

## Clusteranalyse leidingnet

### Samenvatting

De netwerktopologie van een drinkwater-distributiesysteem is complex. Mensen delen zo'n netwerk automatisch in clusters in, bijvoorbeeld op basis van functie of nabijheid, zodat ze meer inzicht krijgen en eenvoudiger een beslissing kunnen nemen, bijvoorbeeld of een leiding buiten bedrijf kan of waar metingen te doen.

Menselijk clusteren gebeurt intuïtief en vaak impliciet. En verscheidene toepassingen van clustering blijven onbenut. Clusteren kan automatisch. Hiermee kan snel en eenvoudig en op allerlei verschillende principes worden geclusterd, zodat veel mensen hier gebruik van kunnen maken. Dat kan in één GIS-tool als een soort Zwitsers zakmes bij elkaar worden gebracht.

### Consequenties voor u

	Laag	Middel	Hoog	Beknopte uitleg
Impact				Voordeel voor hele organisatie
Zekerheid				Mogelijk, zelf opdracht toe geven



*Eén tool met verschillende eenvoudige functies, voor iedereen te gebruiken.*



## Trendbeschrijving en achtergrond

De netwerktopologie van een drinkwater-distributiesysteem (DWDS) is complex, organisch gegroeid en bovendien afhankelijk van stedelijke topologie (wegen, huizen). Mensen abstraheren het leidingnet tot een model d.m.v. clustering om het overzichtelijker te maken, bijvoorbeeld op basis van (vermeende) functie of nabijheid, zodat ze eenvoudiger een (voorlopige) beslissing kunnen nemen. Te denken valt aan verschillende soorten toepassingen zoals het beoordelen van het belang van een leiding op basis waarvan bepaald kan worden of werkzaamheden mogelijk zijn zonder een groot risico op uitval van de levering. Een ander voorbeeld is het snel inschatten waar in het leidingnet metingen gedaan moeten worden om een probleem (lek, besmetting) te lokaliseren.

Het overzicht wordt verkregen door ofwel jarenlange ervaring, ofwel door gebruik te maken van (hydraulische) leidingnetmodellen. Op internationale congressen zijn de laatste jaren tientallen wetenschappelijke artikelen gepresenteerd die clustering aanpakken m.b.v. zogenaamde grafentheorie, waarbij de hydraulica dan buiten beschouwing wordt gelaten. Geconstateerd is dat heel veel optimalisatiemethoden die in de academische wereld zijn

ontwikkeld niet zondermeer goed toepasbaar zijn op leidingnetten van het formaat zoals je die in het echt bij drinkwaterbedrijven aantreft. De meeste in de literatuur beschreven cases zijn maximaal 100 leidingen groot. Dit kan een drijfveer zijn om methodieken te onderzoeken die sneller inzicht kunnen verlenen in complexe netwerken. Mogelijk dat er ook sprake is van een *technology push*; grafen die hun nut in verscheidene netwerken (elektriciteit, wegen, etc., maar ook zeker al in drinkwater) hebben bewezen worden nu verder geëxploiteerd.

De wetenschappers die hun oplossingen presenteren geven meestal niet aan waarom ze met een alternatieve benadering komen, maar kennelijk is er een behoefte aan een eenvoudige en snelle clusteringmethode, waarbij geen kennis van hydraulische netwerkberekeningen vereist is. Deze behoefte lijkt ook bij de Nederlandse drinkwaterbedrijven (latent) aanwezig.

In deze trendanalyse identificeren we een groot aantal toepassingen van een eenvoudige en snelle clusteringmethode van het DWDS. Daarbij valt op de sommige van deze mogelijkheden momenteel worden waargemaakt door menselijke intuïtie, en sommige door de afdeling leidingnetberekeningen, en sommige van de mogelijkheden worden nog niet

benut. Vanwege enkele nadelen van de intuïtieve clustering, het relatief trage proces om via de afdeling leidingnetberekeningen inzicht te krijgen en de toepassingen die nog onbenut zijn, is de inschatting dat er bij de Nederlandse drinkwaterbedrijven een behoefte is aan een clusteringmethode. Onder het kopje relevantie wordt een heel scala aan toepassingsmogelijkheden benoemd. Daarna wordt de behoefte bij de drinkwaterbedrijven uitgelegd. En er wordt kort ingegaan op de technische mogelijkheden.

## Relevantie

### Toepassingsmogelijkheden van clustering

Op basis van enkele congresartikelen, expertkennis van KWR-collega's en enkele vragen die afgelopen jaren door medewerkers van waterbedrijven aan KWR zijn gesteld, is een (niet uitputtende) lijst opgesteld met mogelijke toepassingen van een eenvoudige en snelle clusteringmethode van het DWDS die voor veel medewerkers van het drinkwaterbedrijf toegankelijk is. Daarbij zijn de toepassingen toegespitst op ondersteuning van voorlopige beslissingen of inschatting van mogelijkheden.

