

Aquathermie in Breda

Balanceren tussen energie & ecologie in De Mark

WarmingUP, project 3A
16 december 2022

Aquathermie in Breda

Auteurs

Deltares

Rutger van der Brugge
Daan Rooze
Anton de Fockert
Ronald Roosjen

The Deltares logo consists of the word "Deltares" in a bold, dark blue, sans-serif font.

In samenwerking met:

Gemeente Breda

Jochem Uithoven
Remco Bruurs



Gemeente Breda

Waterschap Brabantse Delta

Frank Pulles



Provincie Noord-Brabant

Silvia van den Heijkant

The logo of Provincie Noord-Brabant, featuring the text "Provincie Noord-Brabant" in white on a red rectangular background.

16 december 2022

Reviewer: Ida de Groot - Wallast

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 CO₂-vrije gebouwde omgeving in 2050.

[Projectnummer](#)

[Keywords](#)

Aquathermie, modellering

[Jaar van publicatie](#)

2022

[Meer informatie](#)

Rutger van der Brugge

T 06 10 40 63 15

E Rutger.vanderBrugge@deltares.nl

Inhoudsopgave

Samenvatting	6
Inleiding	10
1.1. De opgave	10
1.2 Doel van deze studie	10
1.3 Aanpak	11
1.4 Leeswijzer	12
2. Aquathermie in Breda	13
2.1 Transitievisie Warmte	13
2.2 Rol van aquathermie	15
2.3 Ecologie	18
2.4 Balanceren tussen energiedoelen en ecologische doelen	18
3. Potentiële Aquathermie-kavels	19
3.1 Onderzoeksaanpak	19
3.1.1 Identificeren kavels en warmtevraag	19
3.1.2 Modelleren	19
3.1.3 Scenario's	20
3.1.4 Analyse watertemperatuur en bepalen maximale toegestane onttrekking	21
3.2 Resultaten	21
3.2.1 Bepalen potentiële Aquathermie-warmtekavels	21
3.2.2 Selectie kavels	24
3.2.3 Effecten van meervoudige koudelozingen op de watertemperatuur van De Mark	26
3.2.4 Extra iteratie	29
3.3 Conclusies	33
4. 3D-analyse watertemperatuur	34
4.1 Aanpak	34
4.1.1 3D-modelleren	34
4.1.2 Scenario's	37
4.2 Resultaten	38
4.2.1 Temperatuur	38
4.2.2 Stratificatie	39
4.2.3 Cumulatieve effecten	41
4.2.4 Verschil droog en nat jaar	44
4.3 Conclusies	45

5. Beleidsimplicaties voor Aquathermie	47
5.1 Strategienota Aquathermie	47
5.2 Waterenergievisie	48
5.3 Aandachtsgebieden	49
5.4 Vergunningverlening via Waterenergieplan	50
5.5 Additionele maatregelen: tijdelijke beperkingen	50
5.6 Bijdrage aan transitiebeleid Aardgasvrij	50
5. Conclusies en aanbevelingen	52
5.1 Conclusies	52
5.2 Discussie	53
5.2.1 Aquathermie-beleid voor de toekomst	53
5.2.2 Potentiële Aquathermie-kavels	54
5.2.3 Ecologische draagkracht	54
5.2.4 Verschil tussen 1D berekeningen en de 3D berekeningen.	54
5.2.5 Kosten	54
5.2.6 Ruimtelijk inpassing	55
5.3 Aanbevelingen voor Breda	55
6. Bronnen	57
7. Bijlage A Methode 1D berekeningen	58

Samenvatting

Naar verwachting zal in het komende decennium een opschaling in het gebruik van aquathermie plaatsvinden. Het doel van dit WarmingUp-project is om handvatten te bieden voor de doorontwikkeling van het beleid rondom aquathermie. Er dient daarom een aanpak ontwikkeld te worden waarmee de gemeente en het waterschap kunnen anticiperen op een toekomst waarin aquathermie zal opschalen.

De gemeente en het waterschap moeten zoeken naar een balans tussen energie en ecologie. De opschaling van aquathermie vormt mogelijk een risico voor de ecologie en waterkwaliteit, maar tegelijkertijd is die opschaling nodig om de klimaatdoelen te halen. In deze studie is een aanpak ontwikkeld waarmee die balans tussen de klimaatdoelen en natuur- en waterkwaliteitsdoelen gezocht wordt. Daarmee kan een basis gelegd worden voor een aquathermie-strategie voor Breda. Hierbij komen thema's aan de orde als de verdeling van de beschikbare warmte en het voorkomen van grote dalingen in de watertemperatuur. Mogelijke beleidsinstrumenten die de strategie kunnen vastleggen zijn de waterenergievisie en het waterenergieplan.

In deze studie zijn potentiële aquathermie-warmtekavels in Breda geïdentificeerd, waarmee een beeld wordt verkregen van de potentiële opschaling van Aquathermie. Er zijn modelsimulaties uitgevoerd, waarbij de effecten op de watertemperatuur van De Mark zijn bepaald. In een aantal iteraties is zo tot een ruimtelijke verdeling van aquathermie-warmtekavels gekomen, waarbij de temperatuureffecten binnen de grenzen van het beleidskader Koudelozingen blijft en geen ecologische effecten meer worden verwacht. In een tweede ronde van modelsimulaties, dit keer met een 3D-model, zijn ook de stratificatie-effecten en cumulatieve effecten nader onderzocht. Op basis van het onderzoek zijn lessen getrokken met betrekking tot beleid rondom aquathermie met het oog op de mogelijke opschaling. De belangrijkste bevindingen van deze studie zijn hieronder weergegeven.

- Op basis van warmteprofielen voor Breda zijn potentiële aquathermie-warmtekavels te identificeren. De bijbehorende warmtevraag kan bepaald worden met gegevens over de warmtevraagdichtheid. Aan de hand van een aantal iteraties is een uiteindelijke set van potentiële aquathermie-warmtekavels geïdentificeerd, waarbij geen ecologische effecten meer worden verwacht.
- Uit de modelberekening blijkt dat de daling van de watertemperatuur in De Mark minder dan 3°C is, als alle kavels met het lage temperatuurprofiel warmte onttrekken.
- Als alle kavels met een gecombineerd warmteprofiel (van lage en middentemperatuur) warmte onttrekken, dan is de temperatuurdaling op plekken te groot (meer dan 10°C). Een deel van de LT+MT kavels is daarom afgefallen en de kavels zijn in omvang afgeschaald.
- Worden de debietrandvoorwaarden voor vergunningverlening toegepast, dan mag minder warmte onttrokken worden, dan wanneer de hier gehanteerde grenswaarde van 3°C wordt gehanteerd. In het geval van de lage temperatuurkavels kan in het droge jaar 2003 in slechts 82% van de warmtevraag worden voorzien, en in 98% in het natte jaar 2007. Dit komt overeen met ca. 2.889 respectievelijk 3.458 woningen.

- Worden die randvoorwaarden toegepast op de gecombineerde kavels, dan kunnen ca. 4.443 woningen in Breda uit De Mark verwarmd worden met Aquathermie. Als 2007 maatgevend zou zijn, dan zouden dat ca. 8.185 woningen zijn, omdat de toegestane debieten, waaraan warmte onttrokken mag worden, dan groter mogen zijn.
- Uit de 3D-modelberekeningen blijkt dat het water na lozing een tijd gestratificeerd kan blijven. De stratificatie is niet statisch, maar kan tot een dag lang blijven bestaan. Deze stratificatie heeft effect op maximale afkoeling en de regeneratie.
- De maximale cumulatieve afkoeling door de verschillende lozingen is tussen de -2.2°C en -3.9 °C voor een droog jaar en tussen de -1.4°C en -4.4 °C voor een nat jaar. Deze maximale afkoeling vindt voor de gesimuleerde aquathermiesystemen plaats benedenstrooms van het centrum van Breda.
- Deze 3D-model-resultaten nuanceren de 1D-modelresultaten dus iets en dit kan aanleiding zijn om de omvang van die warmtekavels te verkleinen. Doordat het maximale cumulatieve temperatuurseffect groter is dan de gehanteerde 3°C, zouden de debieten van sommige aquathermiesystemen in principe moeten worden terug geschaald.
- Echter, dit is een zeer lokaal en tijdelijk effect nabij een lozingspunt. Bovendien is de gesimuleerde periode een zeer droge periode in een zeer droog jaar (2003). Deze periode hoeft daarom niet per se als maatgevend beschouwd te worden.
- Omdat de Mark een relatief klein en ondiep water is met een beperkte doorstroming, heeft de variatie in luchttemperatuur en zoninstraling een behoorlijke invloed op de watertemperatuur. Door zoninstraling varieert de watertemperatuur gedurende de dag al met zo'n 1°C.

Op dit moment is de toepassing van aquathermie nog relatief kleinschalig in Breda. Op korte termijn is er veel ambitie om aquathermie te stimuleren. Elders in Nederland zijn al situaties bekend waarin er meerdere warmte-onttrekkingen uit dezelfde watergang gepland zijn en waarbij cumulatieve effecten op kunnen treden. Gezien de ambitieuze doelstellingen van het Klimaatakkoord zal dit naar verwachting vaker voor gaan komen.

Opschaling van aquathermie vraagt daarom om een doorontwikkeling van het beleid. Twee instrumenten zouden daarin een rol kunnen spelen: een *waterenergievisie* en een *waterenergieplan*. De waterenergievisie zou een nadere uitwerking kunnen zijn van de Strategienota Aquathermie. Daarin kunnen drie typen of watergangen aangewezen worden: voorkeursgebieden, uitsluitingsgebieden en aandachtsgebieden. Voor de drie typen kunnen verschillende beleidsregimes gelden. Aandachtsgebieden zijn gebieden met waterlichamen waar potentieel een grotere warmtevraag is dan warmteaanbod en een risico op overbelasting aanwezig is. Daar geldt dat er getoetst moet worden op cumulatieve effecten (waarbij het optreden van stratificatie moet worden meegenomen). Dit kan op twee manieren: via het wie-het-eerst-komt-wie-het-eerst-maakt principe of via een waterenergieplan. In het eerste geval is er voor initiatiefnemers die later komen geen vergunningsruimte meer als de daling van de temperatuur te groot is geworden. Een verdelingsprincipe middels een waterenergieplan bepaalt de ruimte aan de voorkant, op basis van een verdeling van aquathermie-warmtekavels. De aanpak die in deze studie is ontwikkeld kan daarvoor gebruikt worden. Nadeel van deze aanpak is dat de warmtekavels bekend moeten zijn, maar dat deze nog niet aangewezen. Andersom, kan een waterenergieplan juist ook een eerste stap zijn in het concretiseren van de bronnenstrategie en indeling van warmtekavels.

Tot slot, zou het verstandig zijn om beleidsbepalingen te ontwikkelen om tijdelijke beperkingen bij lage debieten af te kunnen kondigen. Dat kan grote dalingen in de watertemperatuur en impact op het ecosysteem voorkomen. In het beleid moet bovendien worden opgenomen wat als maatgevend debiet gehanteerd moet worden. Het zomergemiddelde debiet als uitgangspunt biedt geen garantie op het voorkomen van (te) grote temperatuurdalingen. Daarnaast kunnen ook nog bepalingen worden opgenomen over de periode waarin warmte-onttrekkingen mogen plaatsvinden. Door het onttrekkingsseizoen op te rekken (bijvoorbeeld tot eind september) kan er meer warmte worden onttrokken en kunnen de warmtekavels in principe nog verder uitgebreid worden.

Op basis van deze studie worden de volgende aanbevelingen gedaan:

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

In Breda is er potentie voor aquathermie. Benut de potentie van deze warmtebron door projecten te initiëren en te faciliteren. Zorg ervoor dat de projecten gemonitord worden, zodat meer inzicht verkregen kan worden in de effecten op de watertemperatuur, de impact van filtering en stroming en daarmee op de ecologie.

2. Maak gebruik van het hydrologisch model om extra scenario's door te rekenen

Met het ontwikkelde 3D-model kunnen een aantal extra onderzoeken gedaan worden. Relevante vervolgvragen die uit dit onderzoek naar voren komen zijn, o.a.

- De extra hoeveelheid warmte die gewonnen kan worden als de onttrekkingen langer zouden doorgaan (bijvoorbeeld tot eind september)
- De omvang van de warmtekavels wanneer de woningen en gebouwen aangesloten worden op een bronnet met warmte-koudeopslag (wko) en aquathermie gebruikt wordt om de wko in balans te houden.
- De effecten op de watertemperatuur bij gebruik van aquathermie voor de (her)ontwikkeling van 't Zoet.

2. Maak voor Breda een nadere uitwerking van de beleidslijn aquathermie door een waterenergievisie en eventueel waterenergieplannen te maken.

Het uitwerken van een waterenergievisie kan duidelijkheid geven aan zowel de gemeente als het waterschap met betrekking tot deze bron en de warmtekavels. In de waterenergievisie kunnen de voorkeurslocaties, uitsluitingslocaties en aandachtsgebieden worden opgenomen. De aanwezigheid van andere warmtebronnen in de omgeving, of het gebrek daaraan zou als extra criterium meegenomen kunnen worden bij het aanwijzen van voorkeurs- of uitsluitingslocatie. Op de korte termijn lijkt er nog geen directe aanleiding te zijn om al waterenergieplannen op te stellen. Er zijn nog maar weinig aquathermie-projecten. Het wordt wel aanbevolen om de aanvragen en plannen in de gaten te houden en op tijd een waterenergieplan op te stellen, afhankelijk van het tempo van opschaling. Er zal niet alleen naar De Mark gekeken moeten worden, maar ook naar de andere wateren in Breda. De waterenergievisie (en eventuele waterenergieplannen) zou gezamenlijk opgesteld moeten worden door het waterschap en de gemeente.

3. Concretiseer de potentiële opschaling van aquathermie ten behoeve van het energietransitie-beleid.

In deze studie is bij de selectie van potentiële aquathermie-warmtekavels geen rekening gehouden met andere warmtebronnen, energielabelsprongen of andere overwegingen, zoals de woningbouwcorporaties, lopende initiatieven en draagvlak onder bewoners. Door die informatie toe te voegen wordt een nog beter en verfijnder beeld verkregen van de potentiële kavels. De effecten daarvan op de watertemperatuur kunnen eenvoudig worden doorgekend met het voor deze studie opgezette hydrodynamische model. Verschillende scenario's kunnen doorgerekend worden waarmee een bedrag geleverd wordt aan de verdere uitwerking van de transitievisie warmte en wijkuitvoeringsplannen.

4. Breid de toetsingscriteria voor vergunningverlening uit.

Er wordt aangeraden om bij de vergunningverlening, naast het zomergemiddeld debiet, ook te toetsen op maatgevende lage debieten en cumulatieve effecten. Dit kan bijvoorbeeld met behulp van modelberekeningen. Geadviseerd wordt het toegestane onttrekkingsdebiet van 10% van het zomergemiddeld debiet te herijken, omdat het een risico geeft op grote temperatuurdalingen. Daarnaast wordt geadviseerd de het cumulatieve effect van lozingen te toetsen.

5. Nader onderzoek naar mogelijkheden om effecten te beperken.

Er wordt geadviseerd om nader onderzoek te (laten) doen naar mogelijkheden om effecten te beperken. In relatie tot het technisch ontwerp kan onderzoek gedaan worden naar de wijze van koudelozingen om stratificatie zoveel mogelijk tegen te gaan, bijvoorbeeld door te zorgen voor extra turbulentie waardoor het sneller opmengt. In relatie tot beleidsinstrumenten zou uitgezocht moeten worden of het gericht en tijdelijk beperking van warmte-onttrekkingen mogelijk is, indien de watertemperatuur teveel daalt. Er dient nader onderzoek te komen onder welke voorwaarden dat soort beperkingen opgelegd zouden kunnen worden.

Inleiding

1.1. De opgave

Het Nationale Programma Verduurzaming Gebouwde Omgeving stelt als doel om 500.000 woningen in Nederland aan te sluiten op collectieve warmtenetten. Redelijkerwijs is daarom ook een opschaling in het gebruik van aquathermie te verwachten. Opschaling van aquathermie betekent meer aquathermieprojecten en grotere systemen. Dat betekent ook meer en grotere koudelozingen op het water met mogelijke gevolgen hebben voor de ecologie. Kortom, er dient naar een balans gezocht worden tussen de hoeveelheid warmte die gewonnen ten behoeve van de energietransitie en de daling van de watertemperatuur met effecten op de ecologie.

Uit een eerdere quickscan¹ die binnen dit WarmingUP-project is uitgevoerd bleek dat:

- de warmtecapaciteit van De Mark ligt rond de 1,1 miljoen GJ/jr. Hiermee zouden ca. 35.000 woningen verwarmd kunnen worden.
- indien bij de plannen van destijds - de herontwikkeling van het Havenkwartier en Gasthuisvelden - gebruik gemaakt zou worden van aquathermie, dan zou slechts ca. 12,5% van de warmtecapaciteit gebruikt worden. Er zou daarna dus nog capaciteit over zijn.
- De wijk Fellenoord niet de meest voor de hand liggende buurt zou zijn om aquathermie toe te passen vanwege de relatief oude, slecht geïsoleerde woningen (met uitzondering van de delen die worden heringericht).

Vanwege deze overwegingen werd geadviseerd om nader uit te werken welke buurten ('kavels') nog meer geschikt zouden zijn voor aquathermie en om daar een rangschikking in aan te brengen.

In deze vervolgstudie is dat gedaan. Daarmee is een beeld ontstaan van wat de opschaling van aquathermie voor Breda zou kunnen betekenen. Tegelijk is ook duidelijk geworden dat er een risico bestaat op overbelasting van De Mark: dat er teveel warmte wordt onttrokken en de ecologie daaronder kan gaan lijden. In deze vervolgstudie is daarom een aanpak ontwikkeld om de balans te vinden tussen de opschaling van aquathermie en de waarborging van ecologische kwaliteit.

1.2 Doel van deze studie

Het doel van dit (onderzoeks)project is om handvatten te bieden voor de doorontwikkeling van het beleid rondom aquathermie in Breda. Daarvoor dient een aanpak ontwikkeld te worden waarmee gemeenten en waterschappen kunnen anticiperen op een toekomst waarin aquathermie zal opschalen. Deze opschaling heeft mogelijk ecologische gevolgen voor het watersysteem, maar is tegelijkertijd nodig om de klimaatdoelen te halen. Dit vraagt om het zoeken naar een balans tussen de het energietransitie-beleid en het natuur- en waterkwaliteitsbeleid. Het huidige beleid rond aquathermie is daar nog niet op toegerust. Het is met name gericht op individuele lozingen en moet verder uitwerkt worden met betrekking cumulatieve effecten. In deze studie werken we een aanpak uit waarmee we dergelijke beleid vorm zouden kunnen geven en doen we aanbevelingen voor beleidsinstrumenten en maatregelen. Daarmee kan een basis worden gelegd voor een mogelijke aquathermie-strategie voor Breda, rondom De Mark. De totale warmtevraag van Breda is namelijk groter dan de warmtecapaciteit van De Mark en roept de vraag op: hoe verdelen we de beschikbare

¹ Zie memo ...

warmte in De Mark zo slim mogelijk over de stad? In dit onderzoek staan de daarom de volgende onderzoeksvragen centraal:

1. *Welke buurten (kavels) komen in aanmerking voor aquathermie?*
2. *Hoeveel warmte kan uit De Mark gewonnen en hoe kan dat worden verdeeld?*
3. *Wat is het effect van koudelozingen op de watertemperatuur van De Mark?*
4. *Wat zijn de beleidsimplicaties van de opschaling van aquathermie?*

1.3 Aanpak

In deze studie is nauw samengewerkt met de gemeente Breda, Waterschap Hollandse Delta en de Provincie Noord-Brabant. In deze studie zijn onderstaande stappen doorlopen:

1. *Bepalen van potentiële Aquathermie-kavels in Breda*
2. *Analyse van de (cumulatieve) effecten op de watertemperatuur*
3. *Resultaten doorvertalen naar waterbeleid en energietransitie-beleid*

Stap 1. Het bepalen van potentiële Aquathermie-warmtekavels in Breda

In deze stap zijn potentiële Aquathermie-kavels geïdentificeerd aan de hand van informatie over de warmtevraagprofielen van woningen in de gemeente. Met behulp van een 1D hydrologisch rekenmodel zijn de bijbehorende warmteonttrekkingen (koudelozingen) gesimuleerd. Dit model berekent de gemiddelde temperatuurdaling over segmenten van 500 meter na een onttrekking van warmte (thermische energie). Het is daarmee een relatief grof model, waarmee relatief gemakkelijk en snel een groot aantal sommen gemaakt kan worden. In een aantal iteraties, waarbij de kavels en delen van kavels zijn afgevalen, is tot een set van potentiële Aquathermie-kavels gekomen, waarbij de temperatuurdalingen binnen de grenzen zoals opgenomen in het beleidskader koudelozingen blijven.

Stap 2. Analyse van de (cumulatieve) effecten op de watertemperatuur

In deze stap zijn diezelfde warmteonttrekkingen uitgebreider geanalyseerd met behulp van een 3D hydrodynamisch model. Met dit gedetailleerde model kan het effect van stratificatie door de koudelozingen onderzocht worden. Dit stratificatie-effect is van belang, omdat een koudelozing de neiging heeft om naar de bodem te zakken. Dit kan betekenen dat er op de bodem lagere temperaturen kunnen ontstaan dan wat het 1D-model berekent. Omdat de koude onderin zit en de warme water bovenin blijft, wordt het water ook minder snel opgewarmd door de zon (regeneratie), waardoor de effecten van koudelozing langer merkbaar zijn. Ook de wijze van lozing (bovenin of over de hele waterkolom) is meegenomen. Tot slot zijn de cumulatieve effecten van meerdere onttrekkingen achter elkaar in beeld gebracht. Het 3D-model is gedetailleerder, maar vergt ook meer rekentijd. Daarom is gekozen voor deze getrapte 1D- en 3D-modelaanpak. In hoofdstuk 3 en 4 worden de verschillende modelleringen uitgebreider beschreven.

Stap 3. Resultaten doorvertalen naar waterbeleid en energietransitie-beleid

Op basis van resultaten van de 1D- en 3D-modelanalyses zijn de beleidsimplicaties uitgewerkt. Er wordt aandacht besteed aan hoe de beleidslijn aquathermie die door het waterschap is opgesteld verder geconcretiseerd zou kunnen worden met een waterenergievisie en waterenergieplannen voor aandachtsgebieden. Er wordt ook besproken hoe dit aan vergunningverlening gekoppeld zou kunnen worden en hoe dat tot een proactieve rol kan leiden met betrekking tot energietransitiebeleid.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de context geschetst waarin deze studie plaatsvindt. Er wordt ingegaan op de Transitievisie Warmte van Breda en de rol die aquathermie is zou kunnen spelen. In hoofdstuk 3 wordt beschreven hoe bepaald kan worden welke warmtekavels geschikt zouden zijn voor aquathermie. In hoofdstuk 4 worden de resultaten beschreven van de analyse over het effect van de warmte-onttrekkingen op de watertemperatuur. In hoofdstuk 5 worden de implicaties daarvan voor beleid beschreven. In hoofdstuk 6 worden de belangrijkste conclusies beschreven en bediscussieerd. Daaruit volgen aanbevelingen voor de Gemeente Breda, Hoogheemraadschap Brabantse Delta en Provincie Noord-Brabant.

2. Aquathermie in Breda

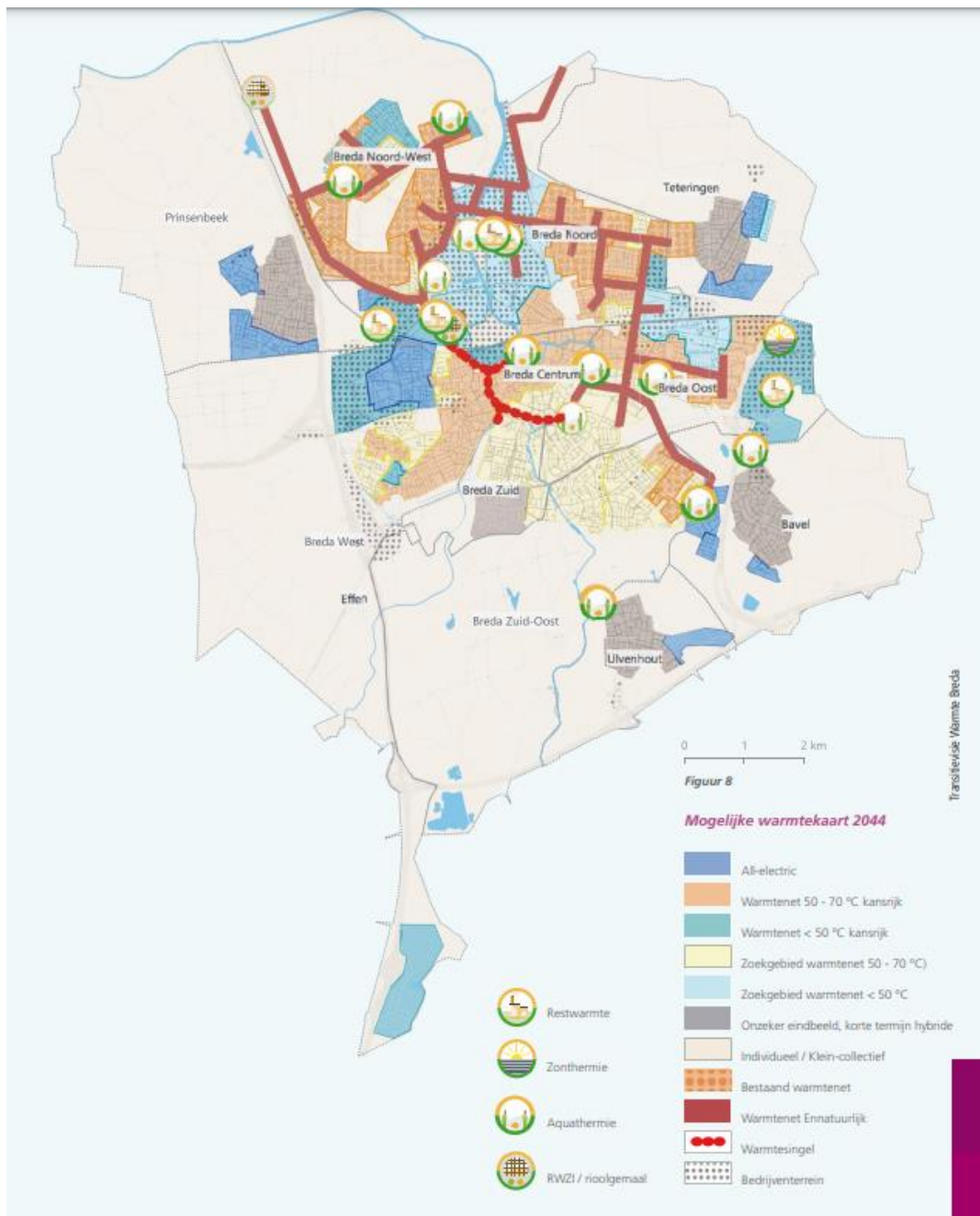
In dit hoofdstuk wordt in gegaan op de warmtetransitie in Breda en de mogelijke rol die voor Aquathermie daarin is weggelegd. De gemeente heeft haar visie daarop vastgelegd in de Transitievisie Warmte.

2.1 Transitievisie Warmte

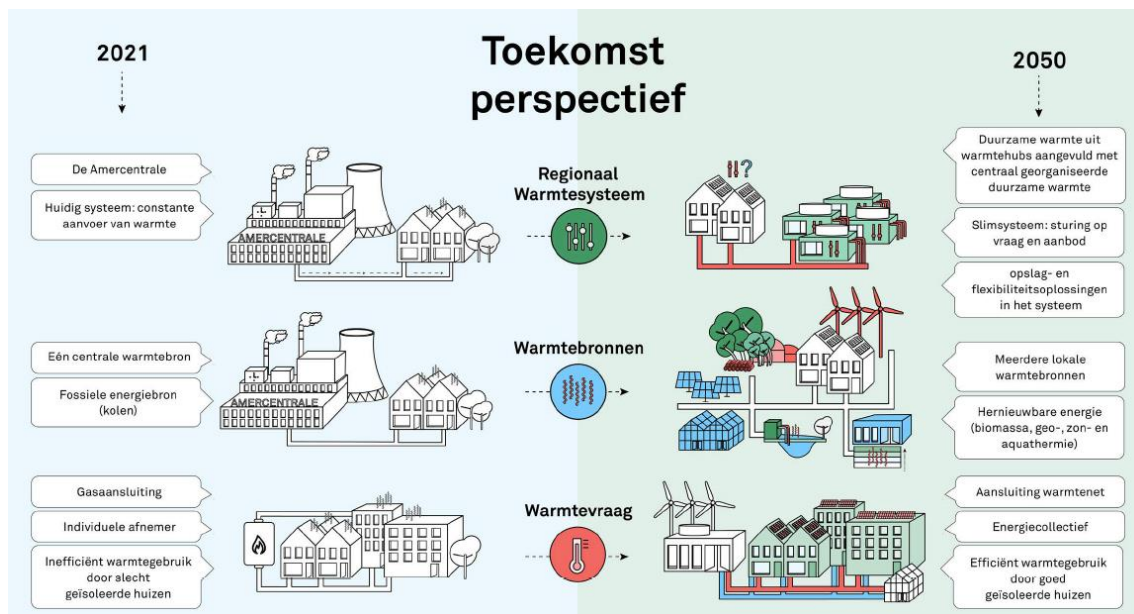
In de Transitievisie Warmte (TVW) geeft Breda invulling aan de afspraken die zijn gemaakt in het Klimaatakkoord. In het Klimaatakkoord maatregelen vastgelegd om klimaatverandering tegen te gaan. Afsproken is om de uitstoot van broeikasgassen in 2030 met 55% en in 2050 met 95% teruggedrongen te hebben ten opzichte van 1990. In 2050 moet de uitstoot van broeikasgassen met 95% verminderd zijn. Breda heeft de ambitie uitgesproken en vastgesteld om al in 2044 een CO₂ neutrale stad te zijn. Daartoe worden drie programmalijnen gevold:

- Aardgasvrij: het streven is om in 2030 tussen de 4.000 en 6.000 woningen en utiliteitsgebouwen (extra) aardgasvrij te hebben gerealiseerd.
- Aardgasvrij-ready: het streven is om tot 2030 11.000 extra woningen en utiliteitsgebouwen te isoleren tot een label A of B.
- Kook en warmwater vrij: aardgasvrij maken van woningen die verwarmd worden vanuit het Amernet.

Breda heeft de ambitie uitgesproken om in 2044 al volledig overgeschakeld te zijn op duurzame warmte. Daarvoor is richtinggevend toekomstbeeld geschetst, de warmtekaart 2044 (figuur 2.1). De gemeente actualiseert de TVW minimaal eens in de vijf jaar. Onderdeel daarvan is verduurzamen van het Amernet. In februari 2021 is daarvoor een eerste transitieplan opgeleverd, waarin onder andere gekeken naar de toekomstige warmtevraag, behoeften en beschikbaarheid van duurzame bronnen (figuur 2.2).



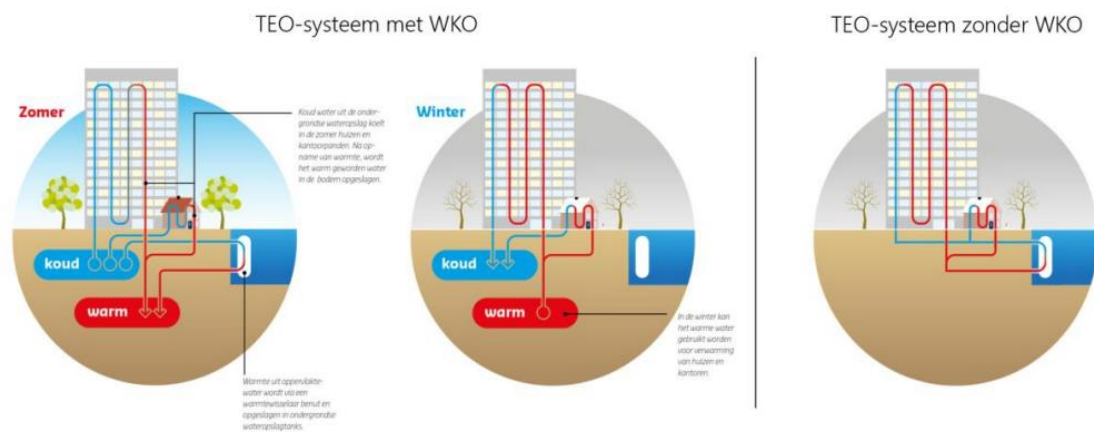
Figuur 2.1. Mogelijke warmtekaart 2044 (Bron: Transitievisie Warmte Breda)



Figuur 2.2. Transitieplan Amernet

2.2 Rol van aquathermie

Aquathermie kan een bijdrage leveren aan het aergdasvrij maken van gebouwde omgeving. De warmte (thermische energie) die in het oppervlaktewater aanwezig is, kan gewonnen worden en als warmtebron dienen voor gebouwen en woningen. De warmte uit het oppervlaktewater wordt via warmtewisselaars uit het water gehaald en gebruikt om gebouwen te verwarmen of de warmte wordt tijdelijk opgeslagen in het grondwater van 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 zou kunnen leveren. De meeste geïsoleerde woningen kunnen goed verwarmd worden met een temperatuur van 70 °C. Uit recent onderzoek blijkt zelfs dat veel woningen op 55° graden voldoende verwarmd kunnen worden. Dit zou betekenen dat de capaciteit van warmtepompen lager mag zijn en dat scheelt aanzienlijk in de kosten.

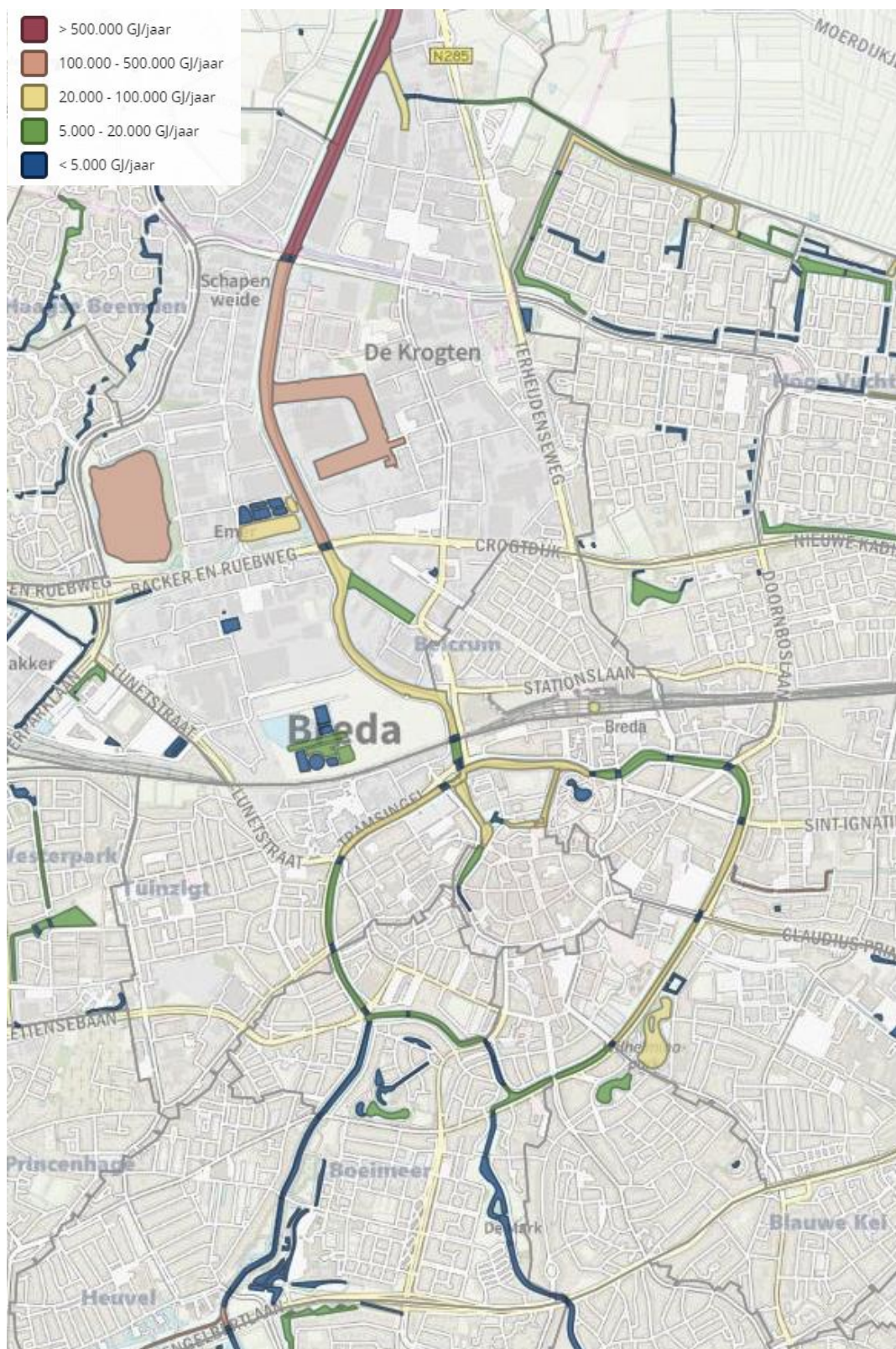


Figuur 2.3. Schematische weergave van de werking van een TEO-systeem met én zonder WKO.

Aquathermie kan zonder of in combinatie met een warmte-koude opslag (WKO) systeem worden toegepast (zie figuur 2.3). 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. In Breda is dit echter niet het geval.

In Breda wordt aquathermie reeds op kleine schaal toegepast, bijvoorbeeld bij het gerechtsgebouw. Daarnaast waren er plannen om bij de herontwikkeling van het Havenkwartier/Crossmark aquathermie toe te passen. Figuur 2.4 laat een uitsnede zien van warmtecapaciteit in het oppervlaktewater in Breda wanneer het water 3°C zou worden afgekoeld gedurende de zomermaanden. De totale warmtecapaciteit van De Mark binnen de gemeentegrenzen van Breda wordt op zo'n 1,1 miljoen GJ/jr geschat.

Met name De Mark biedt potentie voor toepassing van aquathermie. Het grootste debiet stroomt via de westelijke tak van de singel. De aanleg van de Nieuwe Mark zorgt voor een andere verdeling van het debiet over de drie takken. Dit zou invloed kunnen hebben op de ingeschatte capaciteit van de westelijk en oostelijke singel. Andere locaties waar oppervlaktewater aanwezig is met voldoende capaciteit zijn De Asterplas en De Plas in Brabantpark. De plassen boven en onder Bavel en de Plas Wilhelminapark zijn ook kansrijk voor de inzet van aquathermie (Transitie Warmte, 2022).



Figuur 2.4. Warmtecapaciteit op verschillende segmenten van De Mark. Bron: www.aquathermievviewer.nl

2.3 Ecologie

Wanneer de warmte uit het oppervlaktewater wordt onttrokken (gewonnen) daalt de temperatuur van het water en het gekoelde water wordt teruggebracht in de watergang (koudelozing). Afhankelijk van de omvang van die koudelozing, de duur van die lozing, de verspreiding van de lozing en het seizoen kan de koudelozing impact hebben op de ecologie. Er kan dus niet ongelimiteerd warmte uit het watersysteem gewonnen worden. Wat er bekend is over de relatie tussen watertemperatuur en de ecologie is vastgelegd in Harezlak (2021) en Harezlak (2022). Omdat er op dit vlak nog hiaten in kennis zijn, bijvoorbeeld over de doorwerking van temperatuureffecten in het voedselweb is nader onderzoek nodig in de vorm van ecologische monitoring, zoals voorgesteld in Wortelboer & Harezlak. (2020). Het beleidskader Koudelozingen is daarom gebaseerd op het voorzorgsprincipe en stelt eisen aan de maximale afkoeling, zodat ecologische impact beperkt mag worden verondersteld. Mogelijk kan afkoeling ook een positieve bijdrage leveren aan het water- en ecosysteem. Het beleidskader zal op basis van de laatste inzichten naar verwachting in 2023 een update krijgen. In deze studie wordt gestuurd op een maximale toegestane afkoeling van het watersysteem met 3 graden, waar het beleidskader een afkoeling van 4 graden hanteert. De inschatting van de mogelijkheden is daarmee aan de veilige kant.

Naast afkoeling heeft de filtering van het onttrokken water en de introductie van stroming mogelijk ook gevolgen voor de ecologie. In deze studie wordt ervan uitgegaan dat temperatuureffecten maatgevend zijn voor de ecologische impact en daarmee voor de warmtecapaciteit van het watersysteem.

2.4 Balanceren tussen energiedoelen en ecologische doelen

Eenzijds kan de warmte uit het water gebruikt worden om de doelen met betrekking tot de energietransitie te realiseren, anderzijds moet dat niet ten kosten gaan van de doelen met betrekking tot ecologische waterkwaliteit. Dat betekent dat er naar een balans gezocht moet worden: die hoeveelheid warmte mag onttrokken zonder de ecologische draagkracht van het watersysteem te schaden.

In deze studie gaan we op zoek naar die balans. We bepalen waar aquathermie in Breda in potentie toegepast zou kunnen worden, de zogenaamde aquathermie-warmtekavels. We modelleren de warmteonttrekkingen en bepalen de dalingen in de watertemperatuur. De temperatuurdalingen gelden als indicator voor ecologische impact, zoals in de vorige paragraaf toegelicht. We zoeken vervolgens naar die hoeveelheid warmteonttrekking die binnen de grenzen zoals gehanteerd in dit onderzoek blijft.

3. Potentiële Aquathermie-kavels

Om beter in beeld te krijgen wat de bijdrage van aquathermie aan de energietransitie van Breda zou kunnen zijn, moet eerst duidelijk worden waar aquathermie toegepast zou kunnen worden. Om hier antwoord op te geven is verkend welke warmtekavels in aanmerking zouden (kunnen) komen voor Aquathermie uit De Mark. In deze stap proberen we antwoord te geven op de onderzoeksvragen:

1. *Welke buurten (kavels) komen in aanmerking voor aquathermie?*
2. *Hoeveel warmte kan uit De Mark gewonnen en hoe kan dat worden verdeeld?*

Aan de hand van de 1D-modelberekeningen kunnen de effecten van warmte-onttrekkingen van de aquathermie-warmtekavels op de watertemperatuur berekend worden, waardoor het duidelijk wordt of de belasting niet te groot wordt. Doel van deze stap is om via een aantal iteraties te bepalen welk deel van deze warmtekavels potentiële aquathermie-warmtekavels zijn, waarbij tegelijk rekening gehouden wordt met de warmtecapaciteit van De Mark.

3.1 Onderzoeksaanpak

Om antwoord te kunnen geven op de onderzoeksvragen is onderstaande methode toegepast.

3.1.1 Identificeren kavels en warmtevraag

De eerste stap in de aanpak is het identificeren van buurten, of delen van buurten, die in aanmerking zouden komen voor aquathermie. Deze zogenaamde potentiële aquathermie-warmtekavels volgen niet automatisch de buurtgrenzen, omdat binnen de buurt de eigenschappen van bebouwing kunnen verschillen. Als uitgangspunt voor de bepaling van de kavels is daarom gebruik gemaakt van de provinciale en gemeentelijke data over warmtevraagprofielen en warmtevraagdichtheid. De warmteprofielenkaart geeft per gebouw aan of het geschikt is voor een lage temperatuur, midden-temperatuur of hoge temperatuur warmtenet. In deze studie is ervan uitgegaan dat gebouwen geschikt voor lage temperatuur en midden-temperatuur in aanmerking komen voor aquathermie. Op basis daarvan zijn gebouwen geclusterd in potentiële aquathermie-warmtekavels. De omvang van de warmtevraag is bepaald met gegevens over de warmtevraagdichtheid.

3.1.2 Modelleren

Voor deze doorrekening is gebruik gemaakt van hydrologisch 1D-model (Sobek). In dit model wordt de gemiddelde temperatuurdaling berekend voor segmenten van 500m. Daarmee is dit model relatief grof. Ook worden temperatuurgradiënten over de breedte en de diepte van het watersysteem niet meegenomen. Er wordt aangenomen dat de koudelozing zich volledig mengt met het (warmere) omliggende water. Omdat de 1D-modelleren eenvoudiger is dan gedetailleerdere 3D-modelleren is minder reken capaciteit nodig. Daardoor is mogelijk om een hele seizoen door te rekenen in plaats van slechts enkele dagen. Dit heeft als voordeel dat de temperatuurdalingen over het hele seizoen te analyseren zijn. Voor een eerste indicatie van de gevolgen van warmteonttrekkingen (koudelozingen) van de beide kavelsets op de watertemperatuur volstaan 1D-berekeningen.

Voor de schematisering van De Mark is gebruik gemaakt van de schematisering uit het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium van het zuiden van Breda tot aan Terheijden. Hierbij wordt ook rekening gehouden met de instroom van zijrivieren en kanalen, zoals het Markkanaal. De Nieuwe

Mark door het centrum is in dit model niet meegenomen. In de 3D-modellering (hoofdstuk 4) is dat wel meegenomen, echter, voor de warmtecapaciteit maakt dit geen groot verschil omdat het totale debiet hetzelfde blijft.



Figuur 3.1: Situatieschets van de Mark bij Breda inclusief benaming van de waterwegen.

3.1.3 Scenario's

Met behulp van het hydrologisch model zijn de effecten op de watertemperatuur berekend als gevolg van de meervoudige koudelozing op De Mark. Het aantal dagen er onttrokken mag worden is vastgezet op een periode van 90 dagen, van 25 mei tot 23 augustus. De hoeveelheid warmte die onttrokken mag worden verschilt per scenario. De volgende twee scenario's zijn onderscheiden:

1. *Scenario 1 Maximale warmte-onttrekking, bovengrens*
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.
2. *Scenario 2. Warmteonttrekking volgens Handreiking Vergunningverlening Koudelozing*
In het tweede scenario is de Handreiking Vergunningverlening Koudelozing (Stowa, 2021) als uitgangspunt genomen. De randvoorwaarden voor De Mark zijn niet geheel eenduidig. Voor lijnvormige, stomende waren en beken geldt dat 10% van het gemiddeld zomerdebiet gebruikt mag worden voor de warmtewinning, voor kleine vaarten geldt 5%. Daarnaast geldt dat de uitgaande koudelozing maximaal 5°C afgekoeld mag zijn ten opzichte van de achtergrond. In dit scenario een veilige marge gekozen, namelijk 5% van het gemiddeld zomerdebiet met een maximale ΔT van 5°C.

3.1.4 Analyse watertemperatuur en bepalen maximale toegestane onttrekking

De scenario's zijn doorgerekend, waarbij gesimuleerd is dat alle Aquathermie-warmtekavels warmte onttrekken van De Mark. De effecten van de koudelozingen op de watertemperatuur zijn berekend en geanalyseerd. Hierbij worden naar de volgende aspecten gekeken:

- de temperatuurdalingen in De Mark
- de fluctuaties van de temperatuurdalingen over het seizoen
- de verschillen tussen een droog en nat jaar
- de hoeveelheid warmte die in de verschillende scenario's kan worden gewonnen

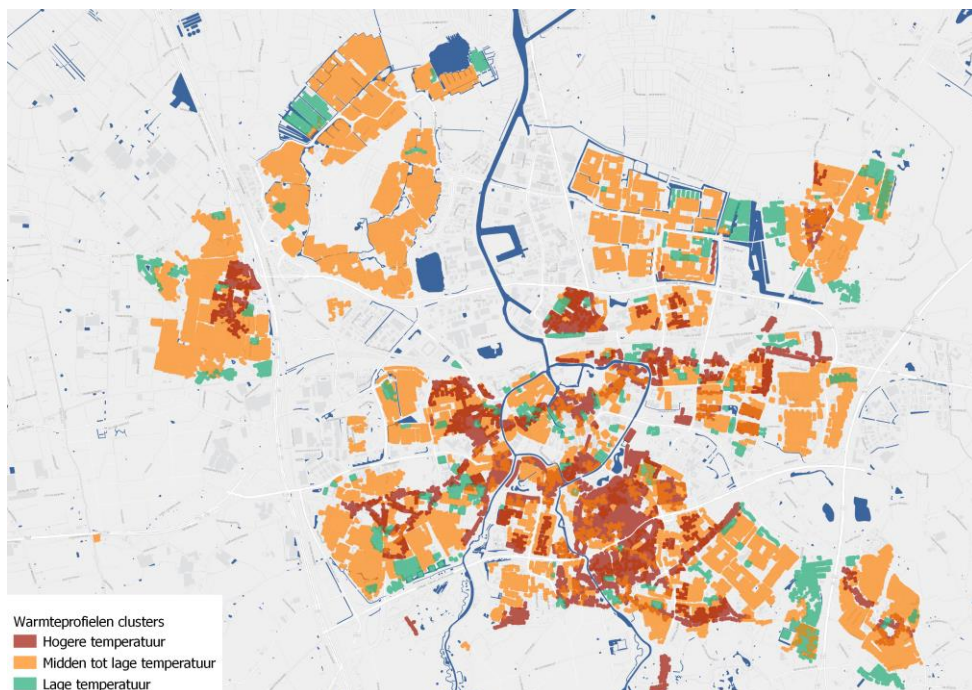
Als de temperatuurdalingen te groot werden, zijn aan de hand van criteria, de minder kansrijke kavels weggestreept en de berekeningen opnieuw uitgevoerd (zie h3.2.2). In een aantal iteraties is zo tot een selectie van kavels gekomen die binnen de temperatuurrandvoorwaarde blijft, zoals gehanteerd voor deze studie (zie h2.3).

3.2 Resultaten

3.2.1 Bepalen potentiële Aquathermie-warmtekavels

Als uitgangspunt voor de bepaling van de kavels is gebruik gemaakt van de provinciale en gemeentelijke data over warmtevraagprofielen (fig 3.1). De warmteprofielenkaart geeft per gebouw aan of het geschikt is voor een lage temperatuur, midden-temperatuur of hoge temperatuur warmtenet. Op basis daarvan zijn clusters gemaakt van aaneensluitende gebouwen die geschikt zijn voor lage temperatuur en midden-temperatuur warmtenetten. Daarbij is gestreefd naar logische clusters door rekening te houden met obstakels zoals brede wegen, bruggen, etc. Er zijn twee sets van warmtekavels geselecteerd:

1. Kavelset 1 bestaat uit logische clusters van gebouwen geschikt voor alleen lage temperatuur warmtenetten (LT kavels);
2. Kavelset 2 bestaat uit logische clusters van gebouwen geschikt voor lage temperatuur én midden temperatuur warmtenetten (LT+MT kavels).



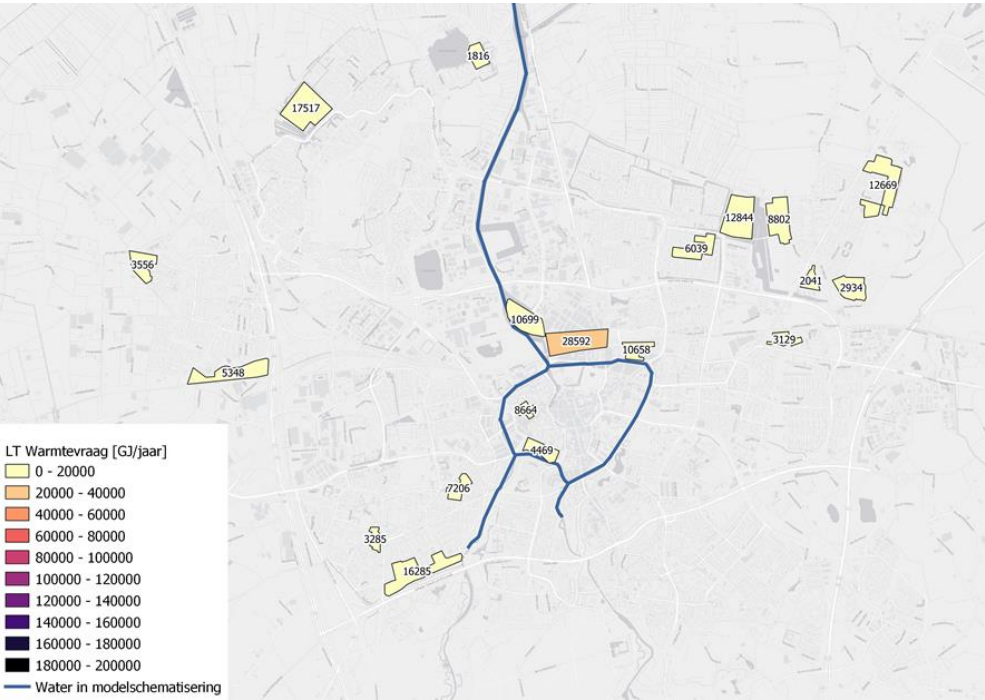
Figuur 3.1. Warmteprofielclusters in Breda. De warmteprofielenkaart is te vinden op het warmtebronnenregister van de Provincie Noord-Brabant.

De omvang van de warmtevraag van een kavel is bepaald op basis van gegevens over de warmtevraagdichtheid. De Warmtetransitiemakers hebben voor Breda de CBS-gegevens over de warmtevraag op buurtniveau doorvertaald naar de warmtevraag op gebouw- en woningen-niveau aan de hand van gebouwkenmerken (figuur 3.2). Daarmee is het mogelijk om de warmtevraag per kavel te berekenen aan de hand van de het oppervlak van de kavel. Dit is gedaan voor alle LT-kavels en LT+MT-kavels.

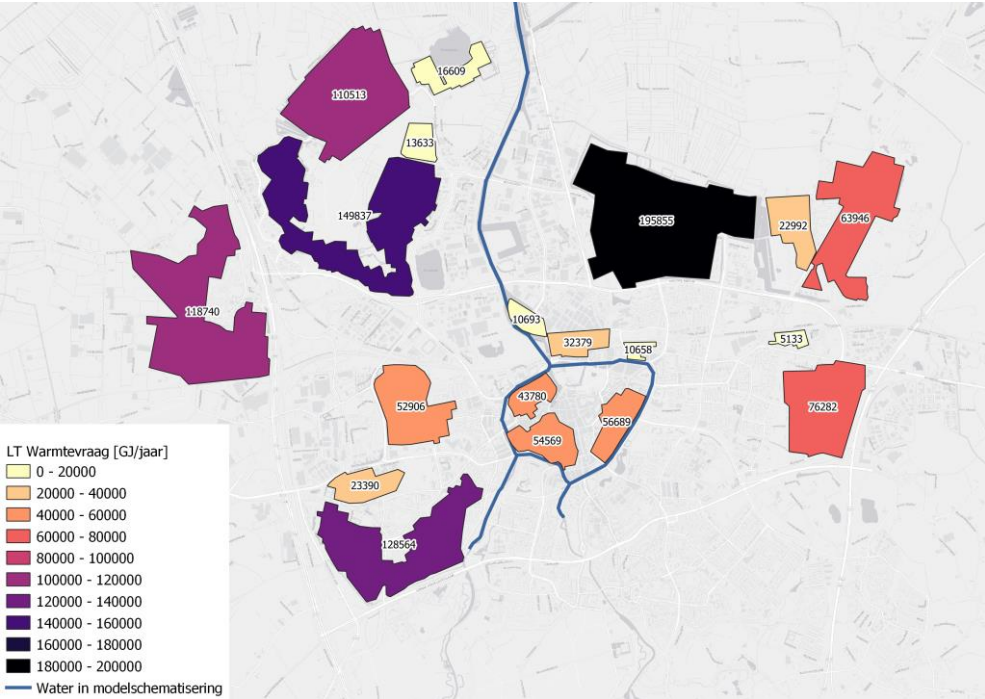


Figuur 3.2 Warmtedichtheidskaart. Bron: Warmtetransitiemakers, 2020

Figuur 3.3 en Figuur 3.4 geven respectievelijk een overzicht van de LT-kavels en LT+MT kavels met de bijbehorende warmtevraag.



