



Report - Smart Water Project

▼ BTO - Smart Waters Network (2021)

- **Onderzoekers:** Zeinab Safar, Xin Tian
- **Project number:** 402045/170
- **Report number:** BTO 2021.073
- **Project quality controller:** Mirjam Blokker
- **Project manager:** Petra Holzhaus
- **Samenwerkingspartners:** Mario Castro-Gama, Elco Trietsch (Vitens), Derk Rouwhorst (WMD) , Roel Diemel (Brabant Water)

▼ About this report

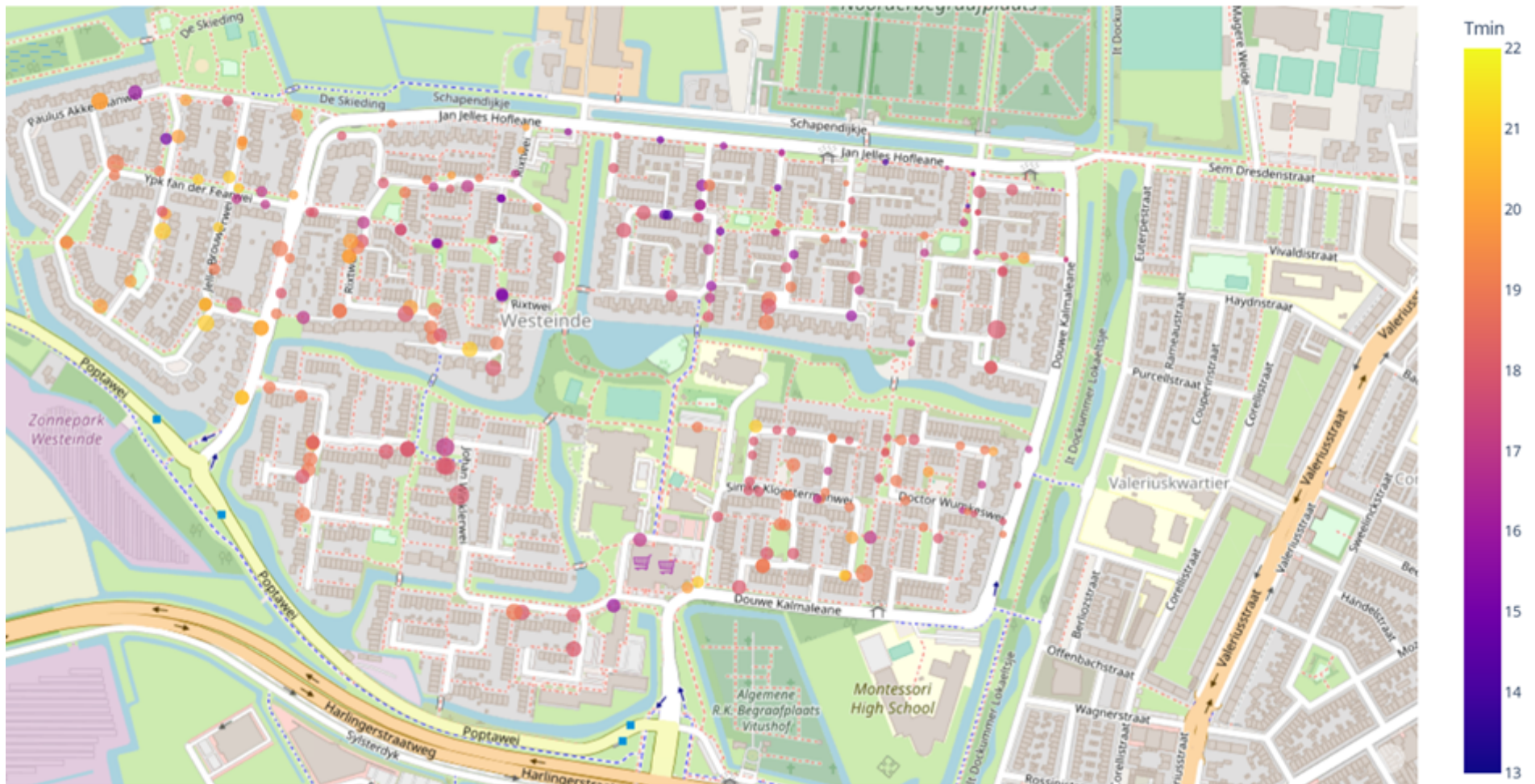
- January 2022 ©All rights reserved by KWR. No part of this publication may be reproduced, stored in an automatic database, or transmitted in any form or by any means, be it electronic, mechanical, by photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of KWR.

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

▼ Management Samenvatting

Drinkwater warmt op in het distributienet onder invloed van de omringende bodemtemperatuur, die op zijn beurt wordt opgewarmd door het weer en (antropogene) warmtebronnen, zowel boven- als ondergronds. Om te kunnen garanderen dat de drinkwatertemperatuur niet de 25 °C overschrijdt, moeten oorzaken van te grote opwarming worden opgespoord en aangepakt. De bodemtemperatuur op ca. 1 meter diepte (waar de meeste leidingen liggen) is niet constant over het jaar en kan in Nederland de 25 °C overschrijden. Daarnaast zijn er ook plekken waar de temperatuur beduidend hoger is, de zogenaamde hotspots. De pilot "digitale watermeters" is onderdeel van het BTO project "Smart Water Networks". In deze pilot is een methode ontwikkeld om de "hotspots" binnen een netwerk te bepalen. Om dit te doen zijn temperatuur- en verbruiksdata van digitale watermeters gebruikt om een verband tussen verblijftijden en temperatuur te vinden en hiermee de hotspots, de uitschieters te bepalen. De data zijn van DMA- Westeinde, dat zich in Leeuwarden bevindt. De ruimtelijke variantie (Semi-Variance) methode is toegepast, en de knooppunten zijn op basis van verblijftijden in groepen verdeeld. De groepsstatistieken zijn berekend en de uitschieters per groep zijn als hotspots gedefinieerd. Door deze methode toe te passen, zijn de hotspots voor één zomerdag (15 augustus 2021) bepaald. De geleverde data was van geringe kwaliteit, verbetering in data kwaliteit en resolutie zal tot meer betrouwbare resultaten leiden. Het is aanbevolen om de analyse voor meerdere dagen in meerdere seizoenen te herhalen om de hotspots nauwkeuriger te bepalen.



Figuur: ruimtelijke verdeling van temperatuur en verblijftijden voor starttijd om 7:00 uur.

Belang: opsporen van locaties met ongewenste opwarming van drinkwater.

Een belangrijke factor voor waterkwaliteit in het distributie net, is de temperatuur. Verhoging van drinkwatertemperatuur kan tot meer bacteriegroei in de leidingen leiden. Daarom is het belangrijk om de locatie waar opwarming plaatsvindt en de drinkwatertemperatuur hoger dan 25 °C wordt te vinden om de mogelijk oorzaken te kunnen bepalen, en daartegen de benodigde maatregelen te kunnen nemen.

Aanpak: Gebruik van hoge dichtheid van temperatuur- en verbruiksdata van digitale watermeters. De methode is op DMA-Westeinde (Leuwarden) getoetst, aantal hotspots zijn gedefinieerd.

De temperatuur en verbruiksdata van meer dan 1000 digitale watermeters in de wijk Westeinde in Leeuwarden zijn gebruikt om de opwarmingslocaties ofwel de “hotspots” op te sporen. De ruimtelijke variantie methode is toegepast op groepen van data, verdeeld op basis van berekende verblijftijden. Uit de groepsstatistieken zijn de uitschieters van elke groep als hotspots geïdentificeerd.

Resultaten: De methode werkt, maar de datakwaliteit is onvoldoende.