Inzicht in functionele opdeling van een DWDS (primair, secundair, tertiair leidingnet, bedoeld voor



leveringszekerheid, leveringscontinuïteit of gedimensioneerd op waterkwaliteit):

- Welke leidingen zijn van belang voor de robuustheid of veerkracht van het DWDS?
- Wat is het belang van een specifieke leiding en zijn prioriteit tijdens werkzaamheden voor het verbeteren van het leidingnet.
- Kan een leiding tijdelijk buiten gebruik worden genomen? Wat is het risico van leveringsonderbreking als tegelijkertijd ook andere leidingen buiten gebruik gaan?

Hierop aansluitend ook inzicht in geografische opdeling:

- Inzicht in de opdeling van een leveringsgebied in (virtuele) DMA's (district metered areas) waarmee het eenvoudiger wordt om lekverliezen te bepalen, lekken te lokaliseren en daarmee ook te verminderen. En waarmee ook bewaakt kan worden dat niet per ongeluk een DMA "losgeknipt" wordt door geplande werkzaamheden.
- Idem voor afsluitersecties.

Inzicht in (en toetsen van) eigenschappen van het ontwerp van een DWDS. En aansluitend hierop, ook het aanpassen of verbeteren van het ontwerp:

- Zijn er voldoende onafhankelijke voedingen naar een gebruikskluster? (bijv. > 2000

aansluitingen vergt 3 voedingen, tussen 200 en 2000 vergt 2 voedingen, daaronder is 1 voldoende). Kan clustering inzicht verlenen in hoe gebruiksklusters gevoed kunnen worden?

- Zijn alle afsluitersecties onafhankelijk (niet genest in andere) en zijn ze te sluiten met een acceptabel aantal afsluiters (bijv. max 4)?
- Welke leidingnetten zijn aangelegd volgens de principes van zelfreinigende werking, en welke zijn dat (nog) niet?

Een eerste indruk hoe het water door het DWDS stroomt kan operationele beslissingen ondersteunen.

- Inzicht in meetlocaties in het DWDS voor het bepalen van de waterkwaliteit. Dit kan zowel voor regulier monsternamen gelden als voor het meten m.b.v. monsters of on-line sensoren in een onderzoek.
- Inzicht in goede plaatsen in het DWDS voor het terugwinnen van thermische energie.
- Inzicht in hoe een eventuele besmetting door het DWDS heen wordt getransporteerd (welk pad, hoe snel) en daarmee inzicht in welke gebieden nog beschermd kunnen worden.
- Inzicht in hoe groot een gebied is met ondermaatse druk (OLM-druk).

N.B. optimale operationele beslissingen, bijv. meetlocaties, kunnen alleen bepaald worden m.b.v.

hydraulische berekeningen en optimalisatiealgoritmen, het gaat hier meer om een gevoel van hoeveel meetlocaties, en hoe zijn ze ongeveer verspreid over het DWDS.

Inzicht in relatie tussen (druk- en waterkwaliteits)klachten en (on)geplande werkzaamheden in het DWDS:

- zijn er werkzaamheden bovenstrooms van een klacht en kunnen deze dus inderdaad leiden tot de gemelde klachten, of moet gezocht worden naar een andere verklaring van de klacht?
- is het aantal bruinwaterklachten in een gebied hoger dan verwacht mag worden? Dit kan wijzen op een incident.

Veel van de genoemde mogelijkheden winnen aan kracht wanneer tegelijk rekening gehouden kan worden met de actuele status van het DWDS. Afsluiters die i.v.m. werkzaamheden gesloten zijn kunnen een grote invloed hebben op de ideale monsternameloctie of de beoordeling wat bovenstrooms is.

Voorbeeld A: tijdens een incidentoefening die KWR met waterbedrijf Vitens heeft gedaan waarbij een *E.coli*-besmetting het leidingnet werd gesimuleerd bleek dat men erg vertrouwd op de eigen gebiedskennis en daarbij beperkt gebruik maakte van actuele data of rekenmodellen. Hierdoor werd



ook een fout gemaakt: een bepaalde verbindingleiding naar een ander deel van het voorzieningsgebied werd over het hoofd werd gezien, waardoor niet de juiste maatregelen werden genomen en de besmetting zich onverwacht verder verspreidde. Ook is geconstateerd dat tijdens een crisissituatie niet altijd mensen aanwezig zijn met voldoende (actuele) gebiedskennis. In een dergelijke situatie is het snel inzicht in de actuele status van het DWDS belangrijk voor verschillende medewerkers van het waterbedrijf.

### Potentie voor automatisering van clustering

Verscheidene van de genoemde toepassingen worden in de praktijk van drinkwaterbedrijven al aangetroffen. De clustering wordt nu gedaan op basis van ervaring, of door de afdeling leidingnetmodellers. Dat betekent dat het clusteren nu niet gebeurt met een eenvoudige en snelle clusteringmethode die voor iedereen beschikbaar is.

Menselijk clusteren gebeurt intuïtief en impliciet. Medewerkers van waterbedrijven die vaak beslissingen moeten nemen over het DWDS en met jarenlange ervaring kunnen beter clusteren dan nieuwe medewerkers. De ervaren medewerkers gaan op een gegeven moment met pensioen, of vinden een andere baan, en daarmee verdwijnt dit

soort ervaring. Voor nieuwe medewerkers is het niet altijd eenvoudig om dezelfde ervaring op te bouwen, omdat hun functie breder is ingevuld en met meer ondersteuning van computers (in plaats van papieren tekeningen) dan toen de ervaren medewerkers hun expertise op konden bouwen. Onduidelijk is of de ervaren medewerkers voldoende rekening kunnen houden met de actuele status van het leidingnet, of vooral ook clusteren op basis van de “normale” situatie van het DWDS. Ook zijn er medewerkers in het waterbedrijf die wel zouden kunnen profiteren van meer inzicht in het DWDS, zonder dat ze de mogelijkheid hebben om zelf meer inzicht op te bouwen in hun dagelijkse werk. Denk hierbij bijvoorbeeld aan medewerkers van het klantcontactcentrum die zouden kunnen beoordelen of bepaalde werkzaamheden “bovenstrooms” van een klant die klaagt worden uitgevoerd en dus mogelijk een verklaring zijn voor het ervaren ongemak. Ten slotte is de menselijke intuïtie feilbaar, waardoor besluiten verkeerd kunnen uitvallen.

Het clusteren en leveren van bepaalde inzichten gebeurt ook op basis van berekeningen met een hydraulisch model zoals EPANET, InfoWorks of Synergi. Slechts een handvol mensen bij een waterbedrijf kan dit doen, waardoor er vaak niet even snel inzicht kan worden verkregen en ook

heeft niet iedereen toegang tot deze mensen, ook hier valt met te denken aan medewerkers van het klantcontactcentrum. Bovendien vindt de clustering alleen plaats op basis van de ingebakken hydraulische principes, en is inzicht in bijvoorbeeld functionele indeling, afsluitersecties en DMA's niet zonder meer snel te verkrijgen. Daarnaast hebben de meeste waterbedrijven geen hydraulisch model ter beschikking waarin actuele afsluiterstanden en verbruikspatronen zijn opgenomen, zodat vooral clustering van het “normale” DWDS wordt gedaan.

De nadelen van de huidige praktijk (nl. intuïtie, leidingnetberekeningsprogramma's) en ontbrekende functionaliteit betekent dat er potentie lijkt voor een eenvoudige en snelle geautomatiseerde clusteringmethode die voor veel medewerkers van het drinkwaterbedrijf toegankelijk is.

Uiteraard hebben leidingnetberekeningsprogramma's zoals InfoWorks en Synergi, specialistische analysetools zoals CAVLAR en optimalisatiesoftware zoals Gondwana en CST veel meer mogelijkheden dan clustering voor snel inzicht. Hydraulische netwerkanalyses en optimalisaties zijn belangrijk voor meer specialistische vragen die een gedegen onderbouwing nodig hebben. Gondwana, waarmee



wel optimalisaties uitgevoerd kunnen in een levensgroot DWDS, kan worden ingezet om de optimale sensorlocaties te bepalen, de indeling in DMA's of het ontwerp van streefstructuren te optimaliseren. Een eenvoudige en snelle clusteringmethode van het DWDS die voor veel medewerkers van het drinkwaterbedrijf toegankelijk is, zal dan ook geenszins deze tools kunnen vervangen.

### Methodieken

Het clusteren kan door een computer gedaan worden. Op internationale congressen zijn met name methodieken gepresenteerd die clustering aanpakken m.b.v. zogenaamd grafentheorie.

Een graaf is een verbinding van knooppunten met lijnstukken, een gerichte graaf een set van knooppunten en verbindingen waarbij de verbindingen een richting hebben. Een gewogen graaf (gericht of ongericht) is een graaf waarbij aan verschillende lijnstukken een verschillende capaciteit is toegekend, bijvoorbeeld op basis van de diameter.

Idealiter zou op basis van informatie uit het LIS (leidinginformatiesysteem) en een database van werkzaamheden en afsluiterstanden een actuele graaf van het DWDS worden geconstrueerd. Met

behulp van een aantal standaard technieken uit de grafentheorie kan clustering op basis van allerlei verschillende ordeningsprincipes worden uitgevoerd. Dit is technisch geen ingewikkelde applicatie. Door ook eenmalig simulatieresultaten van hydraulische netwerkberekeningen toe te voegen, kan mogelijk extra functionaliteit worden geboden op basis van het stromingspatroon.

Leidingnetberekenningsprogramma's en bijvoorbeeld Gondwana maken gebruik van principes uit de grafentheorie. Hieronder twee recente toepassingen als voorbeeld buiten de hydraulische berekeningen.

Voorbeeld B: In het BTO (KMTS2) is onderzocht hoe grafentheorie kan bijdragen aan het interpreteren van sensordata in een DWDS zonder gebruik te maken van hydraulische netwerkmodellen. De graaf was hier niet meer dan een representatie van mogelijke causaliteiten. In dit geval zijn graafmodellen ingezet voor dynamische informatie (veranderende sensordata in een veranderend stromingsprofiel in een DWDS) en niet zozeer voor de (semi)statische informatie van een leidingnet. Zo is onderzocht of deze methode geschikt is voor het ontdekken van afwijkingen zoals afsluiterstanden die in werkelijkheid anders zijn dan geregistreerd, of een kalibratiefout van een sensor.

Voorbeeld C: Voor Brabant Water heeft een student toegepaste wiskunde onderzocht of bruinwaterklachten in een bepaald gebied aan elkaar mogelijk dezelfde oorzaak hadden. Daarbij heeft hij gekeken of klachten die op dezelfde dag zijn gemeld in hetzelfde pad vanaf het waterproductiebedrijf liggen. Omdat de berekening met InfoWorks heel lang zou duren voor alle klachtenlocaties, is gewerkt met een aanpak op basis van het kortste pad tussen productiebedrijf en klant, gewogen op basis van diameter van de leiding.

### Toekomstperspectief

Een haalbaar ideaalplaatje lijkt het volgende. Een waterbedrijf heeft de beschikking over een simpele tool in GIS met slechts een paar knoppen die een soort Zwitsers zakmes-functie voor de organisatie kan hebben. De tool kan worden gebruikt door medewerkers van het klantcontactcentrum, leidingbeheer, waterkwaliteit, etc. voor een snelle eerste inschatting van zaken, die aansluit bij het intuïtieve besluitvormingsproces waar ze voor staan.

- Functioneel overzicht van belangrijke leidingen voor leveringszekerheid, zelfreinigende werking, inzicht in potentiële meetlocaties en hoeveelheid sensoren, etc.



- Verbonden componenten waarmee snel DMA's/afsluitersecties rond een locatie gevisualiseerd kunnen worden.
- Hydraulisch gerichte graaf waarmee door klik op een locatie direct de leidingen bovenstrooms blauw worden gekleurd en benedenstrooms rood. Hiermee is snel inzicht in de invloedzone van werkzaamheden op klanten of hoe groot de invloedzone van een bruinwaterincident is.
- Hydraulisch gewogen & gerichte graaf waarmee bijvoorbeeld de verblijftijd tussen twee punten bepaald kan worden, zodat ook ingeschat kan worden hoe snel een besmetting zich verspreidt.

Het maken van een dergelijke GIS-tool hoeft niet ingewikkeld te zijn. Het vergt wel een goed begrip van de vragen die spelen bij drinkwaterbedrijven en de mogelijkheden van de techniek. KWR kan hierin een rol vervullen.

Voorbeeld D: in oktober 2018 hebben WMD en KWR een tool gemaakt waarmee heel snel inzicht wordt gekregen in het aantal voedingspunten (pompstations) per verbruikscluster. Daarmee kan een check worden gedaan van de leveringsbetrouwbaarheid. In de figuur hiernaast vertegenwoordigen de blauwe knopen een

pompstation, de kleuren geven per cluster van knopen aan hoeveel pompstations hier leveren (blauw 1, paars 2, geel 3).

Data." 15th international CCWI Conference, IWC, Sheffield, UK.

## Meer informatie

- <https://nl.wikipedia.org/wiki/Grafentheorie>
- Vries, D. and van Summeren, J. R. G. (2017). "Valve Status Verification and Sensor Error Detection via Causal Inference from Sensor

## Keywords

leidingnet, clustering, GI