Figuur 3.3 Overzicht van de LT warmtekavels in Breda.



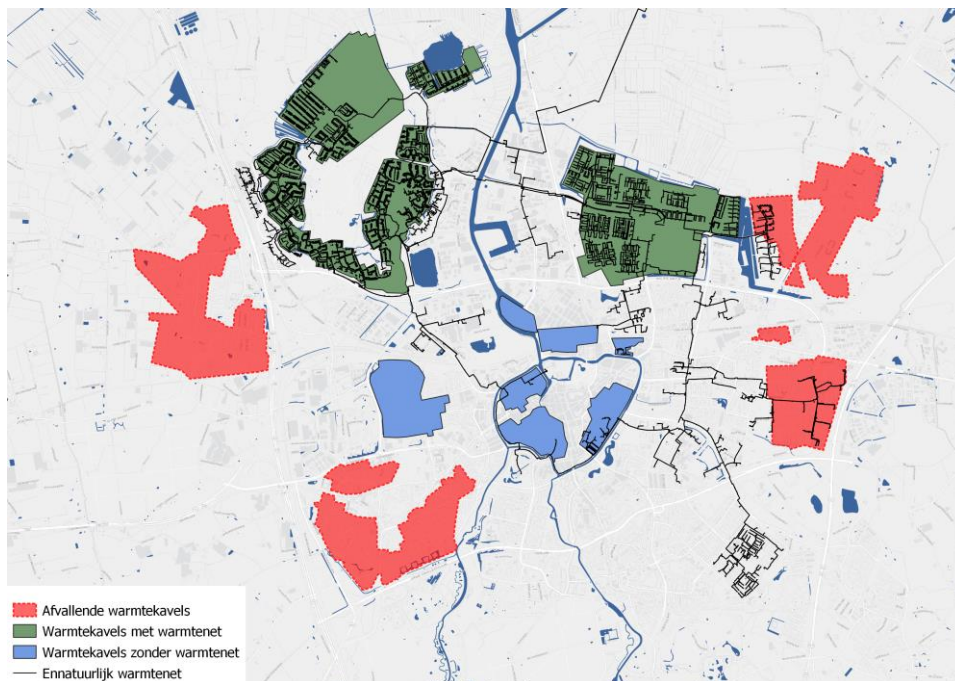
Figuur 3.4. Overzicht van de LT+MT warmtekavels in Breda

3.2.2 Selectie kavels

Voor deze LT-kavelset en LT+MT-kavelset is een eerste modelberekening gemaakt van de temperatuurdalingen. Als grenswaarde is voor deze studie een daling van maximaal 3°C gehanteerd (zie h2.3). Uit de modelberekeningen blijkt dat temperatuurdalingen voor de selectie van LT-kavels wél binnen de randvoorwaarden blijft, maar bij de selectie van LT+MT kavels niet. Dit betekent dat er teveel warmte wordt onttrokken en De Mark eigenlijk overvraagd wordt. Aan de hand van twee criteria hebben we daarom de minst kansrijke kavels laten afvallen.

Criterium 1: afstand tot de Mark

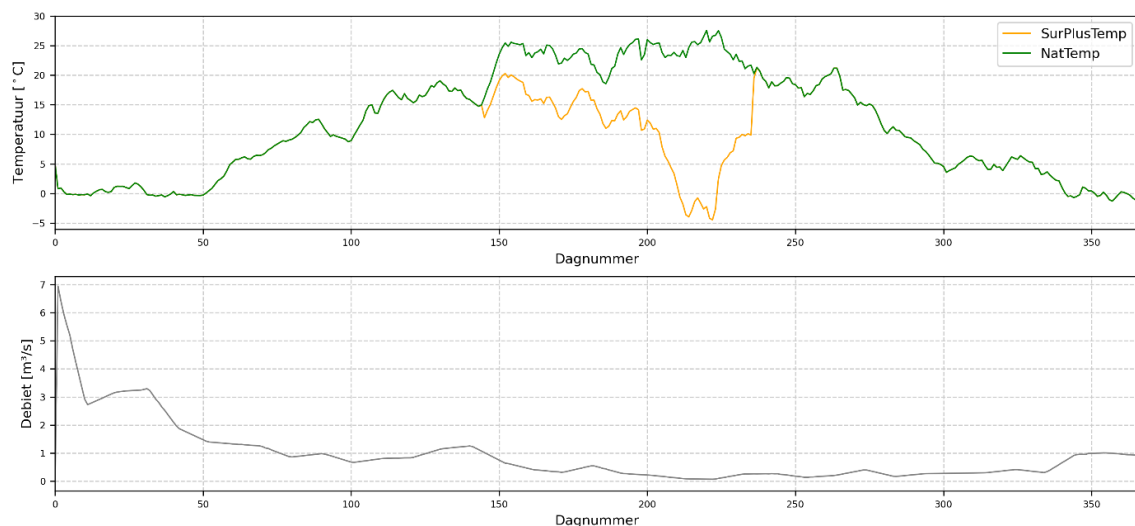
Het eerste criterium is de afstand tot de warmtebron. Potentiële kavels op een grotere afstand van De Mark liggen hebben hogere transportkosten en zullen daarom niet of minder rendabel zijn. Deze kavels vallen daarom af. In Figuur 3.5 is in rood aangegeven welke kavels volgens dit criterium afvallen.



Figuur 3.5 De selectie aan warmtekavels, inclusief opdeling tussen warmtekavels mét en zonder bestaand warmtenet.

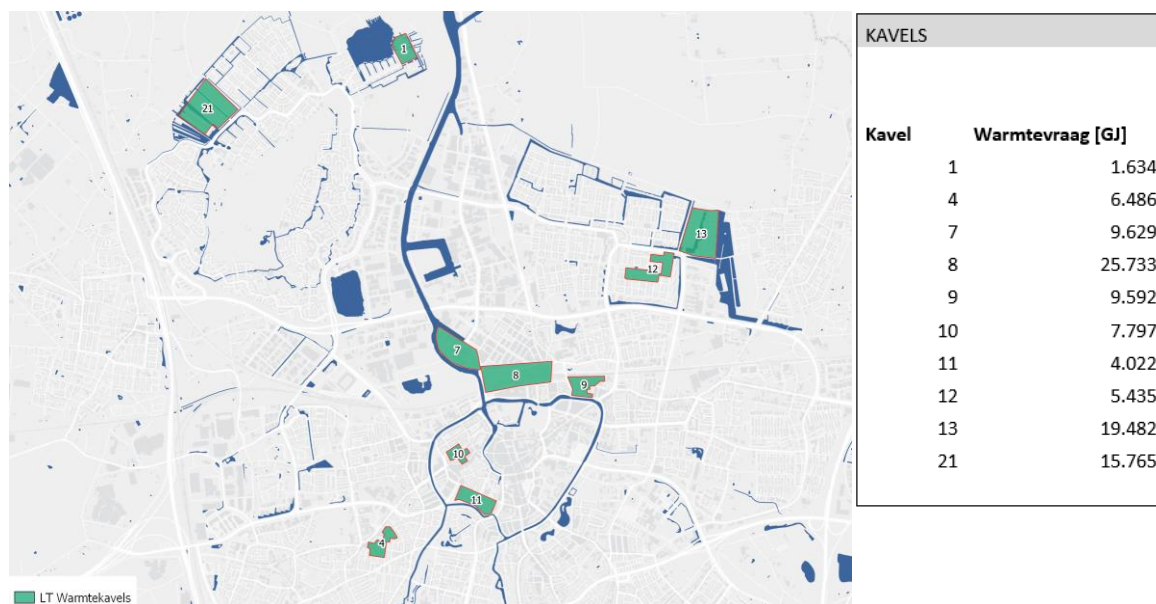
Criterium 2: hoge natuurwaarde watergang

Tweede criterium is de natuurwaarde van de watergang. Het waterschap geeft aan dat koudelozingen in de Aa of Weerij minder wenselijk zijn, omdat het een natuurlijke watergang betreft. De kavels die uit dit segment warmte onttrekken vallen daarom af. Figuur 3.6 laat zien dat warmte die de kavel onttrekt aan Aa en Weerij ook leidt tot een grote afname van de watertemperatuur. De oorzaak hiervan is het zeer lage debiet in combinatie met de zeer grote warmtevraag van de kavel.



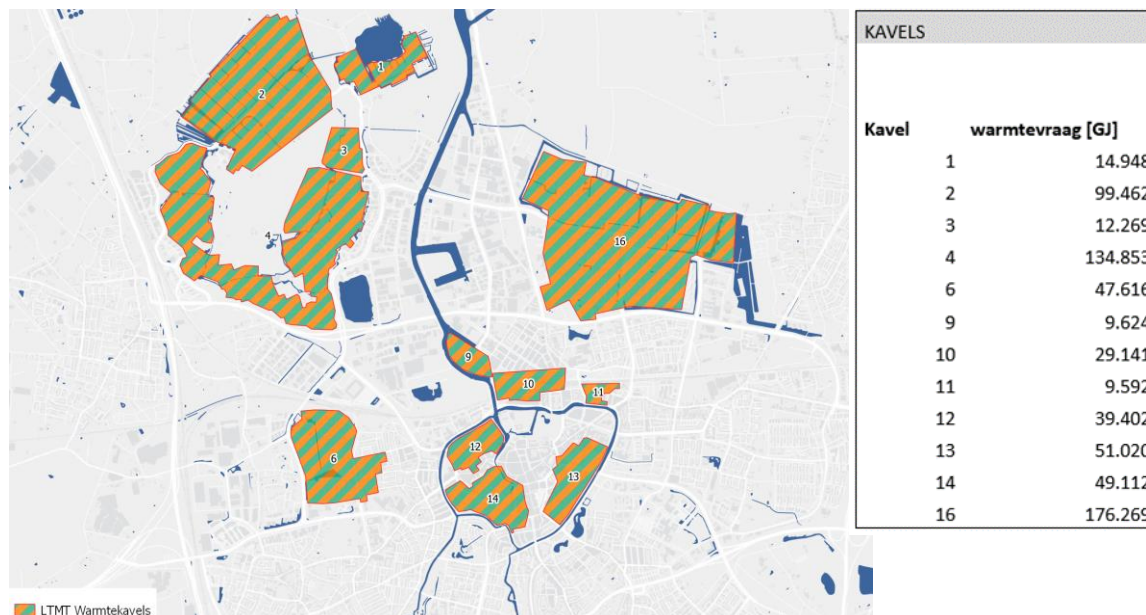
Figuur 3.6 Temperatuurdaling bij warmte-onttrekking uit Aa.

Dit leidt tot twee aangepaste kavelsets, waarmee de verdere modelsimulaties zijn gedaan. In figuur 3.7 is de aangepaste set LT-kavelset en de bijbehorende warmtevraag weergegeven. In figuur 3.8 is de aangepaste set van LT+MT kavel te zien en de bijbehorende warmtevraag per kavel. Met deze aangepaste sets zijn de effecten op de watertemperatuur opnieuw berekend doorgekend. De resultaten van die modelsimulaties worden hieronder weergegeven.



Figuur 3.7. Overzicht van de aangepaste potentiële LT-aquathermie warmtekavels in Breda en de warmtevraag per kavel (GJ/jaar).

Figuur 3.8. Overzicht van de aangepaste potentiële LT+MT-aquathermie warmtekavels in Breda en de warmtevraag per kavel (GJ/jaar).



3.2.3 Effecten van meervoudige koudelozingen op de watertemperatuur van De Mark

Voor de LT-kavelset en de aangepast LT+MT kavelset zijn twee scenario's doorerekend:

- Scenario 1. Maximale warmte-onttrekking, bovengrens
- Scenario 2. Warmteonttrekking volgens Handreiking Vergunningverlening Koudelozing

De koudelozingen vinden plaats gedurende een periode van 90 dagen. De scenario's zijn voor een droog (2003) en nat (2007) jaar doorerekend, zowel voor de LT-kavelset als de LT+MT kavelset.

Scenario 1: Maximale onttrekking, bovengrensbenadering

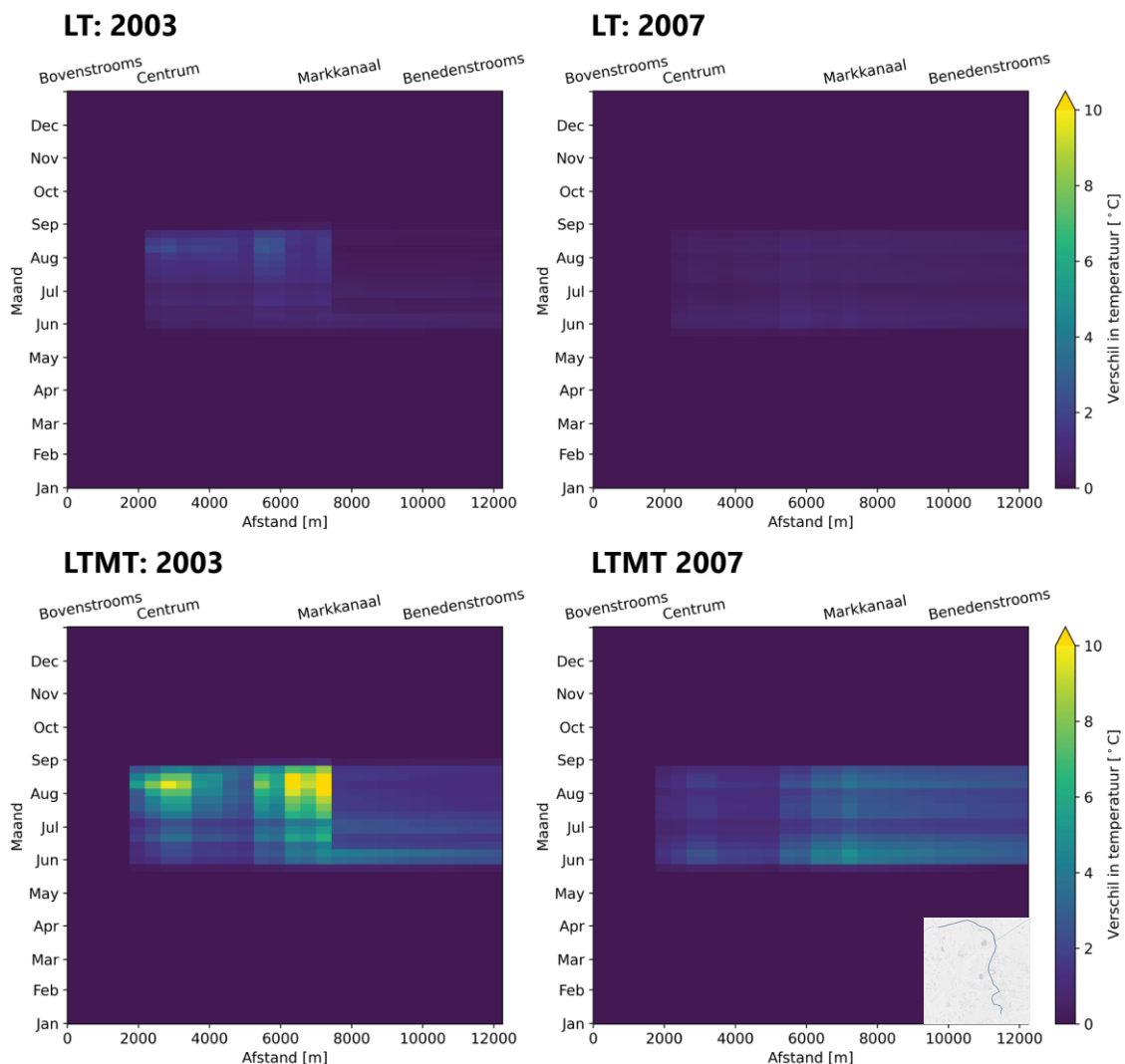
In dit scenario is de situatie gesimuleerd waarin de potentiële aquathermie-warmtekavels in 90 dagen de hoeveelheid warmte aan De Mark onttrekken die gelijk staat aan hun jaarlijkse warmtevraag. (Deze warmte wordt opgeslagen in wko's voor gebruik in de winter). In figuur 3.9 wordt een overzicht weergegeven van de berekende watertemperatuurdalingen in De Mark voor beide kavelsets (LT & LT+MT) en voor beide jaartallen (2003 & 2007). De horizontale as volgt de Mark vanaf de wijk Boeimeer, de westelijke ringgracht tot de plaats Terheijden (fig. 3.10). Op de verticale as staan de dagen van het jaar. In de periode van 25 mei tot 23 augustus (90 dagen) wordt in de simulatie warmte aan De Mark onttrokken. Het verschil tussen de watertemperatuur met en zonder koudelozingen is voor alle 500m-segmenten van De Mark berekend en weergegeven met een kleur: geel betekent een daling van temperatuur van 10°C of meer en een blauwe kleur betekent dat er geen verschil is.

Verklaring algehele beeld

De modelresultaten brengen enkele interessante punten naar voren. Ten eerste valt op dat een LT warmtenet in zowel een nat als droog jaar niet leidt tot grote afnames van de watertemperatuur.

Dit betekent dat de warmtekavels 100% van hun benodigde energie kunnen onttrekken zonder dat dit naar verwachting een grote ecologische impact heeft, of de warmtevoorziening van benedenstroomse segmenten in gevaar brengt.