Het was mogelijk om voor een specifieke dag de verbruiksdata in een hydraulische netwerkmodel te gebruiken voor een actuele berekening van de verblijftijd. Het was ook mogelijk om de gemeten temperatuur aan de knoppunten in het hydraulisch netwerkmodel te koppelen en een analyse te doen van temperatuur versus verblijftijd. De semi-variantie methode was hierbij geschikt om uitschieters te vinden. Op basis van de analyse is het niet mogelijk om met grote betrouwbaarheid in de wijk Westeinde hotspots aan te wijzen, laat staan om oorzaken van hotspots vast te stellen. De belangrijkste oorzaak is dat de temperatuurdata van geringe kwaliteit en lage resolutie zijn. De temperatuur wordt slechts per dag en op 1 °C nauwkeurig gelogd. In verband met de AVG zijn de temperatuurdata geclusterd waardoor veel waardevolle informatie verloren is gegaan.

Conclusie en aanbevelingen: Verbeter de datakwaliteit, automatiseer de analyse methode

De ruimtelijke variantie methode lijkt een geschikte methode te zijn voor het bepalen van de hotspots. Verbetering van datakwaliteit, verhoging van de meet resolutie en het doorrekenen van meer dagen kan tot een betrouwbaardere bepaling van de hotspots leiden. Het is dan wel aan te bevelen om in verscheidene stappen in de analyse te automatiseren, zoals de bouw van het hydraulisch model voor een specifieke dag.

Rapport: Dit onderzoek is gerapporteerd in BTO 2021.073 (Pilot digitale water meters DMA Westeinde) en is onderdeel van BTO project ‘Smart Water Networks’.

1. Inleiding
1.1 Aanleiding onderzoek
1.2 Doel
1.3 Pilotstudie: digitale water meters Westeinde
2. Data en methode
2.1 Metingen van digitale watermeters
2.2 Epanet model:
2.3 Berekening verblijftijd
2.4 Verblijftijd VS temperatuur
2.5 Stroming meting
2.6 Identificatie van hotspots
2.7 Methode In stappen
3. Resultaten
3.1 Temperatuurverdeling
3.2 Ruimtelijke analyse
3.3 Bepaling van de uitschieters
3.4 Ruimtelijke analyse: uitschieters op kaart
4. Conclusie en aanbevelingen
4.1 Conclusies en discussie
4.2 Aanbevelingen
Referenties

1. Inleiding

1.1 Aanleiding onderzoek

Drinkwater warmt op in het distributienet onder invloed van de omringende bodemtemperatuur, die op zijn beurt wordt opgewarmd door het weer en (antropogene) warmtebronnen, zowel boven- als ondergronds. Om te kunnen garanderen dat de drinkwatertemperatuur niet de 25 °C overschrijdt, moeten oorzaken van te grote opwarming wordt opgespoord en aangepakt. In eerder onderzoek (Agudelo-Vera et al. 2020b) is aangetoond dat de huidige bemonstering aan de kraan niet geschikt is om die oorzaken op te sporen. Dit kan door te weinig locaties en te sporadisch bemonstering zijn, waarbij bovendien alleen gekeken wordt naar normoverschrijding en niet naar overschrijding van de verwachtingswaarde van locaties zonder hotspot. Mogelijk kan een veel dichter meetnet (in tijd en plaats) wel meer inzicht geven.

Een huishoudelijke watermeter ontsluit informatie over het waterverbruik dat achter een aansluiting plaatsvindt. Waarden van de watermeter met een hogere frequentie, dagen, uren, tot minuten of seconden toe, geven gedetailleerde informatie over de belangrijkste driver voor meer dan 80% van alle waterstromen in een drinkwaterbedrijf: het openen van een kraan door een consument. Wanneer er een elektronische data verbinding met de meter gemaakt is, kunnen ook andere relatief eenvoudige parameters (druk, temperatuur) toegevoegd worden. Hiermee ontstaat een datastroom waarmee verschillende processen in het leidingnet kunnen worden geobserveerd en eventueel op ingegrepen. De beoogde opbrengst van het project is inzicht krijgen in hoe *Smart Networks* in te richten: bijv. welke sensoren, hoeveel, waar te plaatsen, hoe vaak uit te lezen, welke extra data ondersteunt de toepassing, welke data-analysemethoden zijn geschikt – zijn en wat dat een drinkwaterbedrijf concreet oplevert.

De pilot “digitale watermeters” is onderdeel van het BTO project “Smart Water Networks”. Het overkoepelende doel van dat project is om in de praktijk te onderzoeken hoe extra sensoren en data-analyse kunnen bijdragen aan meer inzicht in de (hydraulische en waterkwaliteits-) processen in het distributienet, zodat de drinkwaterlevering zo efficiënt mogelijk en met zo min mogelijk kwaliteitsverlies kan plaatsvinden; én dat bevindingen in een pilot worden ontsloten en relevant gemaakt voor andere drinkwaterbedrijven. Hiermee kunnen de drinkwaterbedrijven verder vorm geven aan Smart Networks (outcome) en dit leidt tot betere service en lagere kosten voor de drinkwaterklant (impact).

1.2 Doel

Een eerder onderzoek (E. J. M. Blokker & E. J. Pieterse-Quirijns, 2013; Molen, Kooij, Smulders, & Heijman, 2008) heeft duidelijk gemaakt dat de drinkwatertemperatuur voor een belangrijk deel wordt bepaald door de bodemtemperatuur rond de distributieleidingen (Figuur 1). De bodemtemperatuur op ca. 1 meter diepte (waar de meeste leidingen liggen) is niet constant over het jaar en kan in Nederland de 25 °C overschrijden. Daarnaast zijn er ook plekken waar de temperatuur beduidend hoger is, de zogenaamde hotspots.

In deze pilot studie ligt de focus op de temperatuur metingen, en of hoger gemeten temperaturen een relatie met de verblijftijden vertonen. De voornaamste vraag die we willen beantwoorden in deze pilot, is hoe temperatuurmetingen in digitale watermeters kunnen bijdragen aan het opsporen (en wegnemen) van hotspots zodat de temperatuur van het geleverde drinkwater binnen de wettelijke grenzen blijft.

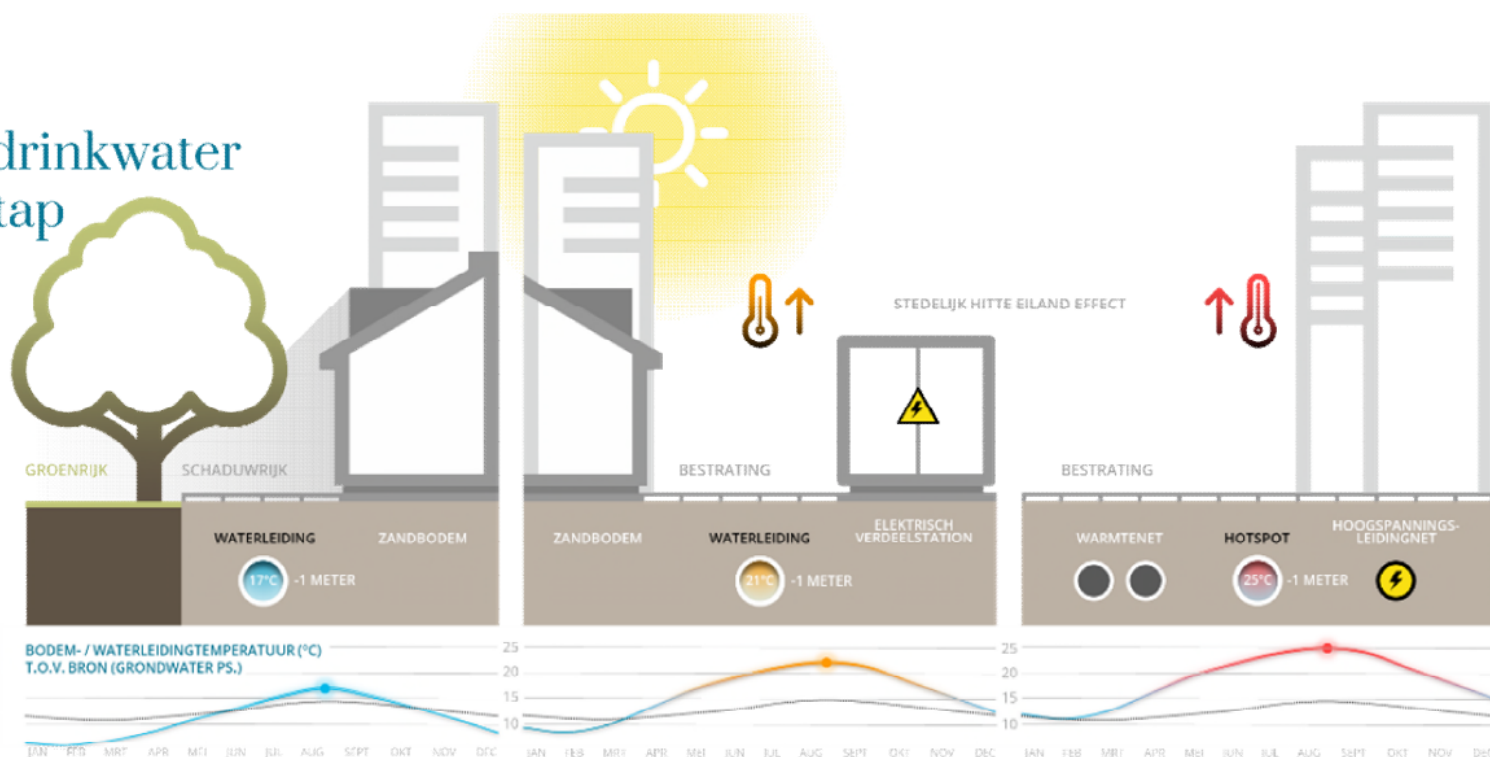
Opwarming drinkwater van bron tot tap

UITDAGING

Klimaatverandering
Stedelijk hitte eiland
Energietransitie

OPLOSSING

Meer groen en meer water in de stad.
Bodembeheer om ongewenste opwarming van drinkwaterleidingen te voorkomen.

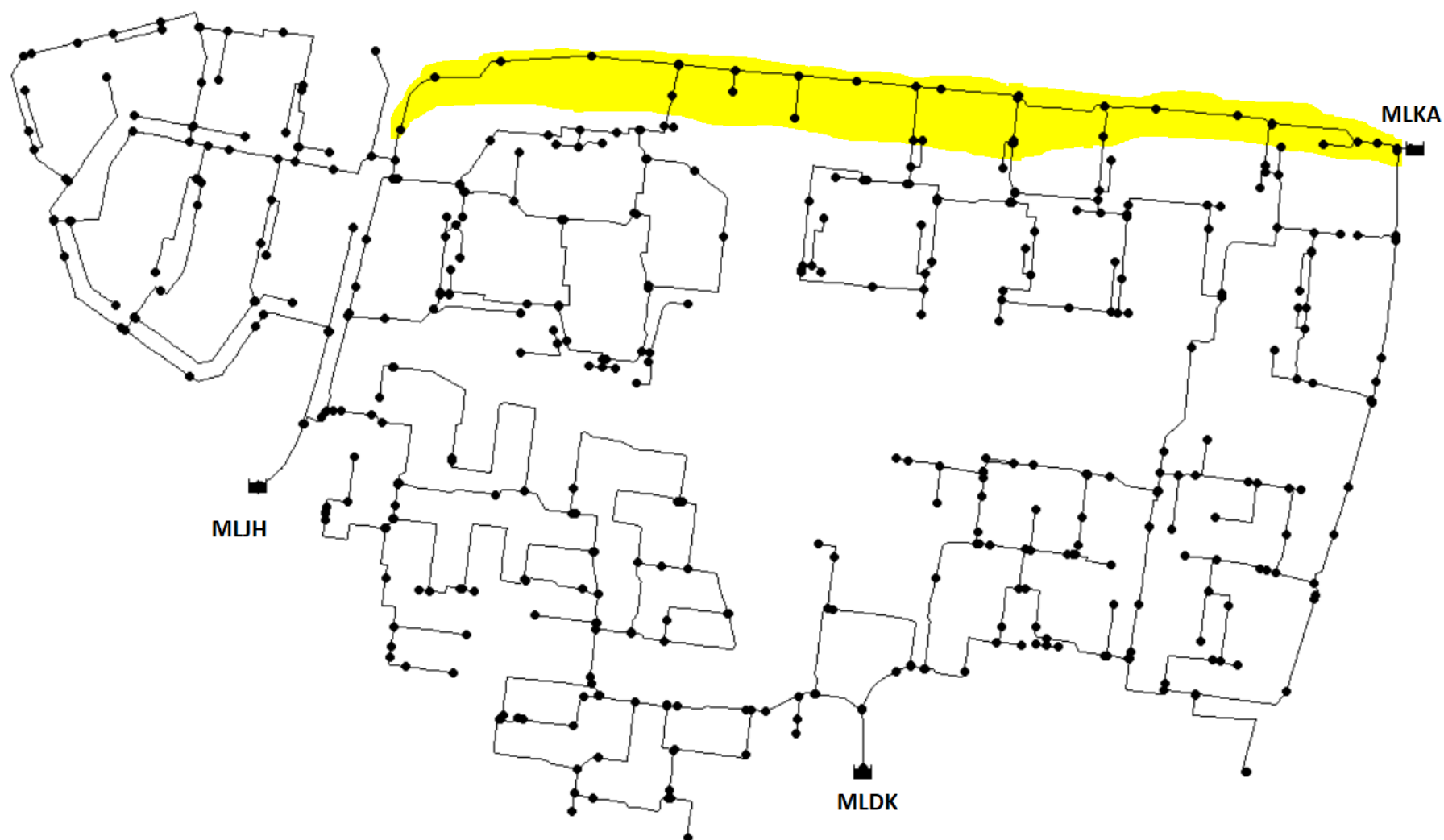


Figuur 1: Invloed van weer, bodem, boven- en ondergrondse warmtebronnen op drinkwater temperatuur (Bron: BTO rapport: Maatregelen tegen ongewenste opwarming van het drinkwater in het leidingnet BTO 2020.015)

1.3 Pilotstudie: digitale water meters Westeinde

In 2021 is binnen "Smart Water Networks" een pilot uitgevoerd in de DMA Westeinde (Vitens) Figuur 2, waar 1440 van de 1560 huishoudelijke adressen van een werkende digitale watermeter zijn voorzien die naast het waterverbruik ook de temperatuur meten. De gemeten temperaturen en de verbruiksdata zijn gebruikt om de hotspots op te sporen. DMA Westeinde ligt in Leeuwarden en wordt vanuit drie bronnen gevoed. Namelijk, MLKA aan de noordkant van het netwerk, MLJH en MLDK die zich in het zuidelijke gedeelte van het netwerk bevinden. Het netwerk wordt voornamelijk vanuit MLKA gevoed.

Temperatuurmetingen van 2020 op de drie voedingspunten laten zien dat er in de zomermaanden (juni, juli, augustus) een tot maximaal 4 °C hogere temperatuur voorkomt bij het voedingspunt dat het minst levert aan deze DMA t.o.v. het voedingspunt dat het meest levert. Op basis van seizoensinvloeden verwachten we in de wijk tussen voedingspunt MLKA en de huisaansluitingen ook minimaal deze 4 °C verschil te zien. De meest geschikte analyse-periode is dus juni-aug.



Figuur 2: Het netwerk model van Westeinde (Leeuwarden), het geel gemarkeerde gedeelte geeft de geselecteerde knooppunten voor figuur 3 aan (zie sectie 2.4).

2. Data en methode

2.1 Metingen van digitale watermeters

Het water verlaat de bron MLKA (zie figuur 2) met een temperatuur van 14 °C. De gemeten temperatuur per knooppunt ligt dicht bij de temperatuur in het drinkwaterdistributie systeem, maar met enige invloed van lokale of tijdelijke hotspots buiten en/of binnen het huis. De gemeten temperatuurswaarden zijn gewogen gemiddelden per digitale meter per dag.

De geleverde data door Vitens bestaat uit het gemiddelde verbruik van een collectie huishoudens per knooppunt en de gemiddelde temperatuur per knooppunt, per uur. De temperatuur metingen geven twee waarden van het kraanwater aan, de minimum temperatuur en de maximum temperatuur waarden gegeven (Tmin en Tmax). De Tmin en Tmax zijn gewogen gemiddelden van de gemeten waarden per dag.

Hierdoor vertonen de waarden geen variatie over de dag. Verder zijn deze Tmin en Tmax afgerond naar gehele getalen. Het is onduidelijk of dit ook de resolutie van de sensor is, of dat de afronding gebeurt bij het opslaan van de data.

De minimum temperatuur geeft het beste de temperatuur van de kraanwater aan, omdat de maximum temperatuur door de omgeving (temperatuur in huis) beïnvloed kan zijn.

2.2 Epanet model:

Het Epanet model Westeinde voor 14 en 15 maart 2021, is geleverd door Vitens (Zie tabel 1). Normaal zal het model vanuit bron MLKA_P worden gevoed. In het geval dat de toevoer vanuit MLKA_P wordt gesloten zal de voeding van de wijk plaatsvinden vanuit reservoir MLJH_P of reservoir MLDK_P. In de normale situatie zal op de knopen MLJH en MLDK de flow worden opgelegd. Het model is gekalibreerd voor de maximum dag van 2018. Op dit moment vindt geen automatische kalibratie van het model plaats. In het model zijn alle aanwezige leidingen in de wijk (exclusief aansluitleidingen). Het aanwezige verbruik in het model is tevens uit 2018.

Tabel 1: Model Westeinde bevat het volgende:

Aantal knooppunten	758
Aantal bronnen	3
Aantal tanks	0
Aantal leidingen	636
Aantal pompen	0
Aantal afsluiters	159
Tijdstap	1 minute

Dit model is als basis gebruikt in dit pilot. Het verbruikspatroon van dit model is vervolgens aangepast voor deze analyse. De door Vitens geleverde verbruiksdata voor 2021 zijn gebruikt om een nieuwe patroon te maken.

De verbruiksdata van één dag is geselecteerd om dit nieuw verbruikspatroon te maken voor het Epanet-model. De geselecteerde dag was een zomerdag namelijk 15 augustus 2021. Deze dag was gekozen omdat dit volgens KNMI data één van de warmste dagen van de zomer periode 2021 was. (Bron: <https://weerstatistieken.nl/deelen/2021/augustus>)

De eenheden van dit verbruik zijn omgezet naar m^3/u . Het patroon is met behulp van het WNTR-pakket in Python gemaakt. De knooppunten met 0 verbruik in het basis model zijn ook met 0 verbruik gelaten voor deze dag. Dit patroon werd vervolgens toegekend aan de knooppunten en gebruikt om de verblijftijden te berekenen. Dit verbruikspatroon is per uur berekend.

2.3 Berekening verblijftijd

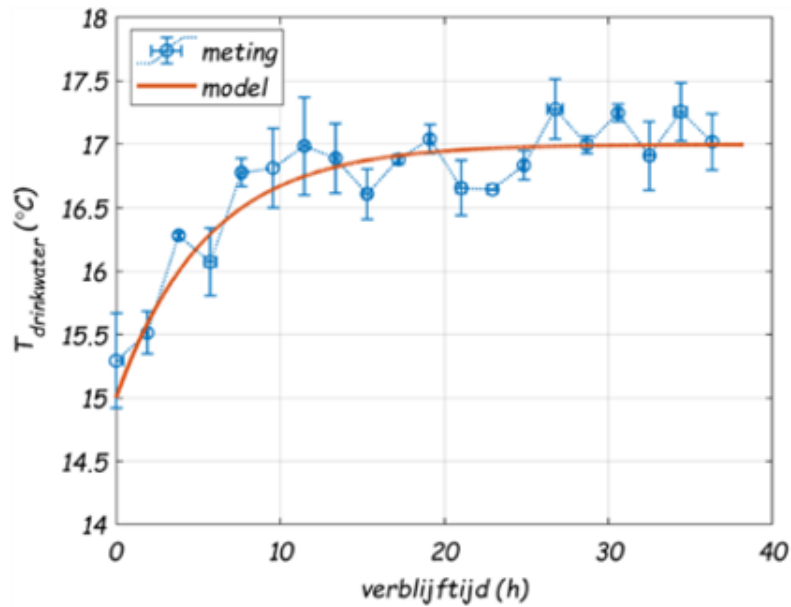
De verblijftijden zijn berekend door vanaf bron MLKA_P (voedende leiding: 5394327.174689311.1) een Tracer toe te voegen en het transport van de Tracer vanaf de bron tot de modelknopen in het netwerk model te simuleren. In de simulatie is alleen de bron MLKA_P gebruikt, omdat het netwerk in het basismodel ook voornamelijk van deze bron wordt gevoed (zie sectie 2.1).

De verblijftijden zijn bepaald door het eerste moment van aankomst van de Tracer vast te stellen. Dit is het moment wanneer de Tracerconcentratie 5% is op een modelknoop. Op deze manier zijn de verblijftijden voor verschillende patroon starttijden bepaald, namelijk om 7:00 u, 14:00 u en 18:00 u.

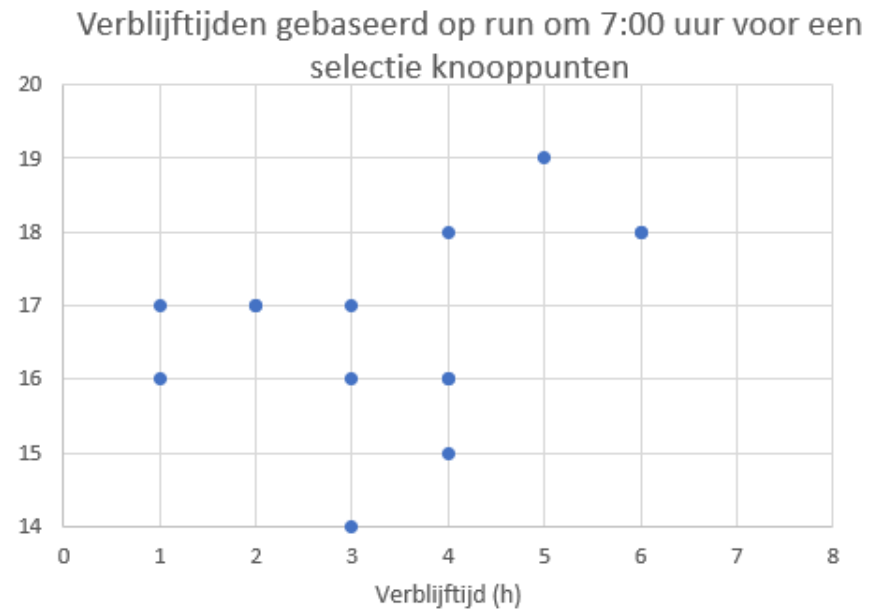
2.4 Verblijftijd VS temperatuur

De theoretische relatie tussen verblijftijden en temperatuur is in figuur 3a weergegeven. De berekende verblijftijden en bijbehorende temperaturen zijn voor een aantal geselecteerde knooppunten geplot in figuur 3b. De selectie is gemaakt vanaf de bron, langs een willekeurige stroom pad (geel gemarkeerde gedeelte in figuur 2) om de relatie tussen berekende verblijftijden en gemeten temperaturen te analyseren. Deze relatie komt niet overeen met in de theorie beschreven relatie. Hierdoor kan de model curve niet toegepast worden om de uitschieters te bepalen. De Variantie en groepering methode (Semi-variantie method uitgelegd in sectie 2.6) is daarom toegepast en de uitschieters (hotspots) zijn met succes bepaald.

a)



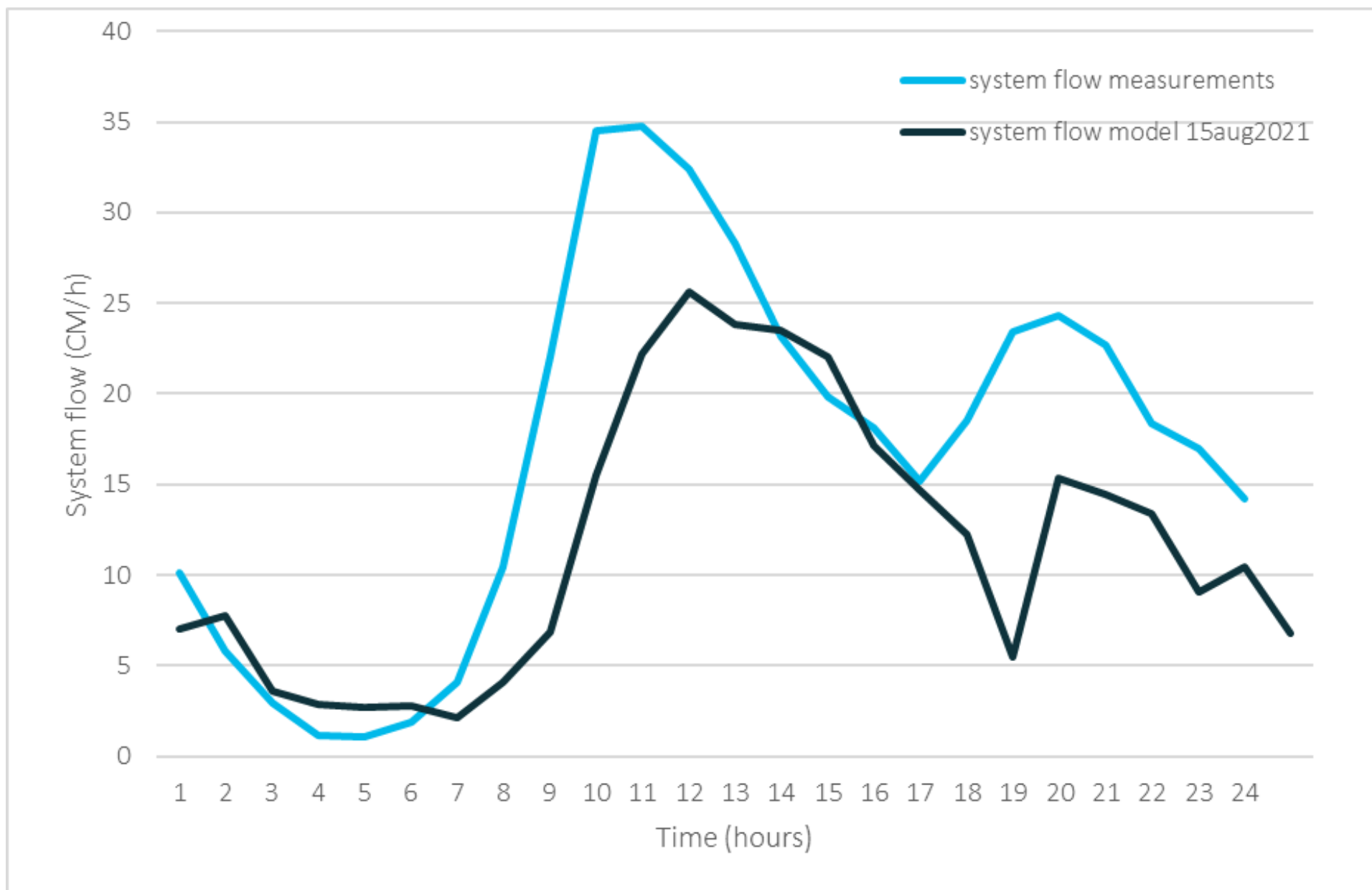
b)



Figuur 3: Temperatuur als functie van verblijf tijd voor een aantal knooppunten

2.5 Stroming meting

De stroming van de gekozen dag is vergeleken met de stromingsmetingen uit de data geleverd bij Vitens. Deze zijn geplot in figuur 4, er is een verschil van $10 \text{ m}^3/\text{u}$ in de stroming (y-as) en 1 uur verschuiving in de tijd (x-as). Een reden voor deze afwijking kan de IKZ (klein-zakelijke gebruiker) zijn die 2/3 van het patroon bepalen. Hiermee is geen rekening gehouden in het patroon (15aug2021) dat gemaakt is voor het model.



Figuur 4: de flow resultaten: vergelijking van de model en gemeten flow.

2.6 Identificatie van hotspots

Hotspots zijn locaties waarvan de temperatuurmeting significant afwijkt van de verwachte waarde. De verwachte waarde wordt bepaald door temperatuurmetingen van locaties met een vergelijkbare verblijftijd. Om de variantie van temperatuur tussen een locatie en de bron te identificeren, berekenen we de ruimtelijke variantie (Spatial Semi Variance) als volgt:

$$Var_x = (T_x - T_{source})^2 / 2$$

waarbij T_x is T_{max} of T_{min} van een meetlocatie x in de DMA. De noemer 2 geeft aan dat de berekening uni-directioneel is, dat van bron naar locatie is.

Vervolgens voeren we een ruimtelijke regressieanalyse uit, door de relatie tussen Var_x en de verblijftijd Res_x voor elke locatie x te analyseren. De basis aanname is dat locaties met een vergelijkbare verblijftijd (beschouwd als een groep) dichte waarden moeten hebben voor Var_x . En hotspots zijn die waarvan de Var_x opmerkelijk hoger zijn dan andere groepsmetingen. Daarom implementeren we vijf stappen:

1. Bereken Var_x voor elke locatie x in de DMA;
2. Simuleer Res_x voor elke x ;
3. Groepeer locaties op hun Res_x . Bijvoorbeeld Groep 1 (0-60 min), Groep 2 (60-120 min);
4. Bereken groepsstatistieken, d.w.z. gemiddelde waarde (μ) en standaarddeviatie (σ);
5. Identificeer hotspots van elke groep, waarvan de waarden hoger dan $\mu + 3 * \sigma$ is binnen de groep op basis van T_{min} of T_{max} .

* We beschouwden waarden $> \mu + 3 * \sigma$, als extreem warme plaatsen (hotspots). Waarden $< \mu - 3 * \sigma$, als extreem koude plaatsen, worden in deze studie niet in aanmerking genomen.

2.7 Methode In stappen

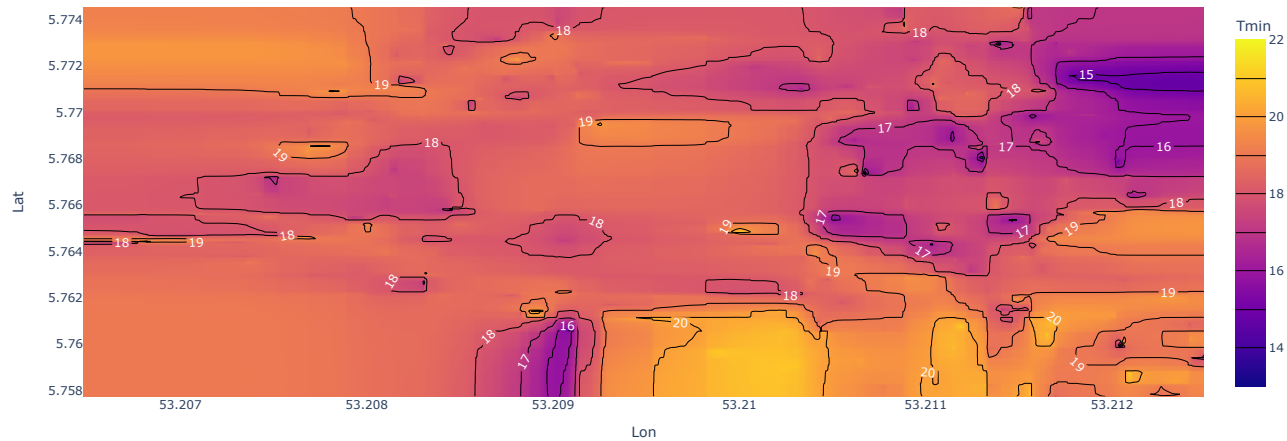
- De data van een dag (temperatuur en verbruik) is door een script eruit geselecteerd en hiervoor is een nieuwe Excel/text document gegenereerd.
- Dit document is gebruikt om een Epanet patroon te creëren, en dit op alle knooppunten toe te kennen.
- Het nieuwe Epanet model is door midden van een script gesimuleerd met een Tracer om de verblijftijden te berekenen.
- De berekende verblijftijden en de bijbehorende temperaturen zijn gebruikt om de ruimtelijk analyse uit te voeren.
- In deze analyse de beschreven methode (semi-variantie) is toegepast, de data zijn in groepen verdeeld en de statistieken van de groep zijn berekent en de uitschieters zijn bepaald
- De ID's die in de boxplot als uitschieters aangegeven zijn, zijn handmatig in de uitschieters kaart ingevoerd, dit kan (indien gewenst) in de code geautomatiseerd worden.

3. Resultaten

3.1 Temperatuurverdeling

De ruimtelijke verdeling van de gemeten drinkwatertemperaturen voor dag 15 augustus zijn in de temperatuurskaart (figuur 5) weergegeven. Deze ruimtelijke verdeling duidt de warmere gebieden aan, echter op basis van deze temperatuursverdeling is het niet duidelijk waar zich hotspots bevinden. Daarom is de variantie methode gebruikt (sectie 2.6) om de hotspots duidelijk aan te kunnen geven.

Spatial distribution of Tmin



Figuur 5: Temperatuur verdeling van Tmin op kaart

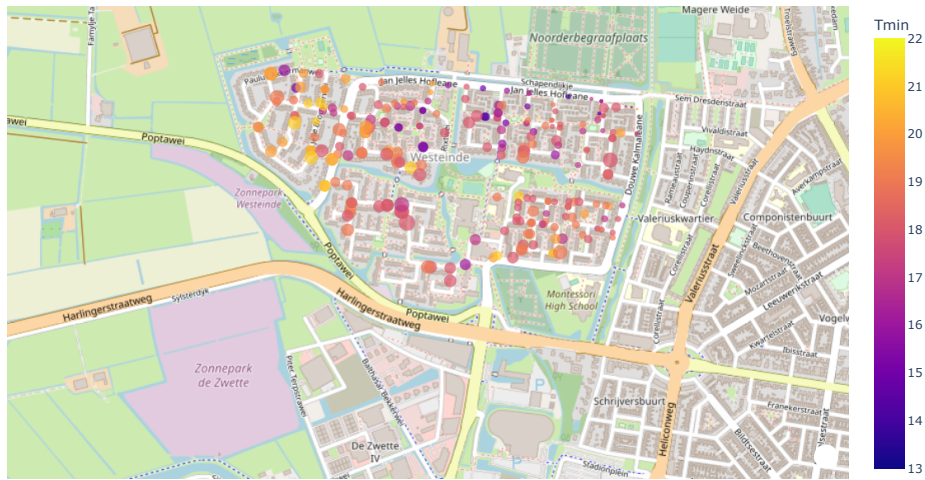
3.2 Ruimtelijke analyse

Figuren 6 en 7 laten de verblijftijden en de bijbehorende temperaturen (Tmin en Tmax) op het Westeinde kaart zien voor de simulatie met 7:00 uur als start tijd.

Het water stroomt het netwerk binnen vanaf de bron MLKA_P (zie figuur 2) met een begintemperatuur van 14 °C . Deze bron bevindt zich in het noordoosten van het netwerk en voorziet het netwerk voor 90% van het verbruik . De berekende verblijftijden lopen tot 24- 26 uur op en de temperaturen tot 21-22 °C, voor Tmin en tot 24 °C voor Tmax.

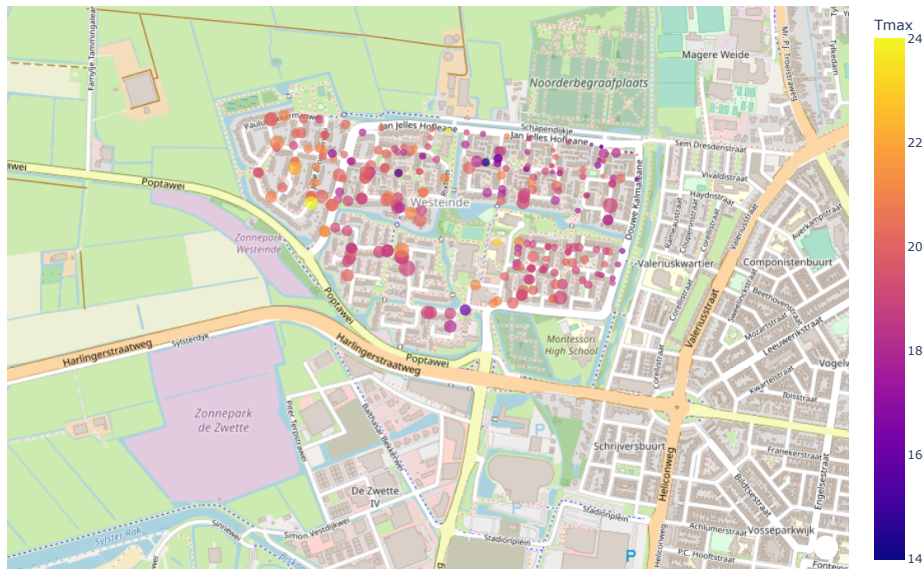
Knooppunten met langere verblijftijden geven over het algemeen hogere temperaturen. Echter er zijn knooppunten met ongeveer dezelfde verblijftijden die een significante verschil in temperatuur weergeven. Dit kan door de lage resolutie van de gemeten data zijn, hierdoor is de relatie tussen de verblijftijden en temperatuur niet accuraat vast te leggen.

Spatial temperature distribution (size of symbols indicates the travel time)



Figuur 6: de relatie tussen verblijftijd en temperatuur gebaseerd op Tmin. De grootte van de cirkels geven de verblijftijden aan en de kleur geeft de temperatuur aan. In dit simulatie, de run is om 7:00 gestart. Door met de muis te scrollen kan de kaart in en uit gezoomd worden en is meer informatie beschikbaar per knooppunt.

Spatial temperature distribution (size of symbols indicates the travel time)



Figuur 7: de relatie tussen verblijftijden en temperatuur gebaseerd op Tmax. De grootte van de cirkels geven de verblijftijden aan en de kleur geeft de temperatuur aan. In dit simulatie, de run is om 7:00 gestart. Door met de muis te scrollen kan de kaart in en uit gezoomd worden en is meer informatie beschikbaar per knooppunt.

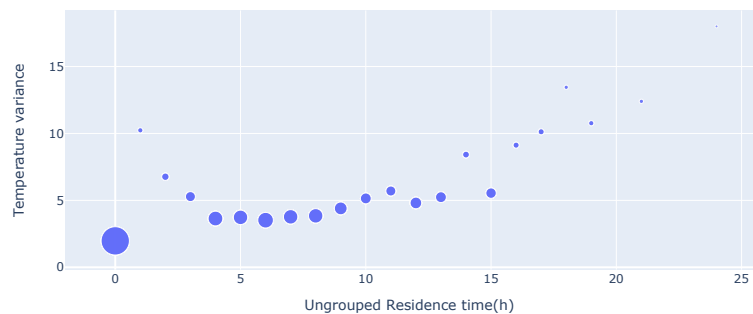
3.3 Bepaling van de uitschieters

In figuur 8 zijn de berekende temperatuursverschillen op basis van Tmin als functie van verblijftijden geplote. Het water bereikt verblijftijden langer dan 20 uur in het netwerk.

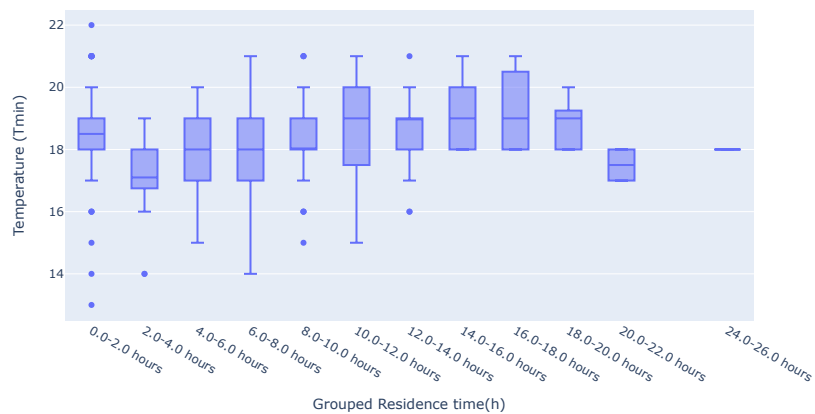
Om de uitschieters (hotspots) te bepalen zijn deze verblijftijden en de bijbehorende temperaturen in groepen verdeelt, 2 uur verblijftijd is gekozen om de groepen in te delen (figuur 9). De groepering kan met verschillende verblijftijden gedaan worden, bijvoorbeeld met 1 uur verblijftijden of 3 of 4 uur. Zodra een knooppunt een significant hogere temperatuur dan de hoogste grens van de groep toont, is dit als een uitschieter gedefinieerd en valt buiten de box. Daarom kan het aantal uitschieters per box verschillen. Deze kunnen ook met verschillende verbruikspatroon verschillen.

Door de statistieken van de groep te berekenen (zie sectie 2.6), zijn de uitschieters per groep bepaald. De uitschieters zijn dus knooppunten die buiten de groep karakteristieken liggen en als hotspot verklaard kunnen worden.

Per run met verschillende starttijd zijn een aantal verschillende uitschieters bepaald. Dit is omdat de verblijftijden anders zijn en de groep karakteristieken (gemiddelde, mediaan, ondergrens en bovengrens) hierdoor verschillen.



Figuur 8: Scatter plot van de temperatuur variance als functie van verblijftijden. De grootte van de cirkels geven het aantal data punten aan. De groter de cirkels de meer data punten (Dit figuur kan ook met Tmin geplotted worden).



Figuur 9: Boxplot met groepering van de temperatuur variance als functie van verblijftijden, de groepen zijn per 2 uur verblijftijden ingedeeld.

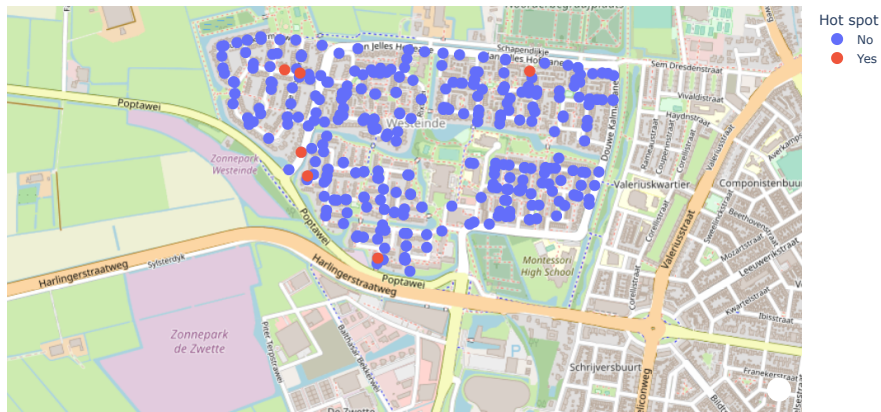
3.4 Ruimtelijke analyse: uitschieters op kaart

De hotspots zijn voor drie runs met verschillende starttijden (om 07:00, 14:00 en 18:00 uur) bepaald (zie figuren 10-12). De hotspot knooppunten zijn per run verschillend. Dit is het effect van onzekerheden in metingen en modellen. De gemeten temperaturen tonen geen variatie over de dag en de verblijftijden zijn gemiddelden van een collectie huishoudens. De berekende verblijftijden zijn model uitkomsten en niet gebaseerd op metingen.

Verschillen in verblijftijden resulteren tevens in verschillende groepering van karakteristieken (zie sectie 2.6) waardoor de gedefinieerde knooppunten als uitschieters kunnen verschillen. Echter de plaatsen van de knooppunten verschillen niet significant van elkaar, ze zijn meestal in dezelfde gebieden. Bijvoorbeeld twee van de hotspots komen in alle drie runs voort, namelijk knooppunten: 66134167 en 112631207.

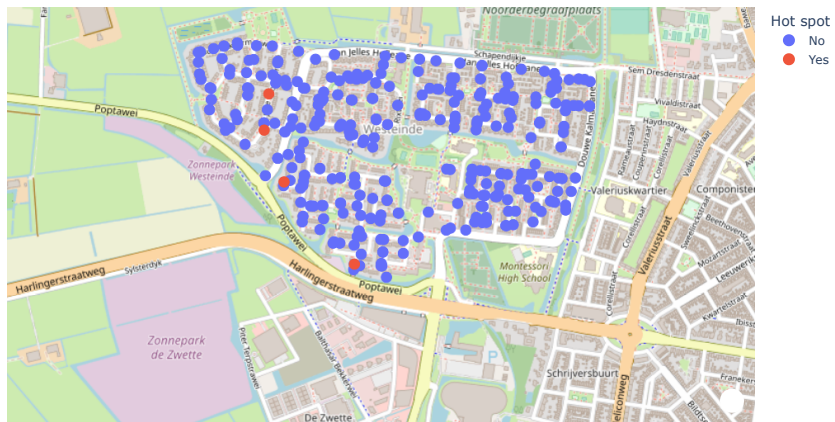
Er kan geen duidelijke oorzaak voor de temperatuursverhoging worden gevonden in deze knooppunten. Deze knooppunten liggen zoals alle andere (niet hotspots) in de bebouwde omgeving in de nabijheid van een parkeerterrein of een bushalte. Echter zijn er meerdere knooppunten die ook in de nabijheid van parkeerterrein of bushalte zijn en toch geen significant verhoging in temperatuur tonen.

Spatial temperature outlier detection based on Tmin



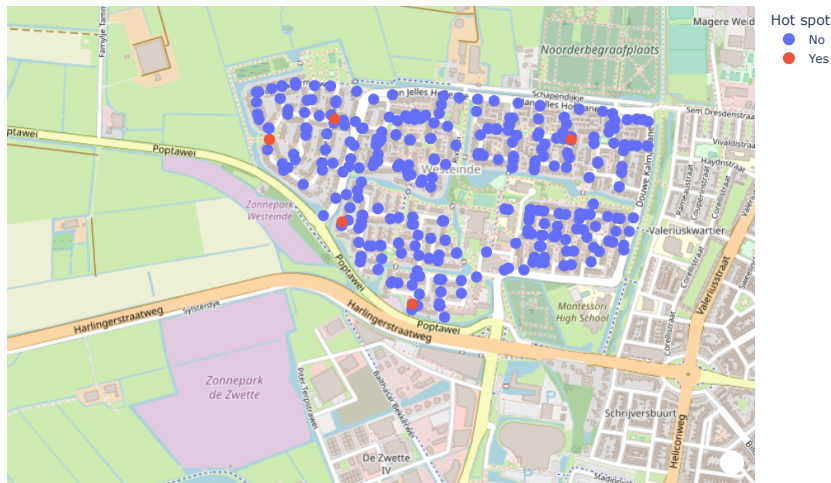
Figuur 10: Uitschieters op kaart voor run gestart om 7:00 uur

Spatial temperature outlier detection based on Tmin



Figuur 11: Uitschieters op kaart voor run gestart om 14:00 uur

Spatial temperature outlier detection based on Tmin



Figuur 12: Uitschieters op kaart voor run start om 18:00 uur

4. Conclusie en aanbevelingen

4.1 Conclusies en discussie

Het doel van deze pilotstudie was om de 'hotspots', de plekken waar de watertemperatuur hoger dan verwacht is, te bepalen aan de hand van temperatuurmetingen in digitale watermeters. Het uitzetten van verblijftijd tegen de temperatuur levert geen duidelijk beeld op. De ruimtelijke variantie methode (zie sectie 2.6) is daarom ingezet. Door te groeperen op basis van verblijftijden zijn de uitschieters in de temperaturen geïdentificeerd. Deze uitschieters zijn op de kaart aangegeven als 'hotspots'. Dit lijkt een zeer geschikte methode te zijn. Er is geen duidelijk oorzaak voor de temperatuurverhoging in de gevonden hotspots aan te wijzen. Dit is ook niet verder geprobeerd, omdat de resultaten niet heel betrouwbaar zijn.

De resultaten van de studie hebben een beperkte betrouwbaarheid. Ten eerste komt dat door de beperkte resolutie van de data. Daarin gelden drie aspecten die de resolutie beperken: A) de ruimtelijke resolutie: er zijn per knoep in het model slechts twee datapunten door Vitens aangeleverd. Deze datapunten vertegenwoordigen de minimale en maximale temperatuur van 2 tot maximaal 80 digitale watermeters op een knoep. B) de temporele resolutie: de temperatuur per digitale watermeter is een gemiddelde temperatuur over de dag, gewogen per verbruik (dat wil zeggen dat de temperatuur ten tijde van stilstand / geen gebruik niet is meegenomen in de weging). C) de resolutie in de meting: de temperatuur is afgerond op hele graden Celsius.

Ten tweede is de betrouwbaarheid van de verblijftijd beperkt. Dit blijkt uit het verschil tussen gemeten en gemodelleerde 'system flow', het totaal aan volume dat het gebied ingaat. Het verschil ontstaat o.a. doordat de verbruiken in het gebied niet volledig worden gedekt door de digitale watermeters; er zijn enkele verbruikers zonder digitale watermeter, en hiervoor zijn de verbruiken ingeschat op basis van een oud model. Daarnaast verschillen verblijftijden over de dag, en er is dus niet "één" verblijftijd die bij een temperatuur hoort. De hotspots zijn voor drie runs met verschillende starttijden bepaald. De verblijftijden verschillen per run, dit veroorzaakt dat de groepering anders is, waardoor andere knooppunten als uitschieters (hotspots) geïdentificeerd worden. Echter de gevonden hotspots zijn meestal in dezelfde gebieden, zoals bijvoorbeeld knooppunten 66134167 en 112631207, die in alle drie de runs voorkomen als hotspots.

Er zijn per knooppunt in het model slechts twee datapunten door Vitens aangeleverd. Deze datapunten vertegenwoordigen de minimale

De hotspots zijn voor drie runs met verschillende starttijden bepaald. De verblijftijden verschillen per run, dit veroorzaakt dat de groepering anders is, waardoor andere knooppunten als uitschieters (hotspots) geïdentificeerd worden. Echter de gevonden hotspots zijn meestal in dezelfde gebieden, zoals bijvoorbeeld knooppunten 66134167 en 112631207. Deze komen in alle drie de runs voor als hotspots.

4.2 Aanbevelingen

Aanbevelingen om tot betrouwbaardere resultaten te komen liggen enerzijds op het vlak van het verbeteren van de data, en anderzijds in het herhalen van de analyse op een grotere dataset:

- Onderzoek of de gewogen gemiddelde temperatuur niet alleen per dag, maar ook per uur kan worden bepaald. Met als mogelijke uitkomst dat er dan in tijden van geen verbruik (bijvoorbeeld 's nachts) geen meetwaarde beschikbaar is.
- Onderzoek of het mogelijk is om temperaturen met één cijfer achter de komma te meten
- Onderzoek of het mogelijk is om minder verbruikers op een knooppunt te groeperen.
- Doe de analyse voor meerdere dagen, en bijvoorbeeld in verschillende seizoenen (zomer, voorjaar, winter, herfst), of voor twee weken achtereen. Voor de analyse zijn redelijk veel scripts geschreven en is ook handmatig werk verricht voor het actueel maken van het epanet-model voor de datum van de analyse (zie sectie 2.6). Voor een analyse van veel meer dagen is het nodig om een en ander meer te automatiseren.

Voor de analyse van de oorzaken voor de hotspots die op deze manier geïdentificeerd worden kan worden gedacht aan de volgende stappen:

- Breng in kaart welke bodembedekking (tegels, asfalt, gras, etc.) en omgevingsfactoren (ondergrondse en bovengrondse warmtebronnen zoals elektriciteitskabels, warmteleidingen of een busstation).
- Vergelijk de meetresultaten met het door KWR ontwikkelde bodem- en drinkwatertemperatuurmodel.

Referenties

BTO rapport: Maatregelen tegen ongewenste opwarming van het drinkwater in het leidingnet (BTO 2020.015)

Blokker, E. & I., Pieterse-Quirijns. (2013). Modeling Temperature in the Drinking Water Distribution System. Journal - American Water Works Association. 105. 10.5942/jawwa.2013.105.0011.

Molen, M. v. d., Kooij, H., Smulders, E. F. P. A., & Heijman, S. G. J. (2008). Warmteindringing in de bodem. Nieuwegein. KWR.

