

# Aquathermie in Holland Rijnland

Deel 1 Technische potentie van aquathermie

Deel 2 Grootschalige toepassing en daling van de watertemperatuur

Deel 3 Governance van aquathermie

**WarmingUp, project 3A**

14 juni 2022

# Aquathermie in Holland Rijnland Opschaling van collectieve warmtesystemen

## Auteurs

### *Deltares*

Rutger van der Brugge  
Ronald Roosjen  
Annelotte van der Linden  
Pascal Boderie  
Daan Rooze



## In samenwerking met:

### *Holland Rijnland*

Martijn Romijn  
Bart van Konijnenburg



### *Hoogheemraadschap Rijnland*

Pieter Buijs-Heine  
Katinka Schipper



### *Alphen aan den Rijn*

Ruud Kwant



14 juni 2022

Reviewer: Ida de Groot – Wallast (Deltares)

Dit project is uitgevoerd als onderdeel van het Innovatieplan WarmingUP. Dit is mede mogelijk gemaakt door subsidie van de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) in het kader van de subsidieregeling Meerjarige Missiegedreven Innovatie Programma's (MMIP), bij RVO bekend onder projectnummer TEUE819001.

WarmingUP geeft invulling aan MMIP-4 – Duurzame warmte en koude in gebouwde omgeving en levert daarmee een bijdrage aan Missie B – Een CO<sub>2</sub>-vrije gebouwde omgeving in 2050.

#### Projectnummer

11205153

#### Keywords

Aquathermie, potentie, cumulatieve effecten, modellering

#### Jaar van publicatie

2022

#### Meer informatie

Rutger van der Brugge

T 06 10 40 63 15

E [Rutger.vanderBrugge@deltares.nl](mailto:Rutger.vanderBrugge@deltares.nl)

# Inhoudsopgave

<b>Samenvatting</b>	<b>5</b>
<b>1. Inleiding</b>	<b>12</b>
1.1. De opgave: de opschaling van aquathermie in goede banen leiden	12
1.2 Doel van deze studie	12
Aanpak	13
1.4 Leeswijzer	14
<b>2. Achtergrondinformatie</b>	<b>15</b>
2.1 Aquathermie: warmte uit oppervlaktewater	15
2.2. De regio Holland Rijnland	16
2.2 Regionale Energiestrategie	17
2.3 Watersysteem	18
<b>3. Deel 1. Technische potentie in Holland Rijnland</b>	<b>19</b>
2.1 Inleiding	19
3.2 Onderzoeksaanpak	19
3.2 Resultaten Potentie Aquathermie in Holland Rijnland	23
<b>4. Deel 2. Grootschalige toepassing van aquathermie en de effecten op de watertemperatuur van de Oude Rijn</b>	<b>27</b>
4.1 Onderzoeksaanpak	27
4.2 Resultaten Scenario 1. Vaste dagelijkse onttrekking, bovengrens en afschalen	31
4.3 Resultaten Scenario 2. Dynamisch regime, met temperatuur als randvoorwaarde	37
4.4 Resultaten Scenario 3. Warmteonttrekking volgens Handreiking Vergunningverlening Koudelozing	38
4.5 Resultaten optimalisatiescenario's	39
4.5 Reflectie	43
<b>5. Deel 3. Governance van aquathermie</b>	<b>44</b>
5.1 Implicaties voor het Energietransitie-beleid	44
5.2 Implicaties voor waterbeheer	48
5.3 Het water-energieplan als beleidsinstrument	49

<b>6. Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>50</b>
6.1 Conclusies	50
6.2 Discussie	52
6.3 Aanbevelingen voor Holland Rijnland	53
<b>7. Bronnen</b>	<b>55</b>
<b>8. Bijlagen</b>	<b>56</b>
8.1 Gerealiseerde en lopende aquathermie projecten in Holland Rijnland	56
8.2 Methodes en technische details	57

# Samenvatting

De potentie voor aquathermie in Nederland is aanzienlijk. In het belang van het klimaatbeleid is het noodzakelijk die potentie optimaal te benutten. Aquathermie heeft echter ook effect op de temperatuur van het water en kan daardoor impact hebben op de ecologie. In het licht van de aankomende en waarschijnlijke opschaling van aquathermie is daarom behoefte aan regulering. De systemen zullen in aantal en omvang toenemen en daarmee neemt ook de kans op ecologische gevolgen toe. Als de systemen daarbij ook nog warmte uit dezelfde watergang onttrekken, zijn er grotere (cumulatieve) temperatuureffecten te verwachten. Dit vraagt om een duidelijk beleid ten aanzien van aquathermie. Het doel van deze studie is om een basis te leggen voor de doorontwikkeling van het beleid rondom aquathermie, waarin de belangen van het klimaatbeleid en het waterbeheer (natuurbeheer) in balans met elkaar zijn.

## Aanpak

De studie bestaat uit drie delen. In het eerste deel is een verkenning uitgevoerd naar de kansen voor aquathermie in de regio Holland Rijnland ten behoeve van de Regionale Energiestrategie (RES). Twee onderzoeksvragen staan hierin centraal:

1. *Wat is de technische potentie van aquathermie in de regio Holland Rijnland?*
2. *Hoe betrouwbaar is deze bron als leverancier van warmte?*

Het tweede deel bouwt voort op het eerste deel. Het richt zich op grootschalige toepassing van aquathermie op de Oude Rijn. Er zijn diverse modelsimulaties gedraaid met verschillende scenario's van warmteonttrekkingen en de effecten op de watertemperatuur zijn berekend. De volgende twee onderzoeksvragen staan in dit deelonderzoek centraal:

3. *Wat is het cumulatieve effect op de temperatuur van het water bij meervoudige onttrekkingen?*
4. *Hoe kan worden voorzien in een zo groot mogelijke warmtevraag, zonder dat de temperatuurdalingen te groot worden?*

Het derde deel van dit onderzoek richt zich op de implicaties voor het (overheids)beleid ten aanzien van aquathermie. De kwantitatieve resultaten uit deel 2 van het onderzoek zijn daarbij gebruikt als basis om de volgende twee onderzoeksvragen te beantwoorden:

5. *Welk beleid is er - met het oog op de verwachte opschaling – nodig om aquathermie te benutten en te reguleren?*
6. *Op welke wijze kan het belang van de energietransitie en het belang van de waterkwaliteit afgestemd en gewaarborgd worden?*

De resultaten uit de deelstudies leiden tot aanbevelingen voor de doorontwikkeling van beleid rondom aquathermie in de regio Holland Rijnland.

## Resultaten

### *Deel 1 – Technische potentie*

In de Regionale Energie Strategie (RES) van Holland Rijnland wordt aquathermie als één van de potentiële warmtebronnen overwogen. Met het oog op de bronnenstrategie is het van belang om de potentiële bijdrage van aquathermie in Holland Rijnland beter in beeld te krijgen. In deze studie zijn daarom berekeningen uitgevoerd die een beeld geven van de technische potentie van

aquathermie in Holland Rijnland. Op basis van het berekende warmteaanbod is bepaald welk percentage van de warmtevraag door aquathermie voorzien kan worden. Hierbij zijn alleen dié buurten meegenomen die volgens de RES in aanmerking komen voor lage- en middentemperatuur warmtenetten.

Uit de potentieberekeningen blijkt dat voor ca. driekwart van de geselecteerde buurten de volledige warmtevraag geleverd zou kunnen worden door aquathermie uit watergangen die binnen een straal van 1 km liggen<sup>1</sup>. Als die afstand wordt vergroot tot watergangen binnen een straal van 5 km, dan is er in potentie meer warmte beschikbaar dan de (geselecteerde) wijken nodig hebben. Hierbij is geen rekening gehouden met watersysteemeenheden zoals peilvakken of boezems.

Omdat de uitkomst van de potentieberekeningen sterk afhankelijk zijn van randvoorwaarden, is deze gevoeligheid nader onderzocht door te variëren met de *periode* en *duur* van de onttrekkingen en de toegestane *afkoeling* van de watertemperatuur. In totaal zijn zeven verschillende regimes van warmteonttrekking doorgerekend. Hieruit blijkt dat de leveringszekerheid toeneemt naarmate gedurende een langere periode warmte wordt onttrokken. Dit valt binnen de verwachting, omdat die onttrekkingsregimes minder kwetsbaar zijn voor natuurlijke variantie in het debiet. De resultaten van deze deelstudie zijn ingebracht in de Regionale Energiestrategie 1.0.

#### *Deel 2 – Cumulatief effect op watertemperatuur van meervoudige warmteonttrekking*

In het tweede deel van deze studie wordt de Oude Rijn nader overwogen. Dit hoofdstuk behandelt de vraag wat de effecten zijn op de watertemperatuur als aquathermie daadwerkelijk in deze mate toegepast zou gaan worden én waarbij rekening gehouden wordt met de *cumulatieve effecten* van meervoudige warmteonttrekking uit de Oude Rijn. Er zijn vier verschillende scenario's doorgerekend. In het eerste scenario is per winning steeds een vaste hoeveelheid warmte per dag onttrokken. In het tweede scenario is een variabele hoeveelheid warmte per dag gewonnen (een dynamisch onttrekkingsregime), welke afhankelijk is van de actuele watertemperatuur. Op ongunstige dagen (koud, weinig debiet) wordt geen of weinig warmte onttrokken en op gunstige dagen (warm, groot debiet) wordt juist extra warmte onttrokken zolang de watertemperatuur maar niet onder de vastgestelde grens komt. In het derde scenario is de Handreiking Vergunningverlening Koudelozing van STOWA als uitgangspunt genomen. Deze handreiking wordt gebruikt als richtlijn voor vergunningverlening, hoewel het nog geen juridische status heeft. Tot slot is een eenvoudige optimalisatie uitgevoerd, waarmee geïllustreerd wordt dat met een aantal simpele maatregelen in een grotere warmtevraag kan worden voorzien binnen dezelfde randvoorwaarden voor de temperatuurdaling.

Uit scenario 1 blijkt dat als 100% van de warmtevraag van de geselecteerde buurten uit de Oude Rijn zou komen, dat de daling van de watertemperatuur op een aantal plekken meer dan 10°C is en daarmee potentieel een (te) grote impact heeft op de ecologie. Schalen we de warmtevraag per buurt af naar 50% dan worden de temperatuurdalingen kleiner, maar zijn er op enkele plekken nog steeds dalingen van ca. 5°C te zien. Schalen we de warmtevraag nog verder af naar 25%, dan zien we dat over de hele linie de temperatuurdaling binnen de 3°C blijft. Hoewel er geen harde grens bestaat voor de maximaal toelaatbare temperatuurdaling is in deze studie uitgegaan van 3°C<sup>2</sup>. In totaal kunnen dan ca. 12.000 woningen verwarmd worden, verspreid langs de Oude Rijn.

<sup>1</sup> Bijna 90% van die warmte komt uit het watersysteem. Het overige deel wordt door de warmtepomp geleverd. Hierin is verdisconteerd 15-20% energieverlies door warmtetransport.

<sup>2</sup> In de handreiking vergunningverlening koudelozingen wordt voor verschillende watertypen aangenomen dat bij een daling kleiner dan 4 graden geen ecologische impact wordt verwacht.

Uit scenario 2 blijkt dat binnen dezelfde randvoorwaarde (een maximale temperatuurdaling van 3°C), de totale warmtewinning aanzienlijk verhoogd kan worden met een dynamisch onttrekkingsregime. Indien geen vaste hoeveelheid warmte per dag onttrokken wordt, maar dit variabel en afhankelijk is van de watertemperatuur en het debiet, zijn ca. 33.000 woningen van warmte te voorzien. Een voordeel van dynamische regimes is dat er meer sturing mogelijk is op het voorkomen van grote dalingen in de watertemperatuur (en de daarmee gepaard gaande impact op de ecologie). Een mogelijk nadeel is dat de installaties met meer overcapaciteit ontworpen moeten worden, in combinatie met extra opslag om de overtollige warmte tijdelijk op te slaan. Zowel overcapaciteit als opslag verhogen de kostprijs van de warmtelevering.

Vergelijken we dit met randvoorwaarden uit de handreiking vergunningverlening koudelozing (scenario 3), dan zijn ca. 17.000 woningen te voorzien van warmte. Dit is aanzienlijk minder en bovendien blijkt het geen garantie voor het voorkomen van grote dalingen van de watertemperatuur. Afhankelijk van het scenario kan in ca. één derde tot twee derde van de warmtevraag van de geselecteerde buurten nabij de Oude Rijn worden voorzien.

Tot slot zijn twee optimalisatiemaatregelen doorgerekend. De eerste maatregel simuleert een beperking (een tijdelijk stop) op die winningen als de watertemperatuur meer dan drie graden daalt. Dit is doorgaans slechts enkele dagen in het jaar het geval. In dit scenario is in bijna 47% van de totale warmtevraag te voorzien. Dit is bijna gelijk aan scenario 1b (afschaling van de warmtevraag met 50%), maar blijft binnen de voorwaarden van 3°C daling. Dezelfde maatregel is doorgerekend met de voorwaarden uit de handreiking Vergunningverlening Koudelozingen. Ten opzichte van het originele scenario 3 kan 20-25% minder warmte gewonnen worden. Echter, met deze ingreep wordt wel voorkomen dat de temperatuurdalingen groter zijn dan 3°C. De tweede optimalisatiemaatregel simuleert een slimmere spreiding van warmteonttrekkingen over de Oude Rijn. Door deze herverdeling is bovenop de eerste optimalisatiemaatregel nog eens ca. 18 GJ per jaar extra te winnen (ca. 1.3 % van de warmtevraag). Met andere woorden, door een slimme (her)verdeling is warmtewinst te behalen.

### *Deel 3 Implicaties voor beleid*

Deze deelstudie geeft op basis van deel 1 en 2 van het onderzoek een aantal beleidsimplicaties voor zowel het energietransitie-beleid als het waterbeleid met betrekking tot aquathermie.

De eerste implicatie voor het *energietransitie-beleid* is dat de bijdrage van aquathermie in meer detail geconcretiseerd dient te worden om tot een goed onderbouwde bronnenstrategie voor een regio of gemeente te komen. Daarvoor is het ten eerste nodig om de bijdrage van aquathermie te relateren aan de warmtevraag van de buurten die daarvoor in aanmerking. Ten tweede om voorkeurslocaties en uitsluitlocaties aan te geven. Ten derde dient er rekening gehouden te worden met (potentiële) warmteonttrekkingen bovenstrooms om te voorkomen dat broncapaciteit overschat wordt. Daarmee ontstaat een goed ruimtelijk beeld van de warmtecapaciteit van de bron per buurt of wijk. Op basis daarvan kan een onderbouwde bronnenstrategie worden opgesteld en afwegingen gemaakt worden tussen aquathermie en andere beschikbare warmtebronnen in het kader van de Regionale Energiestrategieën en Transitievisies Warmte.

Een tweede beleidsimplicatie is dat er verdeelafspraken over de warmte uit het water worden opgenomen in het energietransitie-beleid. Deze verdeelafspraken verduidelijken over welke warmtecapaciteit een buurt of gemeente mag en kan beschikken. Verdeelafspraken veronderstellen echter ook dat er op de bronnen gestuurd kan worden, in lijn met de verdeelafspraken. Die mogelijkheden zijn echter zeer beperkt. Daarom zou bovendien een (periodieke) herijkingsprocedure

opgesteld moeten worden, waarmee - onder voorwaarden – geldende verdeelafspraken aangepast kunnen worden, bijvoorbeeld als blijkt dat toch andere warmtebronnen in gebruik zijn genomen en er capaciteit over is, of als er juist capaciteit wegvalt. Gezien de (nog) beperkte sturingsmogelijkheden en de vele onzekerheden is een dergelijke adaptieve aanpak nodig<sup>3</sup>.

Voor het *waterbeleid* is een belangrijke beleidsimplicatie dat de waterbeheerder de knelpunten, voorkeurs- en uitsluitingslocaties zou moeten aanwijzen. Hierbij dient rekening gehouden te worden met kwetsbare (natuur)gebieden, watergangen met weinig debiet en aandachtsgebieden waar mogelijk in de toekomst veel warmteonttrekkingen kunnen gaan plaatsvinden, bijvoorbeeld stedelijk gebied met weinig andere bonnen.

Een tweede beleidsimplicatie is dat voor de vergunningverlening ook de lage debieten als maatgevend moeten worden meegenomen. Het gemiddeld zomerdebiet, zoals nu in het beleidskader als toets criterium opgenomen, voorkomt niet altijd dat grote dalingen kunnen optreden.

Een derde implicatie voor waterbeleid is de mogelijkheid om een tijdelijke stop af te kondigen als de temperatuur te veel daalt. Deze studie laat ook het belang zien om bij vergunningverlening rekening te houden met de cumulatieve effecten van meervoudige onttrekkingen. Vooral met het oog op de opschaling van aquathermie in de toekomst is doorontwikkeling van het beleid nodig.

Een belangrijke vierde beleidsimplicatie daarom is het reguleren van meervoudige onttrekkingen, bijvoorbeeld door extra eisen met betrekking tot de onderlinge afstanden te stellen, zodat voldoende regeneratie kan plaatsvinden. In de handreiking Vergunningverlening Koudelozing is weliswaar een check op cumulatieve effecten opgenomen, maar nog geen concrete handvatten hoe dat zou kunnen.

Tot slot is de vijfde beleidsimplicatie dat door (grootschalige) toepassing van aquathermie de warmtevoorziening ook een (sturende) factor gaat worden in het operationele waterbeheer. Debieten zouden bijvoorbeeld (tijdelijk) aangepast (verhoogd) moeten worden om grotere temperatuurdalingen te voorkomen. Daarentegen vallen warmtewinning en eventuele droogte vaak samen in de zomerperiode. Hoe de warmtevoorziening als factor meegenomen dient te worden in het (operationele) waterbeheer vraagt om nadere uitwerking en overweging.

Combineren we de implicaties voor het energietransitie-beleid met de implicaties van waterbeheer, dan volgt daaruit dat er zowel knelpunten als voorkeurslocaties voor aquathermie aangewezen kunnen worden. Voor deze aandachtsgebieden zouden (op termijn) zogenaamde *waterenergieplannen* gemaakt kunnen worden om eventueel knelpunten te voorkomen als gevolg van opschaling van aquathermie-toepassingen. In een waterenergieplan worden afspraken gemaakt over de maximale warmteonttrekking uit de watergangen in het gebied en daarmee samenhangende afspraken over locaties en omvang van de warmteonttrekkingen. In het waterenergieplan wordt expliciet rekening gehouden met de *cumulatieve effecten* van meervoudige onttrekking en zou daarmee een nadere invulling geven van de toets op cumulatieve effecten, zoals die in de handreiking Vergunningverlening Koudelozing genoemd staat.

Het waterenergieplan kan een *nieuw beleidsinstrument* zijn dat apart, of als onderdeel van een Omgevingsplan, een RES, of een provinciale verordening een beleids-juridische status zou kunnen krijgen. Extra voordeel is dat een dergelijk plan ook een onderbouwing biedt voor de bronnenstrategie en duidelijkheid schept voor alle partijen (gemeenten, waterschappen, warmtebedrijven, energiecoöperaties, etc.) over de randvoorwaarden voor de warmteonttrekkingen uit de watergangen in een gebied. Het waterenergieplan kan door gemeenten en waterschappen

---

<sup>3</sup> In het Deltaprogramma is als onderdeel van de adaptieve aanpak ook een herijtingsprocedure ingebouwd. Dit zou als voorbeeld genomen kunnen worden.



gezamenlijk opgesteld worden, zodat de balans gevonden wordt tussen het belang van de energietransitie en het belang van ecologische vitaliteit.

## Conclusies

Op basis van dit onderzoek kunnen we onderstaande antwoorden geven op de onderzoeksvragen:

1. *Wat is de technische potentie van aquathermie in de regio Holland Rijnland?*

Er is een aanzienlijke capaciteit voor aquathermie in de regio Holland Rijnland. Als de maximale afstand tussen de buurt en de watergang minder dan 1 kilometer is, kan ca. 85% van de warmtevraag worden voorzien. Als dit 'zoekgebied' groter wordt neemt de potentie toe. Bij een afstand van 5 kilometer tot aan de watergang is de potentie meer dan 100%. In dat geval is het warmte-aanbod groter dan de warmtevraag. Warmtepompen zijn nodig om de temperatuur op te hogen. Daar is extra elektriciteit voor nodig. De technische en financiële haalbaarheid vallen buiten de scope van deze studie.

2. *Hoe betrouwbaar is deze bron als leverancier van warmte?*

Aquathermie is in Holland Rijnland een betrouwbare warmtebron. Er is weliswaar natuurlijke variatie in debieten en temperatuur, maar door de periode van warmtewinning voldoende lang te maken, kan daarop worden geanticipeerd. Onttrekkingsregimes waarin alleen warmte gewonnen wordt tijdens de zomer zijn kwetsbaarder. Hoe korter de periode van onttrekken hoe minder betrouwbaar de warmtewinning is vanwege de variatie in debieten. Betrouwbaarheid van warmtewinning hangt niet alleen af van de bron, maar ook van de (technische) installatie. In deze studie is dat buiten beschouwing gelaten.

3. *Wat is het cumulatieve effect op de temperatuur van het water bij meervoudige onttrekkingen?*

Bovenstroomse warmteonttrekkingen werken benedenstrooms door. Indien de gehele warmtevraag van de geselecteerde buurten uit de Oude Rijn wordt gewonnen, dan treden dalingen op van de watertemperatuur van de Oude Rijn van wel meer dan 10°C, vooral rond de stedelijke kernen. In deze studie zijn we ervan uitgegaan dat er geen of nauwelijks ecologische effecten optreden bij dalingen kleiner dan 3°C. Indien de gehele warmtevraag van alle geselecteerde buurten uit de Oude Rijn zou worden gewonnen, dan zijn de ecologische gevolgen naar verwachting (te) groot.

4. *Hoe kan worden voorzien in een zo groot mogelijke warmtevraag, zonder dat de temperatuurdalingen te groot worden?*

Door extra regulering, bijvoorbeeld door gerichte maatregelen - zoals structurele of tijdelijke *beperkingen* op de omvang van bepaalde warmteonttrekkingen én sturing op de *ruimtelijk verdeling* van de onttrekkingslocaties - kan in bijna de helft van de warmtevraag van de geselecteerde buurten worden voorzien door Aquathermie uit de Oude Rijn. Met een *dynamisch onttrekkingsregime*, dat rekening houdt met de temperatuurdaling en absolute watertemperatuur, kan de potentie nog verder oplopen, tot bijna tweederde van de warmtevraag.

5. *Welk beleid is er - met het oog op de verwachte opschaling - nodig om aquathermie te benutten en te reguleren?*

Er is doorontwikkeling van het beleid voor aquathermie nodig. Bij vergunningverlening door de waterbeheerder zal naast het type watersysteem en het zomergemiddelde debiet ook het aantal dagen met laag debiet in de beoordeling meegenomen moeten worden. Juist als het debiet laag is daalt de temperatuur van het water relatief sterk. Ter voorkoming van te grote dalingen zijn

beleidsinstrumenten nodig om tijdelijke beperkingen op te kunnen leggen aan operationele winningen. Ten behoeve van de bronnenstrategie dienen voorkeurslocaties en uitsluitingslocaties aangewezen worden en dient de cumulatietoets uit de handreiking Vergunningverlening Koudelozingen nader uitgewerkt te worden, om zodoende rekening te kunnen houden met de cumulatieve effecten van meervoudige onttrekking uit dezelfde watergang. Met het oog op de opschaling zijn (op termijn) verdeelafspraken nodig over de beschikbare warmte.

6. *Op welke wijze kan het belang van de energietransitie en het belang van de waterkwaliteit afgestemd en gewaarborgd worden?*

Een nieuw beleidsinstrument als het *Waterenergieplan* kan hierbij een hulpmiddel zijn. Het waterenergieplan is voor te stellen als een ruimtelijk plan dat afspraken bevat over de maximaal toelaatbare cumulatieve onttrekking binnen een gebied en dat afspraken bevat over de winningslocaties en de omvang per winning binnen dat gebied. Het waterenergieplan schept daarmee duidelijkheid aan alle partijen (gemeenten, waterschappen, warmtebedrijven, energiecoöperaties, ect) hoeveel warmte op welke locaties onttrokken mag worden. Bovendien biedt het een nadere invulling van de cumulatietoets, zoals die in de handreiking Vergunningverlening Koudelozingen benoemd wordt. Waterenergieplannen zijn met name van belang voor aandachtsgebieden, bijvoorbeeld gebieden met hoge natuurwaarde, kleine debieten, of juist gebieden met een hoge bevolkingsdichtheid waar mogelijk veel warmte uit het water onttrokken kan gaan worden. Waterenergieplannen helpen zo ook om de bronnenstrategie verder door te ontwikkelen.

#### **Aanbevelingen voor Holland Rijnland**

Met het oog op de verwachte opschaling van aquathermie in de regio worden de volgende aanbevelingen gedaan.

*Korte termijn:*

1. *Benut water als warmtebron, realiseer Aquathermie-projecten en monitor effecten*

In de regio is de technische potentie voor aquathermie groot. Benut de potentie van deze warmtebron door projecten te initiëren en faciliteren. Zorg ervoor dat de projecten gemonitord worden, zodat meer inzicht verkregen kan worden in de effecten op de watertemperatuur en de ecologie.

2. *Stel aandachtsgebieden voor aquathermie vast: potentiële knelpunten en voorkeurslocaties*

Het is verstandig om aandachtsgebieden te identificeren. Dit kunnen zowel potentiële knelpunten als voorkeurslocaties zijn. Potentiële knelpunten zijn vooral de kleinere lokale wateren met een gering debiet in combinatie met een gebied met een grote warmtevraag. Ook voor de grotere wateren (Oude Rijn) geldt dat er knelpunten rond de stedelijke kernen kunnen ontstaan. Daarnaast vormen de meren en plassen aandachtslocaties vanwege de natuurwaarde en stilstaande water. Naast aandachtsgebieden wordt aanbevolen om ook voorkeurslocaties aan te wijzen. Dit zijn locaties waar aquathermie juist zeer geschikt is en op korte termijn mogelijkheden liggen.

3. *Houd een vinger aan de pols, stel voor de aandachtsgebieden op tijd een "Waterenergieplan" op.*

Op de korte termijn is er wellicht geen direct aanleiding om waterenergieplannen op te gaan stellen, omdat er nog relatief weinig aquathermie-projecten zijn. Als gevolg van opschaling wordt dat op de

langere termijn voor bepaalde aandachtsgebieden zinvoller. Het wordt aanbevolen om dit op tijd te doen. Wanneer dat precies is, is de inschatting van het waterschap en is afhankelijk van het verwachte tempo van opschaling in dat gebied. Gezien de ambities van het klimaatbeleid zou dit snel kunnen gaan. De Waterenergieplannen zouden in dat geval gezamenlijk opgesteld moeten worden door het Hoogheemraadschap Rijnland en de desbetreffende gemeenten waarin het aandachtsgebied ligt, in samenwerking met de RES voor de regionale samenhang. Gezamenlijk worden afwegingen gemaakt over de warmteonttrekkingen, temperatuurdalingen en ecologie. Het plan zou een basis vormen voor verdeelafspraken met betrekking tot de warmte uit deze warmtebron en in de bronnenstrategie moeten worden opgenomen.

#### *4. Ontwikkel het Aquathermiebeleid door met betrekking tot vergunningverlening en gerichte (tijdelijke) beperkingen*

Tot slot wordt het Hoogheemraadschap Rijnland aanbevolen de eigen aquathermie-beleidslijn verder door te ontwikkelen. Ten eerste zou met betrekking tot vergunningverlening ook de lage debieten maatgevend worden en moet de cumulatietoets nader uitwerkt worden (bijvoorbeeld met behulp van modelberekeningen, die vastgelegd kunnen worden in een waterenergieplan). Ten tweede zijn beleidsinstrumenten wenselijk, waarmee het mogelijk wordt om warmteonttrekkingen tijdelijk te verbieden indien de watertemperatuur teveel daalt en de ecologische gevolgen te groot zouden worden. Er dient nader onderzoek te komen onder welke voorwaarden dat soort beperkingen opgelegd zouden kunnen worden.

# 1. Inleiding

## 1.1. De opgave: de opschaling van aquathermie in goede banen leiden

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). Redelijkerwijs is daarom een opschaling in het gebruik van aquathermie te verwachten.

Aquathermie kan worden toegepast in oppervlaktewater, drinkwater of afvalwater. De potentie voor aquathermie in Nederland is aanzienlijk. Eerdere schattingen laten zien dat aquathermie in ca. 40% van de totale warmtebehoefte zou kunnen voorzien (CE & Deltares, 2018). In het belang van het klimaatbeleid is het noodzakelijk die potentie optimaal te benutten. De opschaling van het gebruik van aquathermie betekent méér aquathermiesystemen én grotere aquathermiesystemen.

Wanneer warmte uit het oppervlaktewater wordt onttrokken (gewonnen), daalt de temperatuur van het water. Het gekoelde water wordt teruggebracht in de watergang (koudelozing). Afhankelijk van de omvang van die koudelozing, de duur van die lozing, de spreiding van flow en het seizoen kan de koudelozing impact hebben op de aquatische ecologie. De hoeveelheid warmte die daarom onttrokken zou mogen worden ten behoeve van de energietransitie zou binnen de grenzen van de ecologische draagkracht van het watersysteem moeten blijven.

In het licht van de aankomende opschaling is daarom behoefte aan regulering, waarin de belangen van het klimaatbeleid en het waterbeheer (natuurbeheer) allebei worden meegenomen. De systemen zullen in aantal en omvang toenemen en daarmee neemt ook de kans op ecologische gevolgen toe. Als de systemen ook nog eens warmte uit dezelfde watergang onttrekken dan zijn ook cumulatieve temperatuureffecten te verwachten. Dit vraagt om doorontwikkeling van het beleid ten aanzien van aquathermie.

## 1.2 Doel van deze studie

Doel van deze studie is om een basis te leggen voor de doorontwikkeling van beleid rondom aquathermie, met het oog op de verwachte opschaling van het gebruik van aquathermie. Dit beleid zou enerzijds kaders moeten bevatten die helpen om de energietransitie mogelijk te maken door ondersteuning te bieden aan de toepassing van aquathermie. In dit onderzoek wordt daarom de potentiële bijdrage van aquathermie in de warmtevoorziening van de regio ingeschat.

Anderzijds zou dit beleid de kaders moeten bieden voor het waarborgen van de ecologische kwaliteit van de watersystemen. In deel twee van deze studie wordt daarom onderzocht hoeveel warmte kan worden onttrokken binnen de (ecologische) randvoorwaarden. In de *handreiking vergunningverlening koudelozingen* is een toets op cumulatieve onttrekkingen opgenomen, maar voor deze toets op de effecten van meervoudige onttrekkingen zijn geen handvatten gegeven.

Tot slot zou het beleid rondom aquathermie de kaders moeten bieden om de belangen van de aardgasvrije warmtevoorziening en de ecologische kwaliteit op de goede manier mee te nemen en tegen elkaar af te wegen.

## Aanpak

Voor deze studie is nauw samengewerkt met de RES-regio Holland Rijnland, het Hoogheemraadschap Rijnland en de gemeente Alphen aan den Rijn. De studie is uitgevoerd in het kader van het onderzoeksprogramma WarmingUp<sup>4</sup>. Holland Rijnland is als RES-regio partner van dit programma. Holland Rijnland is een van de pilots. De studie bestaat uit drie delen, die hieronder verder worden toegelicht.

In het eerste deel wordt ingegaan op de potentie van aquathermie voor de regio. Twee onderzoeksvragen staan centraal:

1. *Wat is de potentie van Aquathermie in de regio Holland Rijnland?*
2. *Hoe betrouwbaar is deze bron als leverancier van warmte?*

Het tweede deel bouwt voort op het eerste deel. Het richt zich op de vraag wat de effecten zijn op de watertemperatuur als aquathermie daadwerkelijk in deze mate toegepast zou gaan worden. Forse dalingen van de watertemperatuur kunnen leiden tot ongewenste ecologische effecten. Daarom wordt aan de hand van verschillende scenario's gezocht naar de hoeveelheid warmte die gewonnen kan worden binnen de ecologische draagkracht. Daarvoor zijn modelsimulaties gedraaid van warmteonttrekkingen uit de Oude Rijn. De effecten op de watertemperatuur zijn berekend en gebruikt als indicator voor eventuele ecologische effecten. De kennis over de precieze ecologische effecten als gevolg van koudelozingen is nog niet voldoende om dat direct te kunnen bepalen. De volgende twee onderzoeksvragen staan in dit deel centraal:

3. *Wat is het cumulatieve effect op de temperatuur van het water bij meervoudige onttrekkingen?*
4. *Hoe kan worden voorzien in een zo groot mogelijke warmtevraag, zonder dat de temperatuuurdalingen te groot worden?*

Het derde deel van dit onderzoek richt zich op de implicaties voor het beleid ten aanzien van Aquathermie. De kwantitatieve resultaten uit deel 2 van het onderzoek zijn daarbij gebruikt als basis om de volgende twee onderzoeksvragen te beantwoorden:

5. *Welk beleid is er - met het oog op de verwachte opschaling – nodig om aquathermie te benutten en te reguleren?*
6. *Op welke wijze kan het belang van de energietransitie en het belang van de waterkwaliteit afgestemd en gewaarborgd worden?*

De drie onderzoeken en de antwoorden op de zes onderzoeksvragen worden in deze rapport uiteengezet. Het eerste deel heeft betrekking op de regio Holland Rijnland. Het tweede heeft uitsluitend betrekking op de Oude Rijn die door de regio stroomt. De beleidsimplicaties (deel 3) heeft tot slot weer betrekking op Holland Rijnland als geheel, maar is geldt ook voor andere delen van het land.

---

<sup>4</sup> WarmingUp is een praktijkgericht onderzoeksprogramma op het gebied van collectieve warmtesystemen. [www.warmingup.info](http://www.warmingup.info)

## 1.4 Leeswijzer

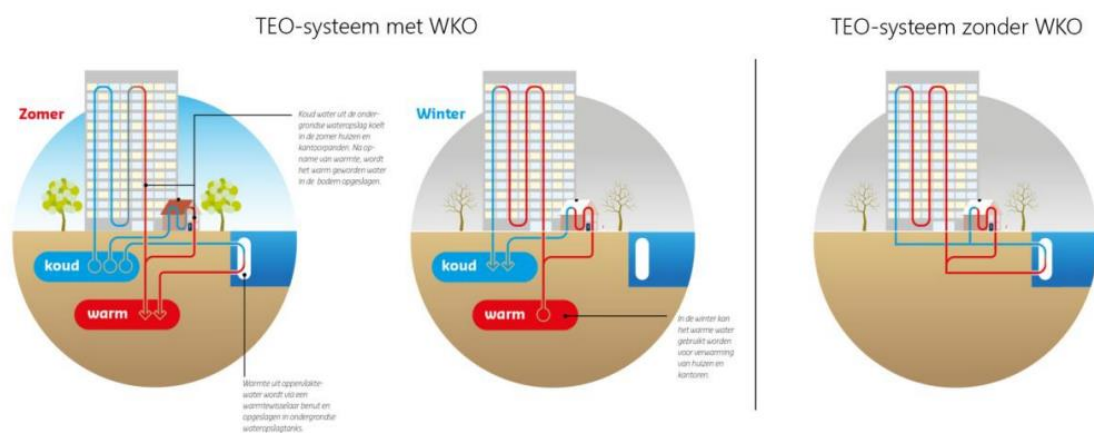
In het volgende hoofdstuk wordt kort wat achtergrondinformatie voor deze studie gegeven over de regio Holland Rijnland en het samenwerkingsverband met betrekking tot de Regionale Energie Strategie (RES). In hoofdstuk 3 worden de opzet en de resultaten van het eerste deel van dit onderzoek beschreven, waarin de potentie voor aquathermie is ingeschat ten behoeve van de RES. In hoofdstuk 4 wordt het tweede deel van dit onderzoek beschreven. Er wordt ingegaan op de analyse van de gemodelleerde effecten op de watertemperatuur als gevolg van meerdere, grote aquathermie-winningen langs de Oude Rijn. Hoofdstuk 5 beschrijft deel drie van deze studie, waarin wordt ingegaan op de beleidsimplicaties. In hoofdstuk 6 worden de belangrijkste conclusies uit deze studie samengevat en worden aanbevelingen gedaan.

## 2. Achtergrondinformatie

In dit hoofdstuk wordt kort ingegaan op wat aquathermie en welke vormen er zijn. Vervolgens wordt kort ingegaan op de regio Holland Rijnland, de regionale energiestrategie en de rol die aquathermie daarin speelt. Tot slot wordt een korte beschrijving van het oppervlaktewatersysteem gegeven. Dit biedt achtergrondinformatie voor de onderzoeken die zijn uitgevoerd.

### 2.1 Aquathermie: warmte uit oppervlaktewater

De thermische energie die in het oppervlaktewater (TEO) aanwezig is, kan gewonnen worden en als warmtebron dienen voor gebouwen. De warmte uit het oppervlaktewater wordt via warmtewisselaars uit het water gehaald en gebruikt om gebouwen te verwarmen of de warmte wordt tijdelijk geïnjecteerd in een warmte-koude opslag (WKO). Met behulp van warmtepompen wordt de temperatuur vervolgens verhoogd naar de vereiste temperatuur voor ofwel de woning of een warmtenet. Indien de geleverde warmte niet voldoende is, dan kan er een piekvoorziening (denk aan gasketels) worden toegepast, die extra capaciteit kunnen leveren. De meeste geïsoleerde woningen kunnen goed verwarmd worden met een temperatuur van 70 °C.



Figuur 2.1. Schematische weergave van de werking van een TEO-systeem met én zonder WKO.

TEO kan zonder of in combinatie met een warmte-koude opslag (WKO) systeem worden toegepast (zie figuur 2.1). Energetisch gezien is het voordelig om de warmte in de zomer te winnen en op te slaan in het grondwater (de WKO bron) voor gebruik in de winter. Dit proces wordt in het linker gedeelte van Figuur 2 weergegeven. Bij grote goed doorstromende waterlichamen (denk aan de grote rivieren) is het echter ook mogelijk om het hele jaar warmte uit het water te winnen. Indien het oppervlaktewater niet te ver wordt afgekoeld door de warmtewinning, kan een aquathermie-systeem zonder WKO worden toegepast. Het nadeel hiervan is dat het rendement (COP) van de warmtepomp daalt naarmate de watertemperatuur lager wordt. Tegenover het lagere energetische rendement, staat het voordeel van lagere investeringskosten, de WKO hoeft immers niet aangelegd te worden.

In de Regionale Energie Strategie (RES) van Holland Rijnland wordt aquathermie als één van de potentiële warmtebronnen in de bronnenstrategie gezien. Inzet van de regio is om Leiden en de gemeenten in de directe omgeving van Leiden van warmte te voorzien met restwarmte vanuit het Rotterdamse Havengebied. De resterende warmtebehoefte wordt uit geothermie, aquathermie of zonthermie gehaald. Oplossingen zoals groen gas en warmtepompen (all electric) worden ook meegenomen.

Aquathermie wordt in Holland Rijnland al als warmtebron toegepast. In bijlage 8.1 is een overzicht gegeven van lopende en gerealiseerde aquathermie-initiatieven in Holland Rijnland. Met het oog op de bronnenstrategie van de RES is het van belang om de potentiële bijdrage van aquathermie in Holland Rijnland beter in beeld te krijgen. In deze studie zijn daarom berekeningen uitgevoerd die een beeld geven van de potentie van TEO in Holland Rijnland.

## 2.2. De regio Holland Rijnland

Holland Rijnland is een regio in de provincie Zuid-Holland (figuur 2.2). De gemeenten werken samen onder een zogenaamde ‘gemeenschappelijke regeling’, een publiekrechtelijke overeenkomst tussen bestuursorganen van verschillende gemeenten die bepaalt dat bepaalde taken en bevoegdheden regionaal worden uitgevoerd. Ook op het gebied van de energietransitie wordt op het niveau van Holland Rijnland nauw samengewerkt als één van de dertig RES-regio’s in Nederland.

De gemeenten die samen Holland Rijnland vormen zijn Alphen aan den Rijn, Hillegom, Kaag en Braassem, Katwijk, Leiden, Leiderdorp, Lisse, Nieuwkoop, Noordwijk, Oegstgeest, Teylingen, Voorschoten en Zoeterwoude. Holland Rijnland is een veelzijdige regio met zowel stedelijke gebieden (Lieden, Katwijk), de kust en duinen, de bloembollenteelt en landelijk gebied (groene hart).



Figuur 2.2 Gemeenten in het regionale samenwerkingsverband Holland Rijnland.

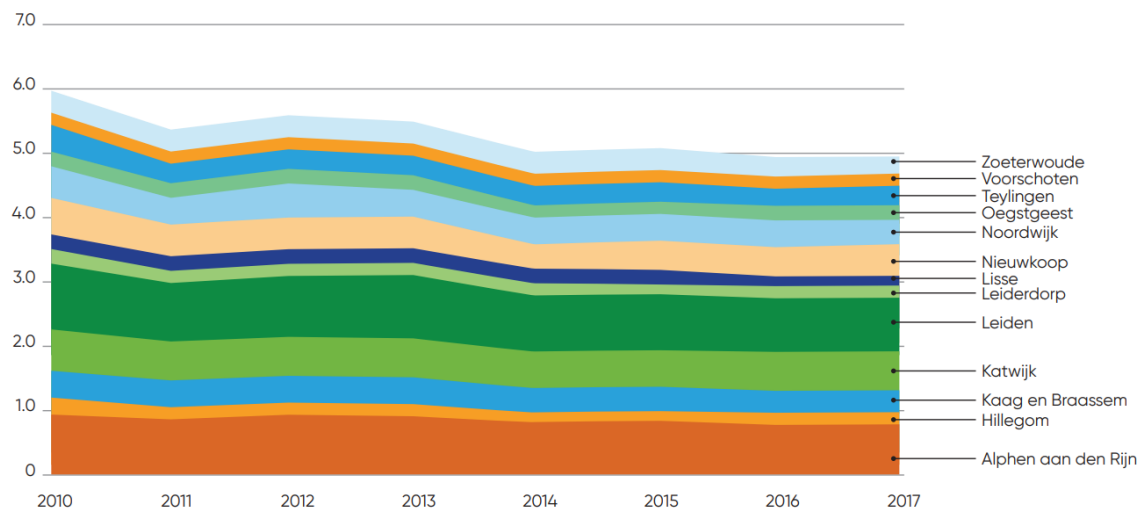


## 2.2 Regionale Energiestrategie

In 2020 is de Regionale Energiestrategie van Holland Rijnland verschenen. Deze bouwt voort op Energieakkoord uit 2017. In de RES worden de volgende doelen vastgelegd:

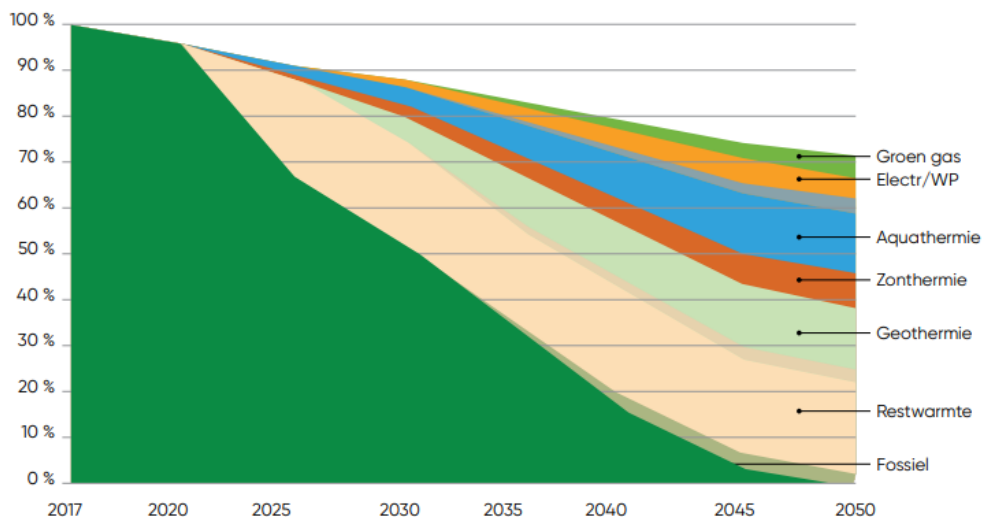
- In 2030 dient het energieverbruik 11% lager te liggen dan in 2014. Dat is 1,11 terawattuur (TWh) besparing ten opzichte van 2014.
- In 2030 zal er 1,03 TWh meer elektriciteit ten opzichte van 2014 worden opgewekt via zon op daken, windturbines en zon op land.
- In 2050 vindt verwarming alleen nog plaats via alternatieve bronnen voor aardgas

In figuur 2.3 wordt de warmtevraag per gemeente aan voor de periode van 2010 en 2017. Bijna de helft van de energievraag in de regio is een warmtevraag (RES Holland Rijnland, 2021). Hiervan is zo'n 85% nodig voor de verwarming van huizen en bedrijven en de andere 15% is voor tapwater. Hiermee wordt duidelijk dat de warmtevoorziening een grote onderdeel is van de opgave van de energietransitie.



Figuur 2.3. Ontwikkeling warmtevraag Holland Rijnland. (Bron: RES Holland Rijnland)

De RES brengt naast de warmtevraag ook de warmtebronnen in beeld. Figuur 2.4 geeft een overzicht van het verwachte aandeel van de verschillende warmtebronnen. Duidelijk is te zien dat fossiele brandstoffen worden uitgefaseerd tot 2050. Het aandeel restwarmte (uit de havenindustrie van Rotterdam) zou in 2050 het grootste aandeel hebben. Ook wordt er een forse bijdrage verwacht van aquathermie en geothermie. Lage temperatuur-bronnen, zoals aquathermie leiden wel tot een extra elektriciteitsvraag, omdat de gewonnen warmte opgewaardeerd moet worden tot hogere temperaturen (ca. 55°C tot 70°C) met behulp van warmtepompen.



Figuur 2.4 De verwachte warmtebronnenmix richting 2050. (Bron: RES Holland Rijnland)

Op dit moment wordt, als uitwerking van de RES, gewerkt aan een gedetailleerder beeld van de warmtevraagontwikkeling, de (potentiële) capaciteiten van warmtebronnen, mogelijke warmtesystemen voor verschillende buurten en de bronnenstrategie. Dit wordt gedaan door alle Transitievisies Warmte van de verschillende gemeenten in de regio naast elkaar te leggen.

### 2.3 Watersysteem

Holland Rijnland ligt in het beheergebied van Hoogheemraadschap Rijnland. Het watersysteem bestaat uit een boezemstelsel van polders, poldergemalen en boezemgemalen. De Oude Rijn stroomt na Bodegraven Holland Rijnland binnen richting Katwijk. Daarnaast liggen er een aantal grote plassen in het gebied. De waterpeilen en debieten worden door het hoogheemraadschap deels gereguleerd. Dit is van belang voor aquathermie, omdat er bij grote debieten meer warmte wordt aangevoerd. Bij kleinere debieten is de potentie voor aquathermie dan ook kleiner.

Het watersysteem is ook onderdeel van de zogenaamde Klimaatbestendige Water Aanvoer (KWA) Midden-Nederland. De KWA is een bestaande afspraak tussen vier waterschappen en Rijkswaterstaat over alternatieve wateraanvoer routes in geval van droge periodes. Als de normale waterinlaat vanuit de Hollandsche IJssel bij Gouda moet worden stilgelegd vanwege toenemende verzilting zal water vanuit het oosten, via Bodegraven, naar het westen gevoerd worden. Dat leidt tot andere debieten dan normaal en ook de stroomrichting kan veranderen. Op termijn zal de KWA nog verder worden uitgebreid van 7 naar 15 m<sup>3</sup>/s extra water aanvoer.

# 3. Deel 1. Technische potentie in Holland Rijnland

## 3.1 Inleiding

In de Regionale Energiestrategie (RES) wordt aquathermie als een van de mogelijke warmtebronnen gezien. Er is daarom behoefte om de capaciteit van deze warmtebron nader te bepalen. Het eerste deel van de studie had daarom als doel de potentie van aquathermie te kwantificeren. Twee onderzoeksvragen stonden centraal:

1. Wat is de potentie van Aquathermie in de regio Holland Rijnland?
2. Hoe betrouwbaar is deze bron als leverancier van warmte?

Bij de eerste onderzoeksvraag is de potentie van aquathermie bepaald aan de hand van een aantal randvoorwaarden voor de minimale watertemperatuur en de duur van de onttrekking. De berekende warmtecapaciteit is gelinkt aan de warmtevraag van de buurten die in de buurt liggen. Vervolgens is bepaald in welke mate aquathermie kan voorzien in de warmtevraag van elke buurt.

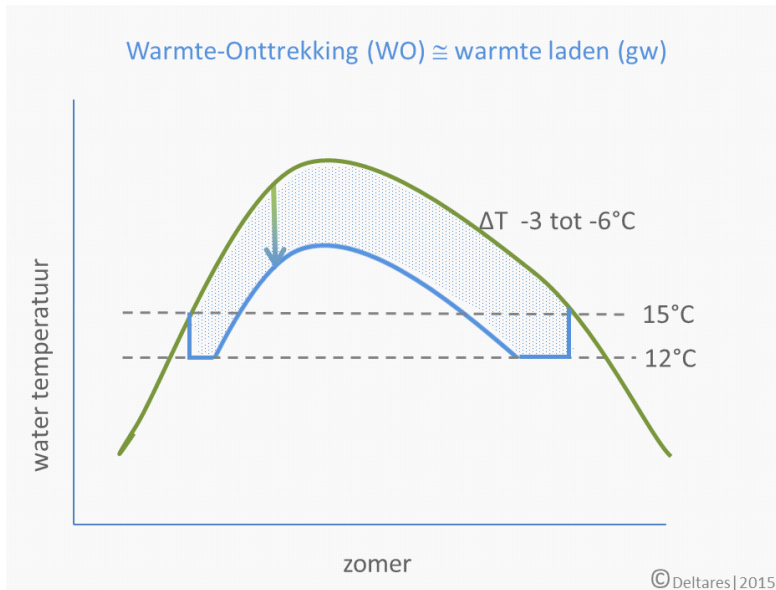
Aangezien het watersysteem van nature fluctueert, is de vraag relevant of Aquathermie als warmtebron betrouwbaar is. Ten aanzien van de tweede onderzoeksvraag is daarom over een periode van 30 jaar gekeken. Hoe de potentie van de bron varieert in de tijd geeft indicatie van robuustheid van deze bron. Daarnaast is gevarieerd met de randvoorwaarden: door met de duur van de onttrekkingen en de maximale temperaturredalingen ( $\Delta T$ ) te variëren verandert ook de berekende potentie. Daarmee kan naar een gewenst regime van warmteonttrekkingen worden gezocht.

## 3.2 Onderzoeksaanpak

De omvang van thermische energie (de warmte) die onttrokken wordt is afhankelijk van een aantal randvoorwaarden, zoals:

- vanaf welke watertemperatuur onttrokken mag gaan worden ( $T_{\text{begin}}$ );
- bij welke temperatuur gestopt wordt met onttrekken ( $T_{\text{eind}}$ );
- wat de maximale daling van de watertemperatuur mag zijn ( $dT$ ); en
- de periode van het jaar waarin de winning plaatsvindt.

Gangbare randvoorwaarden voor potentieberekeningen, die ook in andere potentiëstudies gebruikt zijn, zijn weergegeven in figuur 3.1. De warmtewinning start als de watertemperatuur boven de 15°C is. De watertemperatuur mag tot minimaal 12°C worden afgekoeld. De warmteonttrekking mag bij hogere watertemperaturen tot een maximale daling van 6°C van de watertemperatuur leiden.



Figuur 3.1 Het meest gangbare onttrekkingsregime voor Aquathermie potentieberekeningen.

#### Numeriek model

Onder deze randvoorwaarden is de warmtecapaciteit van de watergangen in Holland Rijnland doorgerekend met behulp van het Nationaal Water Model. De modelberekeningen zijn 1D, dat wil zeggen, er wordt één-dimensionaal beeld van de temperatuurgradiënt gemodelleerd in de stroomrichting. De temperatuurgradiënten in de breedte of in de diepte zijn niet meegenomen. Dit betekent dat aangenomen wordt dat de koudelozing zich volledig mengt met het (warmere) omliggende water. Voor het doel van deze studie geldt dat 1D-berekeningen volstaan. Het voordeel van 1D-berekeningen is dat de variatie in de debieten over het seizoen en over de jaren eenvoudiger te analyseren zijn.

De dagelijkse debieten in combinatie met atmosferische temperatuur zijn doorgerekend voor een periode van dertig jaar. Bij lagere debieten daalt de temperatuur sneller en zal de warmtecapaciteit kleiner zijn. Tijdens warme dagen zal het water sneller warmte opnemen en zal de capaciteit toenemen (maar het debiet zal doorgaans lager zijn). In de bijlage 2 zijn de technische details van de modelering nader omschreven.

#### Onttrekkingsregimes

De potentieberekeningen zijn afhankelijk van ingestelde randvoorwaarden. De gevoeligheid is nader onderzocht door te variëren met de randvoorwaarden. Er zijn daartoe verschillende *warmteonttrekkingsregimes* opgesteld. Vervolgens is de warmtecapaciteit voor de verschillende regimes berekend en met elkaar vergeleken. In tabel 3.1 zijn de variaties weergegeven. In onttrekkingsregime 2 wordt bijvoorbeeld later in het jaar begonnen (na de paaiperiode). In onttrekkingsregime 3 wordt alleen in hoogzomer warmte gewonnen als het water (te) warm is. In variant 4 wordt juist gedurende er langere periode onttrokken worden. In variant 5 wordt het water niet met 6°C maar met maximaal 3°C afgekoeld worden om daarmee de impact op de watertemperatuur te beperken. Tot slot zijn ook twee variante bekeken zonder warmte en koudeopslag (wko) met en delta T van 6°C (regime 6) en met een delta T van 3°C die een kleinere impact zal hebben op de water temperatuur. In tekstbox 1 zijn de verschillende regimes uitgebreider beschreven.

Tabel 3.1 Gevoeligheidsanalyse van verschillende warmteonttrekkingsregimes

Onttrekkingsregime	dT_Max	Tbgn	Tend	dT_Min	Opmerking
				(Tbgn-Tend)	
1	6	15	12	3	'Standaardregime'
2	6	18	15	3	Kortere periode
3	6	21	18	3	Hoogzomer variant (water altijd >18C)
4	6	12	9	3	Langere periode
5	3	15	12	3	Kleinere impact
6	6	7	4	3	Jaarrond zonder WKO
7	3	7	4	3	Jaarrond zonder WKO met kleinere impact

### *Selectie van geschikte wijken*

Om de potentie van aquathermie te bepalen is vervolgens de warmtecapaciteit gerelateerd aan de warmtevraag. Daarbij is gekeken naar welke buurten eventueel geschikt zijn voor aquathermie. Op basis van de Regionale Energiestrategie is bepaald is een selectie gemaakt van de buurten die geschikt zijn voor lage- en midden temperatuursystemen en die niet al in aanmerking zouden komen voor geothermie of restwarmte. Binnen deze set van buurten die wél in aanmerking voor aquathermie is gekeken uit welke watergangen de buurt haar warmte zou kunnen halen.

Hierbij zijn twee afstanden gehanteerd: de watergang mag niet meer dan 1 km verwijderd zijn van de (rand van de) buurt, en die afstand mag niet meer dan 5 km zijn. In het tweede geval is het "zoekgebied" voor watergangen waaruit de warmte gewonnen kan worden dus groter en dus zal de potentie groter zijn. Echter hoe groter de afstand hoe hoger de kosten zullen zijn. Via een algoritme is vervolgens bepaald hoe de beschikbare warmte in het desbetreffende segment van de watergang verdeeld wordt over de buurten. Wanneer de beschikbare in dat segment van de watergang is uitgeput, wordt de warmte uit een ander segment of ander watergang gehaald. Op deze wijze is het beschikbare warmteaanbod gelijkmatig verdeeld over de verschillende buurten die in aanmerking komen. Vervolgens is per buurt het percentage van de warmtevraag bepaald dat door aquathermie voorzien kan worden. Om de warmtevraag te bepalen is gebruik gemaakt van het CBS-buurtbestand en is per buurt de warmtevraag bepaald (Syntraal, 2021).

### Tekstbox 1 Gevoeligheid voor verschillende regimes van warmteonttrekking

Potentieberekeningen zijn afhankelijk van de gekozen randvoorwaarden voor de warmteonttrekking:

- de keuze vanaf welke watertemperatuur onttrokken mag gaan worden ( $T_{\text{begin}}$ );
- bij welke temperatuur gestopt wordt met onttrekken ( $T_{\text{eind}}$ );
- wat de maximale daling van de watertemperatuur mag zijn ( $dT$ ); en
- de periode van het jaar waarin de winning plaatsvindt.

Het warmteaanbod wordt bepaald door het gehanteerde onttrekkingsregime. In deze studie zijn de zeven onderstaande onttrekkingsregimes doorgerekend.

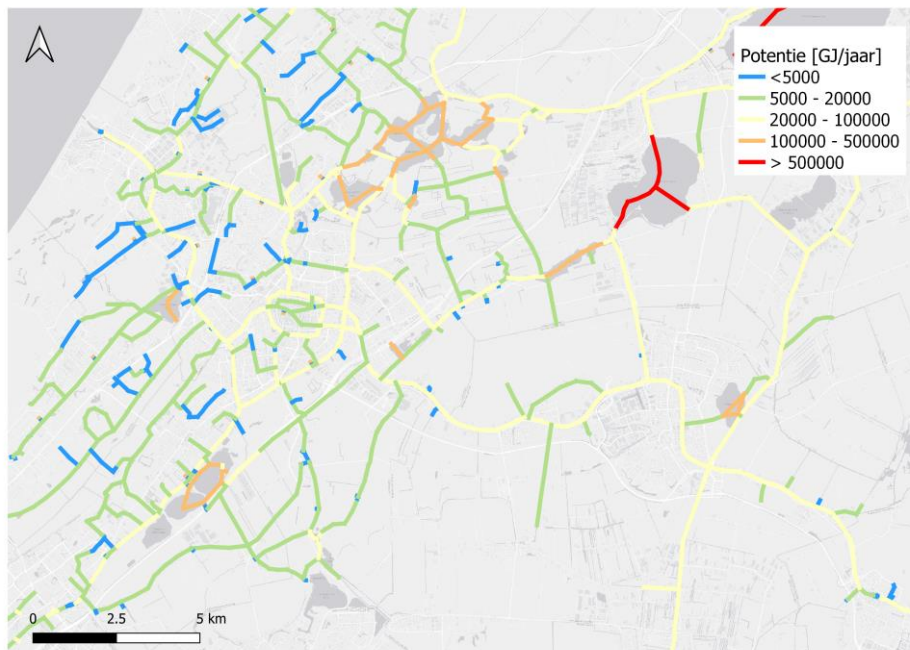
	Onttrekkingsregime	Omschrijving
1	Standaard	Warmtewinning als de watertemperatuur boven de 15°C is. De watertemperatuur mag tot minimaal 12°C worden afgekoeld. De warmteonttrekking mag (bij hogere watertemperaturen) maximaal tot een daling van 6°C van de watertemperatuur leiden.
2	Kortere periode	Warmtewinning als de watertemperatuur boven de 18°C is. De watertemperatuur mag tot minimaal 15°C worden afgekoeld. De warmteonttrekking mag (bij hogere watertemperaturen) maximaal tot een daling van 6°C van de watertemperatuur leiden. Door de hogere start- en eindtemperatuur wordt later in seizoen gestart en eerder gestopt.
3	Hoogzomer	Warmtewinning als de watertemperatuur boven de 21°C is. De watertemperatuur mag tot minimaal 18°C worden afgekoeld. De warmteonttrekking mag (bij hogere watertemperaturen) maximaal tot een daling van 6°C van de watertemperatuur leiden. Door de hogere eindtemperatuur blijft de koudelozing op het oppervlaktewater beperkt.
4	Langere periode	Warmtewinning als de watertemperatuur boven de 12°C is. De watertemperatuur mag tot minimaal 9°C worden afgekoeld. De warmteonttrekking mag (bij hogere watertemperaturen) maximaal tot een daling van 6°C van de watertemperatuur leiden. Door de lagere start- en eindtemperatuur wordt eerder in seizoen gestart en later gestopt.
5	Kleinere impact	Warmtewinning als de watertemperatuur boven de 15°C is. De watertemperatuur mag tot minimaal 12°C worden afgekoeld. De warmteonttrekking mag (bij hogere watertemperaturen) maximaal tot een daling van 3°C van de watertemperatuur leiden. Hierdoor is de eventuele impact op de ecologie kleiner.
6	Jaarrond (zonder WKO)	Warmtewinning als de watertemperatuur boven de 7°C is. De watertemperatuur mag tot minimaal 4°C worden afgekoeld. De warmteonttrekking mag (bij hogere watertemperaturen) maximaal tot een daling van 6°C van de watertemperatuur leiden. Er wordt het gehele jaar warmte uit het water onttrokken.
7	Jaarrond (zonder WKO), kleinere impact	Warmtewinning als de watertemperatuur boven de 7°C is. De watertemperatuur mag tot minimaal 4°C worden afgekoeld. De warmteonttrekking mag (bij hogere watertemperaturen) maximaal tot een daling van 3°C van de watertemperatuur leiden. Hierdoor is de eventuele impact op de ecologie kleiner. Er wordt het gehele jaar warmte uit het water onttrokken.

## 3.2 Resultaten Potentie Aquathermie in Holland Rijnland

We laten eerst de resultaten zien van de potentie volgens het standaard warmteonttrekkingsregime. In hoofdstuk 3.3.3 laten we de resultaten zien van andere warmteonttrekkingsregimes, zodat we inzicht krijgen in de gevoeligheid van de potentieberekening voor de gehanteerde randvoorwaarden.

### 3.2.1 Potentie volgens het standaardregime

Figuur 3.2 toont de hoeveelheid warmte die jaarlijks onttrokken kan worden wanneer het standaard warmteonttrekkingsregime uit figuur 3.2 wordt gehanteerd. Het hier weergegeven warmteaanbod is het gemiddelde van de jaren 1980-2011.



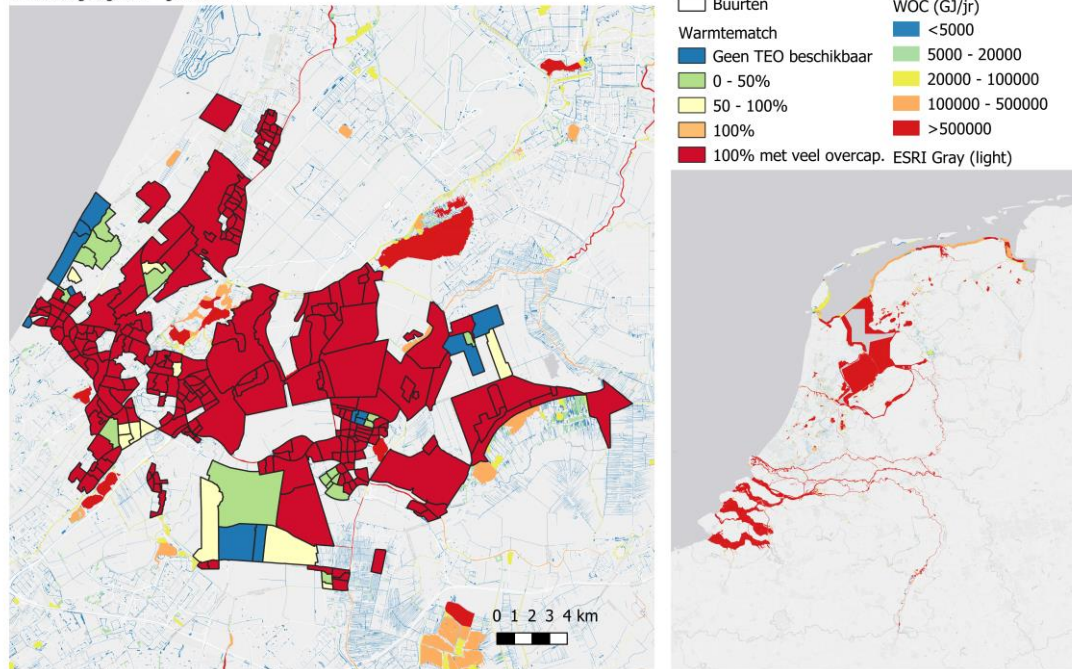
Figuur 3.2 Potentiekaart Holland Rijnland. Hoeveelheid warmte in Giga Joules die gewonnen kan worden met een warmteonttrekkingsregime met de randvoorwaarden uit figuur 3.2.

Figuur 3.3 geeft de potentie weer van het warmteaanbod uitgedrukt als percentage van de warmtevraag (via de matchingsprocedure zoals in H3.1 beschreven). Uit deze potentiekaart blijkt dat voor een aanzienlijk deel, ca 75%, van de buurten de warmtevraag voor 100% geleverd kan worden door aquathermie binnen een straal van 1km. Ongeveer 90% van de warmte komt uit het water (verdisconteerd met transportverliezen van ca 20%). Het resterende deel van de warmte wordt door de warmtepompen geleverd; de temperatuur moet namelijk opgehoogd worden tot ca. 55°C-70°C. De rode buurten geven aan dat er zelfs meer warmteaanbod in een straal van 1km aanwezig is dan de warmtevraag van die buurt.

## Thermische Energie uit Oppervlaktewater

Warmtematch per buurt (% van de warmtevraag)

Onttrekkingsregime 1 - gemiddeld.



Figuur 3.3 Legenda WOC: geeft aan gemiddelde warmtecapaciteit over 30 jaar bij het standaard warmteonttrekkingsregime. Legenda Buurten: Percentage van de warmtevraag dat geleverd zou kunnen worden door aquathermie binnen een straal van 1 km.

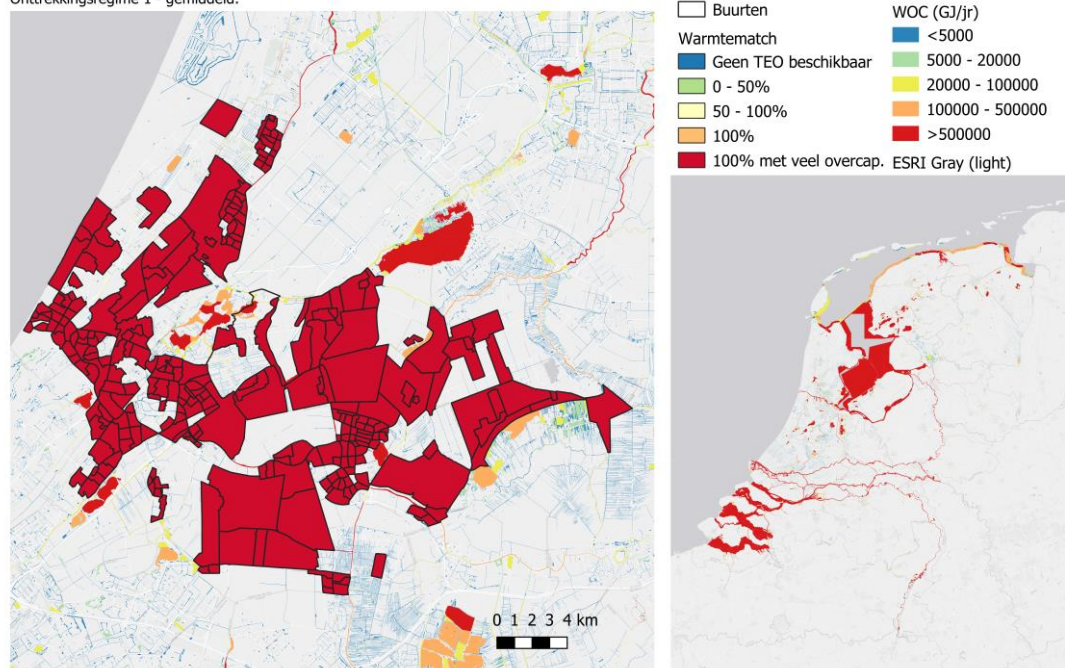
Wanneer de afstand tussen de watergang en de buurt 5 km mag zijn, bijvoorbeeld omdat er al een warmtenet ligt, dan zijn bijna alle geselecteerde buurten voor 100% in hun warmtebehoefte te voorzien door aquathermie (figuur 3.4). Op deze potentiekaart is duidelijk te zien dat als de afstand tot de bron groter mag zijn het beschikbare warmteaanbod ook toeneemt. Hierbij dient wel aangemerkt te worden dat bij deze berekeningen geen rekening is gehouden met de kosten van langere transportleidingen.



## Thermische Energie uit Oppervlaktewater

Warmtematch per buurt (% van de warmtevraag)

Onttrekkingsregime 1 - gemiddeld.



Figuur 3.4 Legenda WOC: geeft aan gemiddelde warmtecapaciteit over 30 jaar bij het standaard warmteonttrekkingsregime. Legenda Buurten: Percentage van de warmtevraag dat geleverd zou kunnen worden door Aquathermie binnen een straal van 5 km.

### 3.2.2 Gevoeligheidsanalyse met alternatieve warmteonttrekkingsregimes

In tabel 3.1 zijn de resultaten van de zeven warmteonttrekkingsregimes weergegeven. Voor elk regime is het warmteaanbod (WOC) weergegeven en ook als percentage van de warmtevraag van de geselecteerde buurten uitgedrukt (warmtematch). Over de 30 jarige tijdreeks is het gemiddelde, het minimum en het maximum weergegeven. In de linkerhelft van de tabel staan de resultaten voor de situatie waar het warmteaanbod en watervraag maximaal 1 km uit elkaar mogen liggen en rechts waar ze maximaal 5 km uit elkaar liggen.

In de situatie van 1 km is te zien dat het gemiddelde warmteaanbod (WOC) van de verschillende regimes verschilt. Regime 3 (Hoogzomer) heeft het kleinste warmteaanbod, waarmee aan gemiddeld 76,3% van de totale warmtevraag van de geselecteerde buurten kan worden voldaan. Regime 4 (Langere periode) heeft het hoogste aanbod en kan gemiddeld aan 87% van de totale warmtevraag voldoen. Dat ligt in de lijn der verwachting, aangezien in regime 3 de periode van onttrekking het kortst is en dus minder warmte onttrekt. Dit regime is ook het meest gevoelig voor de natuurlijke variabiliteit in het watersysteem. Het verschil in warmteaanbod tussen een 'gunstig' en 'ongunstig' jaar is 23%. De andere regimes hebben minder spreiding, in de ordegrrootte van een paar procent. De variatie in beschikbare warmte wordt dus kleiner bij regimes die gedurende langere periodes warmte onttrekken, wat bijdraagt aan de betrouwbaarheid van deze bron.

Regime 5 (Kleinere impact) laat zien dat de hoeveel gewonnen warmte kleiner is als er restricties worden opgelegd met betrekking tot de start- en eind temperatuur en de dT. Met deze restricties neemt het warmteaanbod ten opzichte van het standaardregime met slechts 5% af.

Tabel 3.2 Resultaten van de doorrekening van de verschillende warmteonttrekkingsregimes

		Maximaal 1 km afstand tot de bron			Maximaal 5 km afstand tot de bron		
		Warmtevraag (PJ/jaar)	WOC (PJ/jaar)	Warmtematch (% van warmtevraag)	Warmtevraag (PJ/jaar)	WOC (PJ/jaar)	Warmtematch (% van warmtevraag)
Regime 1	Min.	4.9	4.2	85.0	4.9	4.9	100.0
	Gemid.	4.9	4.3	86.6	4.9	4.9	100.0
	Max	4.9	4.3	87.0	4.9	4.9	100.0
Regime 2	Min.	4.9	3.9	78.7	4.9	4.9	100.0
	Gemid.	4.9	4.1	83.8	4.9	4.9	100.0
	Max	4.9	4.3	86.0	4.9	4.9	100.0
Regime 3	Min.	4.9	2.9	59.3	4.9	4.8	96.2
	Gemid.	4.9	3.8	76.3	4.9	4.9	100.0
	Max	4.9	4.1	82.3	4.9	4.9	100.0
Regime 4	Min.	4.9	4.3	86.6	4.9	4.9	100.0
	Gemid.	4.9	4.3	87.0	4.9	4.9	100.0
	Max	4.9	4.3	87.3	4.9	4.9	100.0
Regime 5	Min.	4.9	4.0	80.1	4.9	4.9	100.0
	Gemid.	4.9	4.1	82.5	4.9	4.9	100.0
	Max	4.9	4.2	84.4	4.9	4.9	100.0
Regime 6	Min.	4.9	3.8	77.1	4.9	4.9	100.0
	Gemid.	4.9	3.9	79.5	4.9	4.9	100.0
	Max	4.9	4.1	82.2	4.9	4.9	100.0
Regime 7	Min.	4.9	3.7	74.4	4.9	4.9	100.0
	Gemid.	4.9	3.8	76.5	4.9	4.9	100.0
	Max.	4.9	3.9	77.9	4.9	4.9	100.0

In regime 1-5 is uitgegaan van aquathermie in combinatie met warmteopslag in de bodem. Dat is meestal nodig, omdat de warmtevraag in de winter groot is, terwijl de warmte in de zomer gewonnen moet worden als de watertemperatuur hoger is. Met regime 6-7 is de situatie van aquathermie zonder warmteopslag in de bodem doorgerekend. De resultaten laten zien dat er op jaarbasis genoeg warmte kan worden gewonnen, maar de warmtematch ligt circa 10% lager dan in het standaardregime. In werkelijkheid ligt dit getal nog lager, omdat in dit getal het seizoenverloop niet te zien is. De gewonnen warmte in deze regimes worden in de zomer voor een groot gedeelte onbenut gelaten en in de winter is er een tekort. Dit zou dan in werkelijkheid gecompenseerd moeten worden met een gasketel als back-up systeem, of met warmtepompen. Het gas of elektriciteitsverbruik zal dan aanzienlijk hoger liggen dan bij de andere regimes.

In de situatie van 5 km is in alle regimes het warmteaanbod groter dan de warmtevraag (meer dan 100%) met uitzondering van regime 3 (Hoogzomer) in het meest ongunstige jaar. In een droge of koude zomer kan bij dit regime onvoldoende warmte worden gewonnen om aan de vraag te voldoen.

In algemene zin lijkt aquathermie op basis van deze resultaten een vrij robuuste warmtebron voor de regio te zijn, zeker als de transportafstanden groter mogen zijn. Echter, de aanlegkosten van transportleidingen moeten wel in business case verdisconteerd worden. Naarmate grotere warmtesystemen worden aangelegd, worden die kosten wellicht ook weer sneller terugverdiend. Kortom, op voorhand is afstand tot de bron niet hard uitsluitcriterium.

## 4. Deel 2. Grootschalige toepassing van aquathermie en de effecten op de watertemperatuur van de Oude Rijn

Nu geconstateerd kan worden dat potentie voor aquathermie in Holland Rijnland aanzienlijk is, rijst de vraag hoe we die potentie benutten. In het tweede deel van deze studie wordt dieper ingegaan op twee onderzoeksvragen:

1. *Wat is het cumulatieve effect op de temperatuur van het water bij meervoudige onttrekkingen?*
2. *Hoe kan worden voorzien in een zo groot mogelijke warmtevraag, zonder dat de temperatuurdalingen te groot worden?*

Het tweede deel van dit onderzoek bouwt voort op het eerste deel. Het richt zich op de vraag wat de effecten op de watertemperatuur zouden zijn als aquathermie daadwerkelijk in deze mate toegepast gaat worden. In deze studie is daarom onderzocht wat de *cumulatieve* effecten zijn van meervoudige warmteonttrekking uit de Oude Rijn. Er zijn modelberekeningen uitgevoerd waarbij de daling van de watertemperatuur is bepaald als gevolg van meerdere grootschalige warmteonttrekkingen in de Oude Rijn.

Forse dalingen van de watertemperatuur kunnen leiden tot ongewenste ecologische effecten. De verwachte dalingen zijn daarom limiterend op de hoeveelheid warmte die onttrokken kan worden. Zowel vanuit het energietransitie-beleid als het waterbeheer is er een behoefte om in te schatten wat de bijdrage van aquathermie is binnen de gestelde temperatuurrandvoorwaarden én rekening houdend met eventuele afkoeling door bovenstroomse warmteonttrekkingen. Met andere woorden: hoeveel warmte mag waar onttrokken worden? Om dit te bepalen zijn verschillende aanvliegroutes mogelijk die we hebben uitgewerkt in verschillende scenario's. Aan de hand van de scenario's is 'gezocht' naar de maximale potentie van de Oude Rijn.

In deze studie zijn deze temperatuurdalingen nader onderzocht als indicator voor de ecologische impact. Over de relatie tussen watertemperatuur en de ecologie, of liever gezegd de koudelozing in de vorm van een lokale koudepluim, is nog voldoende bekend. Daarvoor is nader onderzoek nodig in de vorm van ecologische monitoring, zoals voorgesteld in Wortelboer & Harezlak. (2020).

### 4.1 Onderzoeksaanpak

In deze studie is een situatie gesimuleerd waarbij op een groot aantal plaatsen langs de Oude Rijn aquathermie wordt toegepast. Er wordt op deze locaties warmte onttrokken. Met behulp van rekenmodellen zijn de cumulatieve effecten op watertemperatuur bepaald.

#### 4.1.1 Modellerings

##### *Keuze numeriek model*

Voor deze deelstudie is wederom gebruik gemaakt van het nationaal watermodel. Voor de schematisatie van de Oude Rijn is gebruik gemaakt van de schematisatie uit het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium van Bodegraven tot Katwijk en wordt ook rekening gehouden met de instroom van zijrivieren en kanalen.

De modelberekeningen zijn 1D, dat wil zeggen, er wordt één-dimensionaal beeld van de temperatuurgradiënt gemodelleerd in de stroomrichting. De temperatuurgradiënten in de breedte of in de diepte zijn niet meegenomen. Dit betekent eigenlijk dat aangenomen wordt dat de koudelozing zich volledig mengt met (warmere) omliggende water. Voor het doel van deze studie geldt dat 1D-berekeningen volstaan. Het voordeel van 1D-berekeningen is dat de variatie in de debieten over het seizoen en over de jaren eenvoudiger te analyseren zijn.

Voor een exacte simulatie van de koudepluim na lozing zijn complexere 3D-berekeningen nodig. Deze driedimensionale berekeningen met lengte, breedte en dieptegradiënten kunnen wat verschillen met 1D berekeningen. Vanwege de aanname van volledige menging kunnen 1D-modellerings leiden tot een onderschatting van lokale temperatuurdalingen, met name nabij het lozingspunt en op de bodem waar de koude naar toe zakt. Het kan ook leiden tot een overschatting van de regeneratiecapaciteit. Binnen het WarmingUP programma wordt nader onderzoek gedaan naar deze verschillen (zie ook hoofdstuk 6.2 Discussie).

##### **Tekstbox 2. De Oude Rijn**

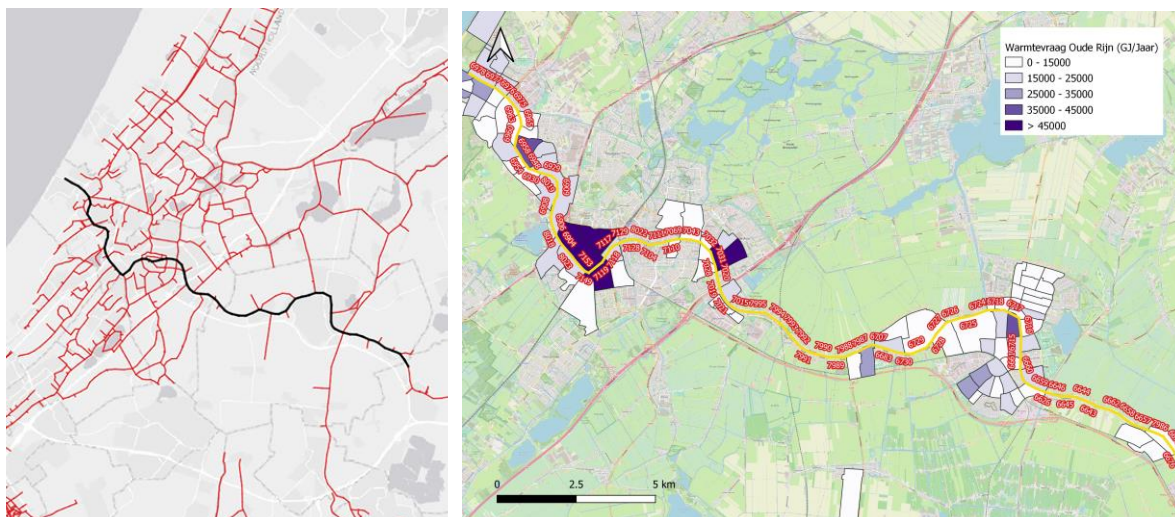
De Oude Rijn heeft een lengte van ca. 52 km en begint bij het centrum van Harmelen, waar de Bijleveld en Leidse Rijn samenkomen en overgaan in de Oude Rijn. Vanaf Harmelen loopt de rivier in westelijke richting naar Woerden, Bodegraven, Alphen aan den Rijn, Leiden en Katwijk naar de Noordzee via het Koning Willem-Alexandergemaal.

Bij Alphen aan den Rijn stroomt de Gouwe vanuit het Zuiden en het Aarkanaal vanuit het Noorden de Oude Rijn in en iets verder benedenstrooms ook het riviertje de Aar. Ten westen van Alphen stroomt ook nog vanuit het Noorden de Heimanswetering de Oude Rijn in. Na Alphen splits de Luttker Rijn af en komt deze weer bij Koudekerkse Brug weer samen met de Oude Rijn. In Leiderdorp mondt de Does uit in de Oude Rijn. In Leiden vormt de Oude Rijn het grachtenstelsel met het Rijn-Schiekanaal (naar het zuiden) en de Zijl (naar het noorden). In het centrum komen beide weer samen. Aan de westkant van Leiden mondt de Korte Vliet nog uit in de Rijn. De Oude Rijn loopt daarna door Oegstgeest, Valkenburg en Rijnsburg naar Katwijk. Bij Katwijk aan den Rijn mondt het Oegstgeesterkanaal in de Oude Rijn uit. Onder de naam Uitwateringskanaal stroomt het Rijnwater de Noordzee in via het Koning Willem-Alexandergemaal in Katwijk aan Zee.

##### *Definiëren van lozingen en onttrekkingen*

De omvang en locaties van de meervoudige warmteonttrekkingen zijn als volgt bepaald. In de eerste stap zijn alle buurten geselecteerd binnen een afstand van 5 kilometer van de Oude Rijn die door de Regionale Energiestrategie als geschikt voor collectieve lage- of midden temperatuursystemen zijn aangemerkt. Vervolgens zijn alle buurten die voorzien zijn om

aangesloten te worden op de restwarmte vanuit het Rotterdamse havengebied<sup>5</sup> evenals buurten voor geothermie uit de selectie verwijderd. De resulterende selectie is een set van buurten die potentieel de Oude Rijn als warmtebron zouden kunnen benutten. Van die buurten de jaarlijkse warmtevraag bepaald. In totaal is dat 1.453.943 GJ/jaar. Uitgaande van een jaarlijks verbruik van ca. 30 GJ per woning zijn dat ongeveer 50.000 woningen (48.465 woningen). Vervolgens zijn de warmtevragen als warmteonttrekkingen op segmenten van de Oude Rijn gezet. In totaal wordt er uit 51 segmenten warmte onttrokken.



Figuur 4.1 Links: de loop van de Oude Rijn. Rechts: de buurten in Holland Rijnland die zijn meegenomen in de analyse. Dit zijn buurten die in de Regionale Energie Strategie als lage temperatuursysteem zijn gekenmerkt binnen een afstand van 5km van de Oude Rijn. In deze studie zijn deze buurten als warmtekavels gemodelleerd die door aquathermie gevoed worden.

#### 4.1.2 Scenario's

Vervolgens zijn er drie verschillende aanliegroutes geïdentificeerd, waarmee de bijdrage van aquathermie voor die buurten ingeschat kan worden, rekening houdend met de temperatuurrandvoorwaarden en cumulatieve effecten. Deze routes zijn vertaald naar scenario's die zijn doorgerekend met betrekking tot de geleverde warmte en de watertemperatuur (tabel 4.1).

##### *Scenario 1 Vaste dagelijkse onttrekking, bovengrens en afschalen*

In het eerste scenario wordt een vaste hoeveelheid warmte per dag onttrokken. Dit komt overeen met de totale warmtevraag van de buurt gedeeld door het aantal dagen dat er onttrokken mag worden. In deze deelstudie is dat vastgezet op een periode van 90 dagen, van 25 mei tot 23 augustus. Er zijn drie varianten doorgerekend. In variant a is 100% van de warmtevraag onttrokken aan de Oude Rijn en in de variant b 50% en in variant c 25% van de warmtevraag.

<sup>5</sup> Het plan om restwarmte naar Leiden e.o. te transporten is nog niet definitief

### Scenario 2 Dynamisch regime, met temperatuur als randvoorwaarde

In dit scenario wordt niet een vaste hoeveelheid, maar een variabele hoeveelheid warmte per dag gewonnen (een dynamisch onttrekkingsregime). In dit scenario wordt een (beleids)beperking opgelegd, namelijk dat door de warmteonttrekkingen de watertemperatuur niet onder 12°C mag komen én dat de daling (dT) van de watertemperatuur niet groter mag zijn dan 6°C. Dit zorgt ervoor dat op ongunstige dagen geen of weinig warmte kan worden onttrokken. Daartegenover staat dat op gunstige dagen juist extra warmte kan worden onttrokken zolang de watertemperatuur maar niet onder de vastgestelde grenzen komt. Er is vervolgens berekend hoeveel warmte onttrokken kan worden en aan hoeveel procent van de warmtevraag voldaan kan worden. Ook in dit scenario is een extra variant doorgerekend, waarbij meer rekening is gehouden met de ecologische impact. In variant b is daarom gesteld dat maximale daling van de watertemperatuur 3°C mag zijn. Deze grens van 3°C is arbitrair. De wetenschappelijke basis voor het onderbouwen van een ecologische ondergrens is nog niet voldoende om dat te bepalen. De hier gehanteerde 3°C is gebaseerd op vaker gehanteerd getal in de potentiële studies. Ook voor deze variant is doorgerekend hoeveel warmte onttrokken kan worden en aan hoeveel procent van de warmtevraag voldaan kan worden.

### Scenario 3. Warmte onttrekking volgens Handreiking Vergunningverlening Koudelozing

In het derde scenario wordt de Handreiking Vergunningverlening Koudelozing (Stowa, 2021) als uitgangspunt genomen. Deze handreiking is een eerste versie met randvoorwaarden voor de toepassing van aquathermie per watertype, maar heeft echter nog geen juridische status. Op basis van deze handreiking geldt voor de Oude Rijn twee randvoorwaarden:

- er mag maximaal 5% van het gemiddeld zomerdebiet van de Oude Rijn gebruikt worden voor de warmtewinning, en
- de uitgaande koudelozing mag niet meer zijn dan 5°C afgekoeld zijn.

Ook voor dit scenario wordt berekend hoeveel warmte dan onttrokken wordt en aan hoeveel procent van de warmtevraag voldaan wordt.

Tabel 4.1. Overzicht van de 3 scenario's en de varianten.

	Scenario 1a Boven grens	Scenario 1b & 1c Afschalen	Scenario 2a Temperatuur als Randvoorwaarde	Scenario 2b Temperatuur als Randvoorwaarde	Scenario 3 Handreiking Koudelozing
Warmtevraag	LT/MT-buurt 100% warmtevraag	LT/MT-buurt 50% en 25% warmtevraag	LT/MT-buurt	LT/MT-buurt	LT/MT-buurt
Regime	Vaste hoeveelheid warmteonttrekking (koudelozing) per dag.	Vaste hoeveelheid warmteonttrekking (koudelozing) per dag.	Variabele hoeveelheid warmteonttrekking (koudelozing) per dag.  Onttrekking stopt pas bij daling van 6°C.	Variabele hoeveelheid warmteonttrekking (koudelozing) per dag.  Onttrekking stopt pas bij daling van 3°C.	Maximaal toegestane hoeveelheid warmteonttrekking (koudelozing)  -Max. 5% van het debiet -Delta T max. 5°C
Periode	90 dagen (25 mei tot 23 augustus)	90 dagen (25 mei tot 23 augustus)	90 dagen (25 mei tot 23 augustus)	90 dagen (25 mei tot 23 augustus)	90 dagen (25 mei tot 23 augustus)
Aantal winningen	51	51	51	51	51
Jaren	2003, 2004, 2007, 2009	2003, 2004, 2007, 2009	2003, 2004, 2007, 2009	2003, 2004, 2007, 2009	2003, 2004, 2007, 2009
Analyse	Effect van warmte- onttrekkingen op temperatuurdaling.  Effect van nat en droog jaar	Effect van warmte- onttrekkingen op temperatuurdaling.  Effect van nat en droog jaar	Effect van variabele onttrekking onder randvoorwaarden.  Hoeveel warmte kan worden gewonnen?  Hoeveel dagen kan er geen warmte worden onttrokken?	Effect van variabele onttrekking onder randvoorwaarden.  Hoeveel warmte kan worden gewonnen?  Hoeveel dagen kan er geen warmte worden onttrokken?	Effect van Stowa Beleidskader op het referentiescenario

#### 4.1.3 Verschillende jaren

De scenario's zijn steeds voor vier verschillende jaren doorgerekend om de cumulatieve effecten van meervoudige warmteonttrekkingen op de watertemperatuur van de Oude Rijn te bepalen. Hierbij is onderscheid gemaakt in droge en natte jaren. Voor de droge jaren geldt dat inzet van de Klimaatbestendige wateraanvoer KWA tot de mogelijkheden behoort. Daarom is één droog jaar met en één droog jaar zonder KWA doorgerekend:

- 2003 zeer warm en zeer droog (met KWA)
- 2004 vrij warm en zeer nat
- 2007 vrij warm en zeer nat
- 2009 vrij warm en vrij droog (zonder KWA)

In deze modellering wordt aangenomen dat de warmte wordt opgeslagen in de bodem (wko). De potentiële opslagcapaciteit in de bodem lijkt daarvoor voldoende<sup>6</sup>. Er wordt in deze studie geen rekening gehouden met de kosten van de aquathermie-systemen. Ook wordt het systeemontwerp buiten beschouwing gelaten en de eventuele technische of ruimtelijke beperkingen met betrekking tot de in- en uitlaten, warmtewisselaars, warmtepompen, wko opslag en warmtenetten. Deze studie is daarvoor niet bedoeld. Voor een beschouwing op de technische haalbaarheid en ruimtelijke inpasbaarheid van grootschalige aquathermie-systemen verwijzen we naar Roosjen et al. 2021<sup>7</sup>.

#### 4.1.4 Optimalisatiescenario's

Op basis van de drie scenario's wordt een drietal optimalisaties uitgevoerd. In scenario 4a wordt de warmteonttrekking afgeschaald in uitsluitend die segmenten met temperatuurdalingen groter dan 3°C (in plaats van bij alle segmenten, zoals bij scenario 1). De reden daarvoor is dat voor de Oude Rijn geldt dat slechts enkele dagen in het jaar de temperatuurdalingen te groot zijn. Een tijdelijke stop zou in dat geval uitkomst bieden. In optimalisatiescenario 4c wordt deze verbeterde verdeling ook toegepast op scenario 3 met Handreiking Vergunningverlening Koudelozing als uitgangspunt. In het optimalisatiescenario 4b worden de warmteonttrekkingen beter verdeeld over de Oude Rijn. Door een betere spreiding van de onttrekkingen (dan in scenario 1) kan potentieel meer warmte onttrokken worden en kunnen de grote dalingen in de temperatuur voorkomen worden.

## 4.2 Resultaten Scenario 1. Vaste dagelijkse onttrekking, bovengrens en afschalen

#### 4.2.1 Variant a: Bovengrensbenadering

In figuur 4.2 zijn de modelresultaten getoond van de situatie waarin 100% van de warmtevraag van de geselecteerde buurten uit de Oude Rijn wordt gehaald. De figuur geeft een overzicht van de gemiddelde watertemperatuur in de Oude Rijn. De horizontale as volgt de Oude Rijn van Bodegraven tot Katwijk. Op de verticale as staan de dagen van het jaar. In de periode van 25 mei tot 23 augustus (90 dagen) wordt er warmte aan de Oude Rijn onttrokken. De koudelozing zorgt voor een daling van de watertemperatuur. Het verschil tussen de watertemperatuur met en zonder koudelozingen is weergegeven met een kleur. Geel betekent een daling van temperatuur met 10°C of meer en blauwe kleur betekent dat er geen verschil is. Buiten het

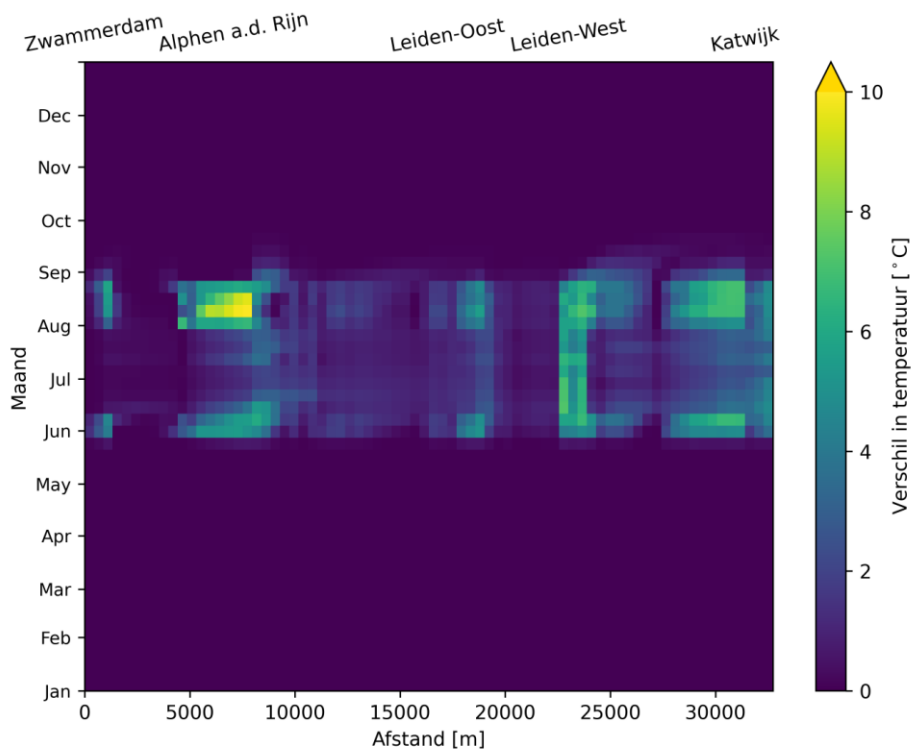
<sup>6</sup> Zie hiervoor de wko-capaciteit op [www.aquathermieviewer.nl](http://www.aquathermieviewer.nl)

<sup>7</sup> <https://www.warmingup.info/documenten/grootschalige-aquathermie-realistische-warmteoptie.pdf>

onttrekkingsseizoen is dit het geval, maar ook door regeneratie (uitwisseling met de atmosfeer en invang van zonne-energie) kan het water weer opwarmen. De Oude Rijn is opgeknipt in segmenten van 500m en voor elk segment is het temperatuurverschil met een kleur aangeven.

#### 4.2.2 Verklaring overall beeld

Kijken we naar de grafiek dan zijn daar duidelijk vijf gele 'stroken' te zien. Deze stroken corresponderen met de grote warmteonttrekkingen in de meer stedelijke gebieden langs de Oude Rijn. Op de plekken wordt relatief veel warmte onttrokken (ofwel koude geloosd). De temperaturodalingen zijn daar dan ook groot, zo'n 6-8°C tot wel meer dan 10 °C bij Alpen aan den Rijn. Deze temperaturodalingen lopen ver buiten de bandbreedte van wat ecologisch toelaatbaar is!



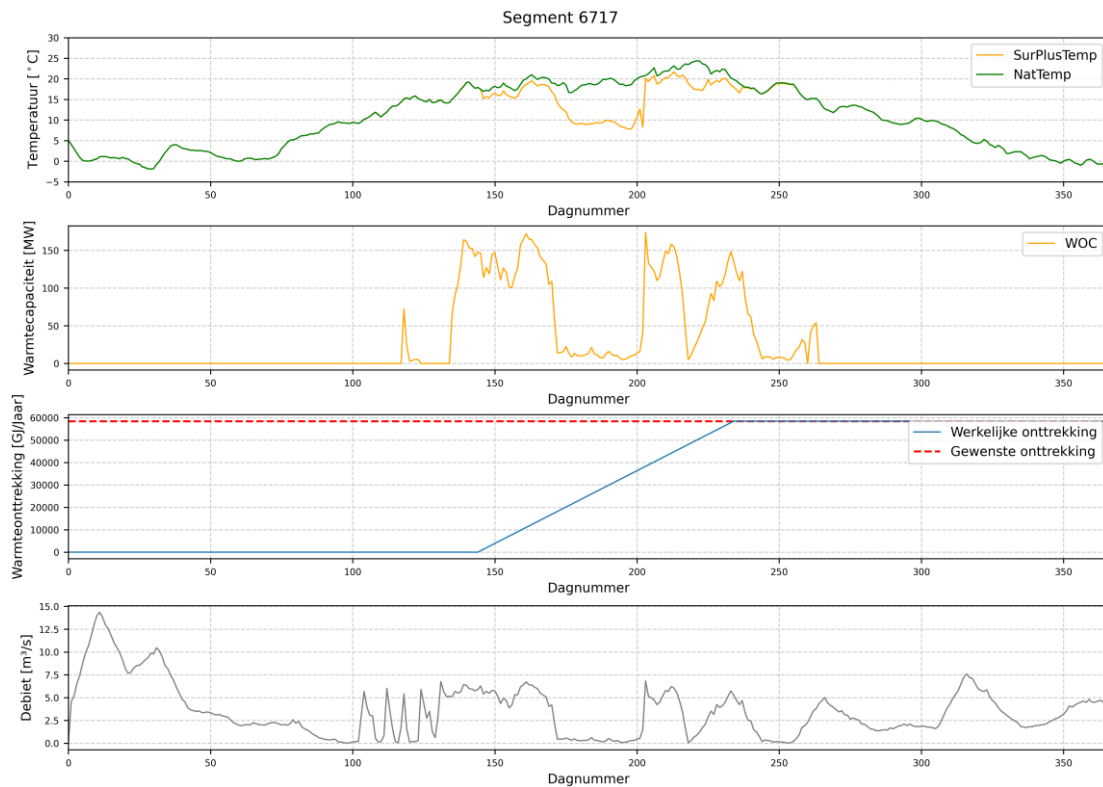
Figuur 4.2. Verschil in watertemperatuur van de Oude Rijn tussen situatie met en zonder warmteonttrekkingen. Op de horizontale as het langsdoorsnede van de Oude Rijn en op de verticale as de maanden van het jaar. De kleur geeft het verschil in watertemperatuur weer.

#### 4.2.3 Verklaring seizoenverloop

Interessant is om te zien dat de vijf 'stroken' niet gedurende het hele seizoen geel zijn, terwijl in dit scenario de warmteonttrekking wel constant is gedurende het hele seizoen. De reden hiervoor is dat de temperaturodaling sterk afhankelijk is van het debiet. Hoe groter het debiet, hoe meer nieuwe warmte wordt aangevoerd. Figuur 4.3 illustreert dit. De figuur toont de resultaten van een segment. In de bovenste grafiek staan de watertemperatuur zonder koudelozing (groen) en met koudelozing (geel). In de grafiek onderin staat het debiet weergegeven voor het zelfde segment van de watergang. Op het moment dat het debiet afneemt (vanaf dag



110), daalt ook de gele lijn in de bovenste grafiek. Op het moment dat het debiet weer toeneemt (dag 200) stijgt ook de gele lijn weer. Dit laat zien dat het effect van een koudelozing op de watertemperatuur groter wordt naarmate het debiet kleiner wordt.



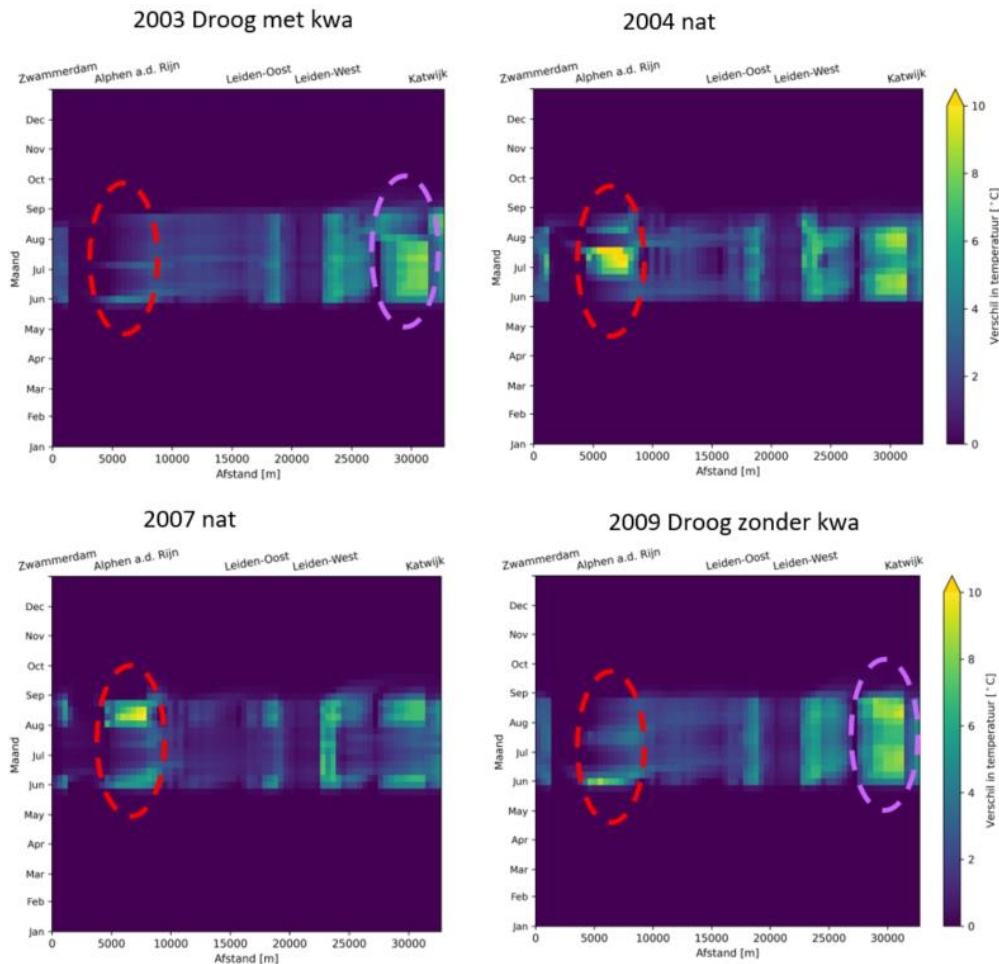
Figuur 4.3 Berekening per segment. Bij lage debieten (onderste grafiek) is het effect van een koudelozing op de watertemperatuur groter (bovenste grafiek).

#### 4.2.4 Verklaring verschil in jaren

Figuur 4.4 toont alle vier de doorgerekende jaren bij elkaar. Het overall beeld is over de vier jaren hetzelfde, met de vijf gele stroken met een relatief grote daling van de watertemperatuur ter hoogte van de dichtbevolkte gebieden met grote warmtevraag. Echter het seizoenverloop verschilt per jaar duidelijk. In figuur 4.4 staan rode cirkels te hoogte van Alphen aan den Rijn om dit punt te illustreren. In 2003 is er alleen bij de start van het seizoen een effect op de watertemperatuur merkbaar. De rest van het seizoen is er nauwelijks een effect merkbaar. In 2004 is er een duidelijk effect merkbaar in het midden van het seizoen. In 2007 is alleen een effect merkbaar aan het einde van het seizoen. En tot slot in 2009 weer alleen aan het begin van het seizoen een effect merkbaar.

De verschillen zijn te verklaren door de debieten in de Oude Rijn en de variatie over het seizoen en over de jaren. Dit is deels natuurlijke variatie, maar het debiet in de Oude Rijn wordt op gezette tijden ook gereguleerd. Dit is duidelijk te zien wanneer 2003 en 2009 met elkaar worden vergeleken. Beide jaren staan te boek als droge jaren. In het begin van het seizoen is dat ook terug te zien in de grote temperatuurdaling (de gele strook bij Katwijk). Op driekwart van het seizoen wordt in 2003 de KWA aangezet. Dit is onmiddellijk terug te zien: het geel wordt blauwer. Door de toename van het debiet als gevolg van de KWA wordt het systeem minder

gevoelig voor temperaturdaling. In 2009 blijft dezelfde strook wel geel, omdat er geen KWA is ingezet.



Figuur 4.4 Resultaten scenario 1. Verschil in watertemperatuur van de Oude Rijn tussen situatie met en zonder warmteonttrekkingen voor de jaren 2003, 2004, 2007 en 2009. Op de horizontale as het langdoorsnede van de Oude Rijn en op de verticale as de maanden van het jaar. De kleur geeft het verschil in watertemperatuur weer.

Om de verschillen tussen jaren te verklaren is een debietanalyse uitgevoerd die inzicht geeft in de verschillen in debieten tussen de jaren. Tabel 4.1 laat voor drie representatieve segmenten het totale, het minimale en het maximale debiet zien (zie ook tekstbox 3). Ook toont de tabel het aantal dagen met zeer weinig debiet. Opvallend is dat er relatief veel dagen zijn met vrijwel geen debiet, ook in de natte jaren. (In de natte jaren 2004 en 2007 zijn in het bovenstroomse segment zelfs meer dagen met nauwelijks debiet dan in de droge jaren). Dit zijn de dagen waarop koudelozingen een grote impact hebben op de watertemperatuur. Om dat tegen te gaan zou gedacht kunnen worden aan tijdelijke restricties voor koudelozingen op dagen met nauwelijks debiet. Tabel 4.2 laat ook zien dat het debiet bovenstrooms aanzienlijk groter is. Dat impliceert dat de Oude Rijn bovenstrooms minder gevoelig is voor koudelozingen dan benedenstrooms.

Tabel 4.2 Verdiepende debietanalyse van drie segmenten van de Oude Rijn. Het totale jaardebiet, het maximum gemiddeld debiet, minimum gemiddeld debiet en het aantal dagen met zeer weinig debiet zijn weergegeven.

	Totale debiet [miljoen m3]	Maximumdebiet [m3/s]	Minimumdebiet [m3/s]	Aantal dagen Q<0.1 m3/s [n]
<b>Segment 6659 (bovenstrooms)</b>				
2003	46.9	9.43	0.21	0
2004	24.2	6.73	0.02	1
2007	23.4	10.55	0.03	5
2009	32.5	7.46	0.09	2
<b>Segment 7117 (benedenstrooms van Leiden)</b>				
2003	4.0	0.92	0.03	2
2004	3.0	1.42	0.05	7
2007	1.5	0.87	0.01	26
2009	3.1	0.61	0.01	5
<b>Segment 6978 (benedenstrooms)</b>				
2003	6.3	1.07	0	21
2004	11.4	12.73	1.07	0
2007	12.7	10.29	1.07	0
2009	8.5	3.17	1.07	0

### Tekstbox 3 Debietanalyse Oude Rijn

De potentie voor aquathermie is niet gelijkmatig verdeeld over de Oude Rijn. De daadwerkelijke potentie is afhankelijk van het debiet. De uitgevoerde debietanalyse geeft inzicht in de verschillen tussen jaren met betrekking tot een aantal debiet-kentallen. In de debietanalyse zijn voor alle 75 segmenten vijf factoren nader geanalyseerd:

- **Het totale jaardebiet**  
Dit geeft inzicht in de totale potentie voor aquathermie in dit segment. Een hoog jaardebiet geeft een hoge potentie voor aquathermie aan.
- **Het minimale debiet**  
Op dagen dat er (vrijwel) geen debiet is, kan er ook geen warmte worden onttrokken aan het water. Er vindt dan namelijk te weinig regeneratie plaats om te voorkomen dat er een te sterke koudebel ontstaat.
- **Het maximale debiet**  
Een hoog maximaal debiet geeft aan dat er mogelijke pieken optreden waarin er tijdelijk een hoge potentie is om veel warmte te onttrekken.
- **Het aantal dagen dat er zeer weinig debiet was**  
Aangezien de Oude Rijn in droge perioden afhankelijk is van externe wateraanvoer is het belangrijk om te weten hoeveel dagen er zeer weinig debiet door de Oude Rijn stroomde. Op deze dagen kan er namelijk geen warmte onttrokken worden.

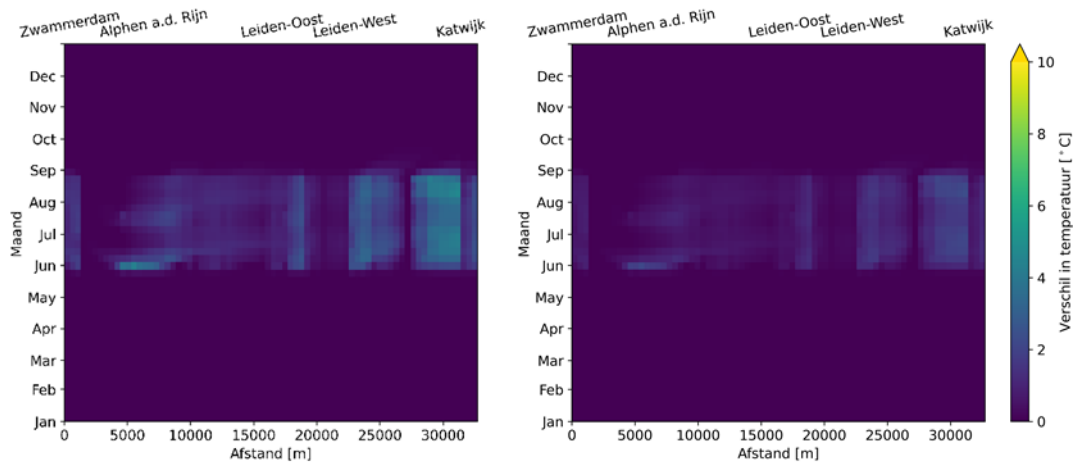
In tabel 4.1 toont de resultaten voor drie representatieve segmenten zien. Segment 6659 is een bovenstrooms segment en ligt tussen Bodegraven en Alphen aan den Rijn. Dit segment geeft een indicatie van de potentie voor aquathermie voordat er warmteonttrekkingen worden gedaan. Segment 7117 ligt direct benedenstrooms van de dichtbebouwde kern van Leiden. Er zijn dan diverse warmteonttrekkingen gedaan, en het is interessant om te beoordelen wat het debiet is op dit punt. Segment 6978 is het meest benedenstrooms gelegen punt in deze analyse; het debiet hier bepaalt hoeveel Katwijk aan warmte kan onttrekken.

#### 4.2.5 Variant b en c: Afschalen van de warmteonttrekkingen

Variant a van het hiervoor beschreven scenario gaat uit van warmteonttrekking die gelijk staat aan 100% van de warmtevraag van de geselecteerde buurten. De watertemperatuur zakt daarbij op grote delen van de watergang met meer dan 10°C en dat is buiten de grenzen van wat ecologisch verantwoord is. Daarom zijn twee extra varianten doorgerekend voor het jaar 2009 waarbij slechts 50% van de warmtevraag respectievelijk 25% van de warmtevraag van de geselecteerde buurten is doorgerekend.

In figuur 4.5 zijn de resultaten weergegeven. In de figuur is duidelijk te zien dat de daling van de watertemperatuur afneemt (de kleur van de vijf stroken verschuift van geel naar groen/blauw). In de variant met 50% van de warmtevraag is de maximale temperatuurdaling 5,6 °C. Deze variant levert een beeld op waarbij op een aantal plekken de daling van de watertemperatuur nog steeds te groot is, maar ook dat op een aantal plekken de daling van de temperatuur binnen de toelaatbare range komt. In de variant met 25% van de warmtevraag vallen de vijf stroken zo goed als geheel weg. De maximale temperatuurdaling is 2,8 °C. In deze situatie blijft de daling van de watertemperatuur wel in de orde grootte die toelaatbaar zou kunnen zijn. Dat zou betekenen dat tenminste ca. een kwart van de warmtevraag van de geselecteerde buurten

voorzien zouden kunnen worden van warmte uit de Oude Rijn zonder de ecologische draagkracht echt te schenden. Nader onderzoek naar die ecologische draagkracht van de Oude Rijn is echter wel noodzakelijk.



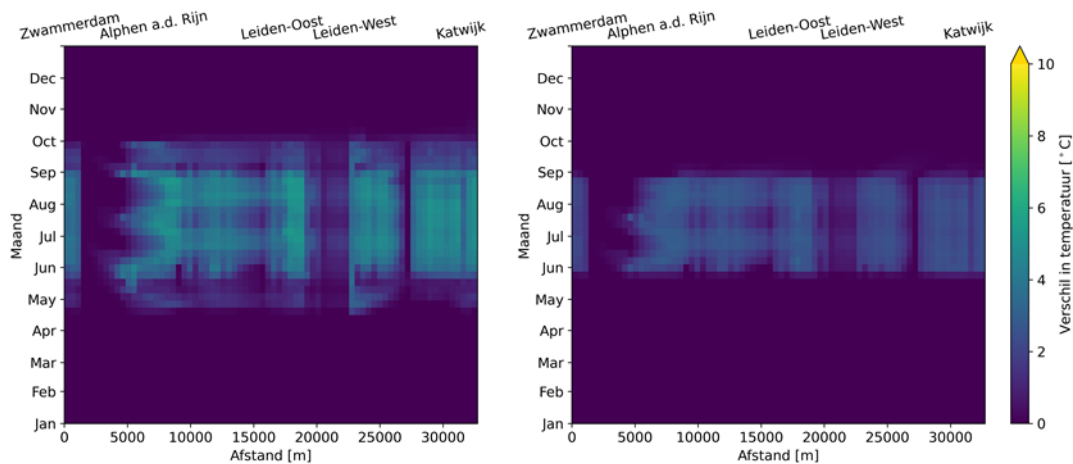
Figuur 4.5 Verschil in watertemperatuur van de Oude Rijn tussen situatie met en zonder warmteonttrekkingen voor het jaar 2009 waarbij slechts 50% (links) en 25% (rechts) van de warmtevraag van de geselecteerde buurten is doorgerekend. Op de horizontale as het langsdoorsnede van de Oude Rijn en op de verticale as de maanden van het jaar. De kleur geeft het verschil in watertemperatuur weer.

### 4.3 Resultaten Scenario 2. Dynamisch regime, met temperatuur als randvoorwaarde

Na de resultaten uit scenario 1 is verder gezocht naar de warmte die onttrokken mag worden binnen de grenzen van de ecologische draagkracht. In dit scenario is daarom een andere redeneerlijn gevolgd dan in scenario 1. In dit scenario wordt niet een vaste hoeveelheid warmte per dag onttrokken, maar is deze variabel. De onttrekking stopt automatisch bij een watertemperatuur van 12°C of bij een daling (dT) van de temperatuur met 6°C. In een tweede variant wordt gerekend met een dT van 3°C. Dit leidt ertoe dat op dagen met lage watertemperaturen of kleine debieten er minder warmte mag worden onttrokken (koude wordt geloosd). Echter op dagen dat de water temperatuur hoger is en debieten groter zijn mag juist meer warmte gewonnen worden (koude mag worden geloosd). Hierbij is de grens van de maximale dagelijkse warmteonttrekking gesteld op maximaal drie keer de hoeveelheid warmteonttrekking ten opzichte van de vaste dagelijkse onttrekkingen in scenario 1. (Een grotere overcapaciteit in het vermogen van de installatie is namelijk niet realistisch).

Binnen deze randvoorwaarden is de hoeveelheid warmte die onttrokken mag worden berekend voor het jaar 2009. In de eerste variant (12°C, dT 6°C) is het mogelijk om binnen deze randvoorwaarden aan 88% van de warmtevraag te voldoen. In 13 van de 51 segmenten wordt minder warmte onttrokken dan 100% van de warmtevraag. In de overige segmenten wordt binnen de randvoorwaarden genoeg warmte gewonnen om aan de aan dat segment gekoppelde warmtevraag te voldoen.

Als de randvoorwaarden verder worden aangescherpt naar een dT van 3°C (en minimum temperatuur van 12°C) dan kan aan ca. 65% van de warmtevraag worden voldaan.



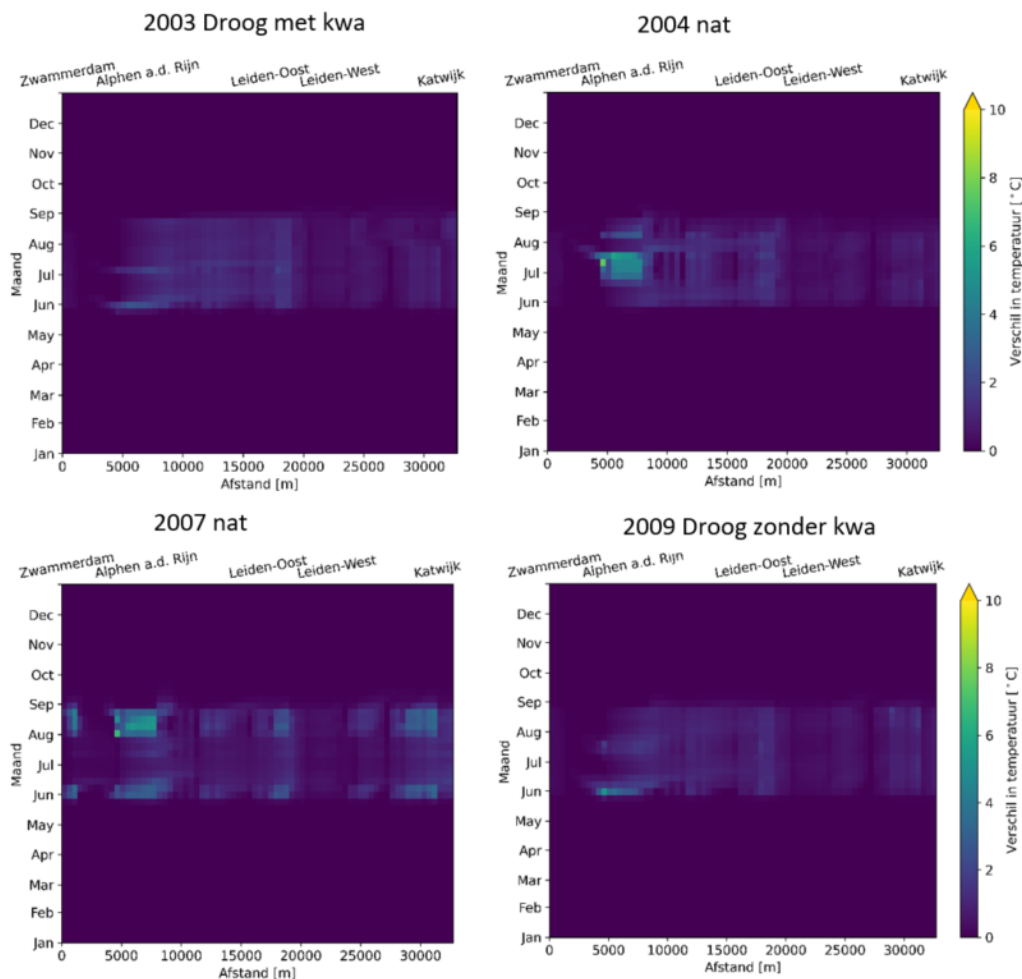
Figuur 4.6 Resultaten scenario 2. Verschil in watertemperatuur van de Oude Rijn tussen situatie met en zonder warmteonttrekkingen voor het jaar 2009. Links, variant 1 doorgerekend met  $dT$  max is  $6^{\circ}\text{C}$ . Rechts, variant 2 doorgerekend met  $dT$  max is  $3^{\circ}\text{C}$ . Op de horizontale as het langsdoorsnede van de Oude Rijn en op de verticale as de maanden van het jaar. De kleur geeft het verschil in watertemperatuur weer.

#### 4.4 Resultaten Scenario 3. Warmteonttrekking volgens Handreiking Vergunningverlening Koudelozing

Ter vergelijking is een scenario doorgerekend met de beleidsuitgangspunten voor koudelozingen van de Handreiking Vergunningverlening Koudelozingen. Deze handreiking geeft een beoordelingskader voor verschillende typen wateren voor koudelozingen. Voor Oude Rijn geldt als randvoorwaarde dat er maximaal 5% van het gemiddelde zomerdebiet mag worden afgekoeld met maximaal  $5^{\circ}\text{C}$  ( $dT$ ).

Uit de resultaten blijkt dat met deze randvoorwaarden aan 34% van de totale warmtevraag van de geselecteerde buurten kan worden voldaan. In figuur 4.7 worden de resultaten weergegeven van de temperatuurdalingen voor de vier doorgerekende jaren. Daaruit blijkt echter dat onder deze randvoorwaarden in een aantal segmenten toch forse dalingen in de watertemperatuur voor kunnen komen. De reden hiervoor is dat de handreiking de randvoorwaarde baseert op de het gemiddelde zomerdebiet. Echter, dit leidt tot een overschatting van het te gebruiken debiet op dagen met nauwelijks debiet (zie h 4.2.5). Vanuit ecologische perspectief zou naast het zomergemiddelde debiet ook het werkelijke debiet maatgevend moeten zijn voor de dagelijkse onttrekking.

Een tweede aandachtspunt is dat de randvoorwaarden gelden voor individuele winningslocaties. Bij meerdere winningslocaties uit dezelfde watergang moeten de debieten in principe bij elkaar opgeteld worden. Het gebruikte debiet is daarmee veel groter en dat kan leiden tot grote dalingen in de watertemperatuur. Met dit effect dient rekening gehouden te worden. Dit cumulatieve effect wordt ook benoemd in de Handreiking vergunningverlening, Hierop moet bij de vergunningverlening rekening worden gehouden (cumulatietoets) maar hiervoor worden geen concrete handvatten gegeven.



Figuur 4.7 Resultaten scenario 3. Verschil in watertemperatuur van de Oude Rijn tussen situatie met en zonder warmteonttrekkingen voor de jaren 2003, 2004, 2007 en 2009. Op de horizontale as het langdoorsnede van de Oude Rijn en op de verticale as de maanden van het jaar. De kleur geeft het verschil in watertemperatuur weer.

#### 4.5 Resultaten optimalisatiescenario's

Naar aanleiding van de drie voorgaande scenario's wordt op drie manieren een optimalisatie doorgevoerd. In optimalisatiescenario 4a worden de zogenaamde 'outliers' verwijderd. Voor de Oude Rijn segmenten waar de temperatuurdaling groot is, geldt doorgaans dat slechts enkele dagen in het jaar dit het geval is. Beperkingen op de omvang van de onttrekking (of tijdelijke stops) zou in dat geval uitkomst bieden. In scenario 4b wordt de handreiking Vergunningverlening Koudelozingen als uitgangspunt gebruikt. In scenario 4c worden de warmteonttrekkingen meer verspreid over de Oude Rijn. Door een herverdeling van de warmteonttrekkingen kan naar verwachting meer warmte worden gewonnen zonder grote dalingen in de watertemperatuur te veroorzaken.

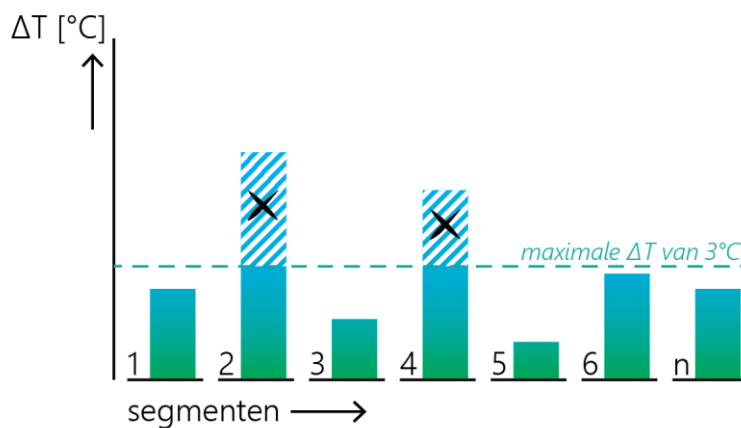
##### *Optimalisatiescenario 4a. Gerichte beperkingen op bepaalde locaties*

In scenario 4a is het scenario 1a nogmaals doorgerekend, maar is de warmtevraag alléén afgeschaald voor dié segmenten die een temperatuurdaling van meer dan 3°C ondergaan (figuur 4.8). (In

tegenstelling tot scenario 1b en 1c, waarbij over de gehele lijn de belasting tot 50% of 25% wordt gereduceerd). Voor de andere segmenten blijft de warmteonttrekking gelijk.

Voor de segmenten met een  $\Delta T$  hoger dan  $3^{\circ}\text{C}$  in de jaren 2003, 2004, 2007 en 2009 is de onttrekking gereduceerd, tot het niveau waarbij temperatuurdaling kleiner of gelijk is aan  $3^{\circ}\text{C}$ . Dit is vrij eenvoudig te berekenen, omdat de relatie tussen onttrekking en temperatuurverschil lineair is in het model. (In werkelijkheid is die relatie complexer vanwege het gedrag van de koudepluim en menging). Een reductie van de onttrekking met 50% betekent in het model ook een reductie van het temperatuurverschil met 50%. In deze optimalisatiestap is het hoogste temperatuurverschil 2003, 2004, 2007 en 2009 als uitgangspunt genomen. Als er in één van deze jaren temperatuurdaling van meer dan  $3^{\circ}\text{C}$  is geconstateerd, dan is de onttrekking gereduceerd.

Een belangrijke kanttekening is dat het berekende temperatuurverschil sterk afhankelijk is van het hydrologische regime. Deze optimalisatie is alleen uitgevoerd voor de jaren 2003, 2004, 2007 en 2009. Het kan dus zijn dat in een ander hydrologisch jaar de  $\Delta T$  wel boven de  $3^{\circ}\text{C}$  uitkomt.



Figuur 4.8. Schema van de methode voor afkappen van debiet in optimalisatiescenario 4a.

In tabel 4.3 zijn de resultaten weergegeven. Ten opzichte van het originele scenario (1a) kan aan ca. 47% van de warmtevraag worden voldaan. Dit komt bijna overeen met de hoeveelheid warmte in scenario 1b. In dat scenario werd de vraag over de gehele lijn met 50% werd afgeschaald, maar waren de temperatuurdalingen groter. Kortom, met beperkende maatregelen voor bepaalde locaties is er warmte winst te behalen en zijn grote dalingen in de watertemperatuur te voorkomen.

Tabel 4.3: Originele en gereduceerde onttrekking in scenario 4a.

Casus	Onttrekking [GJ/jaar]	Percentage t.o.v. volledige onttrekking
Origineel (scenario 1a)	1453943	100
Gereduceerd	682280	46.9

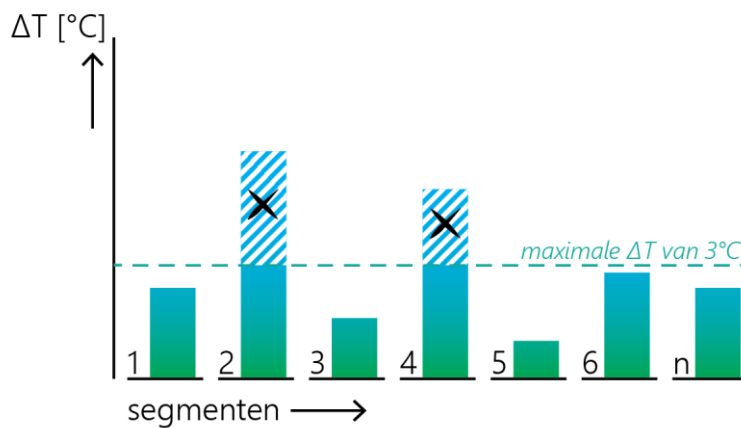
*Optimalisatiescenario 4b. Gerichte beperkingen op bepaalde locaties, handreiking*

In dit tweede optimalisatiescenario is dit dezelfde methode toegepast als in optimalisatiescenario 4a, maar nu met de randvoorwaarden vanuit de Handreiking Vergunningverlening Koudelozingen.



We hebben namelijk gezien dat temperatuurdalingen ook met onder de randvoorwaarden van de handreiking meer dan 3°C kunnen zijn. De reden daarvoor is het gehanteerde uitgangspunt van het zomergemiddelde debiet. Ook hier zijn de warmteonttrekkingen in de segmenten met dalingen groter dan 3°C afgeschaald totdat deze daling niet groter is dan 3°C.

Kanttekening is dat met deze methode in bepaalde jaren de warmteonttrekking te veel is gereduceerd. Hoewel hierdoor niet de maximale hoeveelheid warmte uit de Oude Rijn wordt gewonnen, is het wel de veilige optie vanuit ecologie gezien.



Figuur 4.9. Methode voor afkappen van debiet in scenario 5c (hetzelfde als in scenario 5a, maar toegepast op de vier afzonderlijke jaren).

In tabel 4.4 zijn de resultaten weergegeven. Ten opzichte van het originele scenario (3) kan 20-25% minder warmte gewonnen. Echter met deze ingreep wordt wel voorkomen dat de temperatuurdalingen groter zijn dan 3°C.

Tabel 4.4. Originele en gereduceerde onttrekking in scenario 4c.

Casus	Onttrekking [GJ/jaar]	Percentage t.o.v. volledige onttrekking in dat jaar
Origineel ( <i>scenario 3</i> ) - 2003	487652	100
Gereduceerd - 2003	372769	76.4
Origineel ( <i>scenario 3</i> ) - 2004	418035	100
Gereduceerd - 2004	321448	76.9
Origineel ( <i>scenario 3</i> ) - 2007	620002	100
Gereduceerd - 2007	501347	80.9
Origineel ( <i>scenario 3</i> ) - 2009	388428	100
Gereduceerd - 2009	300743	77.4

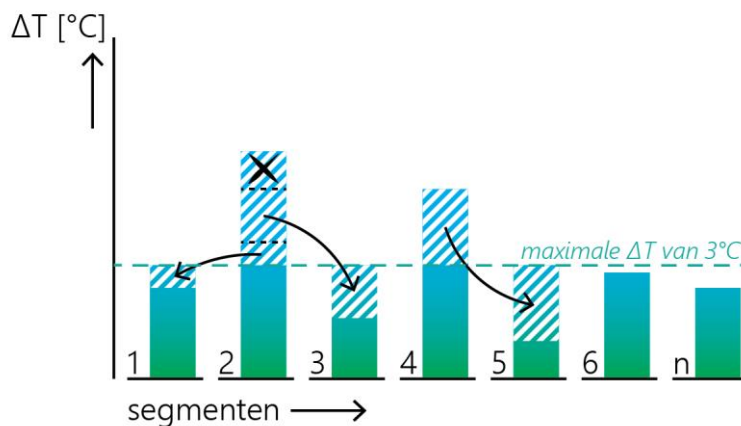
#### *Optimalisatiescenario 4c. Herverdeling*

In scenario 4c wordt scenario 1 op een andere wijze geoptimaliseerd, namelijk door betere spreiding van de warmteonttrekkingen. Op die segmenten waar de temperatuurdaling meer dan 3°C is, maar waarbij het aangrenzende segment nog capaciteit over heeft, wordt de warmte uit het aangrenzende

segment gehaald, tot ook in dat segment dat een (maximale) daling van 3°C optreedt (figuur 4.10). Op deze wijze wordt de warmte gelijkmatiger uit de Oude Rijn onttrokken. De herverdeling vlakkt de temperatuurdalingen uit en wordt het regeneratieve vermogen beter benut.

Vanwege de lineaire relatie is ook hier vrij eenvoudig te bepalen hoeveel warmte maximaal uit een segment onttrekken mag worden binnen de randvoorwaarde van een maximale daling van 3°C. Segmenten die 'ruimte' over hebben nemen (een deel van) de warmtevraag over als de warmtecapaciteit op is.

Wederom moet hier opgemerkt worden dat deze optimalisatie alleen geldt voor de jaren 2003, 2004, 2007 en 2009. Daarnaast is aangenomen dat de warmteonttrekkingen alleen overgenomen worden door naar aangrenzende segmenten, omdat anders de transportkosten te hoog worden.



Figuur 4.10. Schema van de methode voor het herverdelen van warmteonttrekkingen in optimalisatiescenario 4b.

In tabel 4.5. zijn de resultaten weergegeven. Ten opzichte van het originele scenario kan minder dan 50% van de warmtevraag worden bediend, maar blijven de temperatuurdalingen ook hier binnen de 3°C. Door de herverdeling kan ook méér warmte worden gewonnen. Ten opzichte van scenario 4a kan ca. 18 GJ per jaar extra worden gewonnen (ca. 1.3 %). Door een slimme (her)verdeling is dus ook warmte winst te behalen.

Tabel 4.5. Originele en gereduceerde onttrekking in scenario 4b.

Casus	Onttrekking [GJ/jaar]	Percentage t.o.v. volledige onttrekking
Origineel ( <i>scenario 1</i> )	1453943	100
Geoptimaliseerd	700210	48.2

## 4.5 Reflectie

Wat betekent dit nu, kijkend naar de vier scenario's? Uit scenario 1 blijkt dat als 100% van de warmtevraag van de geselecteerde buurten uit de Oude Rijn zou komen, dat de daling van de watertemperatuur op plekken meer dan 10°C is en daarmee een grote impact heeft op de ecologie. Schalen we de warmtevraag af naar 50% dan worden de dalingen van de temperatuur kleiner, maar op een enkele plekken zijn nog steeds grote dalingen te zien. Schalen we de warmtevraag nog verder af naar 25%, dan zien we dat over de hele linie de daling van de temperatuur binnen de 3°C blijft.

Hoewel er geen harde grenzen vastgesteld zijn over wat wel of niet ecologisch verantwoord is, wordt in de handreiking Vergunningverlening Koudelozingen een grens van 4°C aangehouden. In de studie is met 3°C een extra veiligheidsmarge aangehouden. Met 3°C als grens zou in 25% van de warmtevraag voorzien kunnen worden. Dit komt overeen met ca. 12.000 woningen. Door gerichte maatregelen kan extra warmtewinst worden behaald binnen de randvoorwaarde van 3°C. Door structurele of tijdelijke beperkingen op de omvang van bepaalde warmteonttrekkingen in te stellen in plaats van af te schalen over de gehele linie, kan de warmteonttrekking in totaal verhoogd worden tot bijna 50% van de warmtevraag. Door te sturen op de ruimtelijke verdeling van de onttrekkingen kan nog extra warmtewinst worden behaald.

Uit scenario 2 blijkt dat binnen de zelfde randvoorwaarde van 3°C, die warmtewinning ook aanzienlijk verhoogd kan worden door een dynamisch onttrekkingsregime. Indien geen vaste hoeveelheid warmte per dag wordt, maar minder op koude dagen met weinig debiet en meer op warme dagen met veel debiet, dan zijn ca. 33.000 woningen van warmte te voorzien. Bovendien is dan meer sturing mogelijk op het voorkomen van grote dalingen in de watertemperatuur en impact op de ecologie. Wel zou dit betekenen dat installaties met flinke overcapaciteit ontworpen zouden moeten worden en dat heeft een prijskaartje. Dit zou overigens ook een combinatie met opslag eisen om de overtollige warmte tijdelijk op te slaan.

Vergelijken we dit met de randvoorwaarden uit de handreiking (scenario 3), dan zijn ca. 17.000 woningen te voorzien van warmte. Dit is aanzienlijk minder én bovendien geen garantie voor het voorkomen van grote dalingen van de watertemperatuur. Ook hier geldt dat met gerichte beperkingsmaatregelen de temperaturodalingen binnen de 3°C gehouden kunnen worden en bovendien warmtewinst optreedt tot wel bijna 50% van de warmtevraag.

## 5. Deel 3. Governance van aquathermie

Het derde deel van dit onderzoek richt zich op de implicaties voor het beleid ten aanzien van Aquathermie. De kwantitatieve resultaten uit deel 2 van het onderzoek zijn daarbij gebruikt als basis om de volgende twee onderzoeksvragen te beantwoorden:

1. Welk beleid is - met het oog op de verwachte opschaling – nodig om aquathermie te benutten en te reguleren?
2. Hoe verdelen we de warmte over het gebied?

Op basis van de resultaten zijn de implicaties voor zowel het energietransitie-beleid (Klimaatbeleid) als het beleid van de waterbeheer ten aanzien van aquathermie doordacht. Deze beide kanten worden belicht, omdat het om uiteindelijk om een balans vraagt tussen enerzijds het belang van het klimaatbeleid en anderzijds het belang van behoud van waterkwaliteit en vitale ecosystemen. Dit balanceren zou vorm kunnen krijgen in een goed doordachte ruimtelijk plannen met voorkeurslocaties van winningen van bepaalde omvang, waarmee het cumulatieve effect de draagkracht van het ecosysteem niet verstoort.

### 5.1 Implicaties voor het Energietransitie-beleid

We starten eerst met het energietransitie-beleid omdat dit de aanleiding vormt voor de toepassing van aquathermie. Er zijn twee beleidsimplicaties die hieronder nader worden toegelicht.

#### *Beleidsimplicatie 1. Concretiseren Aquathermie ter onderbouwing bronnenstrategie*

De eerste beleidsimplicatie voor het energietransitie-beleid is dat de bijdrage van aquathermie in meer detail geconcretiseerd dient te worden om tot een goed onderbouwde bronnenstrategie voor een regio of gemeente te komen. Daarvoor is een aantal uitwerkingen nodig.

Ten eerste is het nodig om de bijdrage van aquathermie te relateren aan de warmtevraag van de buurten die daarvoor in aanmerking komen. Dit ligt wellicht voor de hand, maar wordt nog lang niet overal gedaan. In lang niet alle Transitievisies Warmte bijvoorbeeld wordt de potentie van aquathermie in beeld gebracht (van der Brugge et al 2020). Inmiddels is dit vrij eenvoudig voor heel Nederland te doen te doen via [www.aquathermieviewer.nl](http://www.aquathermieviewer.nl).

Ten tweede is nodig om de potentie te concretiseren naar de bijdrage van aquathermie aan de warmtevraag per buurt. De meeste Regionale energiestrategieën en Transitievisies Warmte brengen de warmtevraag en geschiktheid voor type warmtesystemen op wijk of buurtniveau in beeld. Om aan te sluiten bij het beleidsproces is het daarom zinvol om de informatie over de potentie van aquathermie ook op dat zelfde niveau te presenteren: is aquathermie voor deze buurt wel of niet geschikt en in welke mate kan het in de warmtevraag voorzien?<sup>8</sup>

---

<sup>8</sup> In deel 1 van deze studie is daarom instrumentarium ontwikkeld waarmee de potentie als percentage van de warmtevraag is uitgedrukt en de buurten die niet in aanmerking komen ook niet meegenomen zijn.

Ten derde zouden knelpunten en voorkeurslocaties aangemerkt kunnen worden. Bijvoorbeeld, omdat de potentie voor aquathermie langs de Oude Rijn bovenstrooms groter is dan benedenstrooms, zouden de bovenstroomse gebieden de voorkeur krijgen (mede omdat daar ook minder alternatieve bronnen zijn). Daarnaast zouden ook locaties uitgesloten kunnen worden van aquathermie, bijvoorbeeld omdat ze te kwetsbaar zijn.

Tot slot moet rekening te houden met de potentiële warmteonttrekkingen bovenstrooms om te voorkomen dat broncapaciteit (benedenstrooms) overschat wordt. Door deze vier stappen te doorlopen ontstaat pas eigenlijk een goed ruimtelijk beeld van de warmtecapaciteit van aquathermie per buurt. Op basis daarvan kan eigenlijk pas een goede bronnenstrategie worden bepaald. Kortom, ter onderbouwing van de bronnenstrategie dient de potentie van aquathermie nader uitgewerkt te worden, alvorens de afweging tussen aquathermie en andere beschikbare warmtebronnen in het kader van de Regionale Energiestrategieën en Transitievisies Warmte gemaakt kunnen worden.

In Holland Rijnland lijkt op basis van deze potentiëstudies overigens, dat aquathermie best aardig past in de Regionale Energiestrategie. Restwarmte wordt gezien als een voornamelijk warmtebron voor Leidse regio en geothermie voor de regio Katwijk en omstreken. Aanvullend daarop zou aquathermie vooral bij Alphen en een deel van Leiden een bijdrage leveren en dat komt overeen met de grotere capaciteit bovenstrooms. Hierbij dient wel gezegd te worden dat het niet zo zwart-wit is. Zowel de toepassing van restwarmte als de ontwikkeling van geothermiecentrales zijn nog onzeker. Aquathermie kan daarom ook als terugvaloptie gezien worden. Hoewel de berekeningen niet zijn uitgevoerd voor buurten die 'bestemd voor' restwarmte en geothermie zijn, laten de potentieberekeningen (figuur 3.3 en 3.4) zien dat aquathermie nog best wat 'overcapaciteit' heeft.

#### *Beleidsimplicatie 2. Verdeelafspraken nodig bij grootschalige toepassing aquathermie*

Een tweede beleidsimplicatie is dan ook dat er verdeelafspraken over aquathermie worden opgenomen in het energietransitie-beleid. Deze verdeelafspraken verduidelijken over welke warmtecapaciteit een buurt of gemeente mag en kan beschikken.

Uit de studie van de Oude Rijn blijkt duidelijk dat niet onbeperkt warmte uit de watergangen onttrokken kan worden, want daarmee daalt de watertemperatuur te veel. Hoewel dit met het huidige aantal en omvang van aquathermie-projecten niet perse direct nodig is, is het wel verstandig om daar tijdig over na te gaan denken met het oog op de verwachte opschaling. Dit voorkomt dat gemeente straks tekort komen omdat een gemeente bovenstrooms al de warmte onttrekt.

Deze verdeelafspraken zouden ook weer aangepast moeten kunnen worden. Als later blijkt dat andere warmtebronnen in gebruik zijn genomen en capaciteit over is, of dat juist die capaciteit wegvalt, waardoor de verdeling van warmtebronnen moet wijzigen, dan dienen de verdeelafspraken aangepast te worden. Daarom zou er een (periodieke) herijgingsprocedure opgesteld moeten worden waarmee - onder voorwaarden - geldende verdeelafspraken aangepast kunnen worden. Gezien de (nog) vele onzekerheden is een dergelijke adaptieve aanpak noodzakelijk.

In RES Holland Rijnland is een aanzet gemaakt voor verdeelafspraken. Vooralsnog zijn dat vooral *procesafspraken*, waarvan de belangrijkste zijn:

- Transitievisies Warmte worden afgestemd met regiogemeenten (en met RES-organisatie). Om eventuele verdelingskwesties voortijdig te kunnen signaleren, worden concepten van TVW's voorgelegd aan buurgemeenten en de RES-organisatie. Die hebben dan de gelegenheid om mogelijke verdelingskwesties te signaleren en te agenderen bij de opstellende gemeente.
- Wanneer er een verdelingskwestie is, treden de betrokken gemeenten (en de RES-organisatie) met elkaar in overleg tot een oplossing gevonden is. Wanneer het een vraagstuk op het gebied van aquathermie betreft neemt het Hoogheemraadschap Rijnland ook aan deel aan dit overleg. Wanneer het een vraagstuk op het gebied van aquathermie betreft neemt het Hoogheemraadschap Rijnland een besluit in gevallen waarbij de partijen niet tot overeenkomst kunnen komen.
- Voor de RES zijn criteria opgesteld die moeten helpen bij het maken van verdeelafspraken (zie tekstbox 3).

Studies zoals deze laten zien wat die verdelingsvraagstukken concreet inhouden voor aquathermie. De studie naar de Oude Rijn laat zien dat de capaciteit te klein is om in de gehele warmtevraag te voorzien. Er is schaarste en dus zullen er keuzes gemaakt moeten worden welke buurt (of warmtekavel) de warmte uit de Oude Rijn mag gebruiken.

#### **Tekstbox 4 Criteria voor verdeling ten behoeve van de Regionale Energie Strategie Holland Rijnland**

- Betaalbaarheid → maatschappelijke kostenefficiëntie:
  1. welke verdeling levert de laagste maatschappelijke kosten op (d.w.z. incl. isolatiemaatregelen en aanpassingen in woningen) ?
- Leveringszekerheid → technische risico's:
  2. op welke plaats brengt de inzet van een bron de minste technische risico's met zich mee?
- Tijdigheid → snelheid van inzet:
  3. op welke plaats kan de bron het snelst ingezet worden, waardoor het snelst een CO<sub>2</sub>-beperking bereikt kan worden?
- Duurzaamheid → zo 'hoog' mogelijke inzet:
  4. op welke plaats past de brontemperatuur het best bij de kenmerken van de locatie?→ optimaal gebruik van assets:
  5. op welke plaats kan het beste / het meest gebruik worden gemaakt van aanwezige infrastructuur?→ beperking elektrificatie:
  6. op welke plaats leidt de inzet van de bron tot de meeste beperking van de elektriciteitsbehoefte?
- Haalbaarheid → draagvlak:
  7. op welke plaats heeft de inzet van de bron het meeste maatschappelijke draagvlak (waardoor het aansluittempo en het aansluitpercentage naar verwachting hoog zijn)?

Hierbij dient ook opgemerkt te worden dat verdeelafspraken veronderstellen dat er *gestuurd* kan worden op de bronnen. De mogelijkheden om op de bronverdeling te kunnen sturen zijn echter zeer beperkt. In tekstbox 4 is een overzicht gegeven van de sturingsmogelijkheden. De huidige warmtewet voorziet niet in die mogelijkheid, dus dit zou via andere beleidskaders geregeld moeten worden. In het geval van gemeentelijk beleid valt dan te denken aan bestemmingsplannen of deelname in warmtebedrijven. In het geval van waterschappen via vergunningen voor koudelozingen. Vooralsnog lijkt het dat de keuze voor warmtebronnen wordt overgelaten aan de markt. Er is onzekerheid in het nieuwe Wetvoorstel Collectieve Warmtevoorziening daarin wel of geen verandering in brengt. Wel krijgen gemeenten de mogelijkheid om warmtekavels aan te wijzen. In theorie zou via de kavelverdeling (tot op zekere hoogte) indirect gestuurd kunnen worden op de verdeling van bronnen. Echter, de mogelijkheden voor gemeenten en waterschappen om rechtstreeks te bepalen welke bronnen waar worden ingezet, zijn zeer beperkt. Het sturen op bronnen in lijn met de verdeelafspraken is daarom ook lastig en vraagt om een adaptieve aanpak, waarbij de verdeelafspraken periodiek worden geüpdatet.

Tekstbox 4. Sturingsmogelijkheden		
Huidige wet- en regelgeving		Sturingsmogelijkheden
	Warmtewet (huidige)	Geen
	Bestemmingsplannen/ Bestemmingsplan verbrede reikwijdte	Sturen door ontwikkelingen te toetsen aan 'een goede ruimtelijke ordening'.  Bij een bestemmingsplan verbrede reikwijdte moet het gaan om een zogenoemde proeftuin (Programma Aardgasvrije Wijken), die zodanig gesitueerd is dat men van een bepaalde warmtebron gebruik dient te maken
	Bouwbesluit	Gemeente kan warmteplan opstellen
	Aanbestedingen	De oprichting van een aparte vennootschap waarin de gemeente in voorkomend geval de aandelen houdt en toezicht houdt op het beleid van deze entiteit.  Publiek-private samenwerkingen
	Eigen beleidskader	Elke organisatie kan in eigen beleidskaders bepalingen opnemen die sturing geven aan toepassing van warmtebronnen.
	Vergunningverlening	Marktpartijen faciliteren door als gemeente publiekrechtelijk (geen) medewerking te verlenen
Nieuwe wetgeving	Wetsvoorstel Wet collectieve warmtevoorziening (Wcw)	<i>Wetsvoorstel wordt heroverwogen</i>
	Omgevingswet (Ow)	Vaststellen van een programma

## 5.2 Implicaties voor waterbeheer

Op basis van de resultaten uit deel 1 en 2 van dit onderzoek zijn ook de beleidsimplicaties voor de waterbeheerder doordacht. De warmte uit het water is juridisch gezien van niemand (een collectief goed), zolang het niet gewonnen is. Waterschappen zijn als waterbeheerder van de regionale watersystemen en Rijkswaterstaat als beheerder van de Rijkswateren wel de bevoegde partij om beleid te maken t.a.v. de verdeling van warmte uit oppervlakte- en afvalwater (STOWA, 2019). Het belang van de waterkwaliteit en een vitaal ecosysteem staat daarbij voorop. Daarom zal een maximaal toegestane daling van de watertemperatuur vaak limiterend zijn op de hoeveelheid warmte die gewonnen kan worden. Het huidige beleid rond aquathermie is dan ook gericht op regels over de koudelozingen in het watersysteem. Er is een handreiking Vergunning Vergunningverlening Koudelozingen opgesteld. Deze handreiking biedt een beoordelingskader voor de maximaal toegestane koudelozingen naar type watersystemen en debieten.

### *Beleidsimplicatie 1. Knelpunten, voorkeurs- en uitsluitingslocaties aanwijzen*

Waterbeheerders toetsen in reactie op aquathermie-aanvragen of aan de vergunningscriteria wordt voldaan. De waterbeheerder zou een pro-actievere rol kunnen aannemen door aan te geven waar aquathermie-projecten wel en waar niet wenselijk zouden zijn. Zo heeft Rijkswaterstaat onderzoek laten doen naar de Rijkswateren en wordt onder andere aangegeven waar niet of nauwelijks effecten op de ecologie te verwachten zijn. De Brabantse waterschappen hebben ook in een kaart aangegeven welke wateren hoge natuurwaarde hebben en die worden uitgesloten van aquathermie (of onder zeer strikte voorwaarden). Daarnaast zouden ook andere aandachtsgebieden benoemd kunnen worden, bijvoorbeeld in stedelijke gebieden waar potentieel veel warmte aan het water onttrokken zou kunnen gaan worden en waar extra regulering voor nodig is (zie H5.3). Dergelijke input kan zeer welkom zijn voor de aankomende wijkuitvoeringsplannen en volgende generaties transitievisies warmte.

### *Beleidsimplicatie 2. Vergunningen op basis van maatgevende debieten*

Uit deze studie komt duidelijk naar voren het gemiddeld zomerdebiet geen garantie is om te grote dalingen van de watertemperatuur te voorkomen. Dit komt omdat er dagen zijn met veel minder debiet dan het zomers gemiddelde en dus grotere temperatuurdalingen optreden. Dit impliceert dat naast het zomergemiddelde debiet ook het aantal dagen dat het debiet zeer laag in de beoordeling meegenomen zou moeten worden. Afhankelijk van de kwetsbaarheid van het ecosysteem zou het aantal dagen met lage debieten maatgevend moeten zijn voor de vergunningverlening.

### *Beleidsimplicatie 3. Mogelijkheid om tijdelijk stops af te kondigen*

Daarnaast zou het verstandig zijn om beleidsbepalingen te ontwikkelen om tijdelijke stops bij lage debieten af te kunnen kondigen. Dat voorkomt grote dalingen in de watertemperatuur en vermindert de impact op het ecosysteem. Daartegenover zou ook toegestaan kunnen worden om op de momenten dat er juist veel debiet is, ook meer warmte onttrokken mag worden. Op die manier kunnen de tijdelijke stops gecompenseerd worden. Dit zou een beleidsontwikkeling



zijn in de richting van meer dynamische onttrekkingsregimes. Het voordeel daarvan zou zijn dat er wordt uitgegaan van de daadwerkelijke watertemperatuur en het debiet, waardoor grote dalingen voorkomen worden, maar over het hele seizoen mogelijk meer warmte gewonnen kan worden.

#### *Beleidsimplicatie 4. Bepalen onderlinge afstanden tussen onttrekkingen*

Uit deze studie komt ook duidelijk naar voren dat de effecten van de koudelozingen benedenstrooms doorwerken. Een vierde beleidsimplicatie is daarom dat de cumulatietoets die in de handreiking Vergunningverlening Koudelozing uitgewerkt wordt en een juridische status krijgt. Deze nadere uitwerking op de handreiking zou gericht moeten zijn op hoe om te gaan met meervoudige warmteonttrekkingen en de cumulatieve effecten op de watertemperatuur. Dit zou bijvoorbeeld tot regels kunnen leiden over de minimale afstand tussen winningslocaties als functie van de omvang van de onttrekkingen en de debieten in de watergang. Op deze manier zou het water weer voldoende opwarmen (regeneratievermogen) voor de volgende koudelozing.

#### *Beleidsimplicatie 5. Warmtevraag als factor meenemen in operationeel waterbeheer*

Tot slot is laatste beleidsimplicatie die uit dit onderzoek volgt, de mogelijkheid om debieten van de watergangen waar aquathermie toegepast bewust te verhogen om eventuele temperaturdalingen te voorkomen. In veel watersystemen in Nederland wordt het debiet al (min or meer) gereguleerd. Vaak is dat om droogte of verzilting (doorspoeling) tegen te gaan. De klimaatbestendige wateraanvoer (KWA) is hier een duidelijk voorbeeld van. In Holland Rijnland zou nagedacht kunnen worden over het vaker of structureel aanzetten van de KWA ten behoeve van de warmtevoorziening en om grote dalingen in de watertemperatuur tegen te gaan.

Normaal gesproken vindt droogte plaats in de zomer wanneer ook de warmteonttrekking plaatsvindt. Dit betekent in feite dat de waterbeheerder sowieso rekening moet gaan houden met een extra variabele in het waterkwantiteitsbeheer. In hoeverre de warmtevoorziening als extra sturende factor in het operationele waterbeheer zou moeten meegenomen moeten worden zou overwogen moeten worden. Wat betekent dat bijvoorbeeld voor de verdringingsreeks?

### **5.3 Het water-energieplan als beleidsinstrument**

Combineren we de implicaties voor het energietransitie-beleid enerzijds met de implicaties van waterbeheer anderzijds, dan lijkt het erop dat het beleid rondom aquathermie baat zou kunnen hebben bij zogenaamde *Waterenergieplannen*. In een dergelijk gebiedsplan (als onderdeel van een *Omgevingsplan*) zouden belangen vanuit de energietransitie gecombineerd en afgewogen kunnen worden met de belangen van het waterbeheer. Een waterenergieplan zou uit de volgende onderdelen kunnen bestaan:

1. De maximaal toelaatbare cumulatieve warmteonttrekking in het gebied binnen de ecologische randvoorwaarden van het watersysteem in het gebied.

2. Ruimtelijk plan met afspraken over locaties en omvang van Aquathermie-winningen in dat gebied, rekening houdend met kwetsbare gebieden en alternatieve warmtebronnen
3. Gebiedsspecifieke richtlijnen voor vergunningverlening door waterschappen

Een waterenergieplan dient door gemeenten en waterschappen gezamenlijk opgesteld te worden. Een waterenergieplan zou daarmee het energiebelang en het waterbelang zorgvuldig kunnen afwegen. Bijkomend voordeel is dat het helderheid biedt naar beide kanten. Richting de energietransitie biedt het een kader voor de bronnenstrategie en voor de waterbeheerder een kader voor vergunningverlening.

Binnen het WarmingUp-programma zal nader worden uitgewerkt wat het water-energieplan zou kunnen inhouden en hoe het als beleidsinstrument ingezet zou kunnen worden.

## 6. Conclusies en aanbevelingen

### 6.1 Conclusies

Op basis van dit onderzoek kunnen we onderstaande antwoorden geven op de onderzoeksvragen:

1. *Wat is de technische potentie van Aquathermie in de regio Holland Rijnland?*

Er is een aanzienlijke capaciteit voor aquathermie in de regio Holland Rijnland. Als de maximale afstand tussen de buurt en de watergang minder dan 1 kilometer is, kan ca. 85% van de warmtevraag worden voorzien. Als dit 'zoekgebied' groter wordt neemt de potentie toe. Bij een afstand van 5 kilometer tot aan de watergang is de potentie meer dan 100%. In dat geval is het warmte-aanbod groter dan de warmtevraag. Warmtepompen zijn nodig om de temperatuur op te hogen. Daar is extra elektriciteit voor nodig. De technische en financiële haalbaarheid vallen buiten de scope van deze studie.

2. *Hoe betrouwbaar is deze bron als leverancier van warmte?*

Aquathermie is in Holland Rijnland een betrouwbare warmtebron. Er is weliswaar natuurlijke variatie in debieten en temperatuur, maar door de periode van warmtewinning voldoende lang te maken, kan daarop worden geanticipeerd. Onttrekkingsregimes waarin alleen warmte gewonnen wordt tijdens de zomer zijn kwetsbaarder. Hoe korter de periode van onttrekken hoe minder betrouwbaar de warmtewinning is vanwege de variatie in debieten. Betrouwbaarheid van warmtewinning hangt niet alleen af van de bron, maar ook van de (technische) installatie. In deze studie is dat buiten beschouwing gelaten.

3. *Wat is het cumulatieve effect op de temperatuur van het water bij meervoudige onttrekkingen?*

Bovenstroomse warmteonttrekkingen werken benedenstrooms door. Indien de gehele warmtevraag van de geselecteerde buurten uit de Oude Rijn wordt gewonnen, dan treden dalingen op van de watertemperatuur van de Oude Rijn van wel meer dan 10°C, vooral rond de stedelijke kernen. In deze studie zijn we ervan uitgegaan dat er geen of nauwelijks ecologische effecten optreden bij dalingen kleiner dan 3°C. Indien de gehele warmtevraag van alle

geselecteerde buurten uit de Oude Rijn zou worden gewonnen, dan zijn de ecologische gevolgen naar verwachting (te) groot.

4. *Hoe kan worden voorzien in een zo groot mogelijke warmtevraag, zonder dat de temperatuuurdalingen te groot worden?*

Door extra regulering, bijvoorbeeld door gerichte maatregelen - zoals structurele of tijdelijke *beperkingen* op de omvang van bepaalde warmteonttrekkingen én sturing op de *ruimtelijk verdeling* van de onttrekkingslocaties - kan in bijna de helft van de warmtevraag van de geselecteerde buurten worden voorzien door Aquathermie uit de Oude Rijn. Met een *dynamisch onttrekkingsregime*, dat rekening houdt met de temperatuuurdaling en absolute watertemperatuur, kan de potentie nog verder oplopen, tot bijna tweederde van de warmtevraag. Dynamische onttrekking is echter niet de normale gang van zaken.

5. *Welk beleid is er - met het oog op de verwachte opschaling – nodig om aquathermie te benutten en te reguleren?*

Er is doorontwikkeling van het beleid voor aquathermie nodig. Bij vergunningverlening door de waterbeheerder zal naast het type watersysteem en het zomergemiddelde debiet ook het aantal dagen met laag debiet in de beoordeling meegenomen moeten worden. Juist als het debiet laag is daalt de temperatuur van het water relatief sterk. Ter voorkoming van te grote dalingen zijn beleidsinstrumenten nodig om tijdelijke beperkingen op te kunnen leggen aan operationele winningen. Ten behoeve van de bronnenstrategie dienen voorkeurslocaties en uitsluitingslocaties aangewezen worden en dient de cumulatietoets uit de handreiking Vergunningverlening Koudelozingen nader uitgewerkt te worden, om zodoende rekening te kunnen houden met de cumulatieve effecten van meervoudige onttrekking uit dezelfde watergang. Met het oog op de opschaling zijn (op termijn) verdeelafspraken nodig over de beschikbare warmte.

6. *Op welke wijze kan het belang van de energietransitie en het belang van de waterkwaliteit afgestemd en gewaarborgd worden?*

Een nieuw beleidsinstrument als het *Waterenergieplan* zou hierbij een hulpmiddel kunnen zijn. Het waterenergieplan is voor te stellen als een ruimtelijk plan dat afspraken bevat over de maximaal toelaatbare cumulatieve onttrekking binnen een gebied en dat afspraken bevat over de winningslocaties en de omvang per winning binnen dat gebied. Het waterenergieplan schept daarmee duidelijkheid aan alle partijen (gemeenten, waterschappen, warmtebedrijven, energiecoöperaties, ect) hoeveel warmte op welke locaties onttrokken mag worden. Bovendien biedt het een nadere invulling van de cumulatietoets, zoals die in de handreiking Vergunningverlening Koudelozingen benoemd wordt. Waterenergieplannen zouden met name van belang zijn voor aandachtsgebieden, bijvoorbeeld gebieden met hoge natuurwaarde, kleine debieten, of hoge bevolkingsdichtheid, waar mogelijk veel warmte uit het water onttrokken zou kunnen gaan worden. Waterenergieplannen helpen zo ook om de bronnenstrategie verder door te ontwikkelen.

## 6.2 Discussie

### 6.2.1 Kosten en technisch haalbaarheid

In deze studie een hypothetische situatie doorgerend waarin aquathermie grootschalig in de regio zou worden toegepast. Hierbij is geen rekening gehouden met de kosten en technische haalbaarheid. Deze studie is daarvoor niet bedoeld. Voor een beschouwing op de technische haalbaarheid en ruimtelijke inpasbaarheid van grootschalige aquathermie systemen verwijzen we naar Roosjen et al. (2021). Voor een inschatting van de kosten van aquathermie verwijzen we naar De Fockert et al (2022)

### 6.2.2 Selectie van buurten, haalbaarheid en afweging tussen bronnen

In deze studie is uitgegaan van de bronverdeling en warmtesystemen zoals die in de RES zijn aangegeven. We beseffen dat dit een eerste beeld is, dat ook al weer door de verschillende gemeentelijke Transitievisies Warmte achterhaald is. De uiteindelijke bronverdeling is een complex proces van afwegen van beste warmtesystemen en warmtebronnen voor een buurt. Dat proces van afwegen is geen onderdeel van deze studie, echter, studies zoals deze kunnen wel helpen in dat proces. Door beter zicht te hebben op de hoeveelheid warmte die op verschillende plekken uit het water gehaald kan worden kan helpen bij het maken van de hele bronverdelingspuzzel. Uiteindelijk zal daarin natuurlijk wel de technische, financiële en ruimtelijke haalbaarheid van belang zijn.

### 6.2.3 Ecologische draagkracht

In deze studie worden de twee belangen van de energiedoelstellingen enerzijds en de water belangen anderzijds naast elkaar gezet. De gedachte daarbij is met aquathermie de energiedoelen nagestreefd worden, maar in die mate dat we binnen de ecologische draagkracht van het watersysteem blijven. In deze studie is alleen naar de daling in de watertemperatuur gekeken en niet naar de daadwerkelijke impact op de ecologie. De daling in de watertemperatuur wordt gebruikt als indicator voor de ecologische impact. De relatie tussen watertemperatuur en de ecologie, of liever gezegd de koudelozing in de vorm van een lokale koudepluim is niet bekend. Daarvoor is nader onderzoek nodig in de vorm van ecologische monitoring, zoals voorgesteld in Wortelboer & Harezlak. (2020).

### 6.2.4 1D vs. 3D modelberekeningen

In deze studie is gebruik gemaakt van een 1D modellering. In dit model ontbreekt de stratificatie in breedte en diepte en dat kan dit leiden tot een onderschatting van de temperatuuurdaling ter plaatse van de koudelozing. Dit komt omdat wordt uitgegaan van volledige menging van het koude en warmere water in de breedte en diepte van de watergang. De temperatuuurdalingen kunnen daardoor lokaal groter zijn dat wordt brekend met het 1D-model. Als gevolg daarvan kan dit ook leiden tot een overschatting van de warmtecapaciteit van het water. Als stratificatie optreedt zakt het koude water naar de bodem (dichtheidsstroom) en blijft de warmte bovenin. De regeneratie, die plaats vindt door warmte-uitwisseling met de atmosfeer, is daardoor kleiner dan wordt verondersteld bij volledige menging. Het thermisch opladen van het water gaat langzamer en leidt daarmee tot een mogelijke overschatting van de capaciteit.

Naar de mogelijke onder- en overschattingen moet nader onderzoek plaatsvinden door de resultaten van 1D en 3D berekeningen met elkaar te vergelijken. Binnen WarmingUp wordt hierover een notitie opgesteld.

#### *6.2.5 Aquathermiebeleid voor de toekomst*

Tot slot moet gezegd worden dat op dit moment aquathermie nog kleinschalig is. Dit onderzoek is gericht op de toekomst waarbij we een flinke opschaling verwachten. Dat zou (ecologische) risico's met zich mee kunnen brengen als dat niet goed gereguleerd zou worden. Daarom zijn wellicht voor de korte termijn de aanbevelingen niet per se urgent. Echter, in sommige plekken doet zich nu al de situatie voor dat meerdere aquathermie-initiatieven warmte uit het zelfde water willen halen. Gezien de ambitieuze doelstellingen kan het echter snel gaan en zal dit vaker en op meer plekken gaan spelen. Het is daar van belang om daar nu al op te anticiperen.

### **6.3 Aanbevelingen voor Holland Rijnland**

Met het oog op de verwachte opschaling van aquathermie in de regio worden de volgende aanbevelingen gedaan.

#### **Aanbevelingen voor Holland Rijnland**

Met het oog op de verwachte opschaling van aquathermie in de regio worden de volgende aanbevelingen gedaan.

#### *Korte termijn:*

##### *1. Benut water als warmtebron, realiseer Aquathermie-projecten en monitor effecten*

In de regio is de technische potentie voor aquathermie groot. Benut de potentie van deze warmtebron door projecten te initiëren en faciliteren. Zorg ervoor dat de projecten gemonitord worden, zodat meer inzicht verkregen kan worden in de effecten op de watertemperatuur en de ecologie.

##### *2. Stel aandachtsgebieden voor aquathermie vast: potentiële knelpunten en voorkeurslocaties*

Het is verstandig om aandachtsgebieden te identificeren. Dit kunnen zowel potentiële knelpunten als voorkeurslocaties zijn. Potentiële knelpunten zijn vooral de kleinere lokale wateren met een gering debiet in combinatie met een gebied met een grote warmtevraag. Ook voor de grotere wateren (Oude Rijn) geldt dat er knelpunten rond de stedelijke kernen zouden kunnen ontstaan. Daarnaast vormen de meren en plassen aandachtlocaties vanwege de natuurwaarde en stilstaande water. Daarnaast wordt aanbevolen om ook voorkeurslocaties aan te wijzen. Dit zijn locaties waar aquathermie juist zeer geschikt is en op korte termijn mogelijkheden liggen.

##### *3. Houd een vinger aan de pols, stel voor de aandachtsgebieden op tijd een "Waterenergieplan" op.*

Op de korte termijn is er wellicht geen direct aanleiding om waterenergieplannen op te gaan stellen, omdat er nog relatief weinig aquathermie-projecten zijn. Als gevolg van opschaling wordt dat op de langere termijn voor bepaalde aandachtsgebieden zinvoller. Het wordt aanbevolen om dit op tijd te doen. Wanneer dat precies is, is de inschatting van het waterschap en is afhankelijk van het verwachte tempo van opschaling in dat gebied. Gezien de ambities van het klimaatbeleid zou dit snel kunnen

gaan. De Waterenergieplannen zouden in dat geval gezamenlijk opgesteld moeten worden door het Hoogheemraadschap Rijnland en de desbetreffende gemeenten waarin het aandachtsgebied ligt, in samenwerking met de RES voor de regionale samenhang. Gezamenlijk worden afwegingen gemaakt over de warmteonttrekkingen, temperatuurdalingen en ecologie. Het plan zou een basis vormen voor verdeelafspraken met betrekking tot de warmte uit deze warmtebron en in de bronnenstrategie moeten worden opgenomen.

#### *4. Ontwikkel het Aquathermiebeleid door met betrekking tot vergunningverlening en gerichte (tijdelijke) beperkingen*

Tot slot wordt het Hoogheemraadschap Rijnland aanbevolen haar eigen aquathermie-beleidslijn verder door te ontwikkelen. Ten eerste zou met betrekking tot vergunningverlening ook de lage debieten maatgevend worden en moet de cumulatietoets nader uitwerkt worden (bijvoorbeeld met behulp van modelberekeningen, die vastgelegd kunnen worden in een waterenergieplan). Ten tweede zijn beleidsinstrumenten wenselijk, waarmee het mogelijk wordt om warmteonttrekkingen tijdelijk te verbieden indien de watertemperatuur teveel daalt en de ecologische gevolgen te groot zouden worden. Er dient nader onderzoek te komen onder welke voorwaarden dat soort beperkingen opgelegd zouden kunnen worden.

## 7. Bronnen

Regionale Energiestrategie (2021) HollandRijnland. Concept

[https://hollandrijnland.nl/wp-content/uploads/2020/04/Concept-regionale\\_Energiestrategie\\_Holland\\_Rijnland\\_29-04-2020.pdf](https://hollandrijnland.nl/wp-content/uploads/2020/04/Concept-regionale_Energiestrategie_Holland_Rijnland_29-04-2020.pdf)

CE & Deltares (2018). Nationale potentie Aquathermie

<https://hollandrijnland.nl/ruimte/energie/>

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

Vraag en Aanbod van energie in de regio Holland Rijnland, Actualisatie basisgegevens Holland Rijnland Energieakkoord ten behoeve van de RES, Quintel Intelligence, 19 december 2019  
JURIDISCH KADER AQUATHERMIE 2019; SPEELRUIMTE VOOR DE PRAKTIJK

[STOWA 2019-28 Aquathermie juridisch.pdf](#)

Syntraal (2021) Warmte- en koudevraag op buurtniveau. A. Koezjakov. Notitie

Wortelboer, R. Harezlak, V. (2020) Monitoringsplan Ecologische Effecten Thermische Energie Oppervlaktewater

## 8. Bijlagen

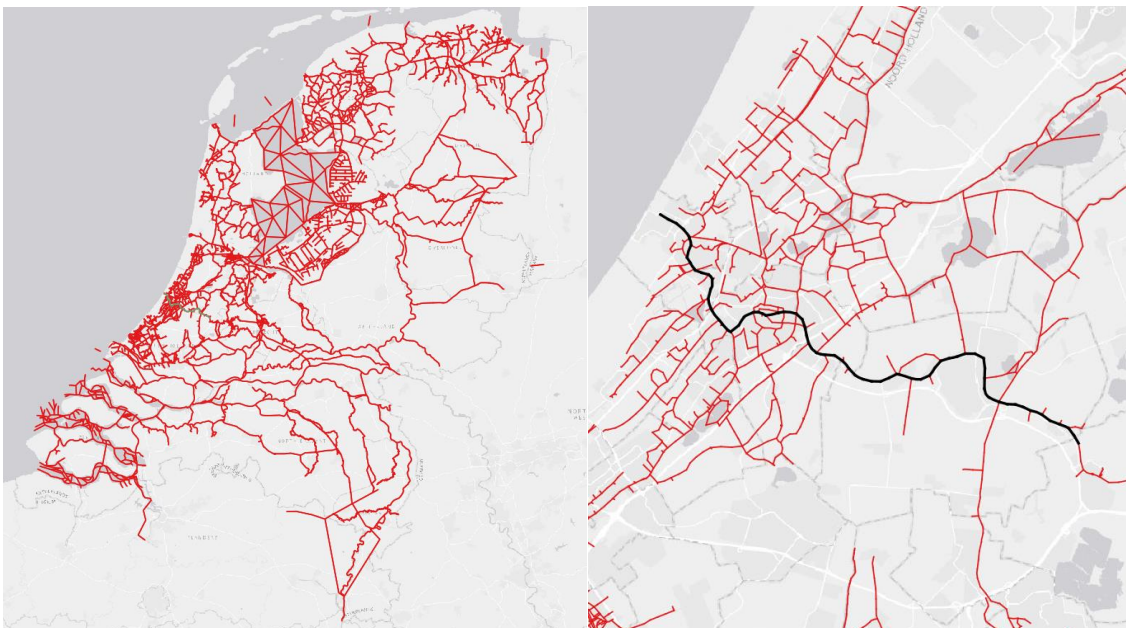
### 8.1 Gerealiseerde en lopende aquathermie projecten in Holland Rijnland

Gemeente	project	Afgerond of lopend	TEO, TEA, TED	subsidie
Nieuwkoop	Rugstreepad Nieuwveen	vergund	TEO	Nee
Nieuwkoop	Nieuwveen zwembad Aarweide	In bedrijf	TEA	Nee
Nieuwkoop	Industrierrein Schoterhoek II	In aanleg	TEA	Nee
Nieuwkoop	Schoterveld	In voorbereiding	TEA	PAW in aanvraag
Katwijk	Hoornes	In voorbereiding	TEO en evt. riothermie	PAW, Elena
Katwijk	Valkenburg nieuwe sanitatie	In voorbereiding	TEA, TED, TEO	
Oegstgeest	Poelgeest	In onderzoek	TEO, TEA	Lokale initiatieven
Leiderdorp	Oranjewijk	In onderzoek	TEO (of restwarmte)	PAW-aanvraag
Alphen ad Rijn	Rijnhaven	onderzoek	TEO	
Alphen ad Rijn	Planetenbuurt	In voorbereiding	TEO	PAW in aanvraag, Elena
Alphen	Noordrand/ Gnephoek	Onderzoek	Verkenning aquathermie/ nieuwe sanitatie	
Kaag en Braasem	Rijnsaterwoude	Afgerond onderzoek		
HLT	Kagerplassen	Verkenning		
Voorschoten				
Leiden	Vlietwijk	Verkenning		
Leiden	Zuid-West	Afgerond onderzoek		
Noordwijk				
Zoeterwoude	Hoge Rijndijk		TEO	PAW-aanvraag, Elena



## 8.2 Methoden en technische details

Om de effecten van de koudelozingen door te rekenen is gebruikgemaakt van het Nationaal Water Model (Helpdesk Water 2018). Het Nationaal Water Model is een 1-dimensionaal Sobek modelinstrumentarium dat gebruikt kan worden bij waterstaatkundige onderbouwing van beleidskeuzes voor de langer termijn. Het onderliggende hydrologisch model is een fijnmazig model met honderden waterlopen. Dit model is onder andere gebruikt voor de potentieberekeningen uitgevoerd voor de Aquathermie Viewer (<http://www.aquathermieviewer.nl>). De modelschematisatie en uitsnede van de Oude Rijn worden getoond in *Figuur 1*. Voor de berekeningen voor Holland Rijnland case studie wordt de hele modelschematisatie gebruikt. De koudelozingen worden alleen toegeschreven aan de modelsegmenten die de Oude Rijn representeren. Voor de uiteindelijke analyse van de koudelozingen wordt er ook alleen gekeken naar de Oude Rijn modelsegmenten.



*Figuur 1* Modelschematisatie van het Nationaal watermodel (links) en uitsnede van de Oude Rijn (rechts, zwarte lijn).

De omvang en verdeling van de koudelozingen 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 warmtecapaciteit 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 temperatuurdaling van 6°C. Deze 6 °C wordt dus gerealiseerd als de watertemperatuur boven de 18°C komt.

De warmteonttrekkingscapaciteit (WOC) is opgebouwd uit twee componenten.

*Stromende wateren*

Voor stromende wateren is de WOC een functie van de afvoer  $Q$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) 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,  $\rho_W$  de dichtheid van zoet water ( $998 \text{ kg}/\text{m}^3$ ),  $c_p$  de warmtecapaciteit van water ( $4195 \text{ J}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$ ) en  $\Delta T$  de temperatuursverhoging. De warmteonttrekkingscapaciteit is een vermogen en wordt uitgedrukt in de dimensie MW ( $=10^6 \text{ W}$ ).

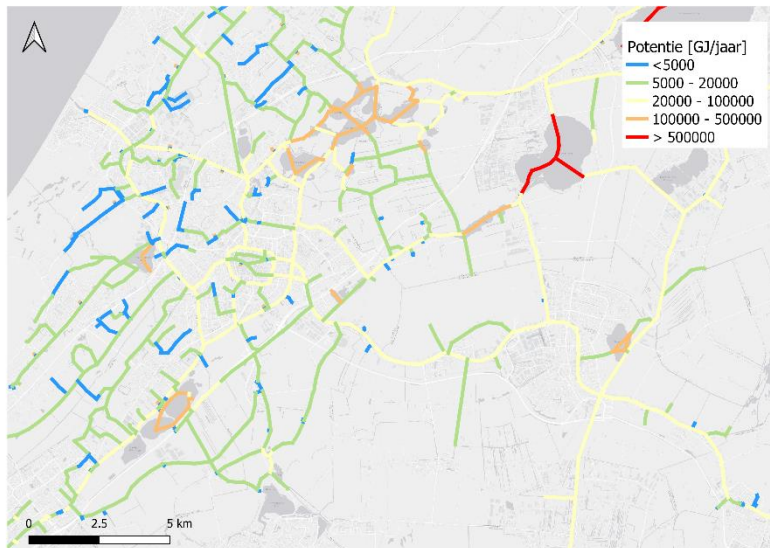
#### Semi-stagnante wateren

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

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

Waarbij  $Z$  het zelfkoelingsgetal is (ook wel de warmteoverdrachtscoëfficiënt genoemd) welke door het model bepaalt wordt, en  $A$  de oppervlakte van het wateroppervlak is (in  $\text{m}^2$ ) en  $\Delta T$  de temperatuursverhoging is.

Aan de hand van de 30-jarige tijdreeks is de variatie in de hoeveelheid te onttrekken warmte over de jaren heen bepaald. Hiermee is het minimum, gemiddelde en maximale onttrekkingscapaciteit voor ieder modelsegment bepaald. Voor deze case studie is de gemiddelde onttrekkingscapaciteit gebruikt om de potentiële warmteonttrekking te bepalen (zie [Figuur 2](#) ~~Figuur-2~~).



Figuur 2 Gemiddelde warmteonttrekkingscapaciteit over de periode 1980-2011.

Voor de warmtevraag van de omliggende CBS buurten zijn we uitgegaan van de netto warmtevraag van 2020 met de volgende uitgangspunten:

- Het warmtevraaggebied moet voldoen aan criteria voor collectieve warmte (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

De buurtselectie is gebaseerd op de warmteprofielen van De WarmteTransitieMakers, waarin de warmtevraag per temperatuurniveau is geclusterd. In deze studie is Lage en Midden Temperatuur buurten (LT/MT buurten) meegenomen.

### Warmteonttrekking (WO)

De warmtevraag van de geselecteerde LT/MT buurten is vervolgens verdeeld over de Oude Rijn en omgezet naar een warmteonttrekking per modelsegment met behulp van een Python routine. In deze routine wordt gekeken welk(e) modelsegment(en) in nabije afstand van de LT/MT buurten liggen waarbij een maximale afstand wordt gehanteerd tussen het modelsegment en buurt afhankelijk van de warmtecapaciteit van het segment met een grenswaarde van 5 km (zie Tabel 2). Hierna wordt in volgorde van afstand de warmtevraag verdeeld over de modelsegmenten binnen de maximum afstand van 5 km tot aan de vraag voldaan is. Hierbij wordt rekening gehouden met de capaciteit van het segment, de toegekende vraag mag niet groter zijn dan de capaciteit van het segment, in dat geval wordt de resterende warmtevraag toegekend aan de andere geselecteerde modelsegmenten. Bij de verdeling wordt er rekening mee gehouden dat de potentiële warmte uit het modelsegment maar één keer benut kan worden. Om de warmtevraag van de buurten gelijkmatig te verdelen over de modelsegmenten wordt de routine 10 maal doorlopen waarbij telkens 10% van de warmtevraag wordt verdeeld.

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 totale warmtevraag is per modelsegment opgeteld en vervolgens omgezet naar een warmteonttrekking en opgelegd als randvoorwaarde in het model. De warmteonttrekking is 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:

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

De onttrekkingen vinden plaats tijdens een vaste periode van 90 dagen (25 mei tot 23 augustus). De toegepaste randvoorwaarden verschillen per scenario.

### Scenario 1

In scenario 1 wordt in drie varianten respectievelijk 100%, 50% en 25% van de warmtevraag van de geselecteerde buurten onttrokken uit de Oude Rijn. De totale gewenste WO per modelsegment is evenredig verdeeld over deze dagen, dus elke dag wordt dezelfde vaste hoeveelheid warmte onttrokken. Het gaat totaal om 51 onttrekkingen opgeteld gelijk aan respectievelijk ca. 187, 94 en 47 MW.

### Scenario 2

Voor scenario 2 zijn de gewenste onttrekking en aantal onttrekkingen gelijk aan scenario 1 maar de dagelijks opgelegde onttrekking in het model gelimiteerd door randvoorwaarden, wat resulteert in een variabele dagelijkse onttrekking. Limitatie is gebaseerd op de berekende WOC in het water. In dit scenario wordt de berekende WOC dagelijks geëvalueerd en wordt de onttrekking hierop gemaximeerd:

$$WO_{toepast} = \min[WOC, (2 * WO_{gewenst})]$$

Om te compenseren voor de dagen dat er minder tot geen warmte onttrokken kan worden, wordt er op dagen dat er voldoende capaciteit beschikbaar is tot maximaal 2 keer de gewenste onttrekking opgelegd als randvoorwaarde.

Voor scenario 2 is er gerekend met 2 verschillende maximale temperatuurdalingen als gevolg van de warmteonttrekking, de default waarde van 6°C (scenario 2a) en een lagere waarde van 3°C (scenario 2b). Een lagere temperatuurdaling verkleint de eventuele impact op de ecologie.

### Scenario 3

Het aantal onttrekkingen voor scenario 3 is gelijk aan de voorgaande scenario's maar de grootte is gelimiteerd a.d.h.v. de Handreiking Koudelozingen (Stowa, 2020). In deze studie wordt de Oude Rijn beschouwd als een langzaam stromend water. Hiervoor geldt dat het lozingsdebiet maximaal 5% van het zomerdebiet mag zijn.

De onttrekkingen zijn gebaseerd op de gewenste onttrekkingen zoals bepaald voor scenario 1. Op basis hiervan is het bijbehorende lozingsdebiet bepaald met de volgende formule:

$$(4) \quad Q_{lozing} = (WO_{scenario\ 1} * 10^6) / c_p / \rho_w / \Delta T$$

Waarbij  $WO_{scenario\ 1}$  de gewenste onttrekking is zoals bepaald voor scenario 1 van de afvoer,  $\rho_w$  de dichtheid van zoet water (998 kg/m<sup>3</sup>),  $c_p$  de warmtecapaciteit van water (4195 J/kg\*°C) en  $\Delta T$  het temperatuurverschil (5°C).

Het lozingsdebiet wordt vervolgens vergeleken met het zomerdebiet om het toegestane lozingsdebiet te bepalen:

$$(5) \quad Q_{lozing, toegestaan} = \min[Q_{lozing, toegestaan}, (0.05 * Q_{lozing, gewenst})]$$

Welke weer wordt omgezet naar een hoeveelheid onttrokken energie per tijdseenheid (in MW<sub>th</sub>).

### *Over Warming Up*

In het collectief WarmingUP ontwikkelen we met achtendertig deelnemers toepasbare kennis, zodat collectieve warmtesystemen betrouwbaar, duurzaam en betaalbaar zijn. Collectieve warmtesystemen in combinatie met duurzame bronnen spelen een grote rol bij het versnellen van de verduurzaming van de gebouwde omgeving. Grootschalige inzet van warmtesystemen wordt gezien als een belangrijke oplossing om de doelstellingen van het Klimaatakkoord te halen en de CO<sub>2</sub>-emissies te reduceren. Systeem- en procesinnovaties zijn nodig voor een efficiënter ontwerp, aanleg en beheer, en een goed samenspel tussen de partijen. WarmingUP wil deze innovaties in samenhang en in hoger tempo ontwikkelen. Het collectief richt zich daarnaast op de ontwikkeling van nieuwe samenwerkings- en financieringsvormen én nieuwe werkwijzen om maatschappelijk draagvlak te realiseren.

<http://www.warmingup.info>