De berekening voor de LT+MT kavels laat een ander beeld zien. In een droog jaar zoals 2003 resulteert deze meervoudige warmteonttrekking tot een afname van de watertemperatuur van meer dan 10°C rondom het historische stadscentrum. Dit gebeurt ook benedenstrooms, vlak voor de splitsing met het Markkanaal. In een nat jaar, zoals 2007, is er met dit systeemontwerp geen sprake van degelijke extreme afkoeling van het water, maar toch ook een aanzienlijk temperatuurdaling van ca. 5° tot 6°C.

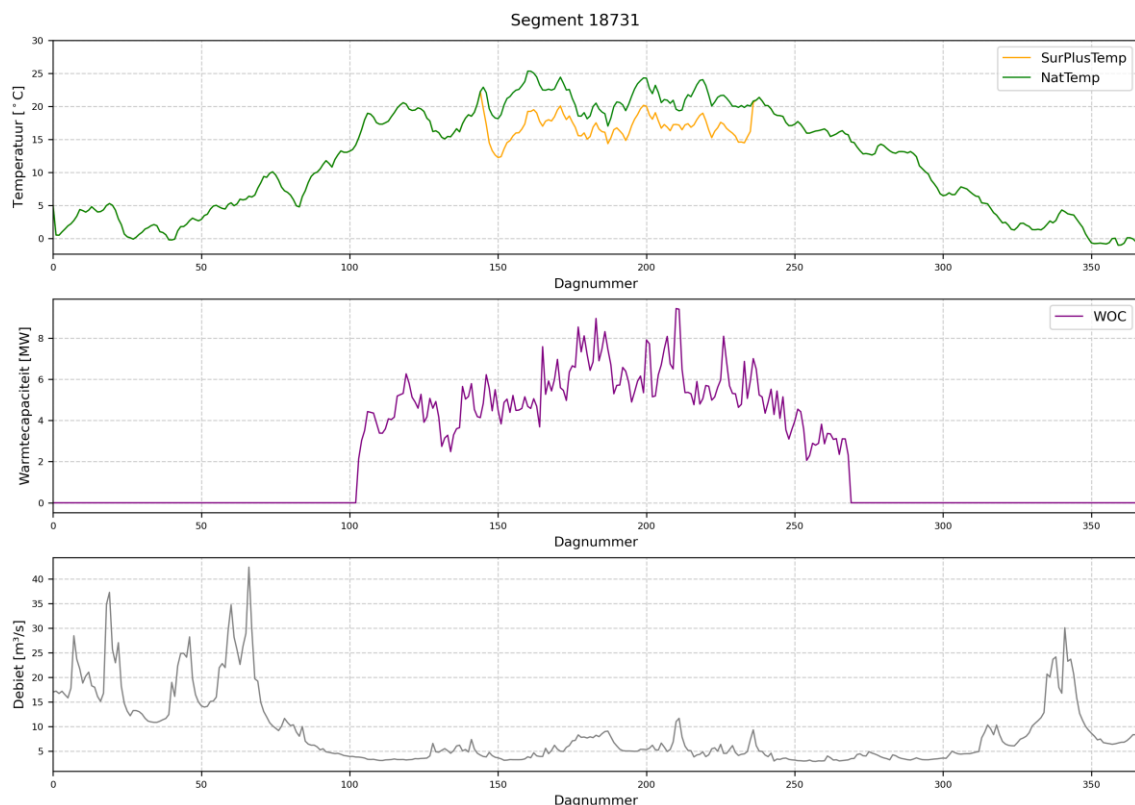


Figuur 3.9. Verschil in watertemperatuur van De Mark tussen situatie met en zonder warmteonttrekkingen gedurende het seizoen volgens scenario 1 (100% van potentiële warmtekavels) voor de langsdoorsnede met het grootste debiet. De kleur geeft het verschil in watertemperatuur weer. Links: droog jaar 2003; rechts: nat jaar 2007.

Verklaring seizoensverloop

Interessant is om te zien dat de plaatsen waar grote temperatuurdalingen plaatsvinden niet gedurende het hele seizoen 'geel' kleuren, terwijl in dit scenario de warmte-onttrekking constant is

gedurende het hele onttrekkingsseizoen van 90 dagen. De reden hiervoor is dat de temperatuurdaling sterk afhankelijk is van het debiet. Hoe groter het debiet, hoe kleiner het effect van de warmte-onttrekking. Figuur 3.10 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 (tussen dag 140 en 170), daalt de gele lijn in de bovenste grafiek ook hard. Op het moment dat het debiet weer toeneemt (dag 170) neemt het verschil tussen de originele temperatuur (groen) en verlaagde temperatuur (geel) weer af. Dit laat zien dat het effect van een koudelozing op de watertemperatuur groter wordt naarmate het debiet kleiner wordt.

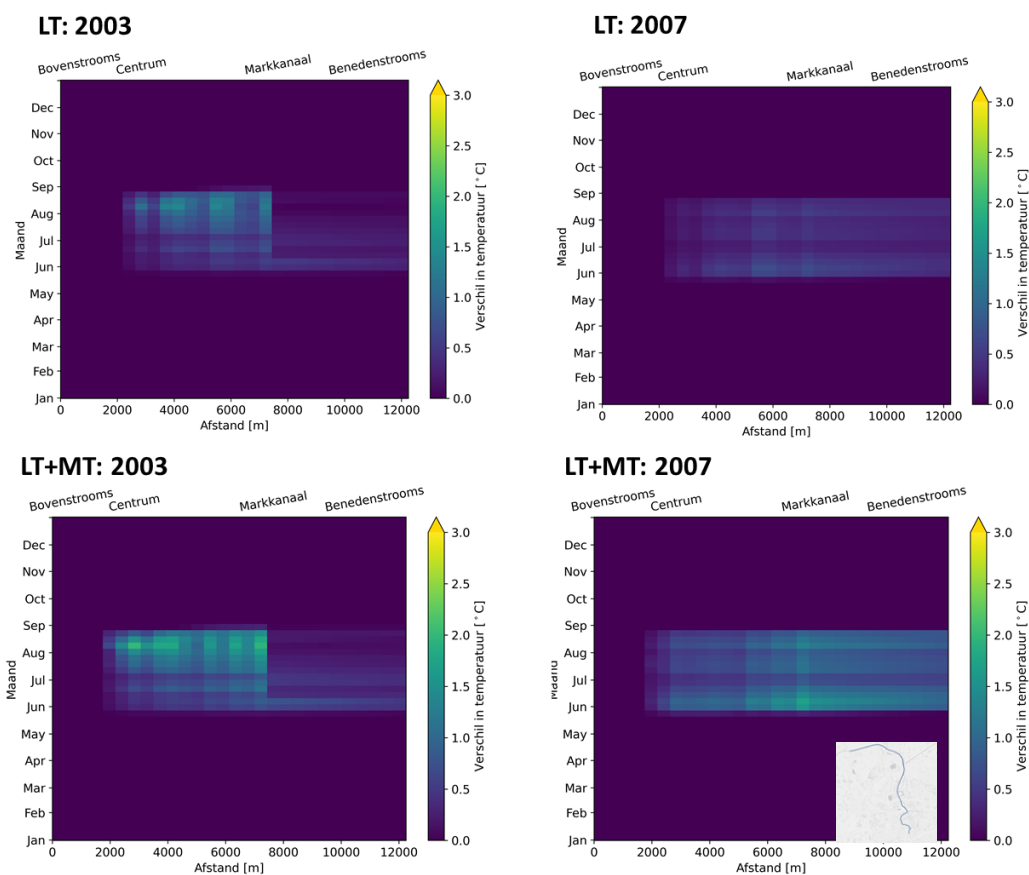


Figuur 3.10 Berekening per segment. Bij lage debieten (onderste grafiek) is het effect van een koudelozing op de watertemperatuur groter (bovenste grafiek).

Scenario 2: Warmte-onttrekking Handreiking Vergunningverlening Koudelozing

Ter vergelijking is een scenario doorgerekend met de beleidsuitgangspunten voor koudelozingen van de Handreiking Vergunningverlening Koudelozingen, ontwikkeld door STOWA. Deze handreiking geeft een beoordelingskader voor verschillende typen wateren voor koudelozingen. Voor De Mark zijn de randvoorwaarden niet eenduidig. Voor een stromende, lijnvormige wateren en voor beken geldt de randvoorwaarde dat maximaal 10% van het gemiddeld zomerdebiet gebruikt mag worden. Voor regionale rivieren geldt echter 5%. Voor laaglandbeken en hooglandbeken wordt respectievelijk en aangehouden dat de koudelozing niet meer dan 5°C respectievelijk 2°C kouder mag zijn dan de achtergrondtemperatuur. In dit scenario is aangehouden een maximum van 5% van het zomerdebiet en een maximale ΔT van 5°C.

In figuur 3.11 worden de modelresultaten voor dit scenario weergegeven. Toepassing van de randvoorwaarden uit de Handreiking voor vergunningverlening Koudelozingen levert temperatuurverschillen op die binnen de gehanteerde randvoorwaarde van 3°C blijven, ook voor de LT+MT-kavelset in het droge jaar 2003.



Figuur 3.11 Resultaten scenario 2. Verschil in watertemperatuur van de Mark tussen situatie met en zonder warmteonttrekkingen. De kleur geeft het verschil in watertemperatuur weer. Toepassing van de randvoorwaarden uit de Handreiking voor vergunningverlening Koudelozingen levert zeer geringe temperatuurverschillen op.

3.2.4 Extra iteratie

Tabel 3.1 geeft aan hoeveel warmte kan worden onttrokken in vergelijking met scenario 1. Uit de resultaten blijkt dat met deze debiet-randvoorwaarden minder warmte kan worden onttrokken dan de gewenste warmtevraag per kavel. In het droge jaar kan aan slechts 82% van de totale warmtevraag worden voldaan. In een nat jaar is dat 98%. Voor de LT+MT-kavelset kan in een droog jaar slechts aan 20% van de warmtevraag worden voldaan; in een nat jaar is dit 36%.

Tabel 3.1 Percentage warmte-onttrekking in vergelijking met scenario 1.

	Onttrekking [GJ/jaar]	Percentage t.o.v. 100% onttrekking	Aantal woningen [30 GJ/woning]
LT			
2003 - scenario 1	105575		
2003 - scenario 2	86.671	82%	2889
2007 - scenario 1	105.574		
2007 - scenario 2	142.505	98%	3458
LT+MT			
2003 - scenario 1	673.309		
2003 - scenario 2	133.300	20%	4443
2007 - scenario 1	673.309		
2007 - scenario 2	245.544	36%	8185

Bovenstaande betekent dat de warmtevraag van de LT+MT kavels veel groter is dan wat vanuit de Handreiking Vergunningverlening Koudelozingen is toegestaan. Daarom moet een extra selectie worden gemaakt om tot een set van de LT+MT kavels te komen die wel past binnen de randvoorwaarden. In tabel 3.2 zijn voor alle kavels percentages weergegeven van de gewenste warmtevraag ten opzichte van de toegestane warmte-onttrekking, met als maatgevend jaar het droge jaar 2003.

Tabel 3.2 Gewenste warmtevraag en toegestane warmte-onttrekking voor de LT-kavels

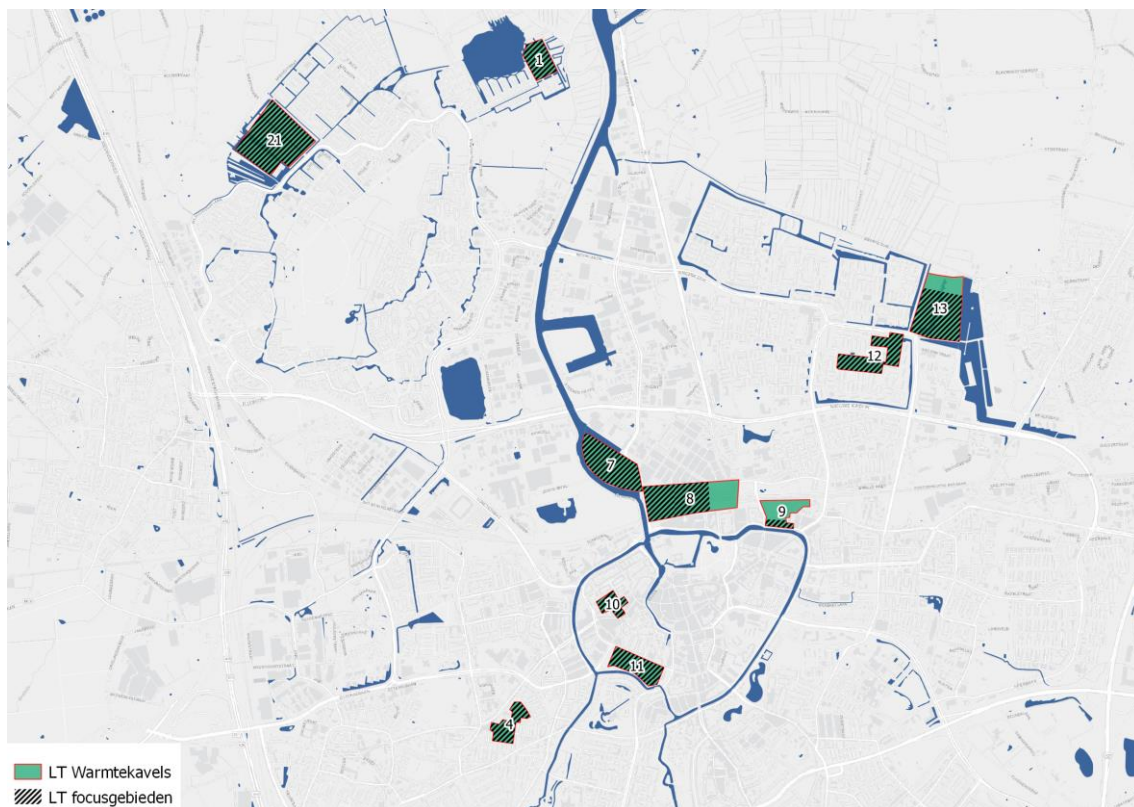
KAVELS				
Kavel	Gewenste warmtevraag [GJ]	Toegestane warmte- onttrekking [GJ]	% t.o.v. origineel PER KAVEL	
1	1.634	1.634	100%	
4	6.486	6.486	100%	
7	9.629	9.629	100%	
8	25.733	19.270	75%	
9	9.592	2.803	29%	
10	7.797	7.797	100%	
11	4.022	4.022	100%	
12	5.435	5.435	100%	
13	19.482	13.830	71%	
21	15.765	15.765	100%	

Tabel 3.3 Gewenste warmtevraag en toegestane warmte-onttrekking voor de LT+MT-kavels

KAVELS				
Kavel	Gewenste warmtevraag (90%) [GJ]	Toegestane warmte-onttrekking [GJ]	% t.o.v. origineel PER KAVEL	
1	14.948	9.960	67%	
2	99.462	9.960	10%	
3	12.269	9.632	79%	
4	134.853	9.632	7%	
6	47.616	9.706	20%	
9	9.624	9.624	100%	
10	29.141	19.270	66%	
11	9.592	9.592	100%	
12	39.402	9.706	25%	
13	51.020	9.394	18%	
14	49.112	6.903	14%	
16	176.269	19.922	11%	

Hieruit is te concluderen dat van zeven LT-kavels de omvang van de warmtevraag te groot is voor het beschikbare debiet. Van de LT+MT-kavels hebben tien kavels een te grote omvang van de warmtevraag voor het beschikbare debiet. In figuren 3.14 en 3.15 zijn daarom de omvang van de potentiële LT en LT+MT-warmtekavels aangepast, zodat de omvang past bij de toegestane onttrekkingen. Daarbij is rekening gehouden met de afstand tot de warmtebron, namelijk die delen van de kavel die het dichtstbij De Mark liggen en de lagere transportkosten hebben, zijn naar verwachting het meest kansrijk. De gearceerde delen vormen nu de potentiële LT en LT+MT Aquathermie warmtekavels, die binnen de randvoorwaarden voor vergunningverlening blijven.

Overigens is het in theorie mogelijk om de kavels op te knippen in kleinere kavels. Voor elk van de onttrekkingen zou dan volgens de Handreiking Vergunningverlening Koudelozingen gelden dat er maximaal 5% van het gemiddeld zomer gebied gebruikt mag worden. Dit zal echter leiden tot grote temperatuurdalingen als gevolg van cumulatieve effecten. In de handreiking wordt daarom een cumulatietoets voorgesteld, maar deze is nog niet verder uitgewerkt. In het volgende hoofdstuk wordt daar nader op ingegaan.



Figuur 3.13 Potentiële set van LT Aquathermie-kavels



Figuur 3.14 Potentiële set van Aquathermie-warmtekavels in Breda. De gearceerde delen blijven over na de iteraties, gemiddeld zo'n 20% van de oorspronkelijk kavelomvang.

3.3 Conclusies

In de eerste stap zijn potentiële aquathermie-warmtekavels voor Breda geïdentificeerd en is aan de hand van een 1D-model de temperatuurdaling van het water in De Mark gesimuleerd.

Hieronder worden de belangrijkste conclusies daarover getrokken.

- Op basis van de warmteprofielen zijn potentiële aquathermie-warmtekavels te identificeren. De bijbehorende warmtevraag kan bepaald worden met gegevens over de warmtevraagdichtheid.
- Aan de hand van een aantal iteraties is een uiteindelijke set van potentiële aquathermie-warmtekavels geïdentificeerd waarvoor de berekende afkoeling van het watersysteem binnen de voor deze studie gehanteerde temperatuurgrenzen blijft.
- Hiervoor is een 1D hydrologisch model gebruikt waarmee de effecten op de watertemperatuur verkend kunnen worden. Het heeft voordeel om dit in eerste instantie met een 1D-Sobek model te doen, omdat er dan gebruikt gemaakt kan worden van bestaande modelschematisaties en rekentijden beperkt blijven. Voor een nauwkeuriger inschatting van de temperatuurverandering dient het effect van gelaagdheid van temperatuur te worden meegenomen. Dit vraagt een 3D-modellering.
- Uit de 1D-modelberekening blijkt dat de warmte-onttrekking voor de lage temperatuurkavels (LT-kavels) de daling van de watertemperatuur in De Mark minder dan 3°C is. Voor de LT+MT kavels is dat niet het geval. De temperatuurdaling is dan op plekken meer dan 10°C. Een deel van de LT+MT kavels moet daarom afvallen en een deel moet kleiner worden.
- Worden de randvoorwaarden voor het maximale debiet uit het beoordelingskader vergunningverlening koudelozingen toegepast, dan mag minder warmte onttrokken worden. In het geval van de LT kavels kan in 2003 in ca. 82% van de warmtevraag worden voldaan in 2007 in 98%. Dit komt overeen met 2889 en 3458 woningen voor respectievelijk 2003 en 2007.
- Worden die randvoorwaarden toegepast op de LT+MT-set, dan kan slechts in 20% van de warmtevraag worden voorzien en in 2007 ca. 36%. Als het droge jaar 2003 als maatgevend zou worden genomen, dan kunnen ca. 4443 woningen in Breda uit De Mark verwarmd worden met Aquathermie. Als 2007 als maatgevend zou zijn, dan zouden dat ca. 8185 woningen zijn.

4. 3D-analyse watertemperatuur

In dit hoofdstuk worden de temperatuureffecten van de onttrekkingen, zoals in het vorige hoofdstuk bepaald, nader geanalyseerd met 3D hydrodynamisch model. Er wordt gekeken of de volgende effecten optreden en welke nuancering dit oplevert van de conclusies uit het vorige hoofdstuk:

- *Stratificatie*: het effect dat er gelaagdheid van temperatuur in het waterlichaam aanwezig is. Dit kan van nature het geval zijn of ontstaan door koudelozingen als het geloosde water niet goed opmengt. Het koude water zakt naar beneden. Dit kan bij de bodem een grotere temperatuurdaling veroorzaken dan uit modelberekeningen uit hoofdstuk 3. Doordat de koude vooral bij de bodem zit en niet aan het oppervlak gaat ook de regeneratie door zoninstraling en warmte-uitwisseling met de atmosfeer langzamer. Dit heeft ook invloed op de:
- *Cumulatieve effecten*: bij meerdere opeenvolgende onttrekkingen moet rekening gehouden worden met de doorwerking van de temperatuurdalingen benedenstrooms.
- *Recirculatie*: Dit effect treedt op als het water dat ingelaten wordt, beïnvloed wordt door de koudelozing. Het afgekoelde water wordt dan opnieuw door de warmtewisselaars getrokken, waardoor het nog verder afkoelt. Dit effect kan optreden als de in- en uitlaten dicht bij elkaar liggen, of als debieten erg klein zijn.

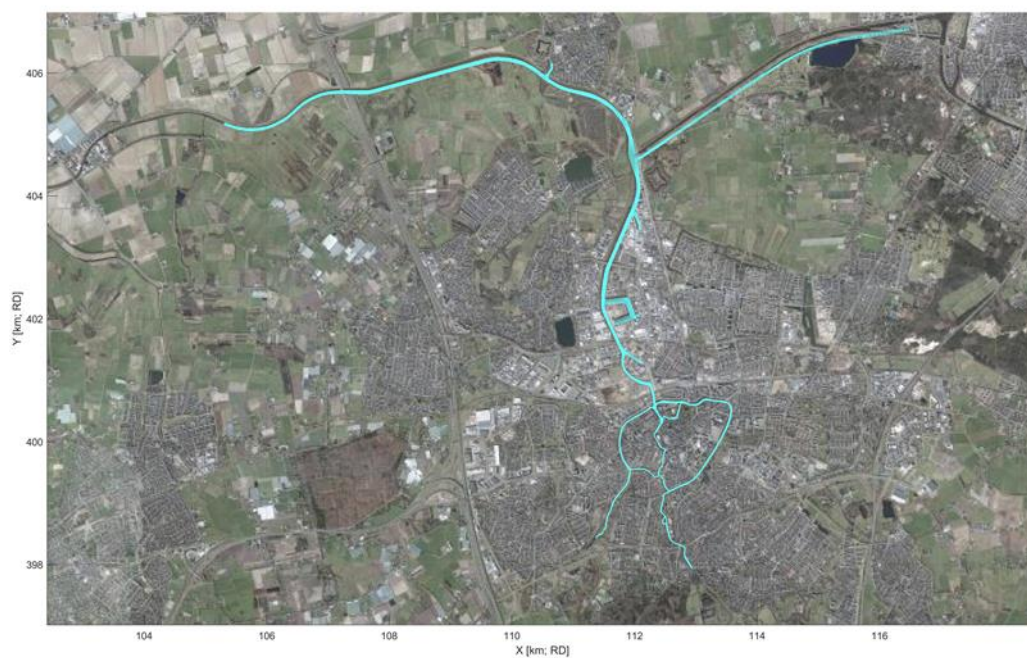
In dit hoofdstuk wordt voortgebouwd op scenario 2, waar de randvoorwaarden van de Handreiking Vergunningverlening voor Koudelozingen zijn gehanteerd en de daarop aangepast LT-kavels en LT+MT-kavels. In dit hoofdstuk wordt antwoord gegeven op:

Onderzoeksvraag 3. Wat is het effect van koudelozingen op de watertemperatuur van De Mark?

4.1 Aanpak

4.1.1 3D-modellering

Het hydrodynamische model is opgezet in DFLOW-FM ontwikkeld door Deltares (Deltares, 2021). Dit software pakket kan 3D stromingen uitrekenen in oppervlaktewater. Het model omvat een deel van de Mark en de Aa of Weerij's bovenstrooms van het centrum van Breda, de singels rondom het centrum en de Mark benedenstrooms richting Zevenbergen (figuur 4.1). Het Markkanaal vanuit Oosterhout is ook meegenomen in het DFLOW-FM-model. Er zijn 2 modelschematisaties opgezet: een modelschematisatie zonder de Nieuwe Mark en een modelschematisatie met de Nieuwe Mark. De modellering van de Nieuwe Mark is gebaseerd op de beschrijving van HKV (2017).



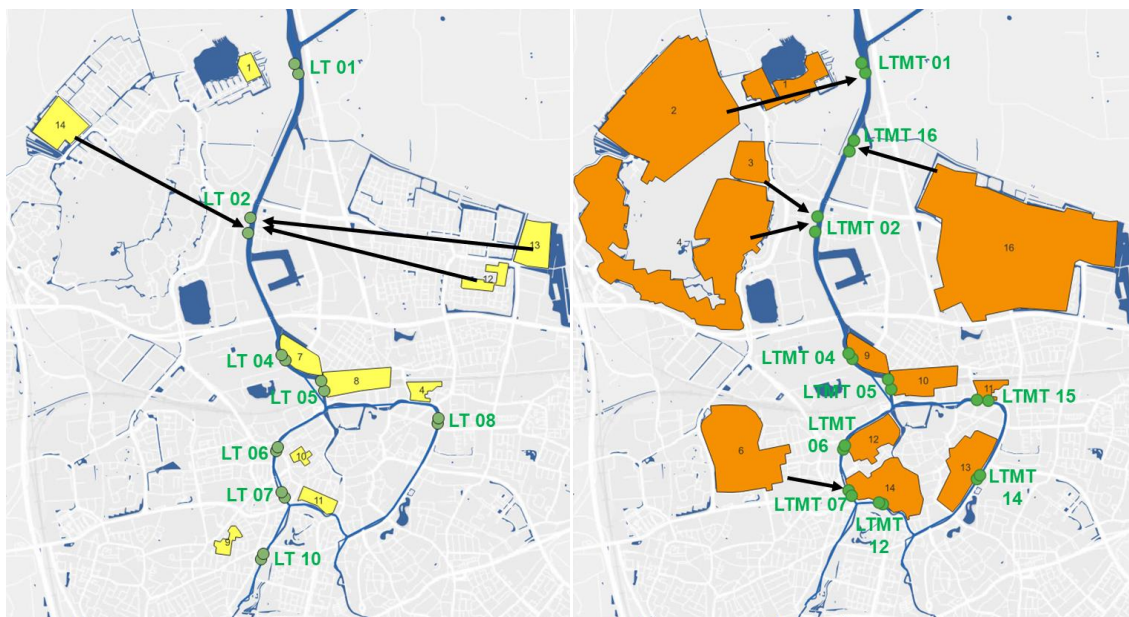
Figuur 4.1 Gebiedsafbakening voor de 3D-modellering. De stroomrichting is van Zuid naar Noord / West)

Periode

Voor het droge jaar 2003 en het natte jaar 2007 zijn specifieke periodes gekozen met een lage afvoer in de zomer periode wanneer het aquathermie-systeem in operatie is. In tabel 4.1 zijn de gemiddelde afvoeren gegeven voor de gesimuleerde periode.

Tabel 4.1: gemiddelde afvoeren in de simulatieperiodes

	simulatie periode	Gemiddelde afvoer [m ³ /s]		
		Aa of Weerij	de Mark bovenstrooms van centrum	Markkanaal
droog jaar 2003	1 aug – 15 aug	0.1	0.6	4.1
nat jaar 2007	2 juni – 15 juni	0.7	2.5	0.1



Figuur 4.2a Potentiele warmtekavels voor aquathermie voor het LT scenario inclusief inname en lozingspunten. De lozingspunten liggen 100m benedenstrooms van de innamepunten. De zwarte pijlen geven aan welke kavels bij welke lozingspunten horen

Figuur 4.2b: Potentiele warmtekavels voor aquathermie voor het LT+MT scenario inclusief inname en lozingspunten. De lozingspunten liggen 100m benedenstrooms van de innamepunten. De zwarte pijlen geven aan welke kavels bij welke lozingspunten horen

Koudelozingen

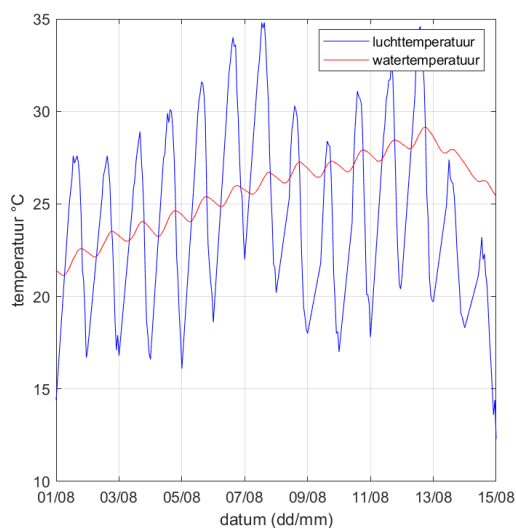
In figuur 4.2a/b zijn de locaties van de inname- en lozingspunten weergegeven. Wanneer het water van het aquathermiesysteem wordt geloosd, dan kan het verticaal opmengen met de rest van het omringende water, maar het kan ook stratificeren. Dat betekent dat er een gelaagdheid ontstaat met het koude water onderin de waterkolom en het warme omgevingswater daarbovenop. Het nadeel van deze gelaagdheid is dat het koude water niet in contact komt met het wateroppervlak waar het weer kan opwarmen. Of er gelaagdheid gaat ontstaan wordt bepaald door het dichtheidsverschil tussen de koudelozing en het omliggende water, het ontwerp van de uitlaatconstructie, de stroming in het omgevingswater en de turbulentiegraad in het water. Bij zwak dynamische systemen (o.a. beken, sloten, meren) is daarom de kans op gelaagdheid veel groter dan bij sterk dynamische systemen (o.a. grote rivieren).

Voor lozingen zijn verschillende uitlaatconstructies mogelijk. Om deze reden zijn er 2 type lozingen gesimuleerd:

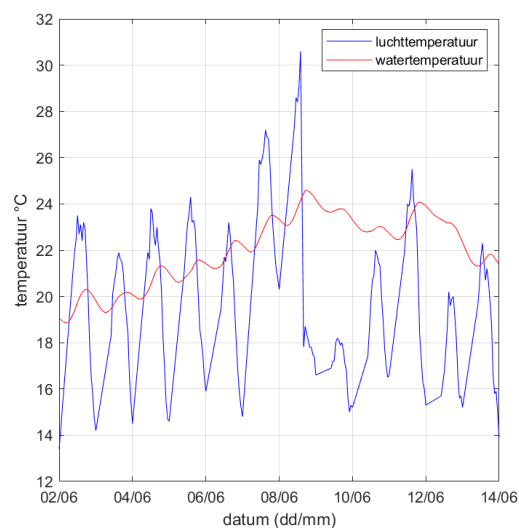
- verticaal gemengde lozingen, waarbij de koudelozing over hele waterkolom wordt verdeeld; en
- gestratificeerde lozingen, waarbij de koudelozing alleen in de bovenste van de waterkolom wordt geloosd. (De koude zakt echter snel naar beneden en aan het eind van de nearfield zit het in de onderste helft van de waterkolom).

Luchttemperatuur

De luchttemperatuur heeft een duidelijk dag/nacht ritme. Dit dag/nacht ritme is opgelegd op het model. Omdat er geen gegevens beschikbaar zijn voor de watertemperatuur voor de gesimuleerde perioden is de watertemperatuur berekend met het model. Hierbij is een simulatie uitgevoerd zonder lozingen, maar met het temperatuurmodel. De temperatuur bij de uitstroomrand is gebruikt als watertemperatuur voor het model (zie figuur 4.3a/b). In deze figuren is te zien dat de watertemperatuur met de luchttemperatuur mee varieert.



Figuur 4.3a: Luchttemperatuur en gesimuleerde watertemperatuur in de kanalen rondom Breda voor 2003 gebaseerd op het KNMI meetstation Gilzen Rijen



Figuur 4.3b: Luchttemperatuur en gesimuleerde watertemperatuur in de kanalen rondom Breda voor 2007 gebaseerd op het KNMI meetstation Gilzen Rijen

4.1.2 Scenario's

Met het ontwikkelde 3D-model zijn zestien scenario's doorgerekend. In tabel 4.2 zijn de variabelen weergegeven. Naast deze berekeningen zijn er voor 2003 en 2007 referentiesimulaties gedraaid zonder lozingen waarmee de bovenstaande simulaties zijn vergeleken om het effect van de lozingen te bepalen. De gekozen perioden zijn bepaald op basis van de rivierafvoer in de Mark en de Aa of Weerij. Door een beperkte rivierafvoer in de gekozen zomerperiode is de kans op stratificatie en het effect van de lozingen het grootst.

Tabel 4.2 Berekende scenario's met het 3D hydrodynamische model.

	variabele 1	variabele 2
Periode	1-15 aug 2003	1-15 juni 2007
Nieuwe Mark	Ja	nee
Lozing	verticaal gemengd	gestratificeerd
Scenario	LT	LT+MT

Validatie

Het hydrodynamische 3D model is gevalideerd op afvoeren (debieten) met de afvoeren die berekend zijn met het SOBEK model zoals beschreven door HKV (2017). De afvoeren voor de oostelijke singel in het DFLOW FM model is $4.3\text{ m}^3/\text{s}$ ten opzichte van $4.5\text{ m}^3/\text{s}$ in het SOBEK model en de afvoer door de westelijke singel is $2.6\text{ m}^3/\text{s}$ in plaats van $2.8\text{ m}^3/\text{s}$ in het SOBEK model. De verschillen zijn te verklaren doordat het SOBEK model de singels in een paar grote segmenten opdeelt met een vast bodemprofiel, terwijl het DFLOW-FM model de gedetailleerde gemeten bodemgeometrie gebruikt. Het model is alleen gevalideerd voor de situatie zonder de Nieuwe Mark, omdat het profiel en de bodemgeometrie van de Nieuwe Mark nog niet exact bekend zijn.

4.2 Resultaten

Met het ontwikkelde 3D-model zijn zestien scenario's doorgerekend voor de twee jaren 2003 en 2007. De gepresenteerde resultaten laten de relatieve temperatuursverandering zien, door de resultaten met lozingen af te trekken van de achtergrondtemperatuur.

4.2.1 Temperatuur

In figuur 4.4 en 4.5 is het effect van de lozingen op de temperatuur te zien voor het LT+MT scenario waarbij de koudelozingen bovenin (gestratificeerd) zijn ingebracht. De temperatuur dicht bij de bodem laat zien dat het grootste effect van de lozingen op de temperatuur benedenstrooms van de Spoorbrug en ter hoogte van de Belcrum Haven is. Na de laatste lozing (LTMT 01 in Figuur 4.2b) warmt het water weer op en nadert het de achtergrondtemperatuur. Dichter bij de benedenstroomse rand van het model waar de Mark de snelweg de A16 kruist, heeft de temperatuur bij de bodem de achtergrond temperatuur weer bereikt en is het effect van de lozingen niet meer zichtbaar.

Figuur 4.4 en 4.5 laten een instantaan beeld zien van de temperatuur. Door variaties in het achtergronddebiet varieert de minimale temperatuur gedurende de simulatie. Bij een hoger achtergronddebiet wordt het temperatuurseffect minder. Bij een lager debiet gaat de koude juist accumuleren, wat leidt tot lagere temperaturen. De locaties waar de minimale temperaturen optreden in de simulaties zijn vergelijkbaar gedurende de gehele simulatieperiode.



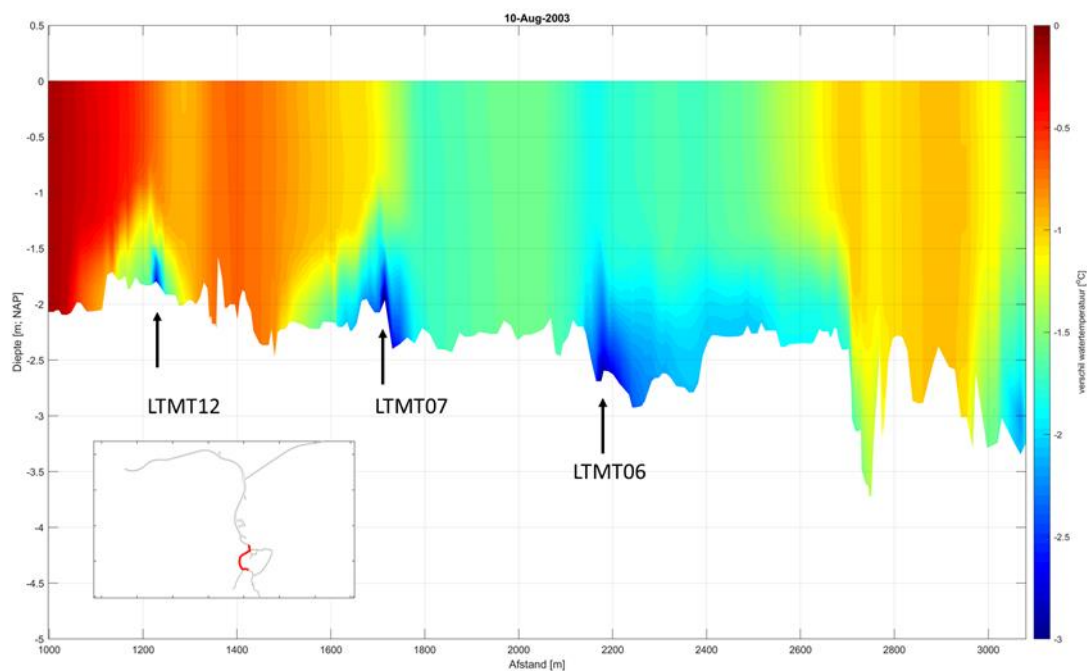
Figuur 4.4: Effect van de lozingen op de watertemperatuur bij de bodem op 10 augustus 2003 voor het LT+MT scenario waar de lozingen gestratificeerd zijn ingebracht. Het grootste cumulatieve effect is vooral zichtbaar benedenstrooms van de Spoorbrug en ter hoogte van de Belcrum Haven. Benedenstrooms is de temperatuur van het omgevingswater weer aangenomen.



Figuur 4.5: Effect van de lozingen op de watertemperatuur nabij de bodem in de singels op 10 augustus 2003 voor het LT+MT scenario waar de lozingen gestratificeerd zijn ingebracht.

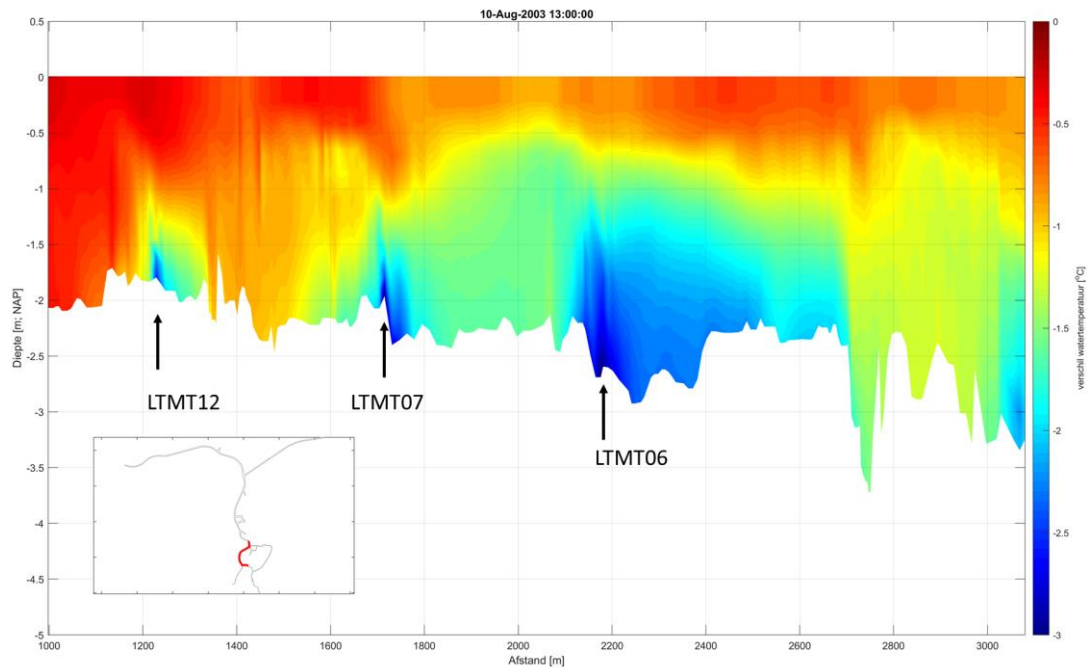
4.2.2 Stratificatie

Figuur 4.6 laat een verticale doorsnede rond de westelijke singel zien voor het LT+MT scenario. Hierin is duidelijk het effect te zien van stratificatie nabij de lozingspunten, waar verticale verschillen in de in de temperatuur zijn te zien. Op de bodem is de temperatuurdaling het grootst (blauw). De ingebrachte koude mengt daarna met het warmere water, waarna de temperatuur aan het oppervlak en aan de bodem gelijk zijn. Uit dit figuur blijkt dat de verticale stratificatie ook relatief snel verdwijnt benedenstrooms.



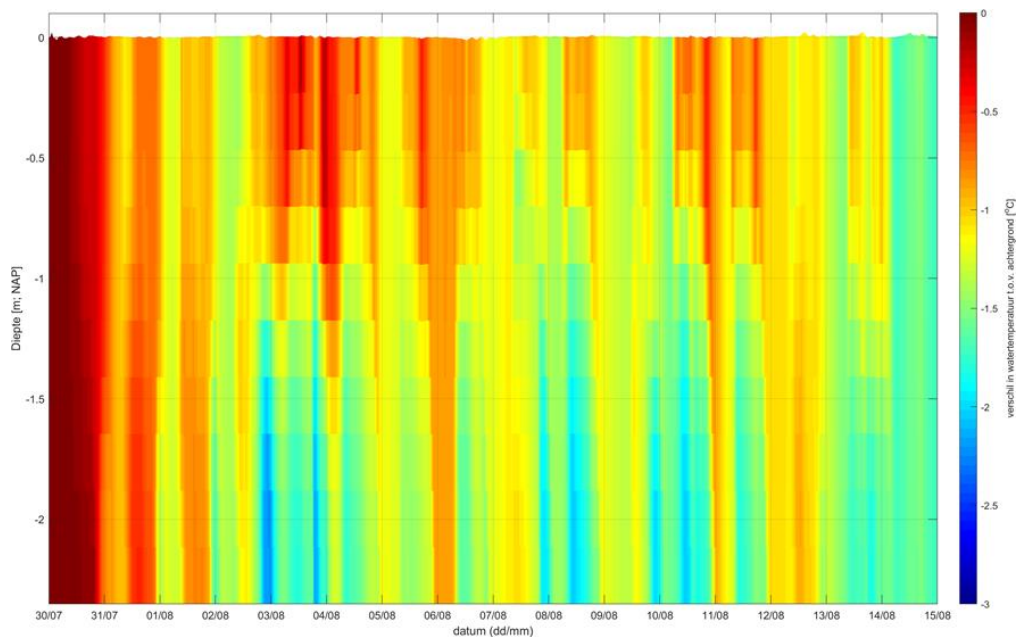
Figuur 4.6: Verticaal temperatuurprofiel voor de westelijke singel van Breda voor het LTMT scenario waarbij de lozingen gestratificeerd zijn ingebracht (onder de -1.5m NAP) voor een moment waar de stratificatie beperkt is. Uit deze figuur is te zien dat de temperatuur na korte afstand weer opmengt met het omringende water.

Echter, door variërende afvoer door de Mark en de interactie met zoninstraling, zijn er ook momenten dat er stratificatie optreedt. In figuur 4.7 is een momentopname op 10 augustus in de middag te zien waarin de stratificatie aanwezig duidelijk aanwezig is in de westelijke singel.



Figuur 4.7 Verticaal temperatuurprofiel voor de westelijke singel van Breda voor het LTMT scenario waarbij de lozingen gestratificeerd zijn ingebracht (onder de -1.5m NAP) voor een moment waar de stratificatie in stand blijft. Uit deze figuur blijken zones met verschillende temperaturen. Ook te zien is dat de temperatuur op korte afstand van de lozing weer opmengt met het omringende water.

De temperatuur van het water verandert gedurende de 15 dagen die de simulatie heeft gedraaid. Op 450m benedenstrooms van lozingspunt 6 (einde nabij het splitsingspunt) is daarvan het effect te zien in figuur 4.8. Op deze locatie treedt op sommige momenten verticale stratificatie op, bijvoorbeeld op 3 augustus, terwijl dit op andere momenten, bijvoorbeeld 7 augustus, niet het geval is.

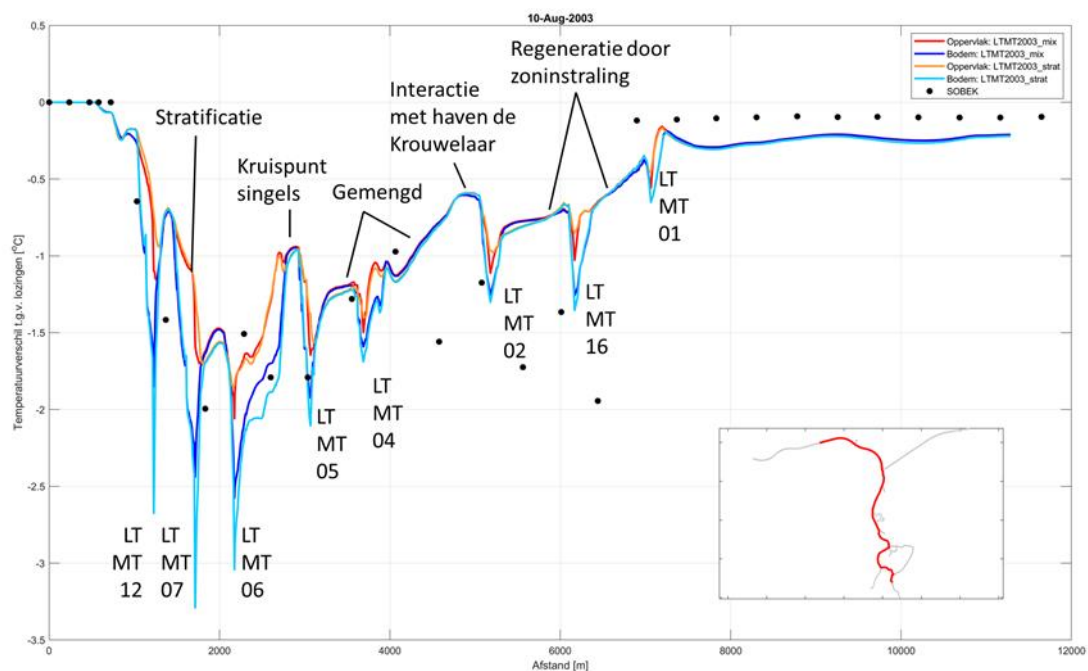


Figuur 4.8: Temperatuurdaling in de tijd over de verticaal op 450m benedenstrooms van lozingspunt LTMT06 (oostelijke singel nabij de kruising met nieuwe Mark en westelijke singel), waarbij de lozingen gestratificeerd in het model zijn ingebracht.

4.2.3 Cumulatieve effecten

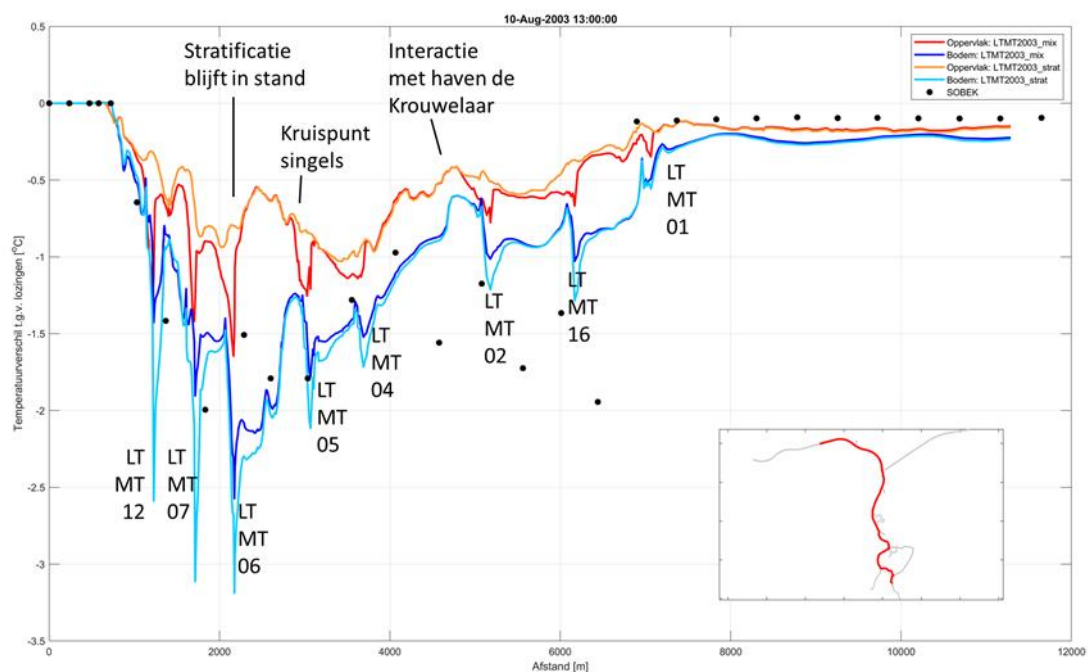
In figuur 4.9 is het zijn de cumulatieve effecten inzichtelijk gemaakt. In deze figuur is het traject te zien dat loopt van bovenstrooms van Breda tot de kruising met de A16. Het traject loopt door alle inlaat en uitlaatpunten. In de figuur geven de oranje en lichtblauwe lijn de temperatuurdaling aan het oppervlak en op de bodem aan wanneer de koudelozing bovenin (gestratificeerd) wordt ingebracht en de rode en donkerblauwe lijn de temperatuur aan het oppervlak en de bodem wanneer de koudelozing over de hele verticale kolom wordt ingebracht (gemixed).

In de figuur is het cumulatieve effect van de koudelozingen duidelijk zichtbaar tussen onttrekkingspunt 12, 7 en 6. De watertemperatuur daalt steeds verder. In dit deel van De Mark liggen de onttrekkingen relatief dicht bij elkaar en is er nauwelijks tijd voor regeneratie. Vanaf punt 5 loopt de temperatuur weer langzaam op. De onttrekkingspunten liggen daar verder uit elkaar en er meer tijd voor regeneratie.



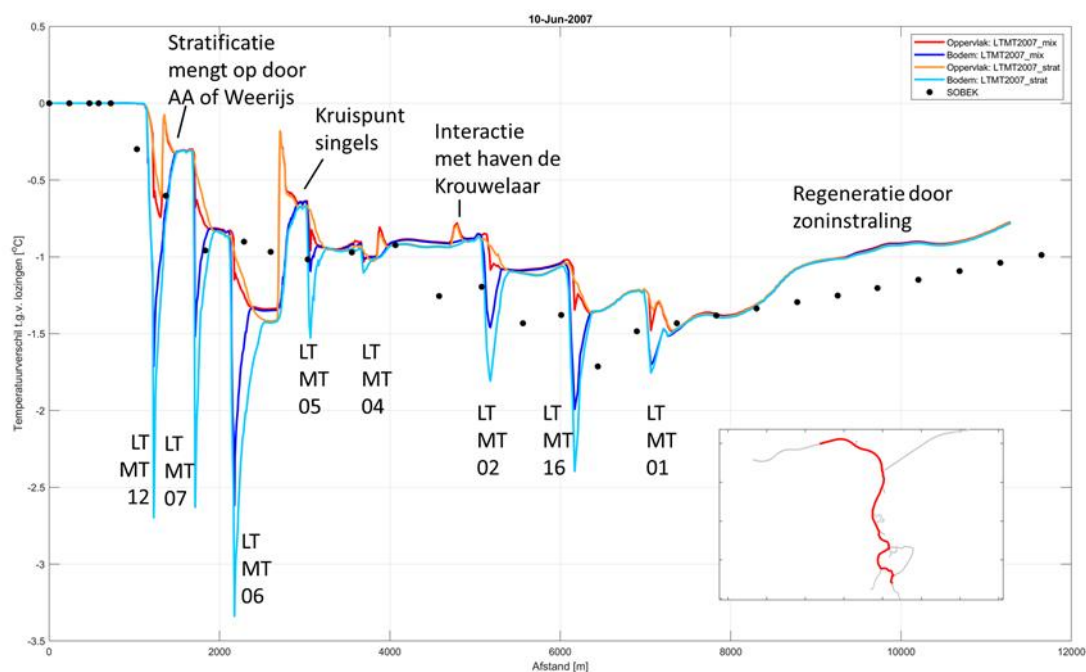
Figuur 4.9 Temperatuur bodem en oppervlakt langs het traject van de Mark bovenstrooms van Breda tot aan de A16 benedenstrooms van Breda voor het LTMT scenario voor het jaar 2003 tijdens een moment van beperkte stratificatie op 10 augustus 2003.

In figuur 4.10 dezelfde grafiek te zien voor een moment waar relatief veel stratificatie optreedt. Dit is te zien doordat de temperatuur bij de bodem lager ligt dan bij het oppervlakt. Deze stratificatie is in het hele gebied van de lozingen te zien. Na de laatste lozing (LTMT01) treedt er weer verticale menging op.



Figuur 4.10 Temperatuur bodem en oppervlakt langs het traject van de Mark bovenstrooms van Breda tot aan de A16 benedenstrooms van Breda voor het LTMT scenario voor het jaar 2003 tijdens een moment van stratificatie op 10 augustus 2003.

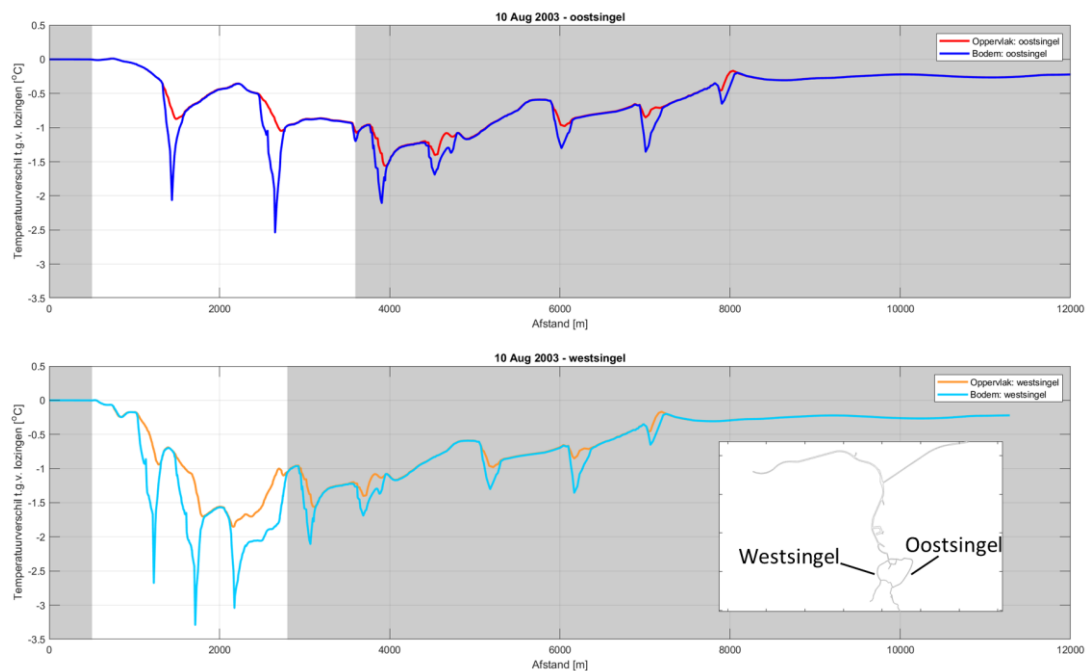
In figuur 4.11 is een typische temperatuursprofiel gegeven langs het traject door De Mark en de Singels voor het natte jaar 2007. Doordat de afvoer in de Mark hoger was in 2007 dan in 2003 zijn de temperatuurdalingen wat kleiner maar is ook de regeneratie door zoninstraling minder en warmt het water minder snel op dan in 2003.



Figuur 4.11 Temperatuur bodem en oppervlak langs het traject van de Mark bovenstrooms van Breda tot aan de A16 benedenstrooms van Breda voor het LTMT scenario voor het jaar 2007.

De patronen voor de verschillende simulaties zijn vergelijkbaar voor de situaties met en zonder nieuwe Mark en voor het LT en LT+MT scenario. Doordat het onttrekkingsdebieten afgestemd zijn op de gemiddelde zomerafvoeren zijn de effecten voor 2003 en 2007 vergelijkbaar. Er is een duidelijk cumulatief effect zichtbaar, waardoor de minimale temperatuur na iedere lozing steeds iets verder daalt ten opzichte van de achtergrondtemperatuur. Door het hogere afvoerdebiet wat bovenstrooms van Breda binnenkomt in 2007, krijgen de koude pluimen minder kans om te accumuleren. Daarentegen krijgt het water in 2007 minder kans om te regenereren door zoninstraling, omdat het water sneller door het systeem heen stroomt.

In figuur 4.12 is het temperatuursprofiel langs de Oostsingel en langs de Westsingel weergegeven voor het LTMT scenario voor het droge jaar 2003. Het grijsgegarceerde gedeelte is het deel van de Bovenmark en de Benedenmark en dit deel is in beide figuren gelijk. De route langs de Westsingel is iets korter dan via de Oostsingel. In de Oostsingel zitten voor dit scenario 2 lozingen (LTMT14 en 15 in **Error! Reference source not found.**) en aan de Westsingel zitten 3 lozingen (LTMT12, LTMT07 en LTMT06). Hierdoor is de maximale temperatuurdaling in de Westsingel ook hoger dan in de Oostsingel.



Figuur 4.12 Temperatuur bodem en oppervlak langs het traject van de Mark bovenstrooms van Breda tot aan de A16 benedenstrooms van Breda voor het LTMT scenario voor het jaar 2003 voor de oostsingel en voor de westsingel. Het temperatuurtraject in het grijsgearceerde vlak is voor de oost en westsingel hetzelfde. De route voor langs de oostsingel is iets langer dan de route langs de westsingel.

4.2.4 Verschil droog en nat jaar

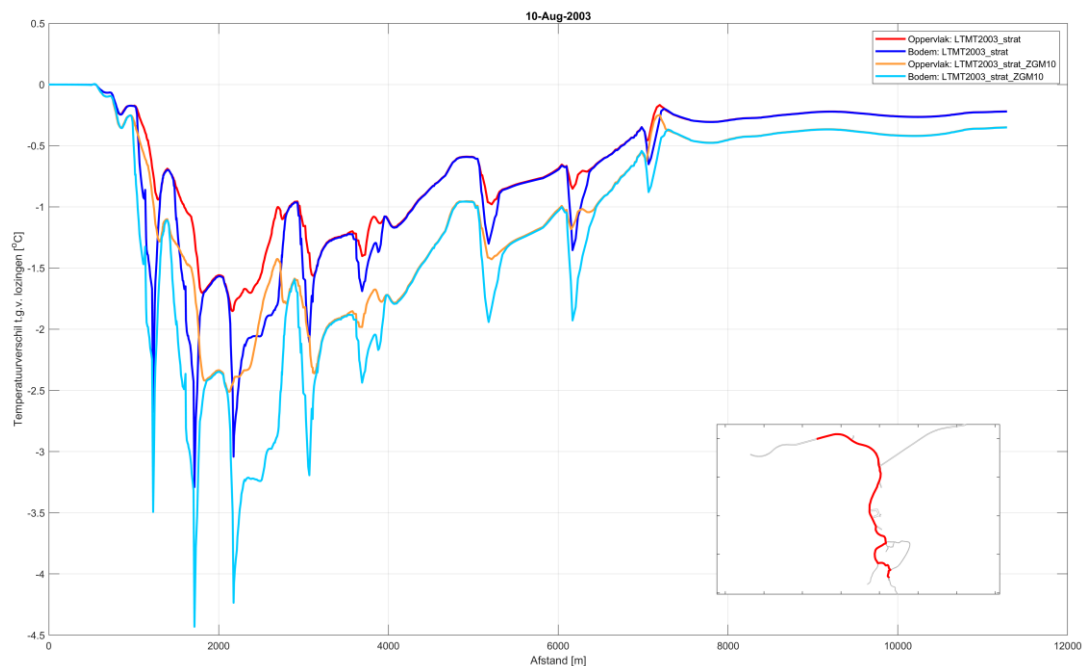
Er is een verschil zichtbaar tussen het natte jaar 2007 en het droge jaar 2003. Tabel 4.3 geeft het maximale cumulatieve temperatuureffect weer voor alle simulaties. Uit deze tabel blijkt dat de maximale temperatuurdaling voor het jaar 2003 tussen de -2.2°C en -3.9°C ligt terwijl dit voor het natte jaar 2007 tussen de -1.4°C en -4.4°C ligt. Dit gebeurt zeer lokaal waar het water wordt geloosd.

Tabel 4.3: Maximale temperatuurverschil bij de bodem door de lozingen voor de verschillende scenario's op een typische afstand van 50-100m benedenstrooms van de lozingen voor het droge jaar 2003 en het natte jaar 2007 voor verschillende manieren van het inbrengen van de lozingen

		2003		2007	
		gemengd	gestratificeerd	gemengd	gestratificeerd
met Nieuwe Mark	LT	-2.4°C	-3.0°C	-1.6°C	-2.2°C
	LT+MT	-3.2°C	-3.9°C	-3.1°C	-4.4°C
zonder Nieuwe Mark	LT	-2.2°C	-2.9°C	-1.4°C	-2.0°C
	LT+MT	-3.0°C	-3.8°C	-2.9°C	-4.1°C

Omdat het gemiddelde zomerdebiet vooraf niet bekend is, is er ook een simulatie uitgevoerd met het 10 jaar gemiddelde zomerdebiet. In deze simulatie zijn de lozingen bepaald volgens de STOWA handreiking als 5% van het 10-jaar gemiddelde zomerdebiet. Voor het jaar 2003 levert dit een situatie op waar de lozingsdebieten 54% groter zijn bij een gemiddelde zomerafvoer voor 2003. De temperatuursdaling voor de situatie met lozingen bepaald op basis van het 10 jaar zomerdebiet zijn

weergegeven in figuur 4.12. De minimumtemperatuur zou in dit geval -5.2°C worden ten opzichte van -3.9°C bij een gemiddeld zomerdebiet op basis van het jaar 2003.



Figuur 4.13 Temperatuur bodem en oppervlak langs het traject van de Mark bovenstrooms van Breda tot aan de A16 benedenstrooms van Breda voor het LTMT scenario voor het jaar 2003 op basis van de gemiddelde zomerafvoer van 2003 en op basis van het 10 jarige gemiddelde zomerafvoer.

4.3 Conclusies

Op basis van de simulaties met het 3D model is het effect van stratificatie en de cumulatieve effecten van de koudelozingen van alle kavels tezamen nader onderzocht. Hieruit zijn de volgende conclusies te trekken.

- Voor de gesimuleerde scenario's in deze studie is de maximale cumulatieve afkoeling door de verschillende lozingen is tussen de -2.2°C en -3.9°C voor een droog jaar en tussen de -1.4°C en -4.4°C voor een nat jaar. Deze maximale afkoeling vindt voor de gesimuleerde aquathermiesystemen plaats benedenstrooms van het centrum van Breda.
- De 3D-simulatie nuanceert de 1D-modelresultaten. Het laat zien dat zeer lokaal groter dalingen kunne optreden en geeft ook meer inzicht in het regeneratievermogen. Dat kan zinvol zin bij de bepaling van de locatie van de onttrekkingslocaties.
- Doordat het maximale cumulatieve temperatuurseffect groter is dan de gehanteerde 3°C , kan dit aanleiding om de omvang van die warmtekavels te verkleinen. Echter, dit is kan een zeer lokaal en tijdelijk effect zijn nabij een lozingspunt en hoeft dus niet per se maatgevend te zijn.
- Indien de lozingsdebieten worden bepaald op basis van een 10 jaar gemiddeld zomergemiddelde afvoer, dan zorgt dit voor een heel ander temperatuureffect dan wanneer het zomergemiddelde debiet op 1 jaar wordt gebaseerd. In dit scenario dalen de temperaturen met 34% extra ten opzichte van de lozingen op basis van de gemiddelde zomerafvoer van 2003. Voor het natte jaar zou de minimumtemperatuur juist stijgen.

- Mogelijkheid om de omvang van de warmte-onttrekking toch verder te vergroten is om gedurende een langer periode te onttrekken, bijvoorbeeld ook in september.
- Uit de modelberekeningen blijkt dat het water na lozing een tijd gestratificeerd kan blijven. De stratificatie is niet statisch, maar kan tot een dag lang blijven bestaan. Zodra het debiet of de turbulentie het water toeneemt toeneemt kan de stratificatie vervallen door opmenging. Het water kan daardoor ook weer sneller opwarmen door de luchttemperatuur en zoninstraling.
- Omdat de Mark een relatief klein en ondiep water is met een beperkte doorstroming, heeft de variatie in luchttemperatuur en zoninstraling een behoorlijke invloed op de watertemperatuur. Door zoninstraling varieert de watertemperatuur gedurende de dag al met zo'n 1°C.

5. Beleidsimplicaties voor Aquathermie

In de voorgaand hoofdstukken is een beeld verkregen van de mogelijke bijdrage van Aquathermie in Breda, wanneer de toepassing van aquatheorie opgeschaald zou worden. Als laatste stap in deze studie zijn de implicaties voor beleid rond aquathermie geanalyseerd.

Op dit moment wordt aquathermie nog vooral kleinschalig toegepast. Projecten zijn relatief klein, vaak 100 tot 500 woningen. In Breda is het tempo van opschaling van aquathermie nog onzeker. Onlangs is in het Havenkwartier na een lang proces de optie om Aquathermie toe te passen vervallen. In andere steden zijn echter al voorbeelden van situaties waar de opschaling al wel vorm begint te krijgen. Bijvoorbeeld in Leiden, Den Haag en in Utrecht zijn er meerdere aquathermie-initiatieven, die warmte uit het zelfde water willen halen. Gezien de ambitieuze doelstellingen van het Rijk kan de opschaling snel gaan en zal meervoudige onttrekking op meer plekken gaan spelen. Het waterschap en gemeente zullen daarop moeten daarop anticiperen. Op basis van dit onderzoek is een aantal suggesties te doen voor de doorontwikkeling van het beleid voor aquathermie.

5.1 Strategienota Aquathermie

De drie waterschappen in Noord-Brabant hebben gezamenlijk een *Strategienota Aquathermie* opgesteld. In de strategienota wordt erkent dat warmte uit water schaars is en dat dit vragen oproept over aan wie deze warmte ten goede mag komen en hoe de aanwezige warmte voor de toekomst gewaarborgd blijft bij vergunde projecten. Ook hier wordt onderscheid gemaakt in de korte termijn en lange(re) termijn:

“Om de ontwikkeling van aquathermie te stimuleren starten we echter met een ‘wie eerst komt wie eerst maalt’-principe. Gedurende de ontwikkeling van aquathermie en bij een toename van het aantal projecten wordt het aspect schaarste relevant en zal hierop geanticipeerd worden”.

Via een zogenaamde *Ontwikkelstrategie* wordt gewerkt aan de langere termijn kaders voor vergunningverlening, waarin ook het aspect van schaarste een plek krijgt. Het idee daarbij is een ontwikkeling waarbij balans is tussen enerzijds tempo maken in de warmtetransitie en anderzijds het beschermen van het water- en ecosysteem. Daar wordt invulling aan gegeven door de Aquathermieladder en de kanskaart. De aquathermieladder bestaat, in zijn uiteindelijke vorm, uit 4 categorieën op basis van geschiktheid voor aquathermie en maakt onderscheid tussen TEA (thermische energie uit afvalwater) en TEO (thermische energie uit oppervlaktewater). De wateren uit de categorie kansrijk zijn samengebracht in *kanskaart*, die proactief onder de aandacht zal worden gebracht van de gemeenten en RES regio's en ontsloten via Warmtebronnenregister van de Provincie Noord Brabant. Bij de minder kansrijke categorieën wordt een reactieve strategie gehanteerd, waarbij alleen op basis van binnenkomende initiatieven wordt onderzocht wat mogelijk is. Criteria die daarbij gehanteerd worden volgen grotendeels de *Handreiking Vergunningverlening Koudelozingen*:

- een warmtepotentieel voor minimaal 100 wooneenheden (3.000 GJ) bij:
 - een maximaal onttrekkingsdebiet van 10% van het maatgevende lage afvoerdebiet bij stromende watergangen;

- maximaal 10% van de warmte-inhoud bij stilstaande wateren;
 - de mogelijkheid voor opslag (WKO) met een laadtijd van max. 2.500 uur;
 - een maximale afkoeling van 5°C van het onttrokken debiet.
- de aanwezigheid van relatief dichte bebouwing op een afstand van 1 à 2 km van de bron;

Daarnaast wordt een aantal wateren/watertypen definitief uitgesloten:

- Wateren gelegen in Natura 2000 gebieden
- Wateren met provinciale bestemming 'waternatuur'

	TEO	TEA
Kansrijk	Robuuste wateren met voldoende potentie vanaf 100 WEQ ² bij max. 10% benutting en een Δt 5°C, zoals vaarten, rivieren, kanalen, en diepe plassen.	Effluent rwzi tot temperatuur ontvangend oppervlaktewater (zonder koudelozing) Effluent rwzi's met koudelozing op robuuste watergangen.
n.t.b.	Sloten, middelgrote/diepe plassen	Effluent rwzi met koudelozing op niet robuuste wateren
n.t.b.	Beek, riviertjes, kleine ondiepe plas	Rioolstelsel, tenzij geen impact op zuiveringsprestaties
Kansarm	(Beschermd) wateren met hoge ecologische waarde, hoge gevoeligheid, droogval, zoals bronnen, moerassen en vennen.	-

Figuur 5.1 De aquathermieladder. In eerste versie worden enkel de meest kansrijke en minst geschikte wateren weergegeven. Het invullen van de 2 midden categorieën vraagt meer tijd en onderzoek en zal daarom in een latere fase volgen.

5.2 Waterenergievisie

Op basis van dit onderzoek kan een aantal suggesties worden gedaan om het de Strategienota verder door te ontwikkelen. Een eerste suggestie zou zijn om een Waterenergievisie op te stellen. Deze visie kan eventueel een onderdeel zijn van een Omgevingsvisie. Voor het opstellen van een Waterenergievisie kan gebruik worden gemaakt van de Aquathermieviewer³. In deze viewer zijn kaarten te vinden waar voor elke watergang de jaarlijkse warmtecapaciteit worden bekeken. Er is ook een kaart te zien waarin de warmtecapaciteit vergeleken kan worden met de warmtevraag in de omgeving, waarmee te zien is of er mogelijk sprake kan zijn van schaarste. Ook is een kaart opgenomen met een classificering van de ecologische kwetsbaarheid van de wateren Wortelboer & Harezlak. (2020).

In de waterenergievisie zouden drie typen gebieden aangewezen kunnen worden: Voorkeursgebieden, Aandachtsgebieden en uitsluitingsgebieden. Voor deze drie typen kunnen verschillende beleidsregimes gelden.

² Woning Equivalent, waarbij uitgegaan wordt van een energievraag van 30GJ per jaar per woning (label B).

³ Landsdekkende potentiekaart voor Aquathermie ontwikkeld binnen WarmingUP: www.aquathermieviewer.nl

1. Voorkeursgebieden met algemene regels

Voorkeursgebieden zijn watergangen met een relatief grote potentie in relatie tot de warmtevraag in de omgeving. Omdat er weinig kans is op overbevragen is het risico op ecologische impact klein. Dit neemt niet weg dat er wel vergunningen verleend moeten worden en dat die getoetst moeten worden op ecologische criteria. De handreiking Vergunningverlening Koudelozingen is daarvoor een geschikt instrument.

2. Aandachtsgebieden met specifieke regels

In gebieden waar de warmtecapaciteit van het watersysteem beperkt is in relatie tot de warmtevraag is er kans dat het watersysteem overvraagd zou kunnen worden. Het cumulatieve effect van alle warmteonttrekkingen is namelijk bepalend voor de watertemperatuur. De handreiking Vergunningverlening Koudelozingen stelt daarvoor een zogenaamde cumulatietoets voor. Nadere uitwerking van deze toets wordt geadviseerd en is extra regulering voor nodig.

3. Uitsluitingsgebieden

Dit zijn gebieden waarin wateren liggen met een hoge natuurwaarde en die kwetsbaar zijn voor de dalingen in de watertemperatuur. De Brabantse waterschappen sluiten alle wateren die vallen onder Natura2000 of Provinciale bestemming Waternatuur uitgesloten van aquathermie.

Tabel 5.1 Typering gebieden en beleidsregime

1. Voorkeursgebieden	Algemene regels	Handreiking Koudelozingen	Grote potentie, Niet kwetsbare gebieden
2. Aandachtsgebieden	Specifieke regels	Waterenergieplan	Gebieden met potentiële warmte- overvraag.
3. Uitsluitingsgebieden	Verbod		Natura 2000, kwetsbare natuur

5.3 Aandachtsgebieden

Voor de aandachtsgebieden is extra beleid nodig om de cumulatieve effecten van meervoudige onttrekking te reguleren. Een cumulatietoets kan volgens twee principes:

- Wie het eerst komt wie het eerst maalt: bij elk initiatief wordt een cumulatietoets uitgevoerd. Als de grenzen zoals vastgesteld in het beleidskader vergunningverlening worden bereikt, dan geldt voor het laatste initiatief een beperking op de capaciteit. De eerdere initiatieven hebben de vergunningsruimte immers al verworven. Nadeel hiervan is de onrechtvaardigheid en dat het aanvragen voor grotere vergunningsruimte in hand werkt. Op lange termijