
	% SLA	
	% onbekend	0
Verbruik	Facturatie - huishoudelijk [2013,Qn 1,5 meters,[m3]]	257168.03
	Facturatie - kleinzakelijk	70539.28
	Facturatie totaal [m3]	327707.31
	Verhouding huishoudelijk/kleinzakelijk	3.65
	Individueel gemeten grootverbruikers	
	Totaal jaarverbruik [m3]	
	Nachtverbruik [m3/u]	7
	ILI (afgeleide)	
Instroom/uitstroom (doorlevering)		
Verblijftijd	theoretische verblijftijd (afzet/inhoud)	
	Cumulatieve Frequentie Verdeling (p50, p75, p90)	
Storingsfrequentie (per jaar)		
Klacht dichtheid (per 1000 inwoners)		

## 17. Leimuïden (Oasen)

DMA: Leimuïden		
Aansluitingen	Lengte aansluitingen [m]	
	Aantal aansluitingen	
	Aantal verbruiksadressen	1892
	Aantal inwoners (obv CBS)	4080
Leidingen	Totale lengte [km]	26.72
	Lengte distributienet [km]	25.8855
	Lengte transportnet [km]	0.619
	Leidinginhoud (totaal) [m3]	280
	Leidinginhoud (distributienet)	
	Leidingoppervlak (totaal) [m2]	
	Leidingoppervlak (distributienet) [m2]	
Samenstelling materiaal	% PVC	52.50
	% PE	
	% GG	0
	% NG	0
	% AC	5.52
	% ST	1.67
	% BET	
	% CU	
	% PVCBV	
	% HPE	33.12
	% ZPE	7.19
	% SLA	
	% onbekend	0
Verbruik	Facturatie - huishoudelijk [2013,Qn 1,5 meters,[m3]]	208972.99
	Facturatie - kleinzakelijk	16837.42
	Facturatie totaal [m3]	225810.42
	Verhouding huishoudelijk/kleinzakelijk	12.41
	Individueel gemeten grootverbruikers	
	Totaal jaarverbruik [m3]	
	Nachtverbruik [m3/u]	4.5
	ILI (afgeleide)	
Instroom/uitstroom (doorlevering)		
Verblijftijd	theoretische verblijftijd (afzet/inhoud)	
	Cumulatieve Frequentie Verdeling (p50, p75, p90)	
Storingsfrequentie (per jaar)		
Klacht dichtheid (per 1000 inwoners)		

## 18. BdgrvnZuid (Oasen)

DMA: BdgrvnZuid		
Aansluitingen	Lengte aansluitingen [m]	
	Aantal aansluitingen	
	Aantal verbruiksadressen	3583
	Aantal inwoners (obv CBS)	9145
Leidingen	Totale lengte [km]	55.54
	Lengte distributienet [km]	50.03144
	Lengte transportnet [km]	4.01332
	Leidinginhoud (totaal) [m3]	826
	Leidinginhoud (distributienet)	
	Leidingoppervlak (totaal) [m2]	
	Leidingoppervlak (distributienet) [m2]	
Samenstelling materiaal	% PVC	69.48
	% PE	
	% GG	0
	% NG	0
	% AC	3.41
	% ST	0
	% BET	
	% CU	
	% PVCBV	
	% HPE	23.04
	% ZPE	4.01
	% SLA	
	% onbekend	0.06
Verbruik	Facturatie - huishoudelijk [2013,Qn 1,5 meters,[m3]]	442959.84
	Facturatie - kleinzakelijk	750053.60
	Facturatie totaal [m3]	1193013.43
	Verhouding huishoudelijk/kleinzakelijk	0.59
	Individueel gemeten grootverbruikers	1 klant
	Totaal jaarverbruik [m3]	
	Nachtverbruik [m3/u]	geen goede meting
	ILI (afgeleide)	
Instroom/uitstroom (doorlevering)		
Verblijftijd	theoretische verblijftijd (afzet/inhoud)	
	Cumulatieve Frequentie Verdeling (p50, p75, p90)	
Storingsfrequentie (per jaar)		
Klacht dichtheid (per 1000 inwoners)		

## 19. Reeuwijk (Oasen)

DMA: Reeuwijk		
Aansluitingen	Lengte aansluitingen [m]	
	Aantal aansluitingen	
	Aantal verbruiksadressen	2480
	Aantal inwoners (obv CBS)	5150
Leidingen	Totale lengte [km]	45.72
	Lengte distributienet [km]	44.88292
	Lengte transportnet [km]	
	Leidinginhoud (totaal) [m3]	358
	Leidinginhoud (distributienet)	
	Leidingoppervlak (totaal) [m2]	
	Leidingoppervlak (distributienet) [m2]	
Samenstelling materiaal	% PVC	34.81
	% PE	
	% GG	0
	% NG	0
	% AC	8.78
	% ST	2.48
	% BET	
	% CU	
	% PVCBV	
	% HPE	52.07
	% ZPE	1.86
	% SLA	
	% onbekend	0
Verbruik	Facturatie - huishoudelijk [2013,Qn 1,5 meters,[m3]]	270794.39
	Facturatie - kleinzakelijk	18431.74
	Facturatie totaal [m3]	289226.13
	Verhouding huishoudelijk/kleinzakelijk	14.69
	Individueel gemeten grootverbruikers	
	Totaal jaarverbruik [m3]	
	Nachtverbruik [m3/u]	7.5
	ILI (afgeleide)	
Instroom/uitstroom (doorlevering)		
Verblijftijd	theoretische verblijftijd (afzet/inhoud)	
	Cumulatieve Frequentie Verdeling (p50, p75, p90)	
Storingsfrequentie (per jaar)		
Klacht dichtheid (per 1000 inwoners)		

## 20. GoudaGW (Oasen)

DMA: GoudaGW		
Aansluitingen	Lengte aansluitingen [m]	
	Aantal aansluitingen	
	Aantal verbruiksadressen	3681
	Aantal inwoners (obv CBS)	9645
Leidingen	Totale lengte [km]	27.07
	Lengte distributienet [km]	24.114
	Lengte transportnet [km]	2.772
	Leidinginhoud (totaal) [m3]	527
	Leidinginhoud (distributienet)	
	Leidingoppervlak (totaal) [m2]	
	Leidingoppervlak (distributienet) [m2]	
Samenstelling materiaal	% PVC	49.70
	% PE	
	% GG	0.37
	% NG	0
	% AC	0
	% ST	1.55
	% BET	
	% CU	
	% PVCBV	
	% HPE	48.37
	% ZPE	0
	% SLA	
	% onbekend	0.01
Verbruik	Facturatie - huishoudelijk [2013,Qn 1,5 meters,[m3]]	432188.43
	Facturatie - kleinzakelijk	14379.38
	Facturatie totaal [m3]	446567.81
	Verhouding huishoudelijk/kleinzakelijk	30.06
	Individueel gemeten grootverbruikers	
	Totaal jaarverbruik [m3]	
	Nachtverbruik [m3/u]	6.2
	ILI (afgeleide)	
Instroom/uitstroom (doorlevering)		
Verblijftijd	theoretische verblijftijd (afzet/inhoud)	
	Cumulatieve Frequentie Verdeling (p50, p75, p90)	
Storingsfrequentie (per jaar)		
Klacht dichtheid (per 1000 inwoners)		

## 21. RdkBolnes (Oasen)

DMA: RdkBolnes		
Aansluitingen	Lengte aansluitingen [m]	
	Aantal aansluitingen	
	Aantal verbruiksadressen	3763
	Aantal inwoners (obv CBS)	7590
Leidingen	Totale lengte [km]	27.80
	Lengte distributienet [km]	25.10741
	Lengte transportnet [km]	0.1548
	Leidinginhoud (totaal) [m3]	280
	Leidinginhoud (distributienet)	
	Leidingoppervlak (totaal) [m2]	
	Leidingoppervlak (distributienet) [m2]	
Samenstelling materiaal	% PVC	76.89
	% PE	
	% GG	0
	% NG	0
	% AC	2.76
	% ST	0.54
	% BET	
	% CU	
	% PVCBV	
	% HPE	19.33
	% ZPE	0.44
	% SLA	
	% onbekend	0.04
Verbruik	Facturatie - huishoudelijk [2013,Qn 1,5 meters,[m3]]	345650.84
	Facturatie - kleinzakelijk	10189.46
	Facturatie totaal [m3]	355840.30
	Verhouding huishoudelijk/kleinzakelijk	33.92
	Individueel gemeten grootverbruikers	
	Totaal jaarverbruik [m3]	
	Nachtverbruik [m3/u]	5.5
	ILI (afgeleide)	
Instroom/uitstroom (doorlevering)		
Verblijftijd	theoretische verblijftijd (afzet/inhoud)	
	Cumulatieve Frequentie Verdeling (p50, p75, p90)	
Storingsfrequentie (per jaar)		
Klacht dichtheid (per 1000 inwoners)		

## 22. RdkSlkkevr (Oasen)

DMA: RdkSlkkevr		
Aansluitingen	Lengte aansluitingen [m]	
	Aantal aansluitingen	
	Aantal verbruiksadressen	4057
	Aantal inwoners (obv CBS)	8775
Leidingen	Totale lengte [km]	33.14
	Lengte distributienet [km]	31.0663
	Lengte transportnet [km]	
	Leidinginhoud (totaal) [m3]	358
	Leidinginhoud (distributienet)	
	Leidingoppervlak (totaal) [m2]	
	Leidingoppervlak (distributienet) [m2]	
Samenstelling materiaal	% PVC	62.44
	% PE	
	% GG	0.81
	% NG	0
	% AC	25.81
	% ST	0.37
	% BET	
	% CU	
	% PVCBV	
	% HPE	10.37
	% ZPE	0.16
	% SLA	
	% onbekend	0.03
Verbruik	Facturatie - huishoudelijk [2013,Qn 1,5 meters,[m3]]	406775.52
	Facturatie - kleinzakelijk	9515.51
	Facturatie totaal [m3]	416291.02
	Verhouding huishoudelijk/kleinzakelijk	42.75
	Individueel gemeten grootverbruikers	
	Totaal jaarverbruik [m3]	
	Nachtverbruik [m3/u]	10
	ILI (afgeleide)	
Instroom/uitstroom (doorlevering)		
Verblijftijd	theoretische verblijftijd (afzet/inhoud)	
	Cumulatieve Frequentie Verdeling (p50, p75, p90)	
Storingsfrequentie (per jaar)		
Klacht dichtheid (per 1000 inwoners)		

## 23. RdrkDnkr (Oasen)

DMA: RdrkDnkr		
Aansluitingen	Lengte aansluitingen [m]	
	Aantal aansluitingen	
	Aantal verbruiksadressen	320
	Aantal inwoners (obv CBS)	100
Leidingen	Totale lengte [km]	11.32
	Lengte distributienet [km]	10.6369
	Lengte transportnet [km]	0.4549
	Leidinginhoud (totaal) [m3]	158
	Leidinginhoud (distributienet)	
	Leidingoppervlak (totaal) [m2]	
	Leidingoppervlak (distributienet) [m2]	
Samenstelling materiaal	% PVC	91.86
	% PE	
	% GG	0
	% NG	0
	% AC	0
	% ST	0
	% BET	
	% CU	
	% PVCBV	
	% HPE	7.98
	% ZPE	0.04
	% SLA	
	% onbekend	0.12
Verbruik	Facturatie - huishoudelijk [2013,Qn 1,5 meters,[m3]]	21984.42
	Facturatie - kleinzakelijk	59423.31
	Facturatie totaal [m3]	81407.73
	Verhouding huishoudelijk/kleinzakelijk	0.37
	Individueel gemeten grootverbruikers	
	Totaal jaarverbruik [m3]	
	Nachtverbruik [m3/u]	6
	ILI (afgeleide)	
Instroom/uitstroom (doorlevering)		
Verblijftijd	theoretische verblijftijd (afzet/inhoud)	
	Cumulatieve Frequentie Verdeling (p50, p75, p90)	
Storingsfrequentie (per jaar)		
Klacht dichtheid (per 1000 inwoners)		



## 24. Leiderdorp (Oasen)

DMA: Leiderdorp		
Aansluitingen	Lengte aansluitingen [m]	
	Aantal aansluitingen	
	Aantal verbruiksadressen	10598
	Aantal inwoners (obv CBS)	25490
Leidingen	Totale lengte [km]	87.91
	Lengte distributienet [km]	82.33012
	Lengte transportnet [km]	2.65943
	Leidinginhoud (totaal) [m3]	1111
	Leidinginhoud (distributienet)	
	Leidingoppervlak (totaal) [m2]	
	Leidingoppervlak (distributienet) [m2]	
Samenstelling materiaal	% PVC	69.73
	% PE	
	% GG	2.93
	% NG	0
	% AC	0.91
	% ST	0.09
	% BET	
	% CU	
	% PVCBV	
	% HPE	20.17
	% ZPE	6.17
	% SLA	
	% onbekend	0
Verbruik	Facturatie - huishoudelijk [2013,Qn 1,5 meters,[m3]]	1031854.39
	Facturatie - kleinzakelijk	144352.39
	Facturatie totaal [m3]	1176206.78
	Verhouding huishoudelijk/kleinzakelijk	7.15
	Individueel gemeten grootverbruikers	
	Totaal jaarverbruik [m3]	
	Nachtverbruik [m3/u]	24
	ILI (afgeleide)	
Instroom/uitstroom (doorlevering)		
Verblijftijd	theoretische verblijftijd (afzet/inhoud)	
	Cumulatieve Frequentie Verdeling (p50, p75, p90)	
Storingsfrequentie (per jaar)		
Klacht dichtheid (per 1000 inwoners)		

## 25. KrimpenNrd (Oasen)

DMA: KrimpenNrd		
Aansluitingen	Lengte aansluitingen [m]	
	Aantal aansluitingen	
	Aantal verbruiksadressen	6236
	Aantal inwoners (obv CBS)	13420
Leidingen	Totale lengte [km]	65.83
	Lengte distributienet [km]	62.68693
	Lengte transportnet [km]	1.5731
	Leidinginhoud (totaal) [m3]	808
	Leidinginhoud (distributienet)	
	Leidingoppervlak (totaal) [m2]	
	Leidingoppervlak (distributienet) [m2]	
Samenstelling materiaal	% PVC	67.24
	% PE	
	% GG	2.80
	% NG	0.66
	% AC	4.52
	% ST	0.02
	% BET	
	% CU	
	% PVCBV	
	% HPE	24.72
	% ZPE	0.04
	% SLA	
	% onbekend	0
Verbruik	Facturatie - huishoudelijk [2013,Qn 1,5 meters,[m3]]	645601.48
	Facturatie - kleinzakelijk	92720.93
	Facturatie totaal [m3]	738322.41
	Verhouding huishoudelijk/kleinzakelijk	6.96
	Individueel gemeten grootverbruikers	
	Totaal jaarverbruik [m3]	
	Nachtverbruik [m3/u]	17
	ILI (afgeleide)	
Instroom/uitstroom (doorlevering)		
Verblijftijd	theoretische verblijftijd (afzet/inhoud)	
	Cumulatieve Frequentie Verdeling (p50, p75, p90)	
Storingsfrequentie (per jaar)		
Klacht dichtheid (per 1000 inwoners)		

## 26. Krmpnmddn (Oasen)

DMA: Krmpnmddn		
Aansluitingen	Lengte aansluitingen [m]	
	Aantal aansluitingen	
	Aantal verbruiksadressen	3173
	Aantal inwoners (obv CBS)	7670
Leidingen	Totale lengte [km]	25.68
	Lengte distributienet [km]	25.42998
	Lengte transportnet [km]	
	Leidinginhoud (totaal) [m3]	201
	Leidinginhoud (distributienet)	
	Leidingoppervlak (totaal) [m2]	
	Leidingoppervlak (distributienet) [m2]	
Samenstelling materiaal	% PVC	63.11
	% PE	
	% GG	0.01
	% NG	0
	% AC	0
	% ST	0
	% BET	
	% CU	
	% PVCBV	
	% HPE	36.57
	% ZPE	0.31
	% SLA	
	% onbekend	0
Verbruik	Facturatie - huishoudelijk [2013,Qn 1,5 meters,[m3]]	332550.68
	Facturatie - kleinzakelijk	18729.10
	Facturatie totaal [m3]	351279.78
	Verhouding huishoudelijk/kleinzakelijk	17.76
	Individueel gemeten grootverbruikers	
	Totaal jaarverbruik [m3]	
	Nachtverbruik [m3/u]	6.8
	ILI (afgeleide)	
Instroom/uitstroom (doorlevering)		
Verblijftijd	theoretische verblijftijd (afzet/inhoud)	
	Cumulatieve Frequentie Verdeling (p50, p75, p90)	
Storingsfrequentie (per jaar)		
Klacht dichtheid (per 1000 inwoners)		

## 27. Krpmnoost (Oasen)

DMA: Krpmnoost		
Aansluitingen	Lengte aansluitingen [m]	
	Aantal aansluitingen	
	Aantal verbruiksadressen	3441
	Aantal inwoners (obv CBS)	7675
Leidingen	Totale lengte [km]	28.17
	Lengte distributienet [km]	25.7067
	Lengte transportnet [km]	1.43664
	Leidinginhoud (totaal) [m3]	381
	Leidinginhoud (distributienet)	
	Leidingoppervlak (totaal) [m2]	
	Leidingoppervlak (distributienet) [m2]	
Samenstelling materiaal	% PVC	72.65
	% PE	
	% GG	0
	% NG	0
	% AC	0
	% ST	0
	% BET	
	% CU	
	% PVCBV	
	% HPE	27.34
	% ZPE	0.01
	% SLA	
	% onbekend	0
Verbruik	Facturatie - huishoudelijk [2013,Qn 1,5 meters,[m3]]	365628.31
	Facturatie - kleinzakelijk	7537.19
	Facturatie totaal [m3]	373165.50
	Verhouding huishoudelijk/kleinzakelijk	48.51
	Individueel gemeten grootverbruikers	
	Totaal jaarverbruik [m3]	
	Nachtverbruik [m3/u]	13.6
	ILI (afgeleide)	
Instroom/uitstroom (doorlevering)		
Verblijftijd	theoretische verblijftijd (afzet/inhoud)	
	Cumulatieve Frequentie Verdeling (p50, p75, p90)	
Storingsfrequentie (per jaar)		
Klacht dichtheid (per 1000 inwoners)		

## Bijlage II

### Basic notions on genetic algorithms

GAs were first proposed by Holland (1975), and then further developed by Goldberg (1989) and others in the following years. The first application to optimization of a water distribution pipeline is reported in the paper of Goldberg and Kuo (1987).

The idea behind GAs is based on evolution mechanisms observed in nature, i.e., a GA mimics the natural evolution of populations. This is, a higher fitness of an individual with respect to its environment results in a higher likelihood of that individual transferring the genes responsible for this fitness to the next generation. In terms of an optimization problem each individual (also referred to as chromosome) is a possible solution to the problem, and is represented by a vector containing a set of genes:

$$\text{individual} = \{\text{gene}_1 \text{ gene}_2 \text{ gene}_3 \dots \text{gene}_x\}$$

---

As an example consider the design of a distribution network. The solution to this problem is assigning one diameter to each pipe. The diameter assigned to each pipe is a gene, and the vector containing the diameters assigned to all pipes is an individual.

---

#### Classic genetic algorithm

A classic GA, used for single-objective and implicit multi-objective optimization problems starts with an initial population of individuals and from this point on it is basically an iterative process with each iteration consisting of two steps: evaluation and generation. This iterative process goes on until a given stop criteria is met. At that point, the best individual from the final population is chosen as the solution to the problem. The entire procedure can briefly be described as follows:

1. **Initial population**

The algorithm starts with an initial population formed by a group of feasible randomly generated individuals. The size of the population is determined by the user.

2. **Evaluation**

The performance of each individual of this population as a solution to the problem is determined through an evaluation function, which is problem dependent.

---

As an example consider the same design problem. If the objective is to minimize pipe costs, then the performance of each individual, or vector with diameters, is the summed cost associated with those diameters for their respective lengths in the network.

---

### 3. Generation

The generation step includes selection and recombination of individuals and produces a new population of individuals (offspring). For the creation of new individuals the following genetic operators are used:

- 3.1. **Selection:** selection is the process used to select individuals for reproduction to create the next generation. It is a resource that guides the search towards better individuals. A fitness function<sup>4</sup> is used to determine how many offspring that individual can produce. In this way, high-fitness individuals are more likely to produce offspring and to propagate their genes to the next generation. There are different selectors available. In Gondwana the following selectors can be chosen by the user:
  - **Rank:** this selector ranks individuals by their evaluation value and assigns a fitness dependent on the position of each individual in the rank list. Selection by rank introduces a uniform scaling over the population and is simple and straightforward method for controlling selective pressure;
  - **Truncation:** this selector sorts individuals according to their evaluation value and then selects a percentage of individuals that are allowed to produce offspring, based on a truncation threshold. The selected individuals produce uniform and at random offspring. The truncation threshold is a parameter defined by the user;
  - **Tournament:** this selector chooses a number of individuals to compete in a tournament. Individuals compete two-by-two, and the one with the highest fitness wins and is chosen to produce offspring.
- 3.2. **Crossover:** Crossover is an exploitative resource that leads the population to converge in the direction of good solutions. This operation consists in exchanging genes between two parent individuals that survived the selection process and produce new offspring individuals with characteristics of both parents. The crossover rate determines how many of the selected individuals undergo crossover. There are several types of crossover. In Gondwana the following are available:
  - **One-point crossover:** In one-point crossover a point in the vector of the parent individuals is chosen at random. The genes to the right of this point are exchanged between the parent individuals, forming two new individuals: the offspring. Figure 1(a) illustrates an example of one-point crossover.
  - **Two-point or multi-point crossover:** In two-point crossover and multi-point crossover two, or more points, respectively, in the vector of the parent individuals are chosen at random. The genes between these points are exchanged between the parent individuals, forming two new individuals: the offspring. Figure 1(b) illustrates an example of two-point crossover.
- 3.3. **Mutation:** mutation is an exploratory resource. This operator consists in altering one gene at random from an individual. By introducing some random variability, mutation is responsible for avoiding that individuals become too similar and that the algorithm evolves in only one direction. Figure 2 illustrates an example of mutation. Different types of mutation are included in Gondwana:
  - **uniform mutation:** with a uniform likelihood of a gene mutating to any value within the specified valid range;
  - **proximity mutation:** with a uniform likelihood of a gene mutating to any value within a specified proximity range, either in number space or

---

<sup>4</sup> Evaluation of an individual and its fitness are sometimes used as being the same concept, but they are not. The evaluation function provides a measure of an individual's performance, independently of other individuals in the population. The fitness function provides a measure of probability of reproduction of each individual, and depends on the evaluation of the individual, on the evaluation of other individuals and on the type of selector that is considered.

topologically speaking on the network (for element selections). The proximity range is defined by the user.

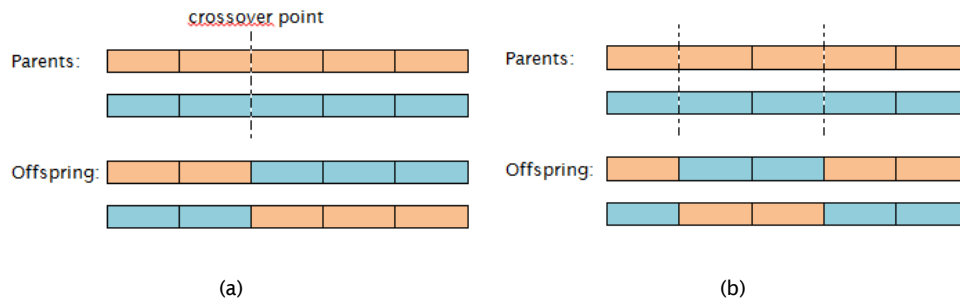


FIGURE 1. ILLUSTRATIVE EXAMPLE OF (A) ONE-POINT CROSSOVER, AND (B) TWO-POINT CROSSOVER.

As an example consider a decision variable that can adopt any of the following ordered values  $[a, b, c, d, e, f, g]$ , and a gene whose current value is  $d$ . A uniform mutation will change the value  $d$  to any other value in the list. A proximity mutation with proximity level 1 will change the value of the gene to either  $c$  or  $e$ , while with a proximity level 2 to either  $b, c, e$  or  $f$ .

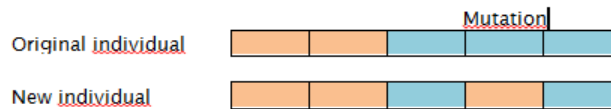


FIGURE 2. ILLUSTRATIVE EXAMPLE OF MUTATION.

3.4. **Replacer:** Once the new individuals are created the new population can be generated. To choose which individuals from the parent population to replace by offspring individuals an operator called **replacer** is used. There are several types of replacers. For single-objective and implicit multi-objective problems Gondwana automatically uses a generational replacer. The generational replacer can be subdivided in:

- **Pure generational:** this is the most well-known and used algorithm. This algorithm creates an entirely new offspring population at each iteration, i.e., all parent individuals are replaced by new offspring individuals.
- **Generational elitist:** elitism can be added to the pure generational algorithm, transforming it into a **generational elitist GA**. Elitism is responsible for keeping some individuals from one generation to the next. This ensures that the best solutions are not lost from one generation to the next.

#### 4. Stop criteria

There are different possibilities to define stop criteria, or conditions for termination, based on the convergence of solutions or on the number of iterations. Gondwana offers the user the possibility of choosing between the following criteria:

- 4.1. **Evaluation:** the algorithm stops when a given number of evaluations is reached. The number of evaluations is specified by the user;
- 4.2. **Generation:** the algorithm stops when a given number of generations is reached. The number of generations is specified by the user;
- 4.3. **Change:** the algorithm stops when the chance of improvement in following generation is assumed to be too low. In Gondwana this stop criteria is met when a

relative change between solutions is less than a threshold value, over a given number of consecutive generations, both specified by the user.

Figure 3 illustrates how a GA works.

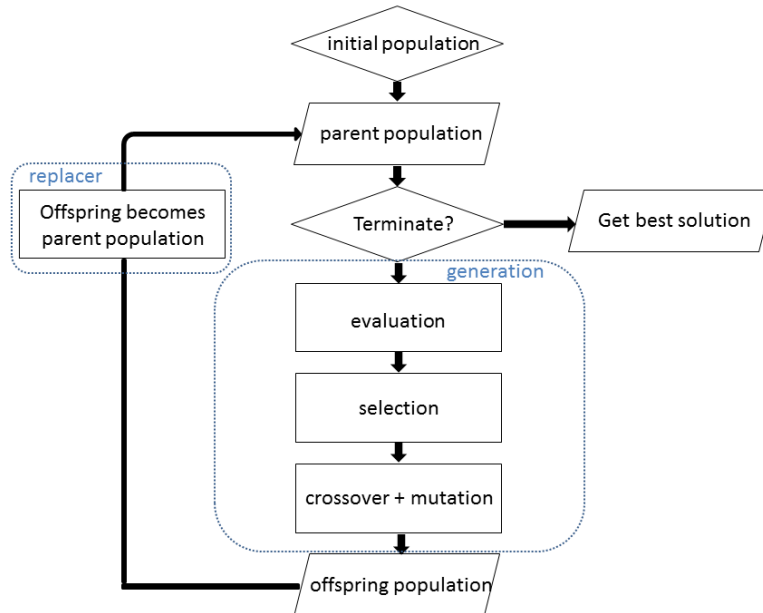


FIGURE 3. SCHEMATIC REPRESENTATION OF HOW A GENERATIONAL GA WORKS.

### Non-dominated sorting GA (NSGA II)

A Non-dominated sorting GA (NSGA II), used for explicit multi-objective optimization works according to the following steps (Deb, Pratap et al. 2002):

1. At first an initial population  $P_0$ , with size  $N$ , is created.
2. This population is sorted based on non-domination<sup>5</sup>.
3. A rank is assigned to each non-dominated solution, equal to its non-domination level (1 is the best front, 2 is the next front level, and so on).
4. The first offspring population  $Q_0$ , also with size  $N$ , is created from the initial parent population using binary tournament, crossover and mutation.
5. From this first generation onwards, new generations are created by (Figure 4 illustrates these steps):
  - i. first combining the parent ( $P_t$ ) and offspring populations ( $Q_t$ ) into one population ( $R_t$ ) of size  $2N$ .
  - ii. Then, a non-dominated sorting classifies this entire population, identifying all non-dominated fronts ( $F_1, F_2, \dots$ ).

<sup>5</sup> To understand this concept keep in mind that multi-objective problems give rise to a set of optimal solutions (the so called Pareto front) instead of a single optimal solution. One solution on this Pareto front cannot be said to be better than the others, as they perform differently on different objectives. This means that it is not possible to rank solutions in 1<sup>st</sup> best, 2<sup>nd</sup> best, and so on, like with single-objective problems. For instance, imagine a problem with two objectives you wish to minimize, and assume the following solutions are obtained: A(1,6), B(2,5), C(3,4), D(2,6), E(4,5) and F(3,6). How can one tell which solution is best? It is not possible to say if A performs better than B or C, but it is possible to say that A performs better than D, that B performs better than D and E, and that C performs better than F. This means that D, E and F are dominated by A, B and C. A, B and C are not dominated by any other solutions and therefore form the first non-dominated front. Putting aside this first front, one can look at the remaining solutions: D and E are not dominated, and F is dominated by D. So, D and E form the second non-dominated front. F goes into the third non-dominated front. Non-domination sorting basically divides the solutions in fronts with different levels of non-domination.



- iii. A new parent population ( $P_{t+1}$ ) of size  $N$  is formed by adding individuals starting from the first front ( $F_1$ ) and proceeding with the individuals of the subsequent fronts until the number of individuals exceeds  $N$  (in Figure 24 this would be the sum of population sizes of  $F_1$ ,  $F_2$  and  $F_3$ ). At this point, no more individuals from subsequent fronts are added and the number of already added individuals needs to be reduced to  $N$ . In order to reduce the number of individuals to  $N$ , some of the individuals from the last front need to be rejected. This rejection is based on a crowding distance<sup>6</sup> assigned to each individual. The solutions with a smaller crowding distance are rejected.
- iv. A new offspring population ( $Q_{t+1}$ ) of size  $N$  is created from the parent population ( $P_{t+1}$ ) obtained in the previous step through selection, crossover and mutation.
- v. Repeat these steps until the stop criterion is met.

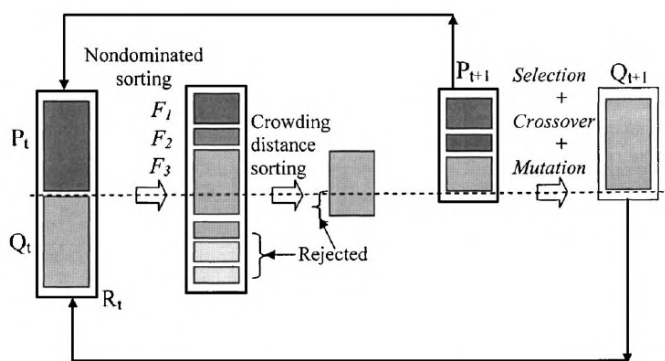


FIGURE 4. SCHEMATIC REPRESENTATION OF HOW A NSGAII WORKS (YANDAMURI, SRINIVASAN ET AL. 2006).

<sup>6</sup> The crowding distance is an estimate of the distance between a particular solutions and its neighbour solutions on the same non-dominated front. A solution with a smaller crowding distance is more crowded by other solutions, than a solution with a larger crowding distance. When selecting solutions on the same non-dominated front, solutions located in a less crowded region (thus with a larger crowding distance) are preferred.