

Stresstest grootschalige TEO in rijkswateren



Stresstest grootschalige TEO in rijkswateren

Auteur(s)

Ronald Roosjen

Annelotte van der Linden

Stresstest grootschalige TEO in rijkswateren

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	Henk Looijen
Referenties	11208041
Trefwoorden	Aquathermie, TEO, warmteonttrekking, temperatuurdaling, rijkswateren, Nationaal Water Model

Documentgegevens

Versie	0.1
Datum	14-07-2022
Projectnummer	11208041-003
Document ID	11208041-003-BGS-0004
Pagina's	32
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Ronald Roosjen	
	Annelotte van der Linden	

Samenvatting

Naar aanleiding van de doelen in het Klimaatakkoord, is een opschaling in het gebruik van thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) te verwachten. Eerdere studies hebben aangetoond dat op basis van beschikbare warmte en nabijgelegen warmtevraag in stedelijk gebied, ca. 40% van de bebouwde omgeving in Nederland met TEO verwarmd zou kunnen worden (CE Delft, Deltares, 2018).

Toepassing van TEO heeft echter effect op de watertemperatuur en kan afhankelijk van de omvang en het seizoen gevolgen hebben voor de aquatische ecologie. Voor Rijkswaterstaat is het van belang om inzicht te krijgen welke van de rijkswateren, bij groot gebruik van TEO, aandachtsgebied kunnen worden qua temperatueffecten.

Het doel van deze modelstudie is om deze aandachtgebieden in beeld te brengen. Hiervoor is een bovengrensbenadering gehanteerd. Er is gekeken waar mogelijk toekomstige thermische knelpunten ontstaan in het rijkswatersysteem, wanneer de volledige warmtevraag van het omliggend stedelijk gebied met TEO wordt voorzien. In de praktijk zal dit niet het geval zijn vanwege de aanwezigheid van andere warmtebronnen.

De modelberekeningen zijn uitgevoerd met het Nationaal Water Model (SOBEK modelinstrumentarium, 1-dimensionaal oppervlaktewaternetwerk model). In de modelberekeningen is geen rekening gehouden met een temperatuurgradiënt in de breedte of in de diepte van de watergangen. Dit betekent dat wordt aangenomen dat de koudelozing volledig gemengd is met het (warmere) omliggende water. Daarmee is deze modellering dus een vereenvoudiging van de werkelijkheid die voor stromende, ondiepe en getijde wateren voldoende realistisch zal zijn maar voor diepe en stilstaande wateren het karakter van een verkenning heeft.

De resultaten tonen voor grote delen van de rijkswateren een temperatuurdaling van minder dan 1°C, bij grootschalige toepassing van TEO, en in een nog groter deel minder dan 3°C. Berekeningen zijn gedaan voor een droog, warm jaar, en voor een natter jaar. De wateren waarvoor dit geldt, zijn de grote rivieren, het IJsselmeergebied en de deltawateren. In de praktijk zal dit betekenen dat de effecten op deze watergangen van TEO projecten beperkt zullen zijn, aangezien in de praktijk niet alle warmtevraag van het omliggend stedelijk gebied uit deze wateren gehaald zal worden.

Voor de ecologische draagkracht van het systeem wordt vaak een grens van 3°C temperatuurdaling gehanteerd. Om aan de veilige kant te zitten zijn wateren met een berekende temperatuurdaling van meer dan 2°C in deze modelstudie aangemerkt als aandachtsgebied. Deze gebieden vormen mogelijk een knelpunt. Wateren waarvoor dit het geval is zijn de kleinere kanalen met veel stedelijk gebied: Brabantse kanalen, stukjes Twentekanaal, het Maas-Waal kanaal, de Hollandse IJssel, en her en der doodlopende takjes langs de grotere wateren. Een deel hiervan zijn duidelijke aandachtsgebieden, waar niet onbeperkt TEO projecten kunnen worden toegepast zonder significante temperatueffecten. Echter 't aandachtsgebied omvat ook stukjes water die in de praktijk niet benut zullen worden, aangezien die nabij een groot water liggen met veel meer warmtecapaciteit.

Naast de bepaling van aandachtsgebieden is in deze studie ook berekend hoeveel capaciteit er geleverd kan worden wanneer de temperatuurdaling beperkt wordt tot 3°C. Voor alle in

deze studie beschouwde rijkswateren tezamen kan zo'n 60% van de totale warmtevraag in de omgeving, met minder dan 3°C temperatuurdaling, gerealiseerd worden.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	7
2	Methodiek	8
2.1	Nationaal Water Model	8
2.2	Warmtepotentie watergangen	9
2.3	Warmtevraag kwantificering	10
2.4	Warmteonttrekkingen	13
2.5	Modelruns	14
2.6	Analyse temperatuureffecten	15
3	Resultaten	16
4	Discussie en conclusies	22
4.1	Algemeen beeld	22
4.2	Aandachtsgebieden	22
4.2.1	Van Starckenborghkanaal	22
4.2.2	Lage Dwarsvaart (Lelystad)	23
4.2.3	Wolderwijd en Veluwemeer nabij Harderwijk	24
4.2.4	Zijkkanalen van het IJ	24
4.2.5	Twentekanaal	24
4.2.6	Amsterdam-Rijnkanaal en Merwede kanaal bij Utrecht en Nieuwegein	25
4.2.7	Lek (bij Culemborg)	26
4.2.8	Nederrijn (nabij Arnhem)	26
4.2.9	Hollandse IJssel	27
4.2.10	Binnenhavens Rotterdam/Dordrecht	27
4.2.11	Maas-Waalkanaal Nijmegen	28
4.2.12	Zuid Willemsvaart en Wilhelminakanaal	29
4.2.13	Julianakanaal	29
5	Referenties	31

1 Inleiding

Het Klimaatakkoord stelt zich tot doel dat voor 2030 circa 1,5 miljoen bestaande woningen van het aardgas af zijn. Naar verwachting zal de helft van deze woningen worden aangesloten op een collectief warmtenet gevoed door duurzame energiebronnen (PBL, 2019). Een opschaling in het gebruik van thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) is daarom te verwachten.

De potentie van thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) in Nederland is aanzienlijk. Uit eerdere studies blijkt dat, op basis van beschikbare warmte en nabijgelegen warmtevraag in stedelijk gebied, zo'n 40% van de bebouwde omgeving in Nederland met TEO verwarmd zou kunnen worden (CE Delft, Deltares, 2018). In het belang van het klimaatbeleid is het noodzakelijk (een deel van) die potentie te benutten.

Het gebruik van TEO heeft echter effect op de temperatuur van het watersysteem. Als warmte wordt onttrokken (gewonnen) daalt de temperatuur van het water. Het afgekoelde water wordt teruggebracht in het watersysteem (koudelozing). Afhankelijk van de omvang van die koudelozing en het seizoen kan dit gevolgen hebben voor de aquatische ecologie. Om de impact op de aquatische ecologie te beperken is het van belang om binnen de grenzen van de ecologische draagkracht van het watersysteem te blijven.

TEO wordt ondertussen als serieuze optie beschouwd om de warmtevraag te verduurzamen. De vraag die nu voorligt is, als inderdaad grootschalig van TEO gebruik gemaakt zal worden, wat zijn dan de effecten op de watertemperaturen, en daarmee op de ecologie in de oppervlaktewateren. Voor Rijkswaterstaat is het van belang om inzicht te krijgen welke van de rijkswateren, bij groot gebruik van TEO, aandachtspunt kunnen worden qua temperatuureffecten.

Doel van deze studie is het in beeld brengen van mogelijke toekomstige thermische knelpunten in het rijkswatersysteem, bij mogelijk grootschalige toepassing van TEO in de rijkswateren.

Om dit te onderzoeken zijn drie varianten van modelberekeningen doorgerekend met het Nationaal Water Model (SOBEK modelinstrumentarium). In de bepaling van temperatuureffecten gaan we uit van TEO systemen die 's zomers warmte oogsten, en opslaan in warmte/koudeopslag (WKO) systemen. Hierbij gaan we er vanuit dat WKO capaciteit voldoende is voor de gevraagde warmtevraag. Uit een eerdere potentiëstudie (CE Delft, Deltares, 2018), blijkt dat dit op vrijwel alle locaties niet beperkend is, behalve op locaties met beperkingen vanwege b.v. drinkwaterwinningslocaties.

2 Methodiek

2.1 Nationaal Water Model

Om temperatureffecten van grootschalige warmteonttrekkingen in rijkswateren door te rekenen is gebruikgemaakt van het Nationaal Water Model (Helpdesk Water 2018). Het Nationaal Water Model is een 1-dimensionaal SOBEK modelinstrumentarium dat toegepast kan worden bij waterstaatkundige onderbouwing van beleidskeuzes voor de langer termijn. Het onderliggende hydrologisch model is een fijnmazig model met honderden watergangen. Dit model is onder andere gebruikt bij de modelberekeningen voor de potentiekaarten in de Aquathermie Viewer (<http://www.aquathermieviewer.nl>).

Voor de modelberekeningen van dit project is de gehele modelschematisatie gebruikt. Warmteonttrekkingen worden alleen toegeschreven aan de rijkswateren. In overleg met Rijkswaterstaat is vastgesteld welke rijkswateren in deze studie beschouwd worden (Figuur 1). De kust en zee zijn niet meegenomen in dit project, aangezien de warmtepotentie daarvan zo groot is, dat er geen significante temperatureffecten verwacht worden.



Figuur 1 Modelschematisatie van het Nationaal Water Model. Watergangen die in dit project zijn geanalyseerd worden weergegeven in groen.

Opgemerkt dient te worden dat deze modellering een vereenvoudiging van de werkelijkheid is. In de modelberekeningen is geen rekening gehouden met een temperatuurgradiënt in de breedte of in de diepte. Dit betekent dat wordt aangenomen dat de koudelozing volledig mengt met (warmere) omliggende water. Voor stromende, ondiepe en getijde wateren is deze vereenvoudigde benadering voldoende realistisch, voor diepe en stilstaande wateren zoals kanalen en stadsgrachten hebben de resultaten het karakter van een verkenning en is de berekening van de capaciteit een bovengrens (STOWA, 2021).

2.2 Warmtepotentie watergangen

De omvang en verdeling van de warmteonttrekkingen zijn bepaald aan de hand van de warmtevraag van de omliggende CBS buurten en de technische warmtepotentie van de watergangen. De technische warmtepotentie van de watergangen is gebaseerd op de potentiëstudie uitgevoerd voor de Aquathermie Viewer (<http://www.aquathermieviewer.nl>). In deze potentiëstudie zijn de debieten, waterstanden en watertemperaturen voor 30 verschillende jaren (1980-2011) gesimuleerd. De warmte-onttrekkingscapaciteit (WOC) van de watergangen is vervolgens berekend met de volgende uitgangspunten:

Warmte kan onttrokken worden als het oppervlaktewatertemperatuur hoger is dan 15°C. Het water wordt dan afgekoeld tot 12°C met een maximum temperaturdaling van 6°C. Deze 6 °C wordt dus gerealiseerd als de watertemperatuur boven de 18°C komt.

De berekende WOC is opgebouwd uit twee componenten; semi-stagnant en stromend.

Stromende wateren

Voor stromende wateren is de WOC een functie van de afvoer Q (m³/s) en de maximale temperatuurverandering:

$$(1) \quad WOC = |Q| * \Delta T_{WO} * \rho_W * c_p$$

Waarbij $|Q|$ de stromingsrichting onafhankelijke waarde is van de afvoer, ρ_W de dichtheid van zoet water (998 kg/m³), c_p de warmtecapaciteit van water (4195 J/kg*°C) en ΔT_{WO} de temperatuurverlaging van het ontvangende water. De WOC is een vermogen en wordt uitgedrukt in de dimensie MW (=10⁶ W).

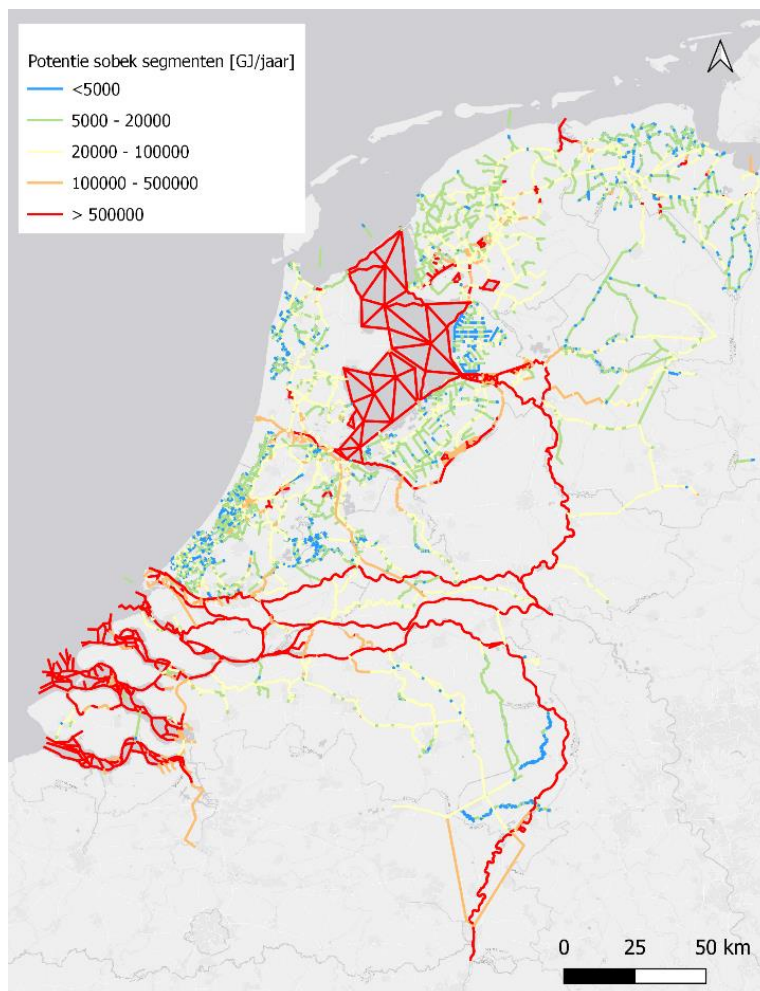
Semi-stagnante wateren

Voor semi-stagnante wateren is de formule uitgebreid met een tweede term die de vereffening van het temperatuurverschil via de atmosfeer kwantificeert:

$$(2) \quad WOC = |Q| * \Delta T_{WO} * \rho_W * c_p + \left(\frac{Z * A * \Delta T_{WO}}{10^6} \right)$$

Waarbij Z het zelfkoelingsgetal is (ook wel de warmteoverdrachtscoëfficiënt genoemd) welke door het model bepaald wordt op basis van gemeten meteorologische condities met name luchttemperatuur en wind, en A het oppervlak is (in m²) en ΔT_{WO} de temperatuurverlaging van het ontvangende water.

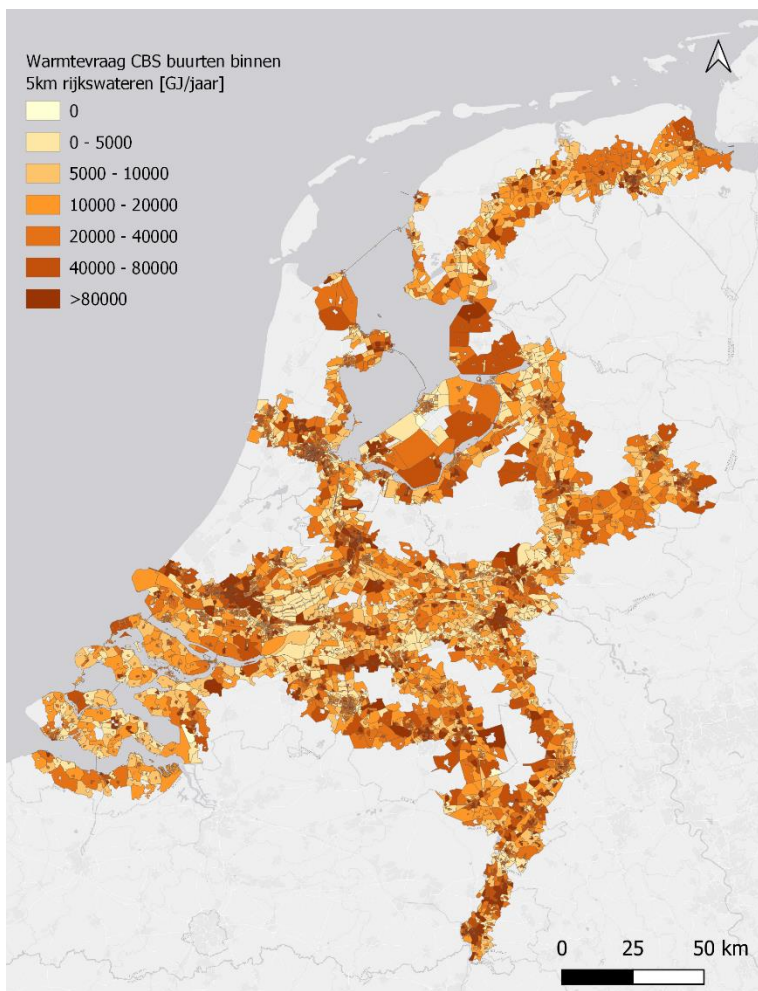
Aan de hand van de 30-jarige modelreeks is de variatie in de hoeveelheid te onttrekken warmte over de jaren heen bepaald. Hiermee is de minimum, gemiddelde en maximale WOC voor ieder watergang in het model bepaald. Voor deze studie is de gemiddelde WOC gebruikt om de potentiële warmteonttrekking per watergang te bepalen (zie Figuur 2).



Figuur 2 Gemiddelde warmte-onttrekkingscapaciteit (WOC) over de periode 1980-2011.

2.3 Warmtevraag kwantificering

Op basis van de potentiekaart is vastgesteld welk deel van de landelijke TEO potentie logischerwijs uit de rijkswateren gehaald zal worden. Hiervoor is de potentiekaart gefilterd op CBS buurten waarvan het grootste deel (>50%) van de warmtevraag uit een rijkswater komt, en binnen een straal van de rijkswateren liggen. Om vast te kunnen stellen om welke buurten het gaat wordt gebruik gemaakt van de methodiek zoals toegepast in de studie nationale potentie aquathermie (CE Delft, Deltares, 2018). Figuur 3 toont een overzichtskaart van de geselecteerde buurten.



Figuur 3 Warmtevraag CBS buurten binnen een straal van 5 kilometer van de geselecteerde rijkswateren.

De warmtevraag van de woningen in deze buurten wordt omgerekend naar de netto warmtevraag uit het oppervlaktewater, waarbij rekening wordt gehouden met de volgende uitgangspunten:

- Het warmtevraaggebied moet voldoen aan criteria voor collectieve warmte (warmtedichtheids criterium, Tabel 1).
- Bij de bepaling van de warmtevraag is rekening gehouden met het warmteverlies van de warmteleidingen en de COP van de warmtepomp.

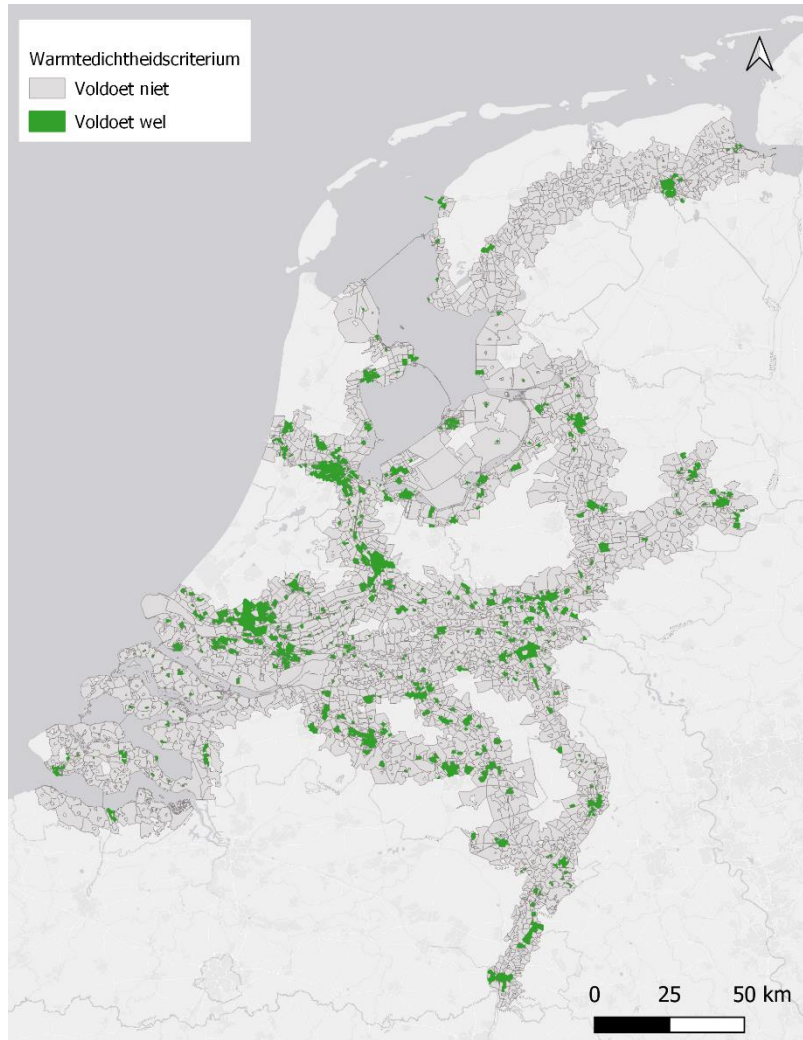
Tabel 1 Minimum geschiktheidseis voor collectieve warmte.

Eis voor collectieve warmte	Criterium
Voldoende warmtevraag voor potentieel rendabel project	Warmtevraag buurt >2.000 GJ
Warmtenet mogelijk	Warmtevraagdichtheid > 600 GJ/ha

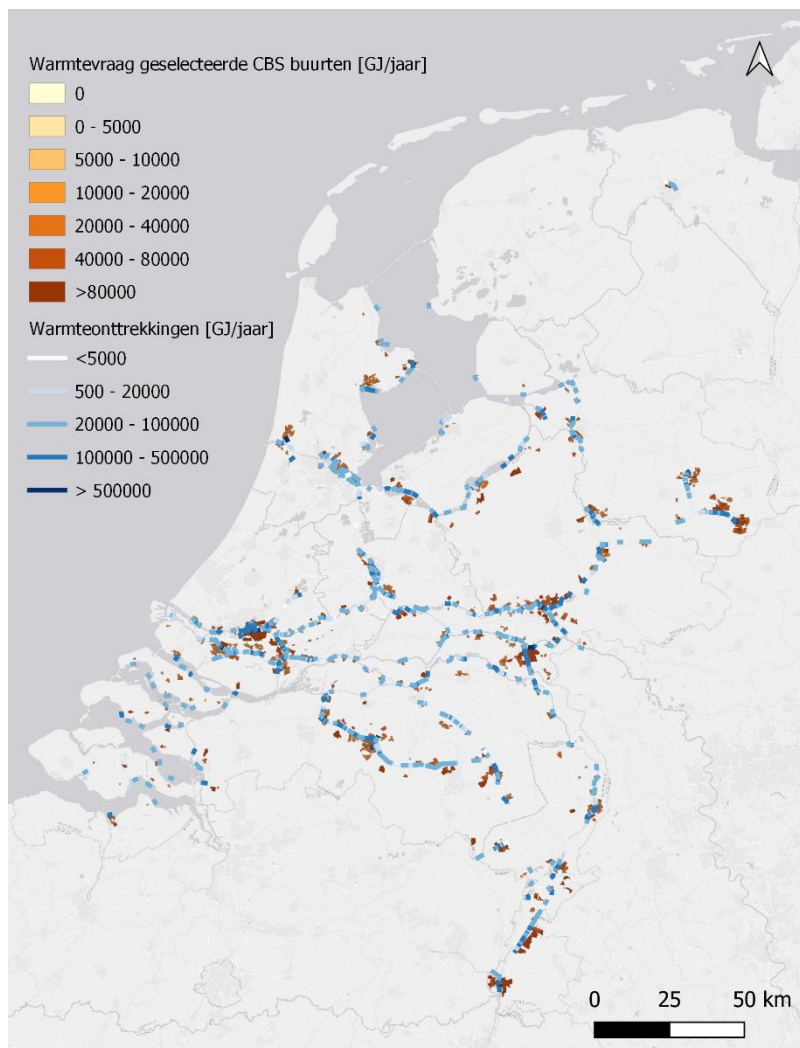
In Figuur 4 wordt weergegeven welke buurten wel/niet voldoen aan het warmtedichtheids criterium. De warmtevraag van buurten die hier niet aan voldoen is niet meegenomen in deze studie. De in deze studie beschouwde CBS buurten en hun warmtevraag worden weergegeven in Figuur 5. De jaarlijkse warmtevraag voor alle geselecteerde buurten samen is in totaal 80.2 PJ/jaar. Uitgaande van een jaarlijks verbruik

van ca. 30 GJ per woning zijn dat ca. 2.7 miljoen woningen. Let op: alleen buurten die meer dan 50% van hun warmtevraag uit rijkswateren halen zijn in deze studie meegenomen.

In de praktijk zullen nooit al deze buurten met TEO verwarmd gaan worden, vanwege de aanwezigheid van andere warmtebronnen, of de overstap naar individuele warmteopties. Deze methode kan daarom gezien worden als het bepalen van de absolute bovengrens van de warmtevraag aan het oppervlaktewater.



Figuur 4 Toetsing warmtedichtheids criterium. CBS buurten in grijs voldoen niet aan het criterium. De warmtevraag van deze buurten is niet meegenomen in deze studie.



Figuur 5 Netto warmtevraag van geselecteerde CBS buurten en opgelegde warmteonttrekkingen (koudelozingen) in het model. In deze kaart worden alleen de watergangen getoond waarvoor in het model een warmteonttrekking is gedefinieerd. Voor de berekening is de gehele schematisatie gebruikt. De geselecteerde buurten liggen binnen een straal van 5 km van de geselecteerde rijkswateren, voldoen aan het gehanteerde warmtedichtheids criterium (zie Tabel 1) en halen >50% van de warmte uit rijkswateren volgens de bepaling gehanteerd in deze studie.

2.4 Warmteonttrekkingen

De warmtevraag van de geselecteerde buurten is omgezet naar een warmteonttrekking per watergang. Deze omzetting is stapsgewijs uitgevoerd. Per buurt is eerst een lijst gemaakt van watergang(en) binnen een straal van 5 km. Vervolgens is de lijst gefilterd op basis van de afstand tussen de buurt en watergang aan de hand van de warmtecapaciteit van de watergang. De capaciteit is bepalend voor de afstand tussen het water en de ontvangende buurt. De afstanden die in deze studie zijn aangehouden worden getoond in Tabel 2.

Ter illustratie, als de afstand tussen de buurt en watergang 3 km is maar de capaciteit hiervan is <15000 GJ/jaar, zal de buurt in de praktijk waarschijnlijk geen warmte uit deze watergang halen. De watergang in dit voorbeeld wordt dan uit de lijst gefilterd. Zo blijft er een gereduceerde set met watergangen over.

Tabel 2 Gehanteerde afstand (in kilometers) tussen buurt en watergang afhankelijk van berekende warmtecapaciteit (in GJ/jaar) watergang.

Warmtecapaciteit (GJ/jaar)	Afstand (km)
30000	5
15000	2.5
3000	1
<3000	0.25

De warmtevraag van de buurt wordt vervolgens verdeeld over de overgebleven set watergangen. Deze set wordt gesorteerd op afstand en in deze volgorde worden de watergangen langsgelopen om de warmtevraag van de buurt te verdelen. Bij de verdeling wordt rekening gehouden met de warmte-onttrekkingscapaciteit van de watergang. Indien de warmtevraag groter is dan de potentie van de eerste watergang wordt de resterende warmtevraag ($\text{warmtevraag}_{\text{buurt}} - \text{WOC}_{\text{watergang}}$) toegekend aan de volgende watergangen in de lijst tot de warmtevraag volledig verdeeld is. Het kan zijn dat de warmtevraag van de buurt kleiner is dan de capaciteit van de dichtstbijzijnde watergang, dan wordt de volledig warmtevraag toegekend aan die watergang en kan eventueel de warmtevraag van een andere buurt ook aan deze watergang worden toegekend.

Bij de verdeling van de warmtevraag is er rekening mee gehouden dat de potentiële warmte uit het watergang maar één keer benut kan worden. Wanneer geldt $\text{WOC}_{\text{watergang}} \leq \text{warmtevraag}_{\text{buurt}}$ dan kunnen volgende buurten deze warmte niet meer benutten en wordt deze watergang dus overgeslagen.

Na de verdeling van de warmtevraag van de buurten over de watergangen is voor elke watergang de totale warmtevraag opgeteld en omgezet naar een warmteonttrekking (Figuur 5). Het kan voorkomen dat een watergang voldoende capaciteit heeft om meerdere buurten te voorzien. In dit geval wordt de warmtevraag opgeteld om tot één waarde per watergang te komen. Deze waarde is vervolgens omgezet naar één warmteonttrekking.

Warmteonttrekkingen worden in het model gedefinieerd als een hoeveelheid onttrokken energie per tijdseenheid (in MW_{th}). Er is geen informatie beschikbaar over het onttrekkingsdebiet van de warmteonttrekking. De bijdrage van de warmteonttrekking aan de afkoeling van het water kan berekend worden als:

$$(3) \quad dT \text{ (}^\circ\text{C)} = \text{WO (warmteonttrekking in } \text{MW}_{\text{th}}) / Q \left(\text{debiet in } \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) / 4.2 \text{ (kJ/m}^3\text{/}^\circ\text{C)}$$

2.5 Modelruns

De warmteonttrekkingen zijn in het model opgelegd als randvoorwaarde. Om in te kunnen schatten wat het temperatuureffect kan zijn bij grootschalige toepassing zijn de drie varianten doorgerekend met verschillende warmteonttrekkingen. De gebruikte modelopzet is voor alle drie de varianten gelijk. Om de effecten in een droog en nat jaar te kunnen vergelijken zijn de drie varianten voor twee verschillende jaren doorgerekend:

- 2003 zeer warm en droog jaar
- 2007 vrij warm en zeer nat jaar

De uitgangspunten van de varianten worden hieronder beschreven. In alle varianten vinden de onttrekkingen plaats tijdens een vaste periode van 90 dagen, van 25 mei tot 23 augustus.

Variant 1 – Vaste onttrekking in de zomer

Bij variant 1 is een vaste onttrekking gehanteerd die gelijk staat aan 100% van de warmtevraag van de geselecteerde buurten. Voor elke buurt wordt een vaste hoeveelheid gewonnen, die over de 90 dagen optelt tot de totale jaarlijkse warmtevraag voor die buurt. Onttrekking is onafhankelijk van de beschikbare warmtecapaciteit in het water en kan beschouwd worden als een bovengrens benadering.

Variant 2 – Bovengrens en warmtevraag afschalen

Voor variant 2 zijn drie subvarianten doorgerekend, variant 2a, 2b en 2c, waarbij respectievelijk slechts 50% van de warmtevraag, 25% van de warmtevraag en 10% van de warmtevraag van de geselecteerde buurten wordt gewonnen.

Variant 3 – Temperatuur begrensd

Voor variant 3 is uitgegaan van de draagkracht van het (ecologisch) systeem, waarbij de berekende natuurlijke temperatuur van het water de dagelijkse onttrekking bepaalt. In tegenstelling tot variant 1 en 2 is in deze variant geen vaste hoeveelheid warmte onttrokken per dag. De hoeveelheid onttrokken warmte in deze variant is variabel. De onttrekking stopt automatisch bij een watertemperatuur van 12°C of bij een daling (ΔT_{w0}) van de temperatuur met 3°C. Op warmere dagen wordt dus meer warmte onttrokken (koude geloosd) dan op koudere dagen. Hierbij is de grens van de maximale dagelijkse warmteonttrekking gesteld op maximaal twee keer de toegestane hoeveelheid warmte ten opzichte van de vaste dagelijkse onttrekking zoals gehanteerd bij variant 1. Binnen deze randvoorwaarden is de hoeveelheid warmte die onttrokken kan worden berekend. Als er over de periode van 90 dagen voldoende capaciteit beschikbaar is kan dus maximaal 2 keer de warmtevraag onttrokken worden.

2.6 Analyse temperatuureffecten

Om de aandachtsgebieden in kaart te brengen is, op basis van de modelberekeningen, voor elke watergang de maximale temperatuurdaling (dT_{max}) over het jaar bepaald. Dit is gedaan voor alle modelvarianten en zowel het droge als natte jaar. Vervolgens zijn de watergangen ingedeeld in categorieën op basis van de temperatuurdalingen. Hiervoor zijn de volgende grenzen gehanteerd:

- 0 – 1 °C
- 1 – 2 °C
- 2 – 3 °C
- 3 – 6 °C
- > 6 °C

Voor de ecologische draagkracht van het systeem wordt vaak een grens van 3°C temperatuurdaling gehanteerd. Om aan de veilige kant te zitten zijn rijkswateren met een temperatuurdaling van >2 °C in deze modelstudie aangemerkt als aandachtsgebied. Deze gebieden vormen een mogelijk knelpunt bij groot gebruik van TEO. Deze gebieden worden individueel nagelopen op te kijken of we verwachten dat deze gebieden daadwerkelijk een knelpunt zullen vormen. De berekende temperatuurdaling wordt getoond in kaarten.

Voor variant 3 (Temperatuur begrensd) is per watergang bepaald hoeveel van de warmtevraag geleverd kan worden wanneer de temperatuurdaling begrensd wordt op 3°C. In tegenstelling tot variant 1 en 2 is in deze variant dus geen vaste hoeveelheid warmte onttrokken per dag. De hoeveelheid onttrokken warmte in deze variant is variabel en gemaximeerd op 2x de hoeveelheid onttrokken in variant 1. Ook deze resultaten worden gepresenteerd in kaarten.

3 Resultaten

Om de mogelijke toekomstige thermische knelpunten in het rijkswatersysteem in kaart te brengen zijn verschillende modelanalyses uitgevoerd. In deze analyses is gevarieerd met de omvang en randvoorwaarden van de warmteonttrekkingen. Door het onttrekken van warmte wordt het water waaruit deze warmte geleverd wordt kouder. De uitgevoerde analyses geven een beeld van de te verwachten temperatuureffecten en bij grootschalige toepassing van TEO in rijkswateren.

In deze studie is een bovengrensbenadering gehanteerd met betrekking tot de warmteonttrekkingen uit het rijkswatersysteem. Bij variant 1 is een vaste onttrekking toegepast die gelijk staat aan 100% van de warmtevraag van de omliggende buurten binnen een straal van 5 km (die voldoen aan het warmtedichtheids criterium).

Figuur 6 en Figuur 7 tonen de berekende maximale temperatuurverandering in het water als gevolg van deze warmteonttrekkingen (dT_{max}) in de geselecteerde rijkswateren voor respectievelijk het jaar 2003 (droog jaar) en het jaar 2007 (nat jaar). Een positieve verandering betekent een temperatuurdaling.

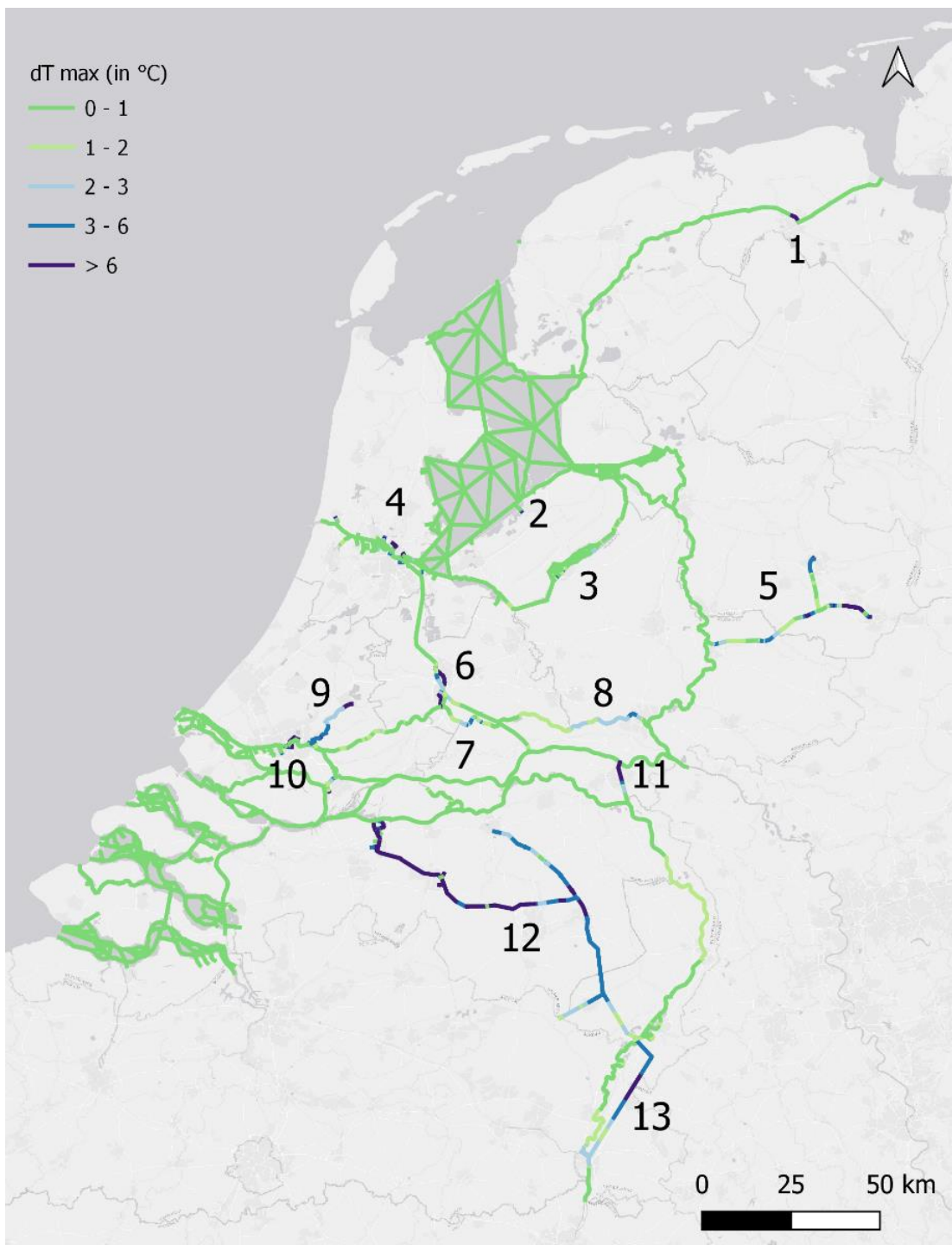
De weergegeven temperatuursverandering is de maximale verandering in het doorgerekende jaar. Het kan dus zijn dat deze enkele dagen in dat jaar voorkomt, en de rest van dat jaar minder is.

Voor een groot deel van de rijkswateren geldt dat de maximale verandering kleiner is dan 2°C. Deze daling beschouwen we als beperkt, (STOWA 2021). Voor een aantal wateren is dit niet het geval. In deze wateren daalt de temperatuur meer dan 2°C. Dit geldt voor:

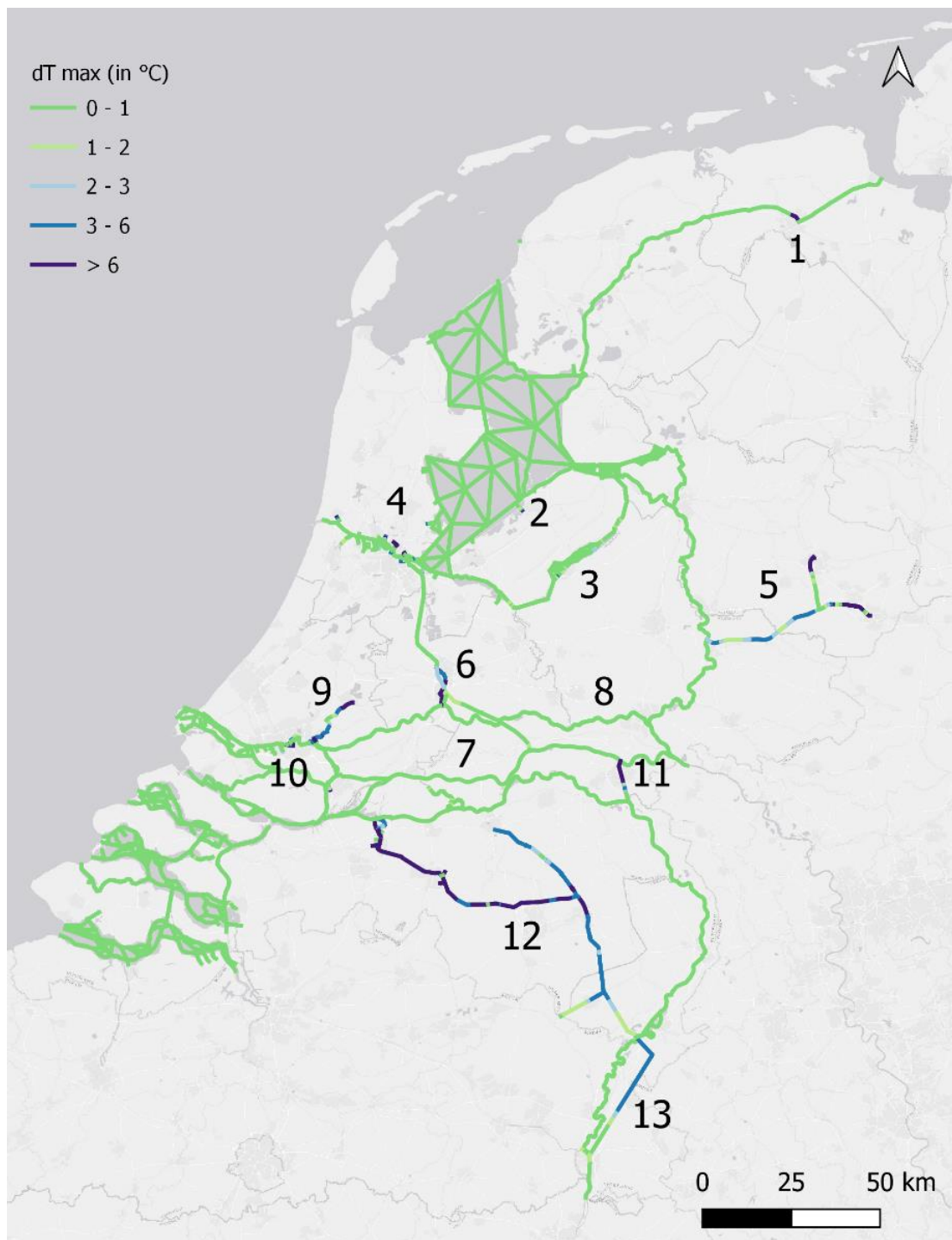
- 1 Van Starckenborghkanaal
- 2 Lage Dwarsvaart (Lelystad)
- 3 Wolderwijd en Veluwemeer nabij Harderwijk
- 4 Zijkanalen van het IJ
- 5 Twentekanaal
- 6 Amsterdam-Rijnkanaal en Merwede kanaal bij Utrecht en Nieuwegein
- 7 Lek (bij Culemborg)
- 8 Nederrijn (nabij Arnhem)
- 9 Hollandse IJssel
- 10 Binnenhavens Rotterdam/Dordrecht
- 11 Maas-Waalkanaal Nijmegen
- 12 Zuid Willemsvaart en Wilhelminakanaal
- 13 Julianakanaal

De locaties van deze genummerde rijkswatersystemen zijn aangegeven in Figuur 6 en Figuur 7.

Wanneer Figuur 6 en Figuur 7 worden vergeleken, is te zien dat in de meeste gevallen dezelfde gebieden grote temperatuurdalingen laten zien, op een enkel gebied na. Een voorbeeld is de Nederrijn nabij Arnhem. Daar is de maximale temperatuurdaling in het droge jaar, 2003, meer dan 2°C, terwijl de in het natte jaar, 2007, de maximale temperatuurdaling tussen 0 en 1°C ligt.



Figuur 6 Maximale temperatuurdaling (dT_{max}) in het jaar 2003 (=droog jaar). Gebieden met een dT_{max} van meer dan 2°C zijn genummerd.



Figuur 7 Maximale temperatuurdaling (dT_{max}) in het jaar 2007 (=nat jaar). Gebieden met een dT_{max} van meer dan 2°C zijn genummerd.

Om meer begrip te krijgen van de relatie tussen de temperatuurveranderingen en warmtevraag van de omliggende buurten, zijn er een aantal modelberekeningen uitgevoerd waarbij de warmtevraag is afgeschaald (variant 2). De resultaten van deze variant zijn in lijn der verwachting met kleinere temperatuurdalingen naar mate de warmtevraag verder wordt afgeschaald. Kaarten van deze variant worden in dit rapport niet getoond.

Wanneer de warmtevraag afgeschaald wordt naar 50% (variant 2a) dan worden de temperatuurdalingen kleiner maar in veel van de bovenstaande wateren nog steeds meer

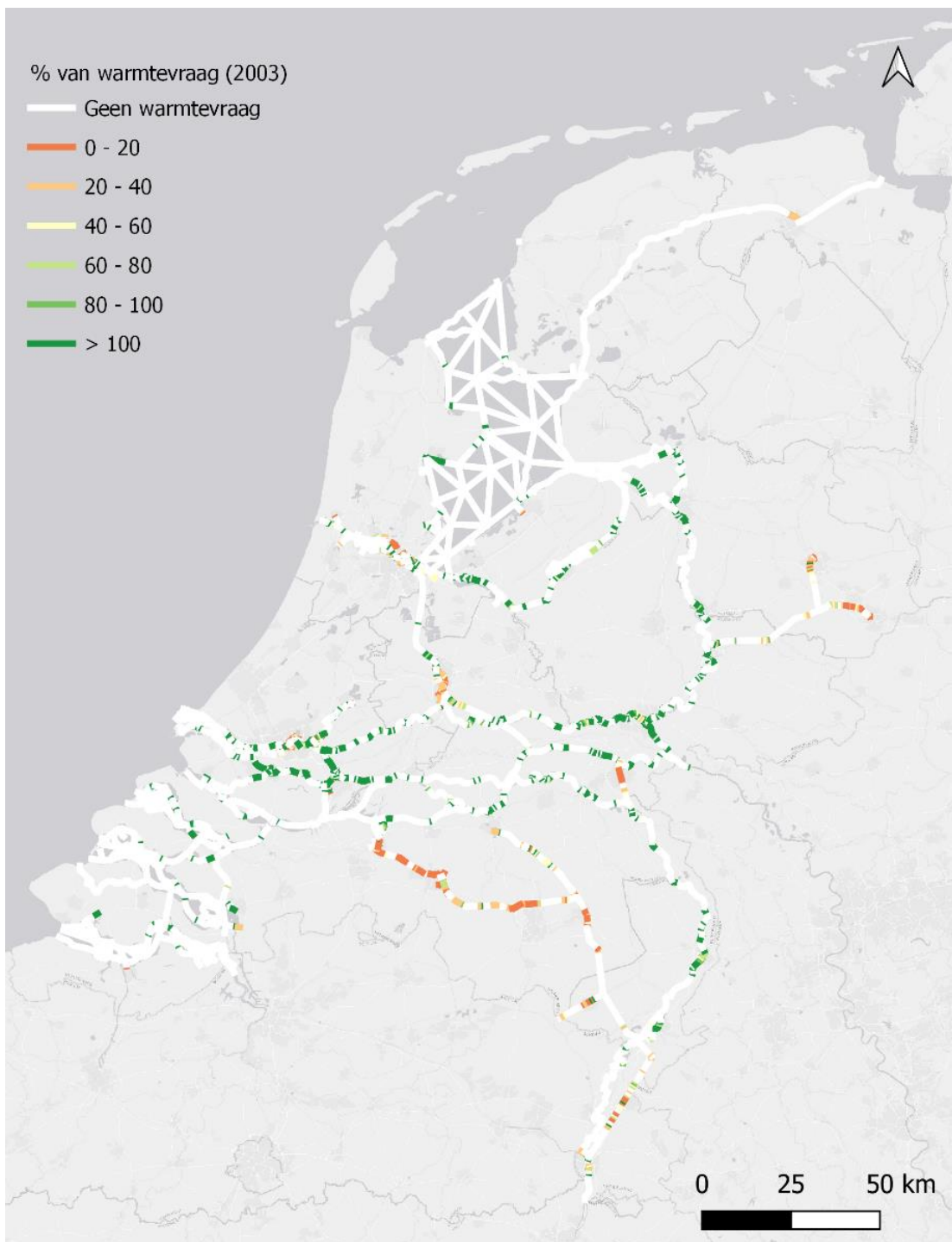
dan 2°C. Schalen we de warmtevraag verder af naar 25% neemt het aantal wateren waarbij de daling kleiner is dan 2°C toe. Wordt de warmtevraag afgeschaald tot 10% dan blijft de temperatuurdaling van vrijwel alle wateren onder 2°C op een deel van het Brabantse kanaal nabij Tilburg en wat doodlopende delen zoals in de Amsterdamse grachten na.

Voor de ecologische draagkracht van het systeem wordt vaak een grens van 3°C temperatuurdaling gehanteerd. Om te bepalen hoeveel warmte er onttrokken kan worden zonder deze grens te overschrijden is er een extra variant, variant 3, doorgerekend met aangescherpte randvoorwaarden.

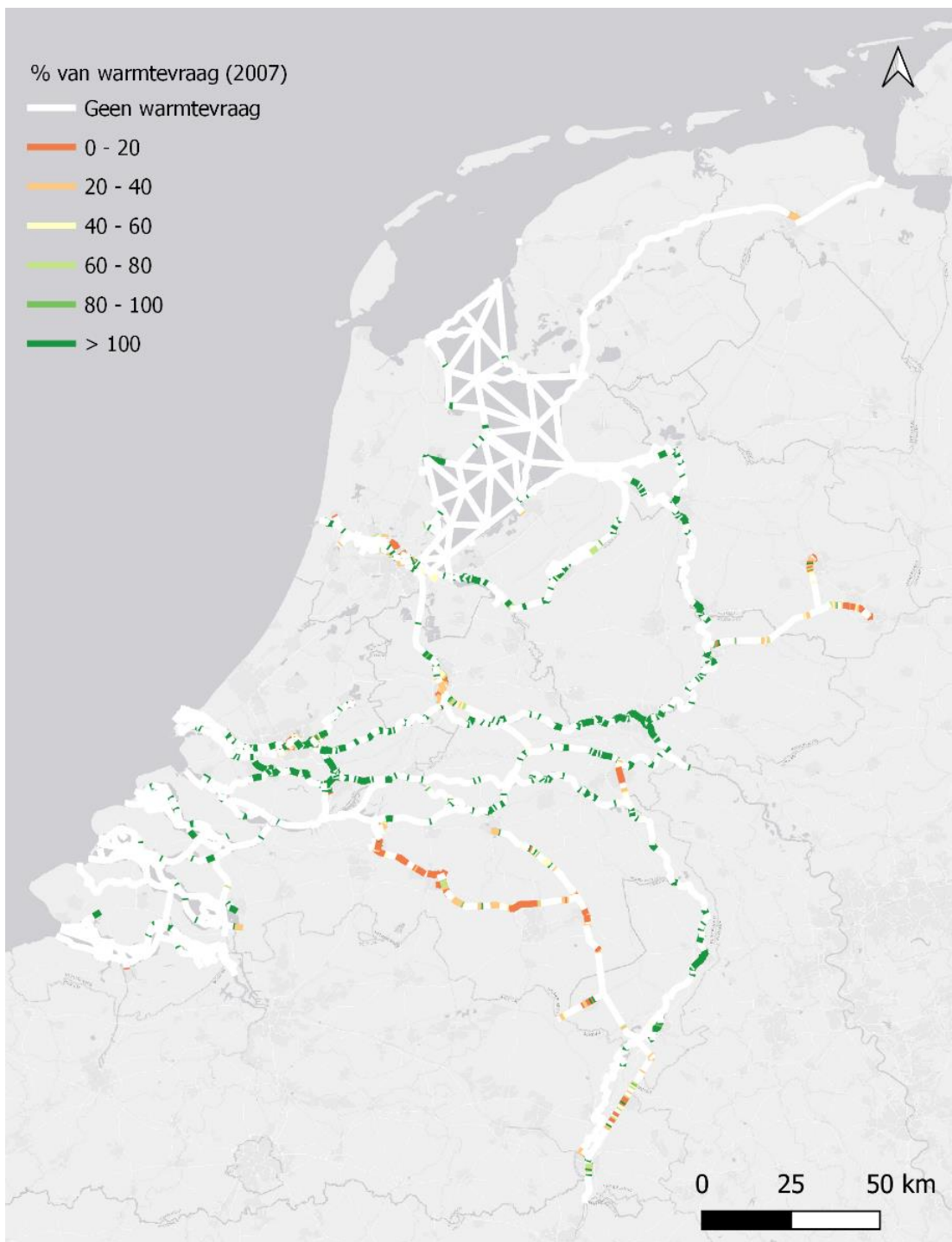
In deze variant is de dagelijkse hoeveelheid onttrokken warmte afhankelijk van de temperatuur van het water en dus variabel. De onttrekking stopt automatisch bij een watertemperatuur van 12°C of bij een daling (ΔT_{wo}) van de watertemperatuur met 3°C. Hierbij is de grens van de maximale dagelijkse warmteonttrekking gesteld op maximaal twee keer de toegestane hoeveelheid warmte ten opzichte van de vaste dagelijkse onttrekking gebaseerd op 100% van de warmtevraag (variant 1). Binnen deze randvoorwaarden is berekend hoeveel warmte er onttrokken kan worden in de zomerperiode (25 mei tot 23 augustus).

Uit de berekeningen blijkt dat met de gestelde randvoorwaarden van een maximale temperatuurdaling van 3°C, in 2003 en 2007 respectievelijk aan 56.1% en 60.6% van de warmtevraag van de geselecteerde buurten kan worden voldaan. Als er geen vaste hoeveelheid warmte per dag onttrokken wordt maar een variabele hoeveelheid dan kunnen ca. 1.5 miljoen woningen van de geselecteerde buurten van warmte worden voorzien, uitgaande van een jaarlijks verbruik van ca. 30 GJ per woning.

Figuur 8 en Figuur 9 tonen de resultaten per watergang. Voor het merendeel van de watergangen geldt dat er binnen de gestelde randvoorwaarden nog steeds 100% van de warmtevraag geleverd kan worden. Dit sluit aan bij de eerder getoonde resultaten (Figuur 6 en Figuur 7) waar voor deze wateren een maximale temperatuurdaling van minder dan 3°C is berekend. De gebieden waarvoor een hogere temperatuurdaling is berekend, kan met de gestelde randvoorwaarden 0 tot 40% van de warmtevraag worden geleverd. De watergangen waarvoor geen warmtevraag is gedefinieerd zijn wit gekleurd.



Figuur 8 Percentage van de warmtevraag die geleverd kan worden voor het jaar 2003 (droog jaar) wanneer de temperatuurdaling niet groter mag zijn dan 3°C. Voor variant 3 is uitgegaan van een variabele onttrekking, waarbij de temperatuur van het water de dagelijkse onttrekking bepaalt. De temperatuurdaling mag niet groter zijn dan 3°C. Wit betekent dat er geen warmtevraag is gedefinieerd.



Figuur 9 Percentage van de warmtevraag die geleverd kan worden voor het jaar 2007 (nat jaar) wanneer de temperatuurdaling niet groter mag zijn dan 3°C. Voor variant 3 is uitgegaan van een variabele onttrekkingen, waarbij de temperatuur van het water de dagelijkse onttrekking bepaalt. Wit betekent dat er geen warmtevraag vanuit de omliggende buurten is gedefinieerd.

4 Discussie en conclusies

4.1 Algemeen beeld

Over het algemeen zien we dat in grote delen van de rijkswateren, de temperatuurdaling bij grootschalige warmteonttrekking, minder dan 1°C is, en in een nog groter deel minder dan 3°C. In de praktijk zal dat betekenen dat de effecten op deze watergangen van TEO projecten beperkt zullen zijn, aangezien in de praktijk niet alle warmtevraag van het omliggend stedelijk gebied uit deze wateren gehaald zal worden.

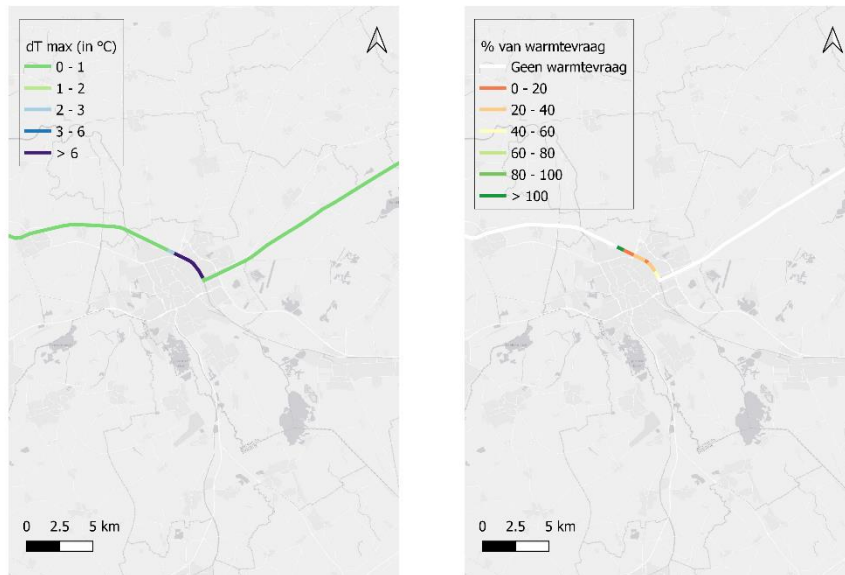
De wateren waarvoor dit geldt, zijn de grote rivieren, het IJsselmeergebied en de deltawateren. We zien dat voor alle rijkswateren tezamen, zo'n 60% van de totale warmtevraag in de omgeving, binnen een temperatuurdaling van minder dan 3°C gerealiseerd kan worden.

De wateren die eruit springen qua temperatuureffect zijn de kleinere kanalen met veel stedelijk gebied: Brabant, stukjes Twentekanaal, het Maas-Waal kanaal, de Hollandse IJssel, en her en der doodlopende takjes langs de grotere wateren. Deels zijn dit duidelijke aandachtsgebieden, waar niet onbeperkt TEO projecten kunnen worden toegepast zonder significante temperatuureffecten. Deels zijn dit ook stukjes water, die in de praktijk niet benut zullen worden, aangezien nabij een groot water ligt met veel meer warmtecapaciteit. Hieronder zullen deze aandachtsgebieden besproken worden.

4.2 Aandachtsgebieden

4.2.1 Van Starckenborghkanaal

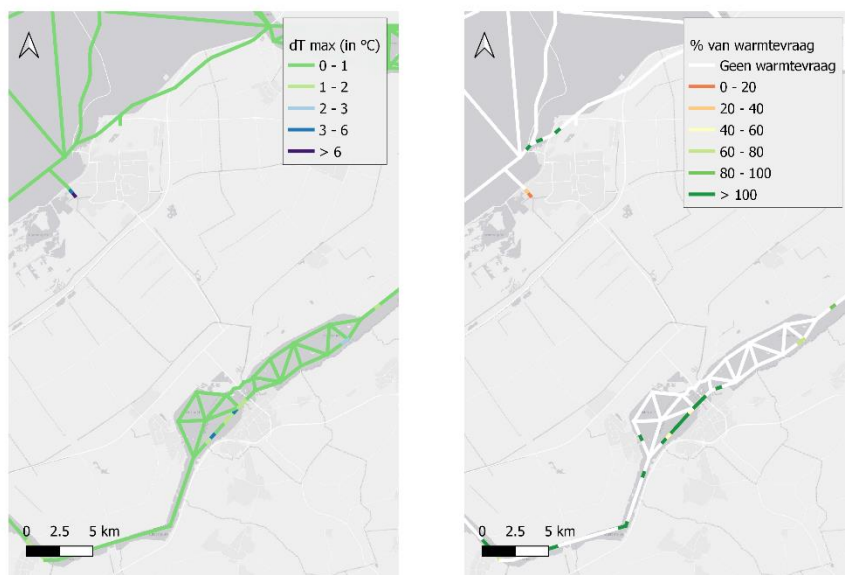
Dit kanaal loopt grotendeels door niet stedelijk gebied. Alleen in de stad Groningen is op een klein traject een grote warmtevraag, welke leidt tot een temperatuurdaling van meer dan 6 °C over een aantal kilometers. Kijkend naar de hoeveelheid warmte die wel geleverd kan worden binnen de temperatuurgrens van 3 °C, kan zo'n 30 à 50% van de warmtevraag wel geleverd worden uit dit kanaal (Figuur 10).



Figuur 10 Links) Maximale temperatuurdaling (dT_{max}) in het jaar 2003. Rechts) Percentage van de warmtevraag die geleverd kan worden voor het jaar 2003 wanneer de maximale temperatuurdaling beperkt wordt tot 3°C .

4.2.2 Lage Dwarsvaart (Lelystad)

De lage dwarsvaart is een klein stukje rijkswater, aansluitend op het poldergemaal welke uitmaakt op het Markermeer. Te zien is dat hier een temperatuurdaling optreedt tot meer dan 6°C (Figuur 11). In de praktijk zal bij grote TEO systemen in Lelystad gekozen worden voor het vlakbij gelegen Markermeer, wat een veel grotere warmtecapaciteit heeft. Mochten er TEO initiatieven in dit stukje vaart ontstaan, is de grootte van de warmteonttrekking in relatie tot de warmtecapaciteit een aandachtspunt.



Figuur 11 Links) Maximale temperatuurdaling (dT_{max}) in het jaar 2003. Rechts) Percentage van de warmtevraag die geleverd kan worden voor het jaar 2003 wanneer de maximale temperatuurdaling wordt begrensd op 3°C .

4.2.3 Wolderwijd en Veluwemeer nabij Harderwijk

In de berekeningen zijn op 2 segmenten in het Wolderwijd, temperatuurdalingen te zien van 2-3°C (Figuur 11). In de praktijk zullen deze, bij een goed ontwerp van TEO systemen, met de in- en uitlaat voldoende ver uit elkaar, niet optreden, aangezien een flink deel van het Wolderwijd zal bijdragen aan regeneratie van temperatuur. De temperatuurdaling die hier te zien is, is vooral een gevolg van de wijze van modelleren.

4.2.4 Zijkanalen van het IJ

In Amsterdam takken een aantal kanalen af van het IJ. Dit zijn deels doodlopende stukjes water. Aangezien de warmtevraag hier groot is, leidt dit tot temperatuurdalingen van meer dan 6°C in deze zijtakken (Figuur 12). Niet alle warmtebehoefte kan dus uit deze zijkanalen gehaald worden zonder significante temperatuureffecten.

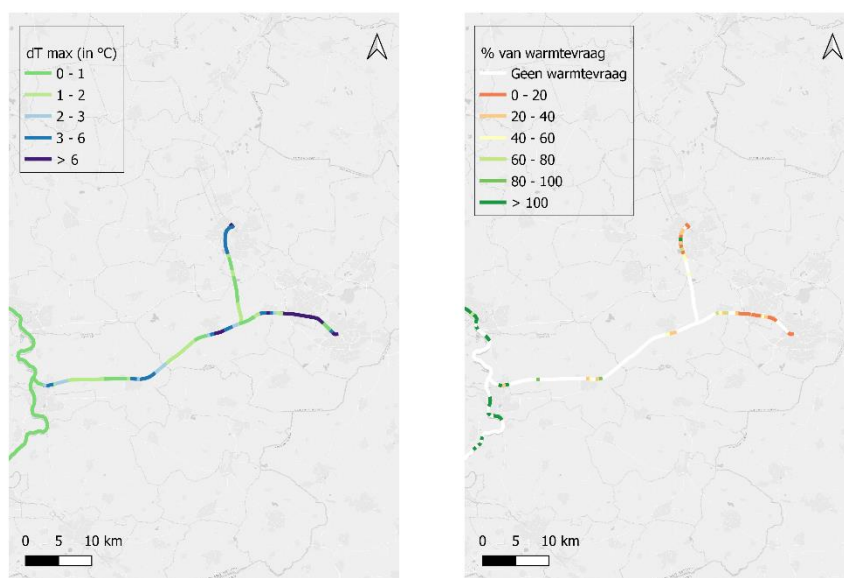
Echter, het IJ ligt ook vlakbij. Mochten grote TEO projecten hier gerealiseerd gaan worden, kan de grote warmtevraag hier uit onttrokken worden. Op het IJ zal dit niet tot significante temperatuurdalingen leiden. De beperking van de zijkanalen hoeft dus geen invloed te hebben op grootschalige toepassing in Amsterdam. Wel moet op de zijkanalen zelf goed gelet worden dat de warmtevraag de warmtecapaciteit zelf niet overschrijdt.



Figuur 12 Links) Maximale temperatuurdaling (dTmax) in het jaar 2003. Rechts) Percentage van de warmtevraag die geleverd kan worden voor het jaar 2003 wanneer de maximale temperatuurdaling wordt begrensd op 3°C.

4.2.5 Twentekanaal

Het Twentekanaal loopt van de IJssel bij Zutphen richting Enschede en Almelo. Hengelo, Enschede en Almelo zijn de grote steden langs het kanaal. Te zien is dat de temperatuurdalingen rond deze steden significant zijn, op enkele stukken zelfs meer dan 6°C. In de berekening van de hoeveelheid warmte die binnen 3 gewonnen kan worden, is te zien dat op deze stukken in zo'n 20% van de maximale warmtevraag kan worden voorzien (Figuur 13). Dit betekent dat op deze locaties goed afgewogen moet worden welke warmteonttrekkingen hier plaats kunnen vinden.

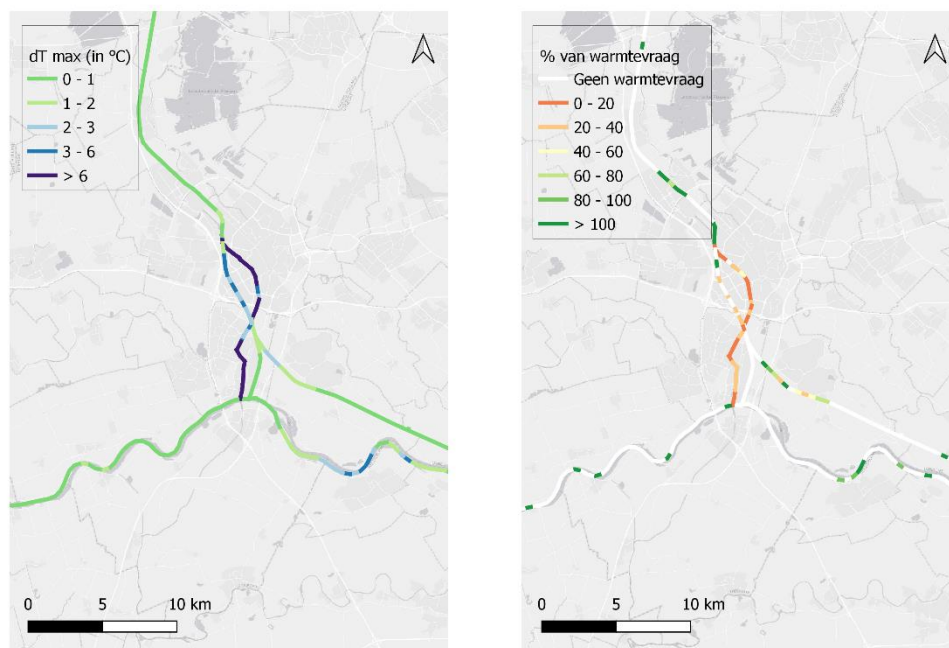


Figuur 13 Links) Maximale temperatuurdaling (dT_{max}) in het jaar 2003. Rechts) Percentage van de warmtevraag die geleverd kan worden voor het jaar 2003 wanneer de maximale temperatuurdaling wordt begrensd op 3°C.

4.2.6 Amsterdam-Rijnkanaal en Merwede kanaal bij Utrecht en Nieuwegein

Het stedelijk gebied rondom het Amsterdam-Rijnkanaal en het Merwedekanaal bij Utrecht en Nieuwegein heeft een grote warmtevraag. Het Amsterdam-Rijnkanaal heeft een relatief grote warmtecapaciteit. Deze zou bij maximale warmteonttrekking 2 tot 3, en op enkele stukken 3-6°C afkoelen. Het Merwedekanaal heeft veel minder warmtecapaciteit. Deze zou op grote stukken in Nieuwegein en Utrecht meer dan 6°C afkoelen (Figuur 14).

In de praktijk moet voor het Merwedekanaal goed afgewogen worden welke warmteonttrekkingen hier kunnen plaatsvinden binnen de capaciteit van het kanaal. Voor het Amsterdam Rijnkanaal geldt dat grote delen van de warmtevraag onttrokken kan worden binnen de 3°C temperatuurgrens (Figuur 14). Vooralsnog zijn daar geen knelpunten te verwachten. In Nieuwegein kan het Lekkanaal een deel van de vraag overnemen.



Figuur 14 Links) Maximale temperatuurdaling (dTmax) in het jaar 2003. Rechts) Percentage van de warmtevraag die geleverd kan worden voor het jaar 2003 wanneer de maximale temperatuurdaling beperkt wordt op 3°C.

4.2.7 Lek (bij Culemborg)

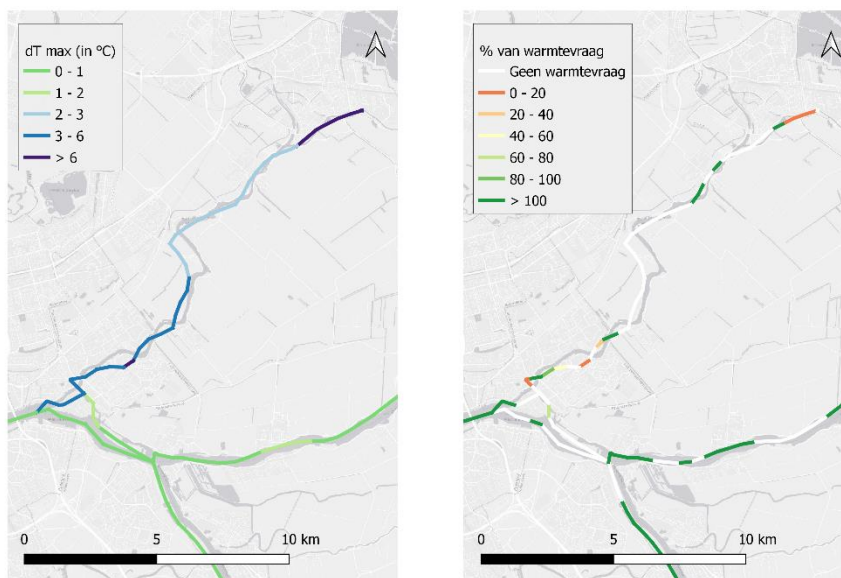
De Lek bij Culemborg laat, in het droge jaar 2003, een temperatuurdaling zien van 3 tot 6°C (Figuur 14). Dit zal zijn in perioden met zeer lage afvoer op de Lek, wat in 2003 regelmatig is voorgekomen. Indien in deze perioden minder warmte gewonnen wordt, kan de temperatuurdaling beperkt worden. We zien dan ook dat in de berekening waarbij binnen de 3°C grens gebleven wordt, op deze manier toch 100% van de warmtevraag geogst kan worden (Figuur 14). Desondanks is deze locatie een aandachtspunt, mocht Culemborg op grootschalige TEO willen overstappen.

4.2.8 Nederrijn (nabij Arnhem)

De Nederrijn nabij Arnhem laat, in het droge jaar 2003, een temperatuurdaling zien van deels 2 tot 3 en een kleiner stuk 3 tot 6°C (Figuur 14). Dit zal zijn in perioden met zeer lage afvoer op de Nederrijn, wat in 2003 regelmatig is voorgekomen. Indien in deze perioden minder warmte gewonnen wordt, kan de temperatuurdaling beperkt worden. We zien dan ook dat in de berekening waarbij binnen de 3°C grens gebleven wordt, op deze manier toch 100% van de warmtevraag geogst kan worden (Figuur 14). Desondanks is deze locatie een aandachtspunt, indien grootschalig van TEO gebruik gemaakt gaat worden in deze regio.

4.2.9 Hollandse IJssel

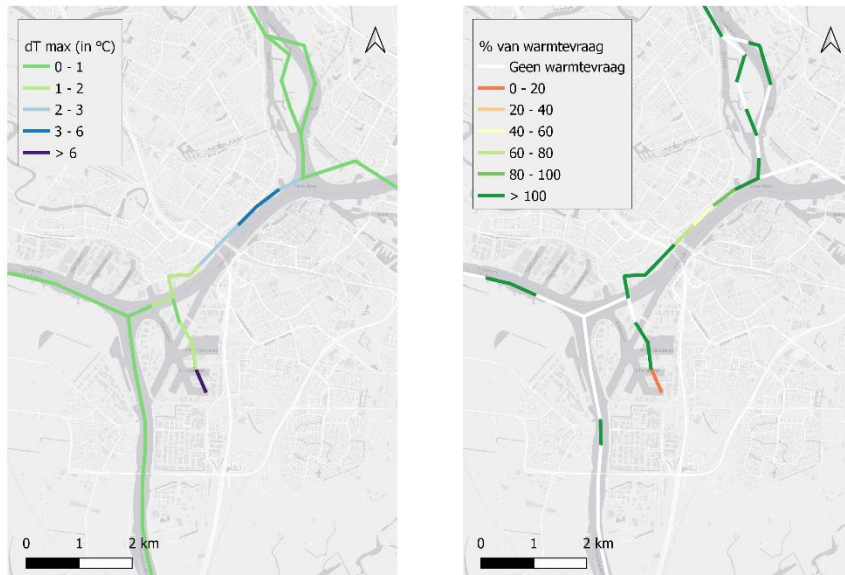
Het deel van de Hollandse IJssel tussen Capelle a/d IJssel en Gouda is een Rijks water. Zowel rond Capelle als bij Gouda is veel stedelijk gebied met een warmtevraag. Te zien is dat op delen van het traject, temperatuurdalingen van enkele graden, tot meer dan 6°C bij Gouda optreedt. Als we kijken naar de hoeveelheid warmteonttrekking die binnen de grenzen van 3°C mogelijk is, zien we dat alleen het laatste stukje bij Gouda, tussen de 20% en 40% van de totale warmtevraag kan voorzien (Figuur 15). De rest van het traject geeft nauwelijks beperkingen. Hiermee kunnen we concluderen dat vooral het laatste stukje bij Gouda een aandachtspunt is, bij initiatieven met grote warmteonttrekkingen.



Figuur 15 Links) Maximale temperatuurdaling (dTmax) in het jaar 2003. Rechts) Percentage van de warmtevraag die geleverd kan worden voor het jaar 2003 wanneer de maximale temperatuurdaling wordt begrensd op 3°C.

4.2.10 Binnenhavens Rotterdam/Dordrecht

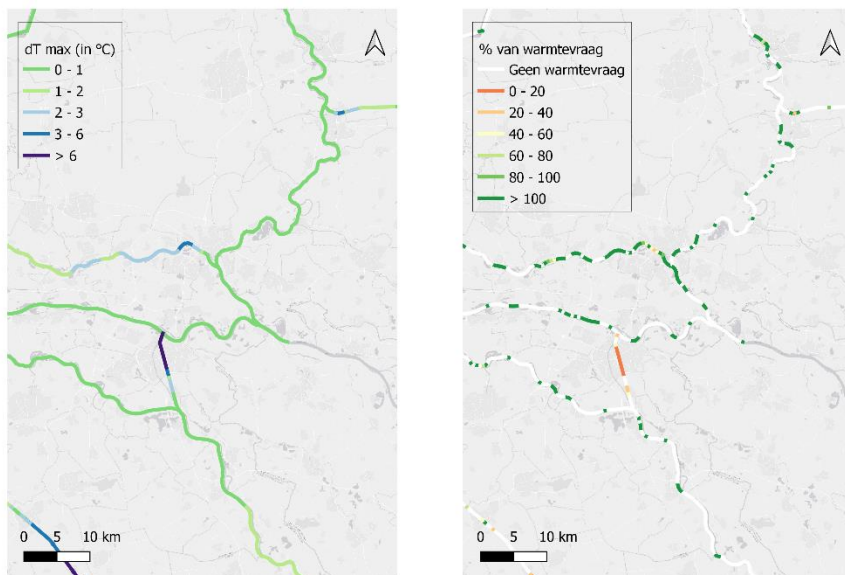
De binnenhavens van Rotterdam, en de Julianahaven in Dordrecht kennen een grote warmtevraag in de omgeving. Indien deze warmtevraag uit deze binnenhavens gehaald zou worden, leidt dit tot significante temperatuurdalingen (Figuur 16). Echter, de Nieuwe Maas c.q. de oude Maas, ligt hier direct naast, in de praktijk zullen grootschalige TEO systemen om deze reden hiervan gebruik gaan maken. Mochten er toch TEO initiatieven zijn in de doodlopende havenbekkens, of de grachten rond de Wijnhaven, is de verhouding tussen warmteonttrekking en warmtecapaciteit een aandachtspunt.



Figuur 16 Links) Maximale temperatuurdaling (dT_{max}) in het jaar 2003. Rechts) Percentage van de warmtevraag die geleverd kan worden voor het jaar 2003 wanneer de maximale temperatuurdaling wordt begrensd op 3°C.

4.2.11 Maas-Waalkanaal Nijmegen

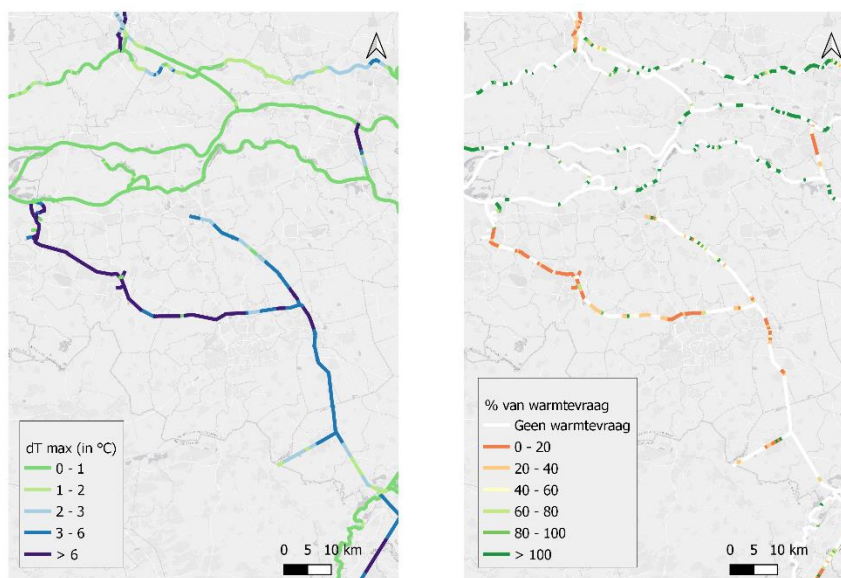
Het Maas-Waalkanaal loopt voor een flink deel dwars door de stad Nijmegen, met veel omliggende woonwijken. Indien deze woonwijken alle hun warmte uit het kanaal zouden halen, zien we significante temperatuurdalingen tot meer dan 6°C. Er kan binnen de grenzen van 3°C, zo'n 20% van deze totale warmtevraag uit dit kanaal gewonnen worden (Figuur 17). In de praktijk ligt ook de Waal nabij, deze kan wel in de totale warmtevraag van het omliggend stedelijk gebied voorzien.



Figuur 17 Links) Maximale temperatuurdaling (dT_{max}) in het jaar 2003. Rechts) Percentage van de warmtevraag die geleverd kan worden voor het jaar 2003 wanneer de maximale temperatuurdaling wordt begrensd op 3°C.

4.2.12 Zuid Willemsvaart en Wilhelminakanaal

Deze kanalen lopen langs stedelijk gebied, zoals Helmond, Eindhoven, Tilburg en Oosterhout. De warmtecapaciteit is relatief beperkt. We zien dan ook nabij deze steden op delen van het kanaal afkoeling van meer dan 6°C als alle warmtevraag uit deze kanalen zou worden gehaald. We zien ook in de berekening met beperking van de warmtevraag t.o.v. de warmtecapaciteit, dat in Tilburg, Eindhoven en Oosterhout, minder dan 20% van deze warmtevraag uit het kanaal gehaald kan worden, bij een maximale temperatuurdaling van 3°C (Figuur 18). Dit betekent dat bij toepassing van grootschalige aquathermie, de warmteonttrekking goed afgestemd moet worden met de warmtecapaciteit van de watergangen.

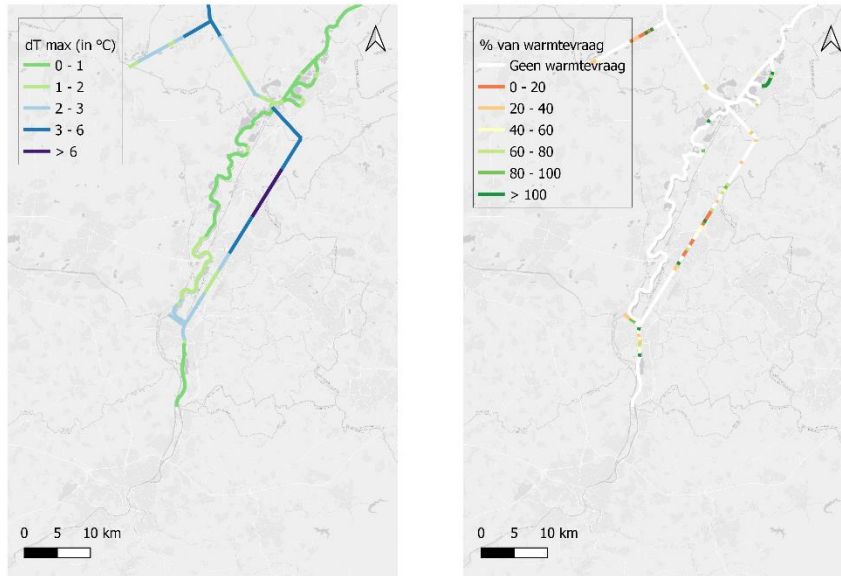


Figuur 18 Links) Maximale temperatuurdaling (dT_{max}) in het jaar 2003. Rechts) Percentage van de warmtevraag die geleverd kan worden voor het jaar 2003 wanneer de maximale temperatuurdaling wordt begrensd op 3°C.

4.2.13 Julianakanaal

Het Julianakanaal loopt van Maastricht tot Maasbracht. Stedelijk gebied nabij het kanaal is Geleen en Sittard. We zien in de berekeningen dat hier op enkele stukken temperatuurdalingen van 3 tot 6°C ontstaan, en zelf enkele stukken meer dan 6°C (Figuur 19).

Echter, in de modellering is het kanaal niet helemaal op de goede locatie gemodelleerd. In werkelijkheid ligt het kanaal verder van Sittard en Geleen af. Het is de vraag of in de praktijk warmte voor deze steden uit dit kanaal gehaald zal worden, gezien de relatief grote afstand. Mocht in de praktijk hier wel voor gekozen worden, dan is de warmtecapaciteit van het kanaal een aandachtspunt.



Figuur 19 Links) Maximale temperatuurdaling (dT_{max}) in het jaar 2003. Rechts) Percentage van de warmtevraag die geleverd kan worden voor het jaar 2003 wanneer de maximale temperatuurdaling wordt begrensd op 3°C.

5 Referenties

Aquathermie Viewer <http://www.aquathermieviewer.nl>

Helpdesk Water, 2018. Nationaal Water Model.

<https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/applicaties-modellen/applicaties-per/watermanagement/watermanagement/nationaal-water-model/>

CE Delft en Deltares (2018). Nationaal potentieel van aquathermie: Analyse en review van de mogelijkheden. CE Delft. Delft: CE Delft.

<https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PROJECTEN/Projecten%202016/project449.003%20thermische%20energie/Rapport%20Nationaal%20potentieel%20van%20aquathermie.pdf>

PBL (2019) Achtergronddocument Effecten Ontwerp Klimaatpakkoord: Gebouwde Omgeving | PBL Planbureau voor de Leefomgeving.

Stowa (2021) Kader voor vergunningverlening koudelozingen 1.0. Handreiking voor beoordeling van aanvragen voor TEO-systemen.

<https://www.stowa.nl/publicaties/kader-voor-vergunningverlening-koudelozingen-10-handreiking-voor-beoordeling-van>

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl