

A network diagram consisting of various-sized light blue circles connected by thin white lines, set against a solid blue background. The circles are of different diameters and are scattered across the page, with some larger circles and some smaller ones. The lines connect these circles in a non-uniform, web-like pattern.

KWR 2022.121 | December 2022

# **Invloed warmtenetten op temperatuur drinkwater**

**Resultaten TKI Engine**



## Samenwerkingspartners

TKI Watertechnologie, Brabant Water, Dunea, Evides, Oasen, PWN, Vitens, Waterbedrijf Groningen, Waternet, WMD Drinkwater, Waterleiding Maatschappij Limburg, Energie-Nederland N.V., Nederlandse Gasunie, Convenant Samenwerken in de buitenruimte, samenwerkingsverband tussen gemeente Rotterdam, Stedin en Evides



# Rapport

## Invloed warmtenetten op drinkwatertemperatuur

inzicht in invloed onderlinge afstanden

**KWR 2022.121 | December 2022**

### Opdrachtnummer

403298

### Projectmanager

ir. P.M. (Petra) Holzhaus

### Opdrachtgever

TKI, Brabant Water

### Auteurs

dr. ir. E.J.M. (Mirjam) Blokker, Q. (Quan) Pan

### Kwaliteitsborger

dr. ir. K. (Karel) van Laarhoven

### Verzonden naar

Alle samenwerkingspartners

Deze activiteit is mede gefinancierd met PPS-financiering uit de Toeslag voor Topconsortia voor Kennis en Innovatie (TKI's) van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat en de resultaten zijn openbaar.

Werkwijzen, rekenmodellen, technieken, ontwerpen van proefinstallaties, prototypen en door KWR gedane voorstellen en ideeën alsmede instrumenten, waaronder software, die in het onderzoeksresultaat zijn opgenomen, zijn en blijven het eigendom van KWR. Ook alle rechten die voortvloeien uit intellectuele- en industriële eigendom, alsmede de auteursrechten, blijven bij KWR berusten en derhalve eigendom van KWR.

### Keywords

diristributie, warmtenetten, temperatuur

Jaar van publicatie  
2022

Meer informatie  
dr. ir. E.J.M. (Mirjam) Blokker  
T 533  
E [mirjam.blokker@kwrwater.nl](mailto:mirjam.blokker@kwrwater.nl)

PO Box 1072  
3430 BB Nieuwegein  
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511  
E [info@kwrwater.nl](mailto:info@kwrwater.nl)  
I [www.kwrwater.nl](http://www.kwrwater.nl)

**KWR**

December 2022 ©

Alle rechten voorbehouden aan KWR. Niets uit deze uitgave mag - zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van KWR - 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.

# Samenvatting

In het kader van het TKI project Engine: Energie en drinkwater in balans, is de invloed van ondergrondse warmtenetten op de drinkwatertemperatuur in het leidingnet bestudeerd. Hiertoe zijn twee modellen ontwikkeld, het uitgebreide bodemtemperatuurmodel BTM+, en het uitgebreide drinkwatertemperatuurmodel WTM+. Beide modellen zijn op verschillende manieren gevalideerd, en er is een uitgebreide gevoeligheidsanalyse gedaan. Met de modellen is een groot aantal scenario's doorgerekend, waarin verschillende liggingsomstandigheden van warmtenetten en drinkwaternetten in de ondergrond zijn beschouwd.

Met het BTM+ zijn tweedimensionale bodemprofielen opgemaakt, waarmee heel lokale situaties worden beschreven. De gerapporteerde temperaturen zijn de drinkwatertemperaturen die in een evenwichtssituatie zullen worden bereikt, d.w.z. na een relatief lange tijd en waarbij warmte-uitwisseling tussen bodem en water stabiel is. In de scenario's is telkens één aspect gevarieerd, bijv. de diameter van de leiding, de afstand tussen drinkwater- en warmteleiding, de diepteligging van de drinkwaterleiding, etc. De beschrijving van het BTM+, de validatie en de resultaten van de scenarioberekeningen zijn in een apart rapport door Deltares beschreven.

Met het WTM+ zijn scenario's doorgerekend op basis van een dynamisch (d.w.z. tijdsafhankelijk) hydraulisch leidingnetmodel en een combinatie van BTM+ uitkomsten als randvoorwaarde voor de omliggende bodemtemperaturen. De randvoorwaarden kunnen variëren per leidingdiameter en per leiding. In het basisscenario wordt de bodemtemperatuur bepaald door bodemsoort (droog zand), bodembedekking (tegels, en drinkwaterleiding op 1 meter diepte), bovengrondse warmtebronnen (gemiddelde stedelijkheid), en het weer (2016, daarin de warmste dag, zonder extra schaduw). In het scenario met warmtenet wordt de bodemtemperatuur ook beïnvloedt door het warmtenet dat op een bepaalde afstand van de drinkwaterleiding ligt (aanvoer en retour, met gegeven diameters en temperaturen), plus eventueel nog één andere aanpassing, aan bijvoorbeeld de bodemsoort of diepteligging van de drinkwaterleiding.

De volgende scenario's zijn gedefinieerd:

- in het gehele leidingnet (tot 35% van de leidinglengte) kruisen warmteleidingen (s2);
- het gehele leidingnet heeft op een vaste afstand een warmteleiding parallel liggen (s3);
- het leidingnet in 50% van de wijken heeft op een vaste afstand een warmteleiding parallel liggen (s5);
- het gehele distributienet ( $D < 300$  mm) heeft op een vaste afstand een warmteleiding parallel liggen waarbij de afstand varieert voor kleine diameters ( $D \leq 130$  mm) en grotere diameters ( $130 < D \leq 300$  mm)(s4);
- het gehele leidingnet heeft op een vaste afstand een warmteleiding parallel liggen met korte stukken leidingen die dichterbij liggen (25 of 50 cm) (s6);
- het gehele leidingnet heeft op een vaste afstand een warmteleiding parallel liggen, maar de drinkwaterdistributieleidingen liggen op een andere diepte (s7);
- het gehele leidingnet heeft op een vaste afstand een warmteleiding parallel liggen, maar met variatie in bodemsoort, bodembedekking, weeromstandigheden en karakteristieken van de warmteleidingen (s8)

Het WTM+ berekent op ieder moment van de dag op iedere knoop in het leidingnetmodel wat de drinkwatertemperatuur daar is. Geëxtraheerd zijn de temperaturen om 8.00 's ochtends (rond het piekuur qua verbruik) en op de knopen waar ook daadwerkelijk waterverbruik is. Vervolgens zijn de verschillen tussen het basisscenario en het scenario met warmtenet gerapporteerd in de vorm van overschrijdingstabellen. Deze tabellen geven aan hoeveel procent van de huisaansluitingen een bepaalde verhoging van de drinkwatertemperatuur ondervinden als gevolg van het warmtenet. Een uitspraak over welke verhoging van de drinkwatertemperatuur

acceptabel is valt buiten de scope van het project. Wanneer duidelijk is wat een acceptabele norm is, kan op basis van de resultaten die in dit rapport zijn gerapporteerd bepaald worden welke afstand tussen drinkwater- en warmteleiding aangehouden moet worden om de verhoging van de drinkwatertemperatuur als gevolg van een warmtenet binnen de perken te houden.

# Inhoud

<b>Samenwerkingspartners</b>	<b>2</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>8</b>
1.1 Doel en aanleiding	8
1.2 Aanpak: modellen	8
1.3 Opbrengsten	9
1.4 Leeswijzer	9
<b>2 Verschillende scenario's voor opwarming van drinkwater onder invloed van warmtenetten</b>	<b>10</b>
2.1 Inleiding met uitgangspunten	10
2.2 Almere en huidige situatie	10
2.3 Theorie en aangenomen constanten	12
2.4 Uitgangspunten bij de scenario's	13
2.4.1 Variatie o.b.v. diameter drinkwaterleiding	13
2.4.2 Variatie o.b.v. lengteschalen (kruisingen en parallelle ligging)	15
2.5 Scenario's in detail	15
2.5.1 Scenario 1: bassiscenario	15
2.5.2 Scenario 2: scenario's kruisende warmteleidingen	15
2.5.3 Scenario 3: scenario's 100% parallelle warmteleidingen	16
2.5.4 Scenario 4: scenario's 100% parallel, variatie in afstanden	17
2.5.5 Scenario 5: scenario's 50% parallelle warmteleidingen – per wijk	17
2.5.6 Scenario 6: scenario's 100% parallel, met korte stukken dichtbij	18
2.5.7 Scenario 7: scenario's diepteligging drinkwaterleiding	18
2.5.8 Scenario 8: scenario's overige invloeden, berekend met BTM+	18
2.5.9 Samenvatting scenario's	18
<b>3 Resultaten</b>	<b>20</b>
3.1 Inleiding	20
3.2 Kruisende leidingen	21
3.3 Variatie in afstanden tussen parallelle leidingen	21
3.4 Effect van omgevingsparameters	23
3.5 Gevoeligheidsanalyse	24
3.5.1 Effect van $D_3$	24
3.5.2 Effect van keuze voor $T_{\text{boundary}}$	24
3.5.3 Effect van de drinkwatertemperatuur van de bron	25

<b>4</b>	<b>Discussie en aanbevelingen</b>	<b>27</b>
<b>5</b>	<b>Referenties</b>	<b>28</b>
<b>I</b>	<b>BTM+ scenario's</b>	<b>29</b>
<b>II</b>	<b>WTM+ scenarioresultaten</b>	<b>32</b>



# 1 Inleiding

## 1.1 Doel en aanleiding

Tijdens het transport van drinkwater via ondergrondse leidingen warmt het water op als gevolg van de bodemtemperatuur. Een opgewarmde bodem op 1 meter diepte kan ertoe leiden dat de wettelijke maximumwaarde van 25 °C aan de tap wordt overschreden. Klimaatverandering, een toename van antropogene warmtebronnen door verstedelijking en de energietransitie zorgen voor een warmere (stedelijke) bodem en verhogen daarmee de kans op overschrijding van deze temperatuurnorm. Dit kan grote gevolgen hebben voor de drinkwaterkwaliteit.

De invloed van de bodemtemperatuur op het drinkwater kan bijvoorbeeld worden beperkt door bij aanleg van de ondergrondse infrastructuur de onderlinge afstand tussen drinkwater- en warmteleidingen of elektriciteitskabels te vergroten. Voor het onderbouwen van zulke keuzes moet bekend zijn hoe de drinkwatertemperatuur wordt beïnvloed, met name door antropogene warmtebronnen zoals warmtenetten en elektriciteitskabels. In het project TKI ENGINE is de kennis vergroot over warmteoverdracht tussen bodem, drinkwater en warmtenetten. Er zijn praktische tools ontwikkeld waarmee de invloed van de onderlinge afstand tussen leidingen kan worden bepaald, en waarmee een keuze kan worden gemaakt voor een gewenste afstand. .

Wat betreft het gebruik van de ondergrondse ruimte is het belangrijk met elkaar af te spreken welke uitgangspunten hierbij worden gehanteerd. De komende jaren zal de ondergrondse infrastructuur vanwege de energie- en warmtetransitie flink op de schop gaan. Kabels en leidingen worden vervangen en er komen nieuwe of zwaardere bij; ook in historische binnensteden waar de ondergrondse ruimte beperkt is. Met goede afspraken moet iedereen toegang hebben tot energie, warmte en andere nutsvoorzieningen en moet ook de levering van betrouwbaar drinkwater zijn gewaarborgd.

## 1.2 Aanpak: modellen

Om een uitspraak te kunnen doen over gewenste minimale afstanden tussen warmtebronnen en drinkwaterleidingen, moet onder allerlei omstandigheden duidelijk zijn wat de invloed van die bronnen is op de bodemtemperatuur. We hebben het dan bijvoorbeeld over grondsoort, seizoenen, diameters van leidingen en leidingmateriaal. Omdat het uitvoeren van een aantal metingen hier nooit voldoende zicht op geeft, is een goed model nodig.

In de ontwikkeling van het model gaat het om een zeer complex en dynamisch systeem. Er vindt op meerdere manieren warmte-uitwisseling plaats: tussen atmosfeer en bodem, tussen bodem en warmwaterleiding en tussen bodem en drinkwaterleiding. Ook is sprake van significant verschillende tijdschalen: minuten tot maanden (veranderingen in atmosfeer), uren tot dagen (warmteoverdracht door de bodem), uren (verblijftijd van water in de leiding) en dagen (warmte-uitwisseling van water en bodem). Daarom koppelen we een aantal modellen aan elkaar, in plaats van alles in één overkoepelend model te vatten. Voor een betere beschrijving van de invloed die antropogene opwarming aan het maaiveld heeft, zijn bestaande bodemtemperatuurmodellen (BTM, Molen et al. 2008; Blokker en Pieterse-Quirijns 2013) geïntegreerd tot een (tweedimensionaal) bodemtemperatuurmodel (BTM+, van Esch 2022).

De uitkomsten van het BTM+ zijn vertaald naar randvoorwaarden voor een watertemperatuurmodel (WTM) waarmee de drinkwatertemperatuur gedurende transport door een volledig drinkwaterleidingnet kan worden berekend. Ten opzichte van het bestaande WTM (Blokker en Pieterse-Quirijns 2013) is een invloedszone van bodemmateriaal rond de drinkwaterleiding toegevoegd waarmee de opwarming van het drinkwater beter de werkelijkheid benadert (nl. iets trager dan het oorspronkelijke WTM). Dit uitgebreide model noemen we het WTM+ model (Blokker et al. T.B.P.).

In modelontwikkeling is validatie een noodzakelijke stap. Om het risico van mislukte metingen tegen te gaan, zijn de validatiemetingen al uitgevoerd voordat het huidige project van start ging. We hebben bestaande BTM en WTM niet opnieuw gevalideerd. Er zijn metingen uitgevoerd om BTM+ te valideren (op basis van metingen in de ICAIR-opstelling van de universiteit van Sheffield, afgerond in Q4 2019 (van Summeren 2022); en op basis van metingen bij Evides, afgerond in mei 2020 - (van Esch 2022)) en WTM+ te valideren (op basis van metingen bij Evides, afgerond in mei 2020 - (Blokker et al. 2022)). Hierover worden ook twee wetenschappelijke artikelen verwacht (Blokker et al. T.B.P.; van Esch et al. T.B.P.).

Vervolgens zijn de modellen toegepast voor een groot aantal scenario's waarin gevarieerd wordt met leidingdiameters, onderlinge afstanden, bodemsoort, bodembedekking, weer en klimaat. Met het BTM+ zijn de bodemtemperaturen bepaald die vervolgens als randvoorwaarden zijn opgegeven in leidingnetberekeningen met het WTM+. Hierin is de verblijftijd van het drinkwater een expliciete factor, en verschillende onderdelen van het leidingnet kunnen onder verschillende omstandigheden liggen (en dus andere randvoorwaarden van de bodemtemperatuur ervaren). De resultaten van de WTM+ scenario's zijn in voorliggend rapport beschreven.

### 1.3 Opbrengsten

De ontwikkeling van de modellen BTM+ en WTM+, inclusief rapportage zijn in aparte publicaties beschreven (van Esch 2022; Blokker et al. T.B.P.). De uitkomsten n BTM+ zijn samengevat in een experttool en omdat gebruik gemaakt is van open source software, is het BTM+ toegankelijk voor iedereen (van Esch 2022). Met de experttool krijgen de projectpartners praktische handvatten aangereikt om voor bestaande situaties in te schatten wat de mogelijkheden zijn voor een goede inpassing van de ondergrondse infrastructuur. Met het BTM+ kunnen ze specifieke situaties (laten) doorrekenen die nog niet goed in de huidige doorgerekende scenario's zijn te vatten. Het WTM+ is ook open source, en eenvoudig toe te passen in EPANET-MSX (Rossman 2000; Shang en Uber 2008).

De resultaten van de WTM+ scenario's zijn in voorliggend rapport beschreven. Op basis van de resultaten van dit project kan de Nederlandse norm voor de ruimtelijke ordening van ondergrondse netten (NEN7171) worden bijgesteld. Afgesproken is dat de deelnemende partners ervoor zorgen dat de in dit TKI-project ontwikkelde kennis wordt ingebracht in de NEN7171 commissie, hierin ondersteund door voorliggende rapportage.

### 1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de scenario's beschreven die zijn doorgerekend. Daarbij worden de invloedsfactoren die volgen uit de gebruikte formules beschouwd en de variatie die relevant blijkt op basis van de gevoeligheidsanalyse en verwachte variatie. De waardes voor de bodemtemperaturen die als randvoorwaarden zijn gebruikt zijn in meer detail in bijlage I gegeven. In hoofdstuk 3 wordt een samenvatting van de resultaten gepresenteerd. Alle afzonderlijke resultaten zijn in tabellen in bijlage II opgenomen. In hoofdstuk 3 is ook een gevoeligheidsanalyse voor de scenario's opgenomen. Een uitgebreidere gevoeligheidsanalyse en validatie van de modellen is in wetenschappelijke artikelen beschreven die ten tijde van het schrijven van dit rapport nog niet zijn gepubliceerd. Hoofdstuk 4 bevat een aantal conclusies en aanbevelingen.

## 2 Verschillende scenario's voor opwarming van drinkwater onder invloed van warmtenetten

### 2.1 Inleiding met uitgangspunten

De uitgangspunten zijn gedefinieerd in het projectplan van TKI Engine, en zijn in dit hoofdstuk explicieter uitgewerkt. De keuzes voor de aannames worden hier niet allemaal opnieuw onderbouwd. Het effect van een warmtenet op de drinkwatertemperatuur wordt relatief beoordeeld. Dat wil zeggen dat bepaald wordt hoeveel extra opwarming een warmtenet geeft. Dit betekent:

- a Het effect wordt bepaald door een scenario met warmtenet (op een bepaalde afstand) te vergelijken met een referentiescenario zonder warmtenet.
- b Het relatieve effect wordt beperkt beïnvloed door de absolute temperatuur. Bijvoorbeeld op een bepaalde zomerdag is de bodemtemperatuur rond de drinkwaterleiding zonder warmtenet 20 °C en zou deze met warmtenet 23 °C zijn. Een aantal weken later na een warme periode is de bodemtemperatuur rond de drinkwaterleiding zonder warmtenet 23 °C en zou deze met warmtenet 26 °C zijn. In beide gevallen is het effect van het warmtenet, uitgedrukt als toename van de temperatuur aan de tap, ongeveer gelijk (namelijk 3 °C). Het relatieve effect wordt daarmee ook beperkt beïnvloed door de precieze keuze voor waarden van parameters zoals op welke dag de beoordeling wordt gedaan, wat het weer op die dag was, welke grondsoort precies wordt aangenomen, etc. Daarmee zijn de resultaten van de scenario's te beschouwen als generieke uitkomsten.

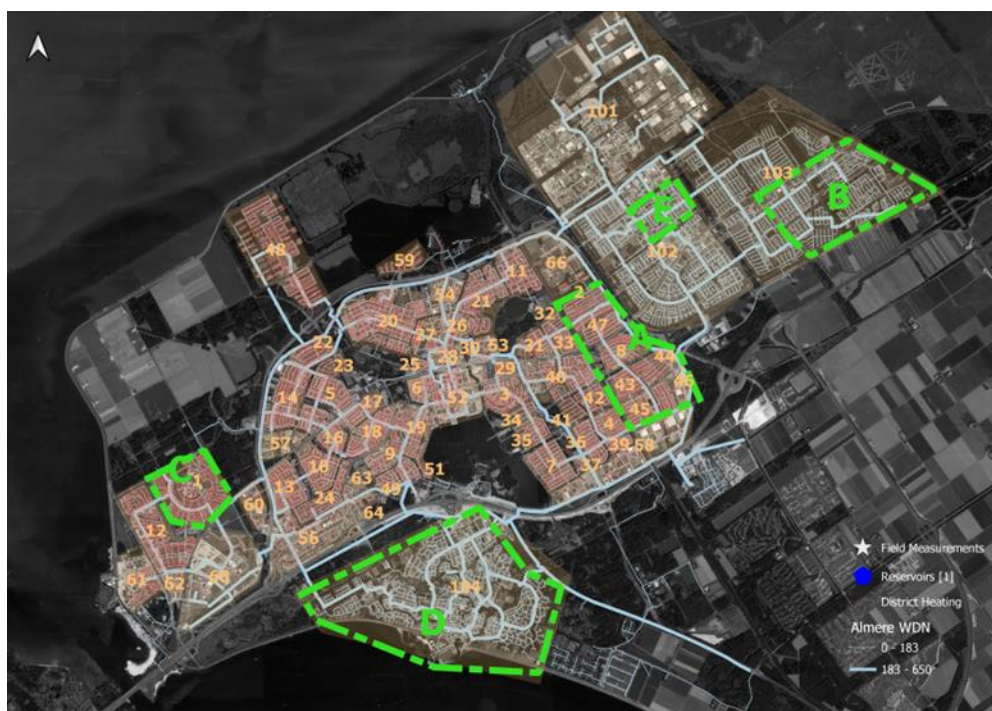
Het niveau waarop wordt gekeken is wijkniveau. Warmtenetten worden als een boomstructuur uitgelegd. Daarbij geldt altijd een eenduidige stromingsrichting en dus is voor elke leiding duidelijk wat zijn leveringsgebied is. Daarmee is een wijk relatief eenvoudig gedefinieerd (bijv. 250 aansluitingen in de laatste aftakking). Drinkwaternetten worden vooral in een vermaasde structuur uitgelegd, waarbij een gebied dat ongeveer overeenkomt met een postcode-5 gebied (ca. 250-450 woningen<sup>a</sup>) vanaf twee of drie kanten gevoed wordt. De wijken worden daarom handmatig ingedeeld voor de analyse.

In principe is het mogelijk om voor iedere leiding in het model van Almere een andere omgevingstemperatuur ( $T_{\text{boundary}}$ ) op te geven. Dit leidt tot een oneindig aantal scenario's, en dat is niet overzichtelijk. Daarom is een beperkt aantal scenario's opgesteld met logische parameters. De logica komt voort uit a) de lay-out van het drinkwaternet, b) de gevoeligheidsanalyse van BTM+ en WTM+.

### 2.2 Almere en huidige situatie

Almere is geselecteerd om de scenario's op toe te passen. De stad Almere is opgedeeld in drie stadsdelen (Almere Haven, Stad en Buiten). De stadsdelen hebben allemaal een ander karakter en geven zo een goed beeld van de leidingnetwerken die in Nederland aanwezig zijn – Almere Haven is bijv. opgebouwd uit typische bloemkoolwijken uit de jaren 1980; Almere Stad heeft wijken die wat dichter bebouwd zijn en Almere Buiten heeft een aantal nieuwbouwwijken met drinkwaternetten die aangelegd zijn als zelfreinigende netten (kleinere diameters en vertakt, ca. 100 woningen in een sectie). De stadsdelen zijn verder op te knippen in wijken. De wijken waarin gemeten is, zijn afgebeeld in Figuur 2-1. Wijken A en B zijn relatief nieuwe wijken in respectievelijk Almere Stad en Buiten. Wijk C is een wijk die ver weg ligt van pompstation. Wijken D en E zijn oude wijken in respectievelijk Almere Haven en Buiten.

<sup>a</sup> Gemiddelde tot 90-percentiel, op basis van <https://www.cbs.nl/nl-nl/dossier/nederland-regionaal/geografische-data/gegevens-per-postcode-cijfers-2020>



Figuur 2-1. Overzicht wijken Almere. De wijken zijn genummerd, een deel daarvan heeft in scenario 5 (§ 2.5.5) een warmtenet, de andere wijken niet. De letters geven de deelgebieden aan waar op ingezoomd is.

In Almere ligt nu ook deels een warmtenet. Op basis hiervan is getracht in te schatten hoeveel kruisende leidingen verwacht kunnen worden. Tabel 2-1 geeft aan wat per diameterklasse de totale leidinglengte is in het netwerk van Almere, wat de lengte is van het deel in Almere waar een warmtenet ligt (wel in Almere Stad, niet in Almere Haven, niet in Almere Buiten). Het geeft aan in hoeveel leidingen kruisende warmtenetten voorkomen (minstens 2, heen- en retourleiding), en de lengte van de leidingen die kruisingen hebben. Uitgerekend is welk percentage van de leidinglengte potentieel beïnvloed wordt door de kruisende warmteleidingen, namelijk als de invloedzone 500 mm is, 800 mm<sup>b</sup> is en wanneer de hele leiding beïnvloed zou worden.

De getallen zijn als volgt berekend, we nemen de bovenste rij als voorbeeld:  $1044 \text{ kruisingen} = 1044/2 * 0.5 \text{ m}$  (aanvoer en retour samen) = 261 meter; en dit is 1.0% van 26,3 km. Dit betekent dat wanneer de invloed alleen lokaal is, in de huidige situatie gemiddeld ca. 1% van de leidinglengte wordt gekruist. Dit is het pure lengtepercentage. De laatste kolom geeft aan hoe het validatiemodel (d.w.z. het model dat gebruikt is voor de validatie van het model met de metingen van 31 augustus 2020) momenteel is opgebouwd (Blokker et al. T.B.P). Als er twee of meer kruisingen zijn, wordt de hele leiding lokaal aan een hogere temperatuur blootgesteld. Dat geldt dus voor ca. 40% van de leidinglengte in Almere Stad (in de eerste rij is 35,9% opgegeven). N.B. deze laatste kolom is apart berekend en kan niet uit de tabel worden afgeleid.

Voor de **validatie** is in het validatiemodel een hele leiding als “beïnvloed door kruisende warmtenetten” genomen, waarbij maximaal 2 °C verschil is verondersteld (voorbeeld eerste rij: 35,9% van de leidinglengte heeft de hogere temperatuur). In tegenstelling daartoe wordt voor de **scenarioberekeningen** gerekend met een percentage kruisingen en een breedte van 500 of 800 mm (in de eerste rij is bij de huidige configuratie 1,0% (500 mm breedte) of 1,6% (800 mm breedte). Daarbij wordt verondersteld dat kruisingen veel dichterbij liggen dan 1 meter. In dat

<sup>b</sup> Primair warmtenet: twee buizen van (binnendiameter 160.3 mm + 4 mm staal + 55.85 mm PUR + 3.9 mm PE), retourleiding (0,21 m tussen aanvoer en retour) → ca. 800 mm. Secundair warmtenet: twee buizen van (binnendiameter 54.5 mm + 2.9 mm staal + 39.85 mm PUR + 3.0 mm PE), retourleiding (0,19 m tussen aanvoer en retour) → ca. 500 mm

geval kan de lokale temperatuur (ter hoogte van de kruising) meer dan 2 °C hoger uitkomen, maar wel over minder leidinglengte. Er wordt in de **scenarioberekeningen** gerekend met een variatie in aantal kruisingen (§ 2.4.2).

Tevens is per leiding gekeken naar hoeveel kruisingen er zijn, om niet alleen het gemiddelde maar ook de variatie te bekijken. Wanneer korte leidingen in het model (< 30 m) buiten beschouwing worden gelaten, blijkt dat het maximale percentage van de leidinglengte dat kruist ca. 16% is. Dit getal wordt gebruikt om een realistische variatie in de scenario's met kruisende leidingen te definiëren.

Tabel 2-1. Overzicht percentage van de leidinglengte dat beïnvloed wordt (een hogere temperatuur ervaart) bij verschillend aantal en breedte van kruisingen per diameterklasse.

Diameter-klasse (mm)	Lengte (km, totale DWN)	Lengte (km, DWN met warmtenet)	# kruisingen (2 of meer)	% bij 500 mm brede kruising	% bij 800 mm brede kruising	Lengte (km, met kruisingen)	% als hele leiding beïnvloed
0.0 - 49.9	42.6	26.3	1044	1.0%	1.6%	9.4	35.9%
50.0 - 69.9	69.5	45.9	1728	0.9%	1.5%	21.6	47.0%
70.0-120.9	413.1	223.2	8036	0.9%	1.4%	105.1	47.1%
121.0-159.9	111.7	67.6	2117	0.8%	1.3%	26.9	39.8%
160.0-199.9	36.9	18.7	331	0.4%	0.7%	6.6	35.4%
200.0-349.9	47.0	22.2	298	0.3%	0.5%	10.0	45.2%
350.0-449.9	23.4	13.1	121	0.2%	0.4%	5.2	39.4%
450.0-600.0	35.8	24.7	116	0.1%	0.2%	6.5	26.3%

### 2.3 Theorie en aangenomen constanten

Het WTM+ heeft als basis een hydraulisch leidingnetmodel met daarin de drinkwaterleidingen (lengte, diameter, wandruwheid afhankelijk van leidingmateriaal) en drinkwatervraag. De uitkomst van dat model zijn de volumestromen en waterdrukken op ieder moment van de dag op iedere plek in het leidingnet; en daarmee ook de verblijftijd ( $t$ ) van het drinkwater in het leidingnet tussen pompstation en de klant. Daarbovenop wordt een watertemperatuurmodel losgelaten (zie vergelijking hieronder) met als input de drinkwatertemperatuur ( $T_{water}$ ) vanaf het pompstation, de bodemtemperatuur rond de leiding ( $T_{boundary}$ ), de warmteoverdrachtsparementen van water ( $\alpha_{water}$ ), de leiding ( $\lambda_{pipe}$ ) en de bodem ( $\lambda_{soil}$ ), de afstand waarover warmteoverdracht plaatsvindt ( $D_1$  binnendiameter van de leiding,  $D_2$  de buitendiameter en  $D_3$  de leiding inclusief een bufferzone van bodem rondom de leiding), de stroomsnelheid (via het Nusseltgetal  $Nu$ ) en de tijd ( $t$ , contacttijd, of verblijftijd van het drinkwater in het leidingnet – deze volgt uit de hydraulische berekening) (Blokker en Pieterse-Quirijns 2013; Blokker et al. T.B.P).

$$\frac{dT_{water}}{dt} = \frac{4 \cdot \alpha_{water}}{D_1^2 \left( \frac{1}{Nu} + \frac{\lambda_{water} \cdot \ln\left(\frac{D_2}{D_1}\right)}{2\lambda_{pipe}} + \frac{\lambda_{water} \cdot \ln\left(\frac{D_3}{D_2}\right)}{2\lambda_{soil}} \right)} (T_{boundary} - T_{water})$$

- De warmteoverdrachtsparementen zijn constant ( $\alpha_{water}$ ,  $\lambda_{pipe}$  waarbij we uitgaan van PVC omdat >50% van de drinkwaterleidingen PVC is, en dit aandeel neemt alleen nog maar toe,  $\lambda_{PVC} = 0.16$  W/m.K).
- Voor de bodem is er wel sprake van enige variatie afhankelijk van bodemmateriaal en vochtgehalte, maar de gevoeligheidsanalyse (Blokker et al. T.B.P) liet zien dat het effect beperkt is; we nemen dus ook een vaste waarde aan voor ( $\lambda_{soil} = 1.6$  W/m.K).
- Door een hele stad te simuleren ontstaat er vanzelf een realistische variatie van leidingdiameters ( $D_1$ ,  $D_2$ ), stroomsnelheden ( $Nu$ ) en verblijftijden ( $t$ ). Door per wijk te kijken, kunnen systematische verschillen

tussen wijken in beeld worden gebracht, bijv. een modern drinkwaternet versus een ouderwets drinkwaternet.  $Nu$  wordt bepaald door het Reynoldsgetal ( $Re$ ) dat bepaald wordt door de stroomsnelheid, en het Prandtlgetal ( $Pr$ ) dat min of meer constant is voor water tussen 10 en 25 °C. Er is sprake van laminaire stroming bij  $Re < 2.100-2.300$ , en van turbulente stroming bij  $Re > 3.500-10.000$  (Trinh 2010). Uit de validatie van Kralingen blijkt dat daar de overgang naar een andere warmteoverdracht ongeveer bij  $Re > 5.000$  ligt. Die waarde wordt ook aangehouden voor Almere. Er geldt:

$$Nu = 0.027Pr^{0.33}Re^{0.8}$$

Bij turbulente stroming,  $Re > 5.000$

$$Nu = 3.66$$

Bij laminaire stroming,  $Re < 5.000$

- Uit de validatie van metingen in Kralingen en Almere is afgeleid dat  $D_3 = 2 \times D_1$  (Blokker et al. T.B.P).
- In de formule zit ook de starttemperatuur van het drinkwater, vanuit het reservoir ( $T_{water}$ ). Voor grondwater is dat typisch 12-15 °C; voor oppervlaktewater varieert het met het seizoen, in de zomersituatie typisch 19-22 °C. De invloed van deze parameter is in een aparte analyse bekeken voor  $T_{water}(t=0) = 12$  °C en  $T_{water}(t=0) = 20$  °C (§ 3.5).
- De belangrijkste parameter die overblijft is  $T_{boundary}$ , en deze wordt gevarieerd in de scenario's. De geselecteerde  $T_{boundary}$  is de bodemtemperatuur die bepaalt wat de drinkwatertemperatuur wordt wanneer voldoende tijd beschikbaar is.  $T_{boundary}$  hangt af van de weersomstandigheden (actueel en in voorgaande weken), de bodembedekking (tegels of gras), directe straling (of schaduw), bodemsoort, diepte en afstand tussen drinkwater- en warmteleiding.  $T_{boundary}$  wordt berekend door het BTM+. De gevoeligheidsanalyse van BTM+ laat zien welke variatie in parameters tot een substantieel onderscheid leidt in de berekende bodemtemperaturen.

## 2.4 Uitgangspunten bij de scenario's

De WTM+ - scenario's voor Almere bestaan uit variatie in de waardes en de locaties van de opgelegde  $T_{boundary}$ . In principe is het mogelijk om voor iedere leiding in het model van Almere een andere omgevingstemperatuur ( $T_{boundary}$ ) op te geven. Dit leidt tot een oneindig aantal scenario's, en dat is niet overzichtelijk. Daarom is een beperkt aantal scenario's opgesteld met logische uitgangspunten. Er wordt onderscheid gemaakt op basis van de diameter van de drinkwaterleiding, en er wordt onderscheid gemaakt op basis van de locatie van de warmteleiding t.o.v. de drinkwaterleiding, d.w.z. de afstand tussen de leidingen en de lengterichting van de drinkwaterleiding waarover de invloed geldt. Daarbij geldt dat er onderscheid wordt gemaakt tussen kruisende leidingen en parallelle leidingen, en tussen korte en lange parallelle leidingen.

In het projectplan TKI Engine is afgesproken om met een beperkt aantal weersscenario's te rekenen voor het BTM+ en voor het WTM+ met maar één, namelijk de dag met de hoogste bodemtemperatuur op 1 meter diepte in het jaar 2016. De reden van het rekenen met maar één weersscenario is het beperken van de rekentijd. Gekozen is voor de warmste dag als een worst case situatie, zonder dat er in het referentiescenario al een overschrijding van de 25 °C norm wordt gevonden. De consequentie is beperkt. De resultaten van de scenario's worden gepresenteerd als de invloed van een warmtenet t.o.v. de situatie zonder warmtenet. Dit betekent dat vooral de verschiltemperatuur tussen de situatie met en zonder warmtenet van belang is. Dat verschil blijkt in het BTM+ vrijwel gelijk te zijn over het jaar (van Esch 2022).

### 2.4.1 Variatie o.b.v. diameter drinkwaterleiding

De drinkwaterleidingen worden in twee categorieën gedeeld: transportleidingen (DWTL) en distributieleidingen (DWDL). Het gaat om een functioneel onderscheid: DWTL garanderen leveringszekerheid, ze transporteren drinkwater van het pompstation naar het distributienet, en in principe worden klanten aangesloten op DWDL en zijn er geen klanten direct aangesloten op de DWTL. DWTL hebben grotere diameters, vaak wat hogere snelheden en daardoor dus een beperkte verblijftijd van het drinkwater in de DWTL; DWDL hebben kleinere diameters, en vaak lange verblijftijden – de invloed op de temperatuur wordt daardoor ook meer bepaald door DWDL dan door DWTL. Voor Almere geldt dat alle  $\varnothing 315$  PVC leidingen (binnendiameter 300 mm) en groter DWTL zijn; in Figuur 2-2

zijn DWTL in rood, en DWDL in groen en blauw weergegeven. DWTL liggen over het algemeen wat dieper dan 1 meter (in Almere bijv. op 1,2 m, in landbouwgronden in Drenthe 1,5 m), en vaker onder onverhard oppervlak; DWDL liggen vaak op 1 m diepte en onder verhard oppervlak. Dat betekent dat de bodemtemperatuur rond DWTL en DWDL niet hetzelfde hoeft te zijn. N.B. er bestaat ook een categorie van tertiaire drinkwaterleidingen, maar de onderscheidende factoren zijn hier niet relevant, deze worden hier dus onder DWDL geschaard.

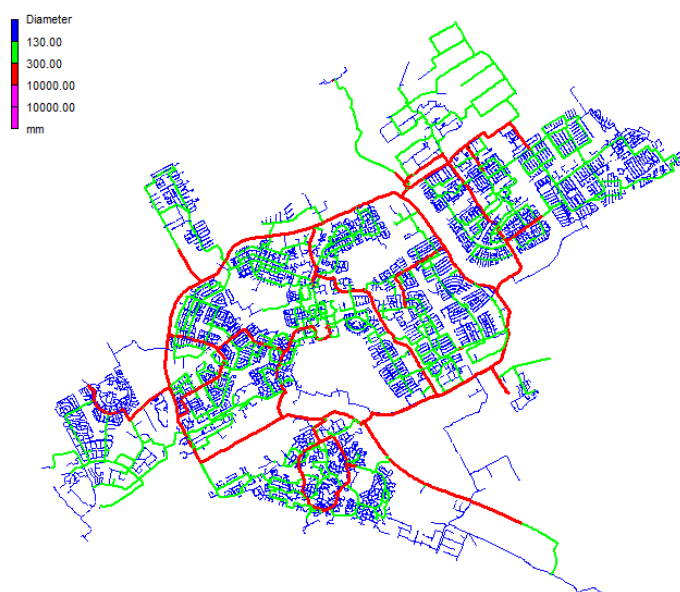
Wanneer een warmtenet naast een drinkwaterleiding wordt gelegd, nemen we aan dat bij DWTL een primaire warmteleiding ligt (DN150, aanvoer van 90 °C en retour 70 °C), en dat er vaak voldoende ruimte is om afstand te houden tussen warmteleiding en DWTL; bij DWDL ligt een secundaire warmteleiding (DN50, aanvoer van 70 °C en retour 40 °C), en dat er vaak minder ruimte is om afstand te houden tussen warmteleiding en DWDL. Zie bijlage I voor meer specificaties van de warmteleidingen.

Met het BTM+ zijn een groot aantal scenario's doorgerekend. Deze scenario's zijn ingedeeld volgens de diameter van de warmteleidingen:

- "transportleidingen" (grote transportwarmtenetten, onderdeel van de scenario's aangeduid met N voor netwerk, voor een Ø315 PVC drinkwaterleiding, transportleidingen);
- "primaire warmteleidingen" (primaire warmtenet, aangeduid met P, voor een Ø160 PVC drinkwaterleiding, wat in drinkwaternetten meestal het secundaire leidingnet is);
- "secundaire warmteleidingen" (secundaire warmtenet, aangeduid met S, voor een Ø110 PVC drinkwaterleiding, wat in drinkwaternetten meestal het tertiaire leidingnet is).

In het hydraulisch netwerkmodel van Almere worden voor alle leidingen (interne diameter)  $\leq 130$  mm (blauw in Figuur 2-2) de S-scenario's gebruikt, voor leidingen tussen 130 en 300 mm de P-scenario's (cyaan en groen in Figuur 2-2) en voor leidingen  $> 300$  mm de N-scenario's (rood in Figuur 2-2).

Dit betekent dat afhankelijk van de leidingdiameter ( $\leq 300$  mm DWDL;  $> 300$  mm DWTL) de invloed wordt meegenomen van diepte (DWDL -1 m; DWTL -1.2 m), bodembedekking (DWDL tegels; DWTL gras) en afstand tot warmteleiding (DWDL 0,5 tot 2,5 m; DWTL 1,5 tot 2,5 m). Voor de combinatie van warmteleiding en drinkwaterleiding is onderscheid gemaakt in drie diameter ( $\leq 300$  mm, 130-300 mm,  $> 300$  mm).



Figuur 2-2. Leidingnetmodel van Almere, in rood de transportleidingen (DWTL), in blauw en groen de distributieleidingen (DWDL).

### 2.4.2 Variatie o.b.v. lengteschalen (kruisingen en parallelle ligging)

Drinkwaterleidingen en warmteleidingen kunnen kruisend en parallel liggen. Daarbij kunnen afstanden variëren, en ook het percentage leidingen waarvoor de invloed geldt kan variëren. De scenario's worden telkens vergeleken met de situatie waarin geen warmteleidingen liggen.

- A. Er is een referentiescenario zonder warmtenet, en daarnaast zijn er vele mogelijkheden om warmteleidingen te laten kruisen met drinkwaterleidingen. Gevarieerd is vooral met locatie en hoeveelheid kruisingen. Een realistisch aantal is geschat aan de hand van de huidige kruisingen in de stadsdelen van Almere waar een warmtenet ligt (§ 2.2). Bij kruisende leidingen gaan we uit van een willekeurige verdeling van de kruisende leidingen.
- B. Er is een referentiescenario zonder warmtenet, en daarnaast zijn er vele mogelijkheden om warmteleidingen naast de drinkwaterleiding aan te leggen met variatie in afstand (van dichtbij tot veraf, of geen warmteleiding parallel). Om het aantal scenario's enigszins te beperken zijn grofweg de volgende scenario's gedefinieerd:
  - i. 100 % parallelligging, alle leidingen op dezelfde afstand;
  - ii. 50% parallelligging, per wijk; de helft van de wijk als (i), de andere helft heeft geen warmtenet;
  - iii. 100 % parallelligging, grotere diameters leidingen op grotere afstand dan kleinere diameters leidingen;
  - iv. 50% parallelligging, per wijk; de helft van de wijk als (iii);
  - v. Korte stukken parallelligging, bijvoorbeeld in bochten en wanneer er een boom in de weg staat worden in de warmteleidingen expansiebochten aangelegd, waar bij de drinkwaterleidingen haakse bochten mogelijk zijn. Hierdoor kunnen beide leidingen over een korte lengte (5 tot 20 meter) dicht bij elkaar komen te liggen (50 cm).
- C. Er is geen scenario waarin zowel kruisende als parallelle leidingen zijn gesimuleerd.

In de volgende paragraaf worden de scenario's verder gespecificeerd.

## 2.5 Scenario's in detail

### 2.5.1 Scenario 1: basisscenario

In Almere geldt dat het grofweg de leidingen met diameters tot 300 mm drinkwaterdistributieleidingen (DWDL) zijn die typisch op 1 meter diepte liggen en onder tegels. De grotere leidingen zijn drinkwatertransportleidingen (DWTL) die iets dieper liggen (1,25 m) en onder gras. Gerekend wordt met de standaardinstellingen: droog zand, warmste dag in 2016, geen schaduw. Het drinkwaternet wordt in drie groepen gedeeld: DWTL (> 300 mm) en DWDL-s (130-300 mm) en DWDL-t ( $\leq$  130 mm). In het basisscenario is geen invloed van een warmteleiding. Zie Tabel 2-3 (pagina 12) voor de waardes van BTM+.

### 2.5.2 Scenario 2: scenario's kruisende warmteleidingen

De meeste leidingen ondervinden dezelfde randvoorwaarden als in het basisscenario. Alleen daar waar leidingen kruisen wordt  $T_{\text{boundary}}$  aangepast, volgens uitkomsten uit BTM+ (zie Tabel 2-3 op pagina 12 voor de waardes van BTM+). Locatie van kruisingen wordt willekeurig verdeeld over het drinkwaternet. Een kruising met primaire warmteleiding (heen en retour + tussenafstand) is (afgerond) 800 mm breed, met secundaire leiding 500 mm.

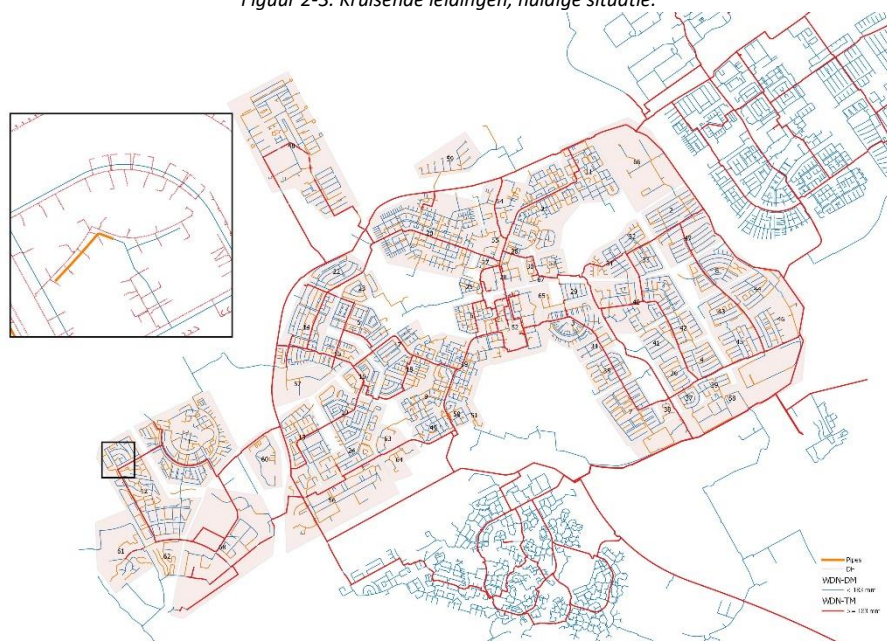
- a) Huidige situatie (huidige netwerk Almere, zie ook Tabel 2-1), ca. 1% van de leidingen kruist (invloed zoals in validatie, ca. 35% van de leidinglengte);
- b) 15% van de leidinglengte kruist (random verdeeld, 500-800mm lengte);
- c) 10% van de leidingen kruist (random verdeeld, 500-800mm lengte);
- d) 5 % van de leidingen kruist (random verdeeld, 500-800mm lengte).



Het drinkwaternet wordt in drie groepen gedeeld: DWTL (geen kruisingen, in donkerrood hieronder), DWDL zonder kruisende warmteleidingen (blauw) en DWDL met kruisende warmteleidingen (geel). In Figuur 2-3 scenario 2a) huidige situatie in Almere; en Figuur 2-4 scenario 2b).



Figuur 2-3. Kruisende leidingen, huidige situatie.



Figuur 2-4. Kruisende leidingen, nieuwe scenario's.

### 2.5.3 Scenario 3: scenario's 100% parallelle warmteleidingen

Overall wordt  $T_{\text{boundary}}$  aangepast, volgens uitkomsten uit BTM+ (zie Tabel 2-3 op pagina 12 voor de waarden van BTM+). Onderscheid tussen DWTL en DWDL-s/t voor diepte en bodembedekking. De afstanden tussen drinkwater- en warmteleiding gelden overall gelijk:

- 0,25 m
- 0,5 m
- 1,0 m
- 1,5 m
- 2,0 m
- 2,5 m

De invloed van warmteleidingen is afhankelijk van de afstand (a-f) en voor beide groepen iets verschillend.

#### 2.5.4 Scenario 4: scenario's 100% parallel, variatie in afstanden

In bovengenoemde scenario's zijn de afstanden voor alle leidingen gelijk. Er wordt ook gevarieerd met afstanden voor de verschillende diametergroepen. De tabel hieronder laat de variatie zien (zie Tabel 2-3 op pagina 12 voor de waarden van BTM+).

Tabel 2-2. Scenario's voor variatie in afstanden. Diameter > 300 mm wordt zonder warmtenet uitgevoerd. X: scenario, (x): elders al afgedekt (scenario 3). N.B. In scenario 3 hebben ook de leidingen > 300 mm een warmtenet.

		DIAMETER ≤ 130 MM			
		AFSTAND DWN-DHN (M)			
		0,5	0,75	1,0	1,5
DIAMETER	0,75		(3c)		
130 – 300 MM	1,0	4a	4d	(3d)	4i
	1,5	4b	4e	4g	(3e)
	2,0	4c	4f	4h	4j

#### 2.5.5 Scenario 5: scenario's 50% parallelle warmteleidingen – per wijk

Daar waar leidingen parallel liggen wordt  $T_{\text{boundary}}$  aangepast, volgens uitkomsten uit BTM+ (zie Tabel 2-3 op pagina 12 voor de waarden van BTM+). Locatie van parallelle ligging wordt per wijk verdeeld over het drinkwaternet. De afstanden uit scenario 3a t/m 3e worden dan weer gebruikt. De evaluatie vindt plaats voor het totaal, maar ook apart voor de wijken met en zonder warmteleidingen.

Het drinkwaternet wordt in drie groepen gedeeld: DWTL zonder parallelle warmteleidingen (rood), DWDL zonder parallelle warmteleidingen (blauw) en DWDL met parallelle warmteleidingen (geel). In Figuur 2-5 zijn een aantal wijken volledig voorzien van parallelle leidingen. De invloed van warmteleidingen is afhankelijk van de afstand (a-f). N.B. de afstanden worden gevarieerd zodat de invloed van de precieze afstanden kan worden bepaald.



Figuur 2-5. Een wijk wordt grofweg gedefinieerd door postcode-5; de figuur laat wijken zien zoals die handmatig zijn geselecteerd. N.B. dit zijn de wijken met nummers 1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 11, 14, 15, 18, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 31, 33, 35, 38, 43, 44, 45, 47, 50, 51, 52, 57, 60, 61, 63, 64, 65, 66, zie Figuur 2-1.

### 2.5.6 Scenario 6: scenario's 100% parallel, met korte stukken dichtbij

Bijvoorbeeld in bochten en wanneer er een boom in de weg staat worden in de warmteleidingen expansiebochten aangelegd, waar bij de drinkwaterleidingen haakse bochten mogelijk zijn. Hierdoor kunnen beide leidingen over een korte lengte (5 tot 20 meter) dicht bij elkaar komen te liggen (25-50 cm).

We gebruiken vergelijkbare scenario's als bij de kruisende leidingen. Er is 100% parallelligging (zoals in scenario 2). Daar waar leidingen voor een kort stuk dicht bij elkaar liggen wordt  $T_{\text{boundary}}$  aangepast, volgens uitkomsten uit BTM+ (zie Tabel 2-3 op pagina 12 voor de waardes van BTM+). Locatie van "dichtbijligging" wordt willekeurig verdeeld over het drinkwaternet. De afstand waarover de leidingen dichterbij liggen is 50 cm (500 mm).

- 35% van de leidinglengte in het model heeft een stuk (50 cm) met dichtbijligging;
- 15% van de leidinglengte in het model heeft een stuk (50 cm) met dichtbijligging;
- 10% van de leidingen in het model heeft een stuk (50 cm) met dichtbijligging;
- 5% van de leidingen in het model heeft een stuk (50 cm) met dichtbijligging.

### 2.5.7 Scenario 7: scenario's diepteligging drinkwaterleiding

In dit scenario wordt de diepteligging van alle drinkwaterleidingen gevarieerd uitgaande van 100% parallelle ligging met de warmteleidingen. Dit geldt voor DWDL én DWTL op dezelfde dieptes, ondanks dat in de referentie de DWTL op 1,2 m diepte liggen. De DWTL liggen momenteel wat dieper i.v.m. vrije ruimte voor het maken van aansluitingen. Die reden vervalt bij dieper leggen. Bovendien zijn deze berekeningen reeds uitgevoerd met BTM+. Overall wordt  $T_{\text{boundary}}$  aangepast, volgens uitkomsten uit BTM+ (zie Tabel 2-3 op pagina 12 voor de waardes van BTM+).

- 0,75 m
- 1,25 m (N.B. scenario 3 is met 1,0 m diepteligging)
- 1,5 m
- 1,75 m
- 2,0 m

Het drinkwaternet wordt in twee groepen gedeeld: DWTL (rood) en DWDL (blauw). De invloed van warmteleidingen is afhankelijk van de diepte (a-d) en voor beide groepen verschillend (zie Figuur 2-2).

N.B. Het basisscenario waarmee vergeleken wordt blijft hetzelfde (dus zonder aanpassing in de diepteligging van de drinkwaterleidingen).

### 2.5.8 Scenario 8: scenario's overige invloeden, berekend met BTM+

Daarnaast zijn er nog enkele andere parameters gevarieerd (zie Tabel 2-3 op pagina 12 voor de waardes van BTM+), los van variatie in het leidingnet, namelijk:

- Klimaat: warmste dag in 2016, in de schaduw (N.B. scenario 3 is warmste dag in 2016 zonder extra schaduw)
- Klimaat: warmste dag een toekomstscenario
- Bodembedekking: tegels + nat zand (N.B. scenario 3 is met tegels en droog zand)
- Bodembedekking: gras + droog zand
- Bodembedekking: gras + nat zand
- Temperatuur warmtenet: secundair net lage temperatuur
- Retour/aanvoer warmtenet andersom

### 2.5.9 Samenvatting scenario's

Tabel 2-3 laat zien hoe de bovenstaande scenario's matchen met de scenario's die met het BTM+ zijn doorgerekend.

N.B. Niet meegenomen BTM+-scenario's: N1, N2, N6 & N7 (warmtenet + elektriciteitskabels), N9 & N10 (grotere transportleidingen); S17-21 (diepteligging warmtenet), P17-21 (diepteligging warmtenet).

Tabel 2-3. Link tussen WTM+ scenario's en BTM+ scenario's. In scenario 1 zijn de BTM+ resultaten gebruikt waar geen warmtenet aanwezig was (N4\_no, N0\_no, N8\_no), voor de overige scenario's waarbij wel een warmtenet aanwezig was. N staat voor Netwerk, P voor primair, en S voor Secundair – de nummers zoals deze in de experttool zijn opgenomen, zie ook bijlage I.

ID	SCENARIO	T_BOUNDARY (C)			REFERENCE TO BTM+			PIPE LENGTH	BESCHRIJVING
		D <= 130	130 < D <= 300	300 < D	D <= 130	130 < D <= 300	300 < D		
1	<b>Basis, geen DHN</b>								
	Basis-no-DHN	23.9	23.8	23.4	N4-no	N0-no	N8-no	100%	Hier zijn de BTM+ resultaten gebruikt zonder warmtenet (N4-no, N0-no, N8-
2	<b>Kruisende warmteleidingen, op korte afstand (0,25 m)</b>								
	a cross-01	25.2	26.9	26.0	S6	P6	N8	1%	Huidig, hele leidingstuk % van
	b cross-15							15%	leidinglengte dat kruist. Breedte van
	c cross-10							10%	kruisingen hangt af van D (D ≤ 130 mm –
	d cross-05							5%	500 mm; D > 130 mm – 800 mm). Niet-
3	<b>100% parallelle warmteleidingen</b>								
	a par-025	25.2	26.9	26.0	S6	P6	N8	100%	De laatste cijfers geven afstand aan, 025:
	b par-050	24.9	26.2		S7	P7		100%	0,25 m, 150: 1,5 m etc.
	c par-075	24.7	25.8		S0	P0		100%	
	d par-100	24.5	25.4		S8	P8		100%	
	e par-150	24.4	24.9		S9	P9		100%	
	f par-200	24.2	24.6		S10	P10		100%	
	g par-250	24.2	24.4		S11	P11		100%	
4	<b>100% parallelle warmteleidingen – variatie in afstanden</b>								
	a par-050-100	24.9	25.4	23.4	S7	P8	N8-no	100%	Eerste cijfers geven de afstand aan van
	b par-050-150	24.9	24.9		S7	P9		100%	de leidingen D ≤ 130 mm Laatste cijfers
	c par-050-200	24.9	24.6		S7	P10		100%	geven de afstand aan van de leidingen
	d par-075-100	24.7	25.4		S0	P8		100%	130-300 mm
	e par-075-150	24.7	24.9		S0	P9		100%	
	f par-075-200	24.7	24.6		S0	P10		100%	par-100-100: Scen. 3d
	g par-100-150	24.5	24.9		S8	P9		100%	par-150-150: Scen. 3e
	h par-100-200	24.5	24.6		S8	P10		100%	
	i par-150-100	24.4	25.4		S9	P8		100%	
	j par-150-200	24.4	24.6		S9	P10		100%	
5	<b>50% parallelle warmteleidingen – per wijk</b>								
	a 50%-par-025	25.2	26.9	26.0	S6	P6	N8	50%	50% parallelle warmteleidingen * 50%
	b 50%-par-050	24.9	26.2		S7	P7		50%	wijken wel (laatste cijfers geven afstand
	c 50%-par-075	24.7	25.8		S0	P0		50%	aan, 025: 0,25 m, 150: 1,5 m etc.) * 50%
	d 50%-par-100	24.5	25.4		S8	P8		50%	niet (T_boundary van scenario 1)
	e 50%-par-150	24.4	24.9		S9	P9		50%	
	f 50%-par-200	24.2	24.6		S10	P10		50%	
	g 50%-par-250	24.2	24.4		S11	P11		50%	
6	<b>Korte stukken parallelle warmteleidingen, op afstand van standaard scenario (0,75 m)</b>								
	a short-par-35	24.9	26.2	26.0	S7	P7	N8	35%	6-I (50 cm) en 6-II (25 cm)
	b short-par-15	(25.19)	(26.95)		(S6)	(P6)		15%	% leidinglengte op 50 cm (25 cm) over 50
	c short-par-10							10%	cm leiding Niet-geselecteerde
	d short-par-05							5%	leidingen: T_boundary van scenario 3c.
7	<b>Variatie in diepteligging drinkwaterleidingen</b>								
	a DW-depth-075	25.6	26.5	26.0	S12	P12	N8	100%	100% parallelle warmteleidingen laatste
	b DW-depth-120	23.8	25.0		S13	P13		100%	cijfers geven diepte DWL aan 075: 0,75
	c DW-depth-150	22.9	24.2		S14	P14		100%	m, 150: 1,5 m etc. N.B diepteligging op 1
	d DW-depth-175	22.1	23.4		S15	P15		100%	meter is scenario 3c.
	e DW-depth-200	21.5	22.7		S16	P16		100%	
8	<b>Korte stukken parallelle warmteleidingen, op afstand van standaard scenario (0,75 m)</b>								
	a Shade	23.9	24.9	26.0	S4	P4	N8	100%	In de schaduw
	b Future-climate	28.1	29.2		S5	P5		100%	Toekomstig warm klimaat
	c Tiles-wet-sand	24.2	25.2		S1	P1		100%	Tegels, en nat zand
	d Grass-dry-sand	21.5	22.6		S2	P2		100%	Gras, en droog zand
	e Grass-wet-san	21.0	22.1		S3	P3		100%	Gras, en nat zand
	f DHN-low-temperature	24.3	25.8		N5	N0		100%	DHN bij lagere temperatuur (alleen D ≤
	g DHN-reverse-order	24.7	25.9		N4	N3		100%	DHN aanvoer dichterbij DWDN, in plaats
									van retour (alleen bij 130 – 300 mm)

## 3 Resultaten

### 3.1 Inleiding

De berekeningen hebben als resultaat de temperatuur over de dag op iedere knoop in het model. We selecteren alleen de knopen met verbruik (hier wordt de term verbruiksknoop gebruikt voor knopen met verbruik groter dan 0), en nemen de maximale temperatuur over de dag en de temperatuur om 8:00 u 's ochtends (tijdens piekverbruik<sup>c</sup>). Vervolgens wordt voor elk scenario het verschil bepaald in drinkwatertemperatuur met het referentiescenario. Dat wil zeggen dat bijv. voor scenario 3a wordt bepaald hoeveel °C extra iedere verbruiksknoop (N.B. een verbruiksknoop kan meerdere leveringsadressen bevatten<sup>d</sup>) ondervindt van een parallel warmtenet. Deze verschillen worden in tabellen gepresenteerd, met het percentage verbruiksknopen dat tot een gegeven extra opwarming ondervindt, afhankelijk van het scenario.

Tabel 3-1 laat bijvoorbeeld zien dat voor het scenario met een tussenafstand van 1.0 meter 99% van de verbruiksknopen een toename heeft van 0,25 °C of meer; 19% van de verbruiksknopen heeft een toename van 1,0 °C of meer. N.B. de resultaten zijn deels bepaald door random variatie en afronding op één cijfer achter de komma suggereert eigenlijk te veel nauwkeurigheid. Omdat er wel meer dan 100.000 mensen in Almere wonen is er voor gekozen om dat cijfer achter de komma toch te geven.

*Tabel 3-1. Voorbeeld resultaten. De overschrijdingskans (% van aantal modelknopen met verbruik) dat een bepaalde verhoging van de temperatuur ondervindt (in stappen van 0.25 °C) bij verschillende scenario's (in dit geval scenario's van verschillende afstanden tussen drinkwaternet en warmtenet).*

	0,25 m	0,5 m	0,75 m	1,0 m	1,5 m	2,0 m	2,5 m
≥ 0 °C	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
≥ 0,25 °C	99,5	99,2	99,1	98,5	97,6	96,3	95,9
≥ 0,5 °C	97,7	96,6	96,1	94,0	87,5	38,9	29,3
≥ 0,75 °C	94,6	92,1	89,5	45,5	24,7	10,6	6,7
≥ 1 °C	87,5	72,3	42,3	19,3	5,7	1,6	1,3
≥ 1,25 °C	74,5	29,0	23,7	6,9	0,6	0,3	0,2
≥ 1,5 °C	32,4	14,6	12,8	1,9	0,1	0,1	0,1
≥ 1,75 °C	19,8	7,6	6,9	0,1	0,0	0,0	0,0
≥ 2 °C	11,8	3,9	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0

Voor de evaluatie worden de verbruiksknopen ook gegroepeerd, zodat duidelijk is of het effect nog beïnvloed wordt door lokale variatie. De volgende groepering wordt aangehouden:

- 1) Totale gebied – alle verbruiksknopen
- 2) Wijken met / zonder warmtenet (scenario 5)
- 3) Wijken A, B, C, D, en E. Hierin zijn wijken A en B de wijken waarin gemeten is, relatief nieuwe wijken in Almere Stad en Buiten, respectievelijk. Wijk C is een wijk die ver weg ligt van pompstation. Wijken D en E zijn oude wijken in respectievelijk Almere Haven en Buiten Figuur 2-1.

<sup>c</sup> Dit hoeft niet samen te vallen met het moment van maximale opwarming. Er is niet gerekend op basis van maximaal risico (kans × effect). Naar verwachting is hier de kans (piekverbruik) belangrijker dan effect (variatie per dag is beperkt).

<sup>d</sup> Een weging naar aantal adressen in plaats van naar aantal knopen geeft naar verwachting een iets ander beeld, maar de afwijking zal beperkt zijn.

Almere heeft niet heel veel torenflats. Daar waar percentages van aansluitingen worden genoemd is dit bepaald o.b.v. percentage van de modelknopen.

Alle resultaten zijn te vinden in bijlage II. In dit hoofdstuk worden alleen de belangrijkste resultaten gepresenteerd en van duiding voorzien. De belangrijkste conclusies worden in een kader geplaatst.

### 3.2 Kruisende leidingen

Kruisende leidingen (op 25 cm afstand) leidt nauwelijks tot een verhoging van de drinkwatertemperatuur (minder dan 1% van de aansluitingen heeft een temperatuur die 0,25 °C of meer verhoogd is, zie bijlage II.II). Ook als 15% van de leidinglengte kruisingen heeft (2b), en ook als 1% van de leidingdelen (ca. 35% van de leidinglengte, 2a) kruisingen heeft. Dit geldt in alle wijken. Lokaal neemt de temperatuur wel toe, maar na de kruising koelt het drinkwater weer af.

Voor de opwarming aan de tap hebben kruisingen dus geen gevolg. Er is niet onderzocht wat de temperatuur ter plaatse van de kruising is, en welk gevolg dat heeft voor de (microbiologische) waterkwaliteit. Het onderzoek aan microbiologie in warmtewisselaars kan hier mogelijk relevant zijn voor de beoordeling van het laatste punt.

---

Een minimale afstand tussen kruisende leidingen zal op andere gronden dan opwarming van drinkwater aan de tap worden genomen.

---

### 3.3 Variatie in afstanden tussen parallelle leidingen

- In scenario 3 liggen alle leidingen (alle diameters) op dezelfde afstand van een warmteleiding.
- In scenario 4 hebben de drinkwatertransportleidingen (DWTL, > 300 mm) geen warmtenet, en de rest wel, waarbij de grote drinkwaterdistributieleidingen (DWDL 130-300 mm) op een andere afstand liggen dan de kleine drinkwaterdistributieleidingen (DWDL ≤ 130 mm).
- In scenario 5 hebben de DWTL geen warmtenet, en de DWDL in een deel van de wijken geen en een deel van de wijken wel een warmteleiding (op dezelfde afstand voor alle leidingen). Hier wordt alleen het resultaat getoond voor de wijken met warmtenet. Wanneer gekeken wordt naar heel Almere, zou dat betekenen dat de wijken zonder warmtenet compenseren voor de wijken met warmtenet.
- In scenario 6 liggen alle leidingen op 75 cm van een warmteleiding (scenario 3c, de defaultwaarde bij alle scenario's uit het BTM+), en een deel van de leidingen (5-35% van de leidinglengte) ligt op 25 cm of 50 cm afstand.

In het scenario dat overal alle drinkwaterleidingen een parallelle warmteleiding hebben, op dezelfde afstand (scenario 3) is te zien dat op 1,5 meter afstand ca. 6% van de aansluitingen een minstens 1,0 °C hogere drinkwatertemperatuur geleverd krijgt dan zonder warmtenet. Wanneer alleen de helft van de wijken een warmtenet heeft (scenario 5) krijgt op 1,5 meter afstand ca. 0,5% van de aansluitingen een minstens 1,0 °C hogere drinkwatertemperatuur geleverd dan zonder warmtenet. Het verschil wordt vooral verklaard doordat in scenario 5 het water opwarmt bij een warmtenet, dan weer kan afkoelen als er geen warmtenet is, en dan eventueel weer kan opwarmen en weer afkoelen.

Tabel 3-2. Resultaten voor scenario 3 (heel Almere) en scenario 5 (alleen de wijken met warmtenet), zie Tabel 3-1 voor uitleg van de tabel, en §2.5.3 en 2.5.5 voor uitleg van de scenario's.

	(3) - heel Almere							(5) - alleen wijken met warmtenet						
	0.25 m	0.5 m	0.75 m	1.0 m	1.5 m	2.0 m	2.5 m	0.25 m	0.5 m	0.75 m	1.0 m	1.5 m	2.0 m	2.5 m
≥ 0 °C	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
≥ 0.25 °C	99.5	99.2	99.1	98.5	97.6	96.3	95.9	93.5	90.6	88.0	83.6	77.0	61.1	57.3
≥ 0.5 °C	97.7	96.6	96.1	94.0	87.5	38.9	29.3	82.5	75.1	68.0	56.9	33.9	7.3	3.6
≥ 0.75 °C	94.6	92.1	89.5	45.5	24.7	10.6	6.7	69.1	58.3	46.1	13.3	4.5	0.3	0.0
≥ 1 °C	87.5	72.3	42.3	19.3	5.7	1.6	1.3	55.8	29.0	11.5	4.9	0.4	0.0	0.0
≥ 1.25 °C	74.5	29.0	23.7	6.9	0.6	0.3	0.2	40.6	10.6	4.5	1.7	0.0	0.0	0.0
≥ 1.5 °C	32.4	14.6	12.8	1.9	0.1	0.1	0.1	12.7	4.5	2.1	0.2	0.0	0.0	0.0
≥ 1.75 °C	19.8	7.6	6.9	0.1	0.0	0.0	0.0	7.5	2.4	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0
≥ 2 °C	11.8	3.9	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	1.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0

In het scenario waar een deel van de leidingen op 25 cm afstand ligt (en de rest van de leidingen op 75 cm, scenario 6-II) blijkt dat 2,7% tot 20,7% extra overschrijdingen optreden (44,9 tot 63,0 t.o.v. 42,3% van de aansluitingen heeft een overschrijding van 1,0 °C of meer). In het scenario waar een deel van de leidingen op 50 cm afstand ligt (en de rest van de leidingen op 75 cm, scenario 6-I) blijkt dat 0,8% tot 6,0% te zijn.

[Bij 10% van de leidingen op een korte afstand is de invloed op de drinkwatertemperatuur aan de kraan beperkt.](#)

	3c	(6-I (50cm)) - heel Almere				(6-II (25cm)) - heel Almere			
	0.75 m	35%	15%	10%	5%	35%	15%	10%	5%
≥ 0 °C	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
≥ 0.25 °C	99.1	99.2	99.1	99.1	99.1	99.2	99.2	99.2	99.1
≥ 0.5 °C	96.1	96.2	96.1	96.1	96.1	96.8	96.3	96.3	96.2
≥ 0.75 °C	89.5	90.6	89.9	89.9	89.7	92.3	90.9	90.6	90.0
≥ 1 °C	42.3	48.3	44.7	43.7	43.1	63.0	50.6	47.5	44.9
≥ 1.25 °C	23.7	25.2	24.4	24.2	23.9	36.3	28.5	26.6	25.0
≥ 1.5 °C	12.8	13.3	13.1	12.9	12.9	18.3	15.2	14.3	13.4
≥ 1.75 °C	6.9	7.1	6.9	6.9	6.9	10.6	8.5	7.8	7.2
≥ 2 °C	3.7	3.8	3.8	3.8	3.7	6.0	4.7	4.2	4.0

Wanneer de grootste diameter ( $D > 300$  mm) op grote afstand van warmtenetten liggen (zodanig dat er  $< 0,1$  °C opwarming in de bodem optreedt), en de leidingen tussen 130 en 300 mm, en de leidingen kleiner dan 130 mm op andere afstanden liggen (scenario 4) kan het volgende worden opgemerkt:

- Als de kleine leidingen op 0,5 m liggen, en de grote op 2,0 m ondervindt 7% van de aansluitingen een drinkwatertemperatuurverhoging van 1,0 °C of meer t.g.v. een warmtenet.
- Als de kleine leidingen op 0,75 m liggen, en de grote op 1,5 m of meer ondervindt 1,8% van de aansluitingen een drinkwatertemperatuurverhoging van 1,0 °C of meer t.g.v. een warmtenet.
- Als de kleine leidingen op 1,0 m liggen, en de grote op 1,5 m ondervindt 1,5% van de aansluitingen een drinkwatertemperatuurverhoging van 1,0 °C of meer t.g.v. een warmtenet.
- Als de kleine leidingen op 1,5 m liggen, en de grote op 2,0 m ondervindt 0% van de aansluitingen een drinkwatertemperatuurverhoging van 1,0 °C of meer t.g.v. een warmtenet.
- Als de kleine leidingen op 1,5 m liggen, en de grote (incl. de drinkwatertransportleidingen) ook op 1,5 m ondervindt 5,7% van de aansluitingen een drinkwatertemperatuurverhoging van 1,0 °C of meer t.g.v. een warmtenet.

Wanneer de leidingen > 300 mm niet beïnvloed worden door warmteleidingen, en ook de leidingen tussen 130 en 300 mm op voldoende afstand geplaatst worden van een warmteleiding, lijkt het voor de leidingen tot 130 mm mogelijk om iets dichterbij te liggen zonder dat er te veel opwarming plaatsvindt.

	(3) - heel Almere							(4) - heel Almere									
	3a	3b	3c	3d	3e	3f	3g	4a	4b	4c	4d	4e	4f	4g	4h	4i	4j
D ≤ 130 mm	0.25	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00	2.50	0.50	0.50	0.50	0.75	0.75	0.75	1.00	1.00	1.50	1.50
130 ≤ D ≤ 300 mm	0.25	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00	2.50	1.00	1.50	2.00	1.00	1.50	2.00	1.50	2.00	1.00	2.00
D > 300 mm	0.25	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00	2.50	>>	>>	>>	>>	>>	>>	>>	>>	>>	>>
≥ 0 °C	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
≥ 0.25 °C	99.5	99.2	99.1	98.5	97.6	96.3	95.9	93.4	91.0	88.7	92.1	89.3	86.7	86.7	83.4	88.5	81.0
≥ 0.5 °C	97.7	96.6	96.1	94.0	87.5	38.9	29.3	80.7	76.1	71.3	77.4	71.8	66.3	64.6	56.9	62.2	38.3
≥ 0.75 °C	94.6	92.1	89.5	45.5	24.7	10.6	6.7	66.9	58.2	48.8	59.0	46.8	33.2	9.8	1.3	20.4	1.2
≥ 1 °C	87.5	72.3	42.3	19.3	5.7	1.6	1.3	35.5	13.0	7.0	12.9	1.8	0.0	1.5	0.0	8.8	0.0
≥ 1.25 °C	74.5	29.0	23.7	6.9	0.6	0.3	0.2	5.8	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	0.0
≥ 1.5 °C	32.4	14.6	12.8	1.9	0.1	0.1	0.1	1.1	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0
≥ 1.75 °C	19.8	7.6	6.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
≥ 2 °C	11.8	3.9	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

### 3.4 Effect van omgevingsparameters

De tabel hieronder laat het effect zien van een warmtenet op 75 cm afstand bij verschillende diepteligging van het drinkwaternet (alle leidingen), vergeleken met het basisscenario zonder warmtenet en drinkwaterleidingen op 1 meter diepte. Wanneer drinkwaterleidingen minder diep worden gelegd, leidt dit tot hogere drinkwatertemperaturen aan de tap. Wanneer drinkwaterleidingen dieper worden gelegd, leidt dit tot minder hoge of lagere drinkwatertemperaturen aan de tap. Dit laat zien dat wanneer sprake is van een te groot effect op de opwarming van drinkwater, in principe dieper leggen van een leiding een oplossing kan zijn. Er zijn wel nadelen aan dieper leggen (Pieterse-Quirijns et al. 2011).

(diepteligging)	0.75m	1 m (3c)	1.25 m	1.5 m	1.75 m	2.0 m
≥ 0 °C	100.0	100.0	75.6	35.9	15.8	10.6
≥ 0.25 °C	99.5	99.1	54.1	22.5	8.8	5.8
≥ 0.5 °C	98.0	96.1	34.4	8.6	4.1	2.1
≥ 0.75 °C	95.1	89.5	16.7	2.8	1.0	0.6
≥ 1 °C	89.2	42.3	6.2	0.7	0.3	0.1
≥ 1.25 °C	80.6	23.7	0.5	0.1	0.0	0.0
≥ 1.5 °C	67.3	12.8	0.1	0.0	0.0	0.0
≥ 1.75 °C	25.4	6.9	0.0	0.0	0.0	0.0
≥ 2 °C	10.3	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0

De tabel hieronder laat het effect zien van een warmtenet op 75 cm afstand bij verschillende configuraties van het warmtenet (aanvoer dichterbij drinkwaterleiding; op lagere temperatuur), extra bovengrondse afkoeling (door schaduw en gras) en een toekomstig klimaatscenario, vergeleken met het basisscenario zonder warmtenet en zonder extra schaduw, onder tegels en de weersomstandigheden van september 2016. Het effect van een warmtenet waarbij aanvoer en retour omgekeerd liggen is zeer beperkt. Een warmtenet op een lagere temperatuur leidt tot iets minder opwarming. Schaduw (als dit altijd wordt toegepast, en overal) heeft een duidelijk verkoelend effect. Gras boven (alle) leidingen leidt duidelijk tot lagere drinkwatertemperaturen.

Het toekomstige klimaatscenario leidt tot flinke opwarming.

Gras in plaats van tegels boven de leidingen is equivalent aan de leiding 1 meter dieper leggen, voor wat betreft opwarming,



	3c	DHN omgedraaid	DHN lage temperatuur	schaduw	onder gras	toekomst
≥ 0 °C	100.0	100.0	100.0	99.9	10.2	100.0
≥ 0.25 °C	99.1	99.2	98.2	57.7	5.6	99.8
≥ 0.5 °C	96.1	96.1	66.3	35.1	2.0	99.4
≥ 0.75 °C	89.5	90.0	42.0	15.5	0.6	98.6
≥ 1 °C	42.3	43.5	23.7	4.5	0.1	97.1
≥ 1.25 °C	23.7	25.3	12.2	0.4	0.0	94.8
≥ 1.5 °C	12.8	14.1	6.0	0.1	0.0	91.7
≥ 1.75 °C	6.9	7.9	2.7	0.0	0.0	88.6
≥ 2 °C	3.7	4.4	0.3	0.0	0.0	85.0

### 3.5 Gevoeligheidsanalyse

#### 3.5.1 Effect van D<sub>3</sub>

In onderstaande tabel staan de resultaten van scenario 3 voor verschillende aannames voor de “Thermal Sphere of Influence” (TSol). Daarbij geldt dat TSol = 1 (D<sub>3</sub> = 3 × D<sub>1</sub>) volgt als aanbeveling uit de validatie van Kralingen en Almere; TSol = 0 (D<sub>3</sub> = D<sub>2</sub>) is het oude model, en TSol = 10 (D<sub>3</sub> = 21 × D<sub>1</sub>) is een extreem alternatief (zie voor D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> en D<sub>3</sub> § **Error! Reference source not found.**) en zonder echt fysische betekenis, maar dat wel bij iets andere aannames uit de kalibratie voortkwam (Blokker et al. T.B.P). De tabellen geven het verschil weer tussen wel en geen warmtenet, waarbij in beide gevallen met dezelfde TSol wordt gerekend.

Duidelijk is dat bij TSol = 0 (oude model) de opwarming sneller optreedt, en meer huisaansluitingen treft dan in het nieuwe model (TSol = 1). Bijvoorbeeld bij het scenario met warmteleidingen op 1 meter afstand gaat het om 33% respectievelijk 19% van de aansluitingen dat 1,0 °C of meer opwarming t.g.v. een warmtenet ondervindt. In het zeer conservatieve model (TSol = 10) is met 5,5% nog minder snelle opwarming berekend. Hieruit blijkt dat de juiste waarde van TSol wel belangrijk is om goed in te schatten. Het leidt tot een onzekerheid in de drinkwatertemperatuur voor adressen die binnen een bepaalde afstand (verblijftijd) van de bron gesitueerd zijn. Het is daarmee lastig om de precieze onzekerheid te kwantificeren.

[De ontwikkeling van het verbeterde WTM+ in dit project leidt tot meer ruimte voor de energietransitie, dan de oude aanpak. Een te grote schil rond de leiding leidt tot een onderschatting van het effect van warmteleidingen.](#)

	WTM+ (TSol = 1)							Old WTM, Passive (TSol = 0)							WTM+ (TSol = 10)							
	0.25 m	0.5 m	0.75 m	1.0 m	1.5 m	2.0 m	2.5 m	0.25 m	0.5 m	0.75 m	1.0 m	1.5 m	2.0 m	2.5 m	0.25 m	0.5 m	0.75 m	1.0 m	1.5 m	2.0 m	2.5 m	
≥ 0 °C	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
≥ 0.25 °C	99.5	99.2	99.1	98.5	97.6	96.3	95.9	99.9	99.9	99.9	99.8	99.8	99.4	99.3	97.7	96.7	96.3	94.9	93.4	88.9	85.4	
≥ 0.5 °C	97.7	96.6	96.1	94.0	87.5	38.9	29.3	99.7	99.5	99.4	98.7	95.1	40.7	35.3	90.6	86.9	84.8	74.7	44.0	12.8	6.7	
≥ 0.75 °C	94.6	92.1	89.5	45.5	24.7	10.6	6.7	99.1	98.5	97.7	50.9	36.7	23.4	15.1	78.2	68.3	57.9	17.3	5.5	1.3	0.4	
≥ 1 °C	87.5	72.3	42.3	19.3	5.7	1.6	1.3	98.1	94.2	50.4	33.0	21.7	10.0	8.1	62.7	31.8	19.9	5.5	0.9	0.1	0.1	
≥ 1.25 °C	74.5	29.0	23.7	6.9	0.6	0.3	0.2	96.0	43.1	35.5	22.2	7.3	4.9	4.0	39.4	11.4	9.4	1.7	0.0	0.0	0.0	
≥ 1.5 °C	32.4	14.6	12.8	1.9	0.1	0.1	0.1	47.2	29.2	25.9	12.1	2.8	1.7	1.4	14.2	4.8	4.2	0.4	0.0	0.0	0.0	
≥ 1.75 °C	19.8	7.6	6.9	0.1	0.0	0.0	0.0	32.4	19.6	18.3	2.2	0.8	0.5	0.4	7.3	2.0	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	
≥ 2 °C	11.8	3.9	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	23.1	13.2	12.7	0.4	0.2	0.1	0.1	3.7	0.9	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	

#### 3.5.2 Effect van keuze voor T<sub>boundary</sub>

De bodemtemperaturen die als randvoorwaarden zijn opgelegd komen uit het BTM+. De temperaturen zoals die berekend zijn voor als gemiddelde voor de drinkwaterleiding op 16 september 2016 om 14.00 u zijn hiervoor gekozen. De temperaturen op dat tijdstip zijn niet exact gelijk voor de zogenaamde ‘actieve’ en de ‘passieve’ berekening. In dit rapport zijn alle resultaten gepresenteerd voor de randvoorwaarde uit de passieve berekening. In bijlage I zijn beide resultaten uit BTM+ gepresenteerd, en te zien is dat de actieve berekening tot 0,1 – 0,4 °C hogere temperaturen leidt op het zelfde tijdstip. Er is (nog) geen gevoeligheidsanalyse gedaan om dit verder te

onderzoeken. De tabel hieronder laat de resultaten zien voor scenario 3 bij de passieve en actieve berekening. De tabellen geven het verschil weer tussen wel en geen warmtenet, waarbij in beide gevallen met  $T_{\text{boundary}}$  uit ofwel de passieve ofwel de actieve BTM+ berekening wordt gerekend.

De verschillen zijn zeer beperkt. Bijvoorbeeld bij het scenario met warmteleidingen op 1 meter afstand leiden beide berekening tot 19,3 % van de aansluitingen ondervindt 1,0 °C of meer opwarming t.g.v. een warmtenet. Hoewel er dus een verschil in absolute temperatuur is, is de verschiltemperatuur (het effect van het warmtenet) vrijwel gelijk.

	Passief							Actief						
	0.25 m	0.5 m	0.75 m	1.0 m	1.5 m	2.0 m	2.5 m	0.25 m	0.5 m	0.75 m	1.0 m	1.5 m	2.0 m	2.5 m
≥ 0 °C	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
≥ 0.25 °C	99.5	99.2	99.1	98.5	97.6	96.3	95.9	99.5	99.2	98.9	98.5	97.2	92.3	67.4
≥ 0.5 °C	97.7	96.6	96.1	94.0	87.5	38.9	29.3	97.5	96.4	95.2	94.0	56.5	35.0	25.7
≥ 0.75 °C	94.6	92.1	89.5	45.5	24.7	10.6	6.7	94.2	91.4	60.7	45.3	21.7	10.1	6.2
≥ 1 °C	87.5	72.3	42.3	19.3	5.7	1.6	1.3	86.1	48.9	31.0	19.3	5.3	1.5	1.3
≥ 1.25 °C	74.5	29.0	23.7	6.9	0.6	0.3	0.2	49.6	27.4	14.5	6.9	0.5	0.3	0.2
≥ 1.5 °C	32.4	14.6	12.8	1.9	0.1	0.1	0.1	29.3	14.8	6.6	1.9	0.1	0.1	0.1
≥ 1.75 °C	19.8	7.6	6.9	0.1	0.0	0.0	0.0	18.2	8.1	2.6	0.1	0.0	0.0	0.0
≥ 2 °C	11.8	3.9	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	11.1	4.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0

### 3.5.3 Effect van de drinkwatertemperatuur van de bron

Alle scenario's zijn uitgerekend met een vaste temperatuur van de bron (15 °C). In Figuur 3-1 is voor een Ø160 mm PVC met turbulente stroming het verloop van de drinkwatertemperatuur over de verblijftijd in de leiding uitgezet voor een aantal fictieve scenario's:

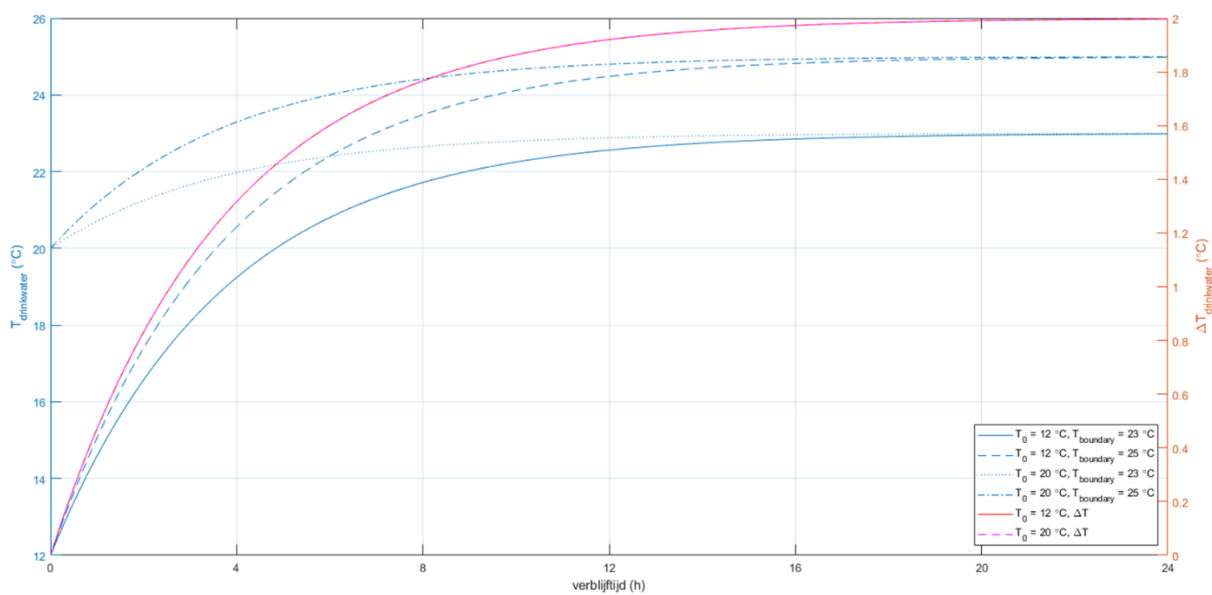
- 1) Drinkwatertemperatuur aan de bron 12 °C (grondwater)
  - a. Bodemtemperatuur 23 °C (geen warmtenet), doorgetrokken blauwe lijn
  - b. Bodemtemperatuur 25 °C (wel een warmtenet), gestreepte blauwe lijn
  - c. Het verschil tussen 1a en 1b, rode doorgetrokken lijn (met rechter as)
- 2) Drinkwatertemperatuur aan de bron 20 °C (oppervlaktewater)
  - a. Bodemtemperatuur 23 °C (geen warmtenet), gestippelde blauwe lijn
  - b. Bodemtemperatuur 25 °C (wel een warmtenet), gestreep-stippelde blauwe lijn
  - c. Het verschil tussen 2a en 2b, paarse gestreepte lijn (met rechter as)

De rode en paarse lijn (1c en 2c) vallen precies over elkaar heen. Wanneer de bodemtemperatuur en de snelheid van opwarming niet van elkaar afhankelijk zijn (zoals in de aannames in WTM+) geldt deze situatie voor iedere starttemperatuur.

---

Voor het effect van het warmtenet (0,0 – 2,0 °C) is de starttemperatuur niet relevant.

---



Figuur 3-1. Drinkwatertemperatuur versus verblijftijd (Ø160 PVC) bij twee verschillende starttemperaturen en twee verschillende eindtemperaturen (linker-as, blauwe lijnen), en het verschil tussen de scenario's met verschillende eindtemperaturen (rechter-as, rode/paarse lijnen).

## 4 Discussie en aanbevelingen

Wanneer niet alle drinkwaterleidingen parallel aan een warmteleiding liggen (of andere ondergrondse warmtebron) lijkt er voldoende ruimte voor de energietransitie. Dat wil zeggen dat er op sommige plekken ruimte is om leidingen dichterbij elkaar te leggen, als er elders geen warmteleidingen liggen. Daarbij is alleen gekeken naar de drinkwatertemperatuur aan de tap, en niet naar bijvoorbeeld de hoogste temperatuur tussen bron en tap.

Het vertalen van de uitkomsten van TKI Engine naar minimale afstanden tussen drinkwaterleidingen en warmteleidingen ligt buiten de scope van dit project. Wij bevelen aan om de volgende overwegingen mee te nemen om tot een werkbare richtlijn (voor bijv. de NEN-7171) te komen:

- 1) Binnen TKI Engine zijn de modellen BTM+ en WTM+ ontwikkeld en deze zijn in het project ingezet voor een groot aantal (maar niet eindeloos) scenario's die gestandaardiseerde situaties beschrijven. De opbrengsten zijn dus de twee modellen én de inzichten uit de berekeningen.
- 2) De absolute fout in de modelresultaten van BTM+ en WTM+ is ca. 2,0 °C. Dit komt vooral doordat de waarde van een aantal invoerparameters niet goed bekend zijn. Denk daarbij aan de warmteoverdrachtscoëfficiënt van de bodem, de diepteligging, de exacte afstand tussen leidingen. Voor het doorrekenen van scenario's geldt bovendien dat op iedere dag van het jaar een andere uitkomst wordt verkregen; en dat voor de toekomst geen betrouwbare tijdreeksen van het KNMI beschikbaar zijn. De absolute fout in de scenarioverschillen, is veel kleiner omdat in beide scenario's dezelfde aannames worden gedaan, en de absolute fout van beide scenarioresultaten ofwel positief ofwel negatief is, en in het bepalen van het verschil grotendeels wegvalt. Wij bevelen dan ook aan om de modellen vooral in te zetten om scenario's met elkaar te vergelijken.
- 3) De berekeningen laten zien dat er voor vrijwel alle scenario's een invloed is van het warmtenet, d.w.z. dat een groot deel (> 50%) van de huisaansluitingen een drinkwatertemperatuur ondervindt die 0,25 °C of meer is opgewarmd ten gevolge van het warmtenet. Er is enkel ruimte voor de energietransitie wanneer enige opwarming toegestaan is. Het is van belang om te bepalen wat een acceptabele waarde is. De uitkomsten nodigen uit om hierover na te denken in termen van risico: een bepaalde opwarming voor maximaal zoveel adressen.
- 4) De absolute grens van 25 °C in de drinkwaterwet moet ook worden beschouwd in het licht van klimaatverandering en veranderingen in de stedelijke inrichting bovengronds. Oplossingsrichtingen kunnen enerzijds gezocht worden in de drinkwaterleidingen dieper te leggen, in de schaduw en onder gras, en (ondergrondse) warmtebronnen te beperken. Anderzijds is het belangrijk om te onderzoeken welke operationele maatregelen genomen kunnen worden bij een overschrijding van de 25 °C. Het drinkwaterbesluit spreekt van de noodzaak te bepalen wat het effect is van de overschrijding op de volksgezondheid, en vervolgens indien noodzakelijk passende maatregelen te treffen. Hoe het effect op de volksgezondheid bepaald zou moeten of kunnen worden, en wat passende maatregelen kunnen zijn, is nog onbekend. Hiernaar moet meer onderzoek worden gedaan.
- 5) In TKI Engine is alleen gekeken naar de opwarming van drinkwater zoals dat aan de klanten geleverd wordt. Er is niet gekeken naar de temperaturen onderweg. Met name in de scenario's waar een deel van de drinkwaterleidingen dichterbij (kruisend of parallel) een warmteleiding ligt kan opwarming en afkoeling optreden. De temperatuur van de drinkwaterleidingwand (of biofilm daarin) is niet beschouwd. Of dat geoorloofd is, of dat hiervoor ook een richtlijn voor moet komen zou verder onderzocht moeten worden.

## 5 Referenties

- Blokker, E. J. M. en Pieterse-Quirijns, E. J. (2013). "Modeling temperature in the drinking water distribution system." *Journal - American Water Works Association*, 105(1), E19-E29.
- Blokker, E. J. M., Q., P. en Summeren, J. v. (T.B.P.). "An enhanced and validated drinking water temperature model during distribution." *T.B.D.*
- Blokker, E. J. M., van Summeren, J. R. G. en van Laarhoven, K. A. (2022). "Measuring drinking water temperature changes in a distribution network " *WDSA CCWI*, Valencia, Spain.
- Molen, M. v. d., Kooij, H., Smulders, E. F. P. A. en Heijman, S. G. J. (2008). *Warmteindringing in de bodem*, KWR, Nieuwegein. BTO 2008.053.
- Pieterse-Quirijns, E. J., de Groot, R., de Rijck, Y. en Ruijg, K. (2011). "Diepteligging van leidingen." KWR 2011.022, KWR, Nieuwegein.
- Rossman, L. A. (2000). *EPANET 2 user manual*, United States Environmental Protection Agency, Cincinnati. EPA/600/R-00/057.
- Shang, F. en Uber, J. G. (2008). *EPANET Multi-species extension user's manual*, EPA, Cincinnati, OH. EPA/600/S-07/021.
- Trinh, K. T. (2010). "On the critical Reynolds number for transition from laminar to turbulent flow." *arXiv preprint arXiv:1007.0810*.
- van Esch, J. (2022). "BTM+ model and Expert tool." Deltares, Delft.
- van Esch, J., van Summeren, J., de Kater, H. en Blokker, E. J. M. (T.B.P.). "An enhanced soil temperature model, influenced by drinking water and district heating pipes."
- van Summeren, J. R. G. (2022). "Validation of STM+ model with heat transport measurements of ICAIR test facility." *KWR 2022.120*, Concept KWR - 403298, KWR, Nieuwegein.

# I BTM+ scenario's

Tabel 5-1. Netwerkscenario's. Droog zand, onder tegels, zonnig dag. Warmteleiding en drinkwaterleiding op 1 meter diepte. De scenario's met elektriciteitskabels zijn hier buiten beschouwing gelaten. P: primair, S: secundair, T: transport (van warmteleiding)

#		WARMTELEIDING							DRINKWATERLEIDING				
		DN	diameter (mm)	Afstand aanvoer-retour (m)	Wand-dikte Staal (mm)	Wand-dikte PUR (mm)	Wand-dikte PE (mm)	T (A) (°C)	T (R) (°C)	PVC	diameter (mm)	Wand-dikte PVC (mm)	Afstand DH-DWL (m)
N0	P	150	160.3	0.21	4	55.85	3.9	90	70	Ø160	152	4	0.75
N3	P							70	90				
N4	S	50	54.5	0.19	2.9	39.85	3	70	40	Ø110	101.9	4.05	0.75
N5	S							50	30				
N8	T-A	500	520	0.50	6.3	94	7.2	100	75	Ø315	299.6	7.7	0.75
N9	T-B	600	625	0.50	7.1	87	7.9	100	75				
N10	T-C	700	727	0.50	8	83	11	100	75				

Tabel 5-2. Berekende  $T_{boundary}$  (°C), met het BTM+ in de passieve en actieve modus, zonder en met warmtenet voor de scenario's uit Tabel 5-1.

#	NETWORK	BEREKENDE $T_{BOUNDARY}$ (°C), ZONDER EN MET WARMTENET					
		PASSIEVE BEREKENING (STILSTAAND WATER)		ACTIEVE BEREKENING, LAMINAIRE STROMING (Nu = 3.66)		ACTIEVE BEREKENING, TURBULENTE STROMING (Nu = 100)	
		ZONDER	MET	ZONDER	MET	ZONDER	MET
N0	P	23.8	25.8	24.2	26.1	24.5	26.4
N3	P	23.8	25.9	24.2	26.3	24.5	26.6
N4	S	23.9	24.7	24.3	25.0	24.5	25.2
N5	S	23.9	24.3	24.3	24.7	24.5	24.8
N8	T-A	23.4	26.0	23.9	26.5	24.2	26.8
N9	T-B	23.4	26.4	23.9	26.9	24.2	27.2
N10	T-C	23.3	26.6	23.8	27.1	24.2	27.4

Tabel 5-3. Scenario's en berekende  $T_{\text{boundary}}$  (°C), met het BTM+ in de passieve en actieve modus, zonder en met warmtenet. Deze tabel is voor de primaire warmtenetten (160.3 mm + 4 mm staal + 55.85 mm PUR + 3.9 mm PE), 90 °C aanvoerleiding, 70 °C retourleiding (0,21 m tussen aanvoer en retour) naast een drinkwaterleiding (Ø160 PVC, 152 mm + 4 mm PVC). TMDz = tegels, gemiddelde stedelijkheid en droog zand; TMVz = tegels, gemiddelde stedelijkheid en vochtig zand; GMDz = gras, gemiddelde stedelijkheid en droog zand; GMVz = gras, gemiddelde stedelijkheid en vochtig zand. Geel gemarkeerd zijn per scenario de parameters die veranderd zijn t.o.v. het basisscenario (P0).

#	SOILCOVER + SOIL	WEATHER	DEPTHW (M)	DEPTHD (M)	DISTDW (M)	BEREKENDE $T_{\text{BOUNDARY}}$ (°C), ZONDER EN MET WARMTENET					
						PASSIEVE BEREKENING (STILSTAAND WATER)		ACTIEVE BEREKENING, LAMINAIRE STROMING (Nu = 3.66)		ACTIEVE BEREKENING, TURBULENTE STROMING (Nu = 100)	
						ZONDER	MET	ZONDER	MET	ZONDER	MET
P0	TMDz	sun	1.00	1.00	0.75	23.8	25.8	24.2	26.1	24.5	26.4
P1	TMVz	sun	1.00	1.00	0.75	23.3	25.2	23.7	25.6	24.0	25.9
P2	GMDz	sun	1.00	1.00	0.75	20.6	22.6	21.0	23.0	21.2	23.3
P3	GMVz	sun	1.00	1.00	0.75	20.1	22.1	20.5	22.5	20.8	22.7
P4	TMDz	shadow	1.00	1.00	0.75	23.0	24.9	23.3	25.3	23.6	25.6
P5	TMDz	future	1.00	1.00	0.75	27.3	29.2	27.7	29.5	28.0	29.8
P6	TMDz	sun	1.00	1.00	0.25	23.8	27.0	24.2	27.3	24.5	27.5
P7	TMDz	sun	1.00	1.00	0.50	23.8	26.3	24.2	26.6	24.5	26.9
P8	TMDz	sun	1.00	1.00	1.00	23.8	25.4	24.2	25.8	24.4	26.0
P9	TMDz	sun	1.00	1.00	1.50	23.8	24.9	24.2	25.3	24.4	25.5
P10	TMDz	sun	1.00	1.00	2.00	23.8	24.6	24.2	25.0	24.4	25.2
P11	TMDz	sun	1.00	1.00	2.50	23.8	24.4	24.2	24.8	24.4	25.0
P12	TMDz	sun	1.00	0.75	0.75	24.8	26.5	25.1	26.7	25.2	26.9
P13	TMDz	sun	1.00	1.25	0.75	22.8	25.0	23.2	25.3	23.5	25.6
P14	TMDz	sun	1.00	1.50	0.75	22.0	24.2	22.3	24.5	22.5	24.7
P15	TMDz	sun	1.00	1.75	0.75	21.2	23.4	21.5	23.7	21.7	23.9
P16	TMDz	sun	1.00	2.00	0.75	20.6	22.7	20.9	23.0	21.0	23.1
P17	TMDz	sun	0.75	1.00	0.75	23.8	25.5	24.2	25.9	24.4	26.1
P18	TMDz	sun	1.25	1.00	0.75	23.8	25.9	24.2	26.3	24.5	26.5
P19	TMDz	sun	1.50	1.00	0.75	23.8	25.9	24.2	26.3	24.5	26.5
P20	TMDz	sun	1.75	1.00	0.75	23.8	25.9	24.2	26.3	24.5	26.5
P21	TMDz	sun	2.00	1.00	0.75	23.8	25.8	24.2	26.2	24.5	26.4

Tabel 5-4. Scenario's en berekende  $T_{\text{boundary}}$  (°C), met het BTM+ in de passieve en actieve modus, zonder en met warmtenet. Deze tabel is voor de secundaire warmtenetten (54.5 mm + 2.9 mm staal + 39.85 mm PUR + 3.0 mm PE), 70 °C aanvoerleiding, 40 °C retourleiding (0,19 m tussen aanvoer en retour) naast een drinkwaterleiding (Ø110 PVC, 101.9 mm + 4.05 mm PVC). TMDz = tegels, gemiddelde stedelijkheid en droog zand; TMVz = tegels, gemiddelde stedelijkheid en vochtig zand; GMDz = gras, gemiddelde stedelijkheid en droog zand; GMVz = gras, gemiddelde stedelijkheid en vochtig zand. Geel gemarkeerd zijn per scenario de parameters die veranderd zijn t.o.v. het basisscenario (S0).

#	SOILCOVER + SOIL	WEATHER	DEPTHW (M)	DEPTHD (M)	DISTDW (M)	BEREKENDE $T_{\text{BOUNDARY}}$ (°C), ZONDER EN MET WARMTENET					
						PASSIEVE BEREKENING (STILSTAAND WATER)		ACTIEVE BEREKENING, LAMINAIRE STROMING (Nu = 3.66)		ACTIEVE BEREKENING, TURBULENTE STROMING (Nu = 100)	
						ZONDER	MET	ZONDER	MET	ZONDER	MET
S0	TMDz	sun	1.00	1.00	0.75	23.9	24.7	24.3	25.0	24.5	25.2
S1	TMVz	sun	1.00	1.00	0.75	23.5	24.2	23.8	24.5	24.0	24.7
S2	GMDz	sun	1.00	1.00	0.75	20.7	21.5	21.0	21.8	21.2	22.0
S3	GMVz	sun	1.00	1.00	0.75	20.2	21.0	20.5	21.3	20.7	21.5
S4	TMDz	shadow	1.00	1.00	0.75	23.1	23.9	23.4	24.2	23.6	24.4
S5	TMDz	future	1.00	1.00	0.75	27.5	28.2	27.8	28.5	28.0	28.7
S6	TMDz	sun	1.00	1.00	0.25	23.9	25.2	24.3	25.5	24.5	25.7
S7	TMDz	sun	1.00	1.00	0.50	23.9	24.9	24.3	25.2	24.5	25.4
S8	TMDz	sun	1.00	1.00	1.00	23.9	24.6	24.3	24.9	24.5	25.1
S9	TMDz	sun	1.00	1.00	1.50	23.9	24.4	24.3	24.7	24.5	24.9
S10	TMDz	sun	1.00	1.00	2.00	23.9	24.2	24.3	24.6	24.5	24.8
S11	TMDz	sun	1.00	1.00	2.50	23.9	24.2	24.3	24.5	24.5	24.7
S12	TMDz	sun	1.00	0.75	0.75	24.9	25.6	25.2	25.8	25.3	25.9
S13	TMDz	sun	1.00	1.25	0.75	22.9	23.8	23.3	24.1	23.5	24.3
S14	TMDz	sun	1.00	1.50	0.75	22.1	22.9	22.4	23.2	22.5	23.4
S15	TMDz	sun	1.00	1.75	0.75	21.3	22.2	21.6	22.4	21.7	22.6
S16	TMDz	sun	1.00	2.00	0.75	20.7	21.5	20.9	21.7	21.1	21.8
S17	TMDz	sun	0.75	1.00	0.75	23.9	24.6	24.3	24.9	24.4	25.1
S18	TMDz	sun	1.25	1.00	0.75	23.9	24.8	24.3	25.1	24.5	25.3
S19	TMDz	sun	1.50	1.00	0.75	23.9	24.8	24.3	25.1	24.5	25.3
S20	TMDz	sun	1.75	1.00	0.75	23.9	24.8	24.3	25.1	24.5	25.3
S21	TMDz	sun	2.00	1.00	0.75	23.9	24.8	24.3	25.1	24.5	25.3







	area C				area D				area E			
(25 cm)	35%	15%	10%	5%	35%	15%	10%	5%	35%	15%	10%	5%
≥ 0 °C	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
≥ 0.25 °C	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	87.7	87.2	87.2	86.0
≥ 0.5 °C	100.0	100.0	100.0	100.0	98.9	98.3	98.3	98.2	63.1	59.2	59.2	58.1
≥ 0.75 °C	100.0	100.0	100.0	100.0	93.6	90.6	90.6	90.3	44.1	39.1	37.4	35.2
≥ 1 °C	44.5	23.3	21.8	14.7	66.8	55.8	53.9	51.5	14.0	6.1	3.9	1.7
≥ 1.25 °C	2.7	1.5	1.5	0.3	44.4	34.8	32.6	30.0	1.7	1.1	0.6	1.1
≥ 1.5 °C	0.0	0.0	0.0	0.0	23.1	20.5	19.7	18.9	0.0	0.0	0.0	0.0
≥ 1.75 °C	0.0	0.0	0.0	0.0	16.1	14.5	13.8	12.4	0.0	0.0	0.0	0.0
≥ 2 °C	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0	8.2	7.6	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0

**50 cm afstand**

	heel Almere				area A				area B			
(50 cm)	35%	15%	10%	5%	35%	15%	10%	5%	35%	15%	10%	5%
≥ 0 °C	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
≥ 0.25 °C	99.2	99.1	99.1	99.1	96.2	95.9	96.1	95.9	100.0	100.0	100.0	100.0
≥ 0.5 °C	96.2	96.1	96.1	96.1	82.5	81.2	81.2	81.2	100.0	100.0	100.0	100.0
≥ 0.75 °C	90.6	89.9	89.9	89.7	64.4	62.2	62.5	62.0	100.0	100.0	100.0	100.0
≥ 1 °C	48.3	44.7	43.7	43.1	20.9	18.0	17.1	17.5	75.1	70.8	70.3	68.2
≥ 1.25 °C	25.2	24.4	24.2	23.9	8.9	8.6	8.7	8.6	39.4	37.2	37.6	36.6
≥ 1.5 °C	13.3	13.1	12.9	12.9	1.7	1.7	1.7	1.7	18.1	17.8	17.6	17.3
≥ 1.75 °C	7.1	6.9	6.9	6.9	0.2	0.2	0.2	0.2	6.8	6.6	6.6	6.6
≥ 2 °C	3.8	3.8	3.8	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	3.6	3.6	3.6

	area C				area D				area E			
(50 cm)	35%	15%	10%	5%	35%	15%	10%	5%	35%	15%	10%	5%
≥ 0 °C	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
≥ 0.25 °C	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	87.7	86.6	86.0	86.6
≥ 0.5 °C	100.0	100.0	100.0	100.0	98.3	98.2	98.2	98.2	58.1	57.5	57.0	57.0
≥ 0.75 °C	100.0	100.0	100.0	100.0	90.9	90.0	90.0	89.8	40.8	35.8	35.2	35.8
≥ 1 °C	16.2	12.1	12.4	11.8	55.4	52.0	50.4	49.8	1.7	1.1	0.6	0.6
≥ 1.25 °C	0.0	0.0	0.0	0.0	30.4	29.7	29.2	29.2	0.6	0.6	0.6	0.6
≥ 1.5 °C	0.0	0.0	0.0	0.0	18.9	18.6	18.5	18.4	0.0	0.0	0.0	0.0
≥ 1.75 °C	0.0	0.0	0.0	0.0	12.3	12.2	12.0	12.0	0.0	0.0	0.0	0.0
≥ 2 °C	0.0	0.0	0.0	0.0	7.1	6.8	6.9	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0



II.VIII Scenario 8: externe omgeving

Table with columns for 'heel Almere', 'area A', and 'area B'. Rows represent temperature thresholds (e.g., >= -2°C) and metrics (schaduw, toekomst-klimaat, tegels, etc.). Values are numerical percentages.

Table with columns for 'area C', 'area D', and 'area E'. Rows represent temperature thresholds (e.g., >= -2°C) and metrics (schaduw, toekomst-klimaat, tegels, etc.). Values are numerical percentages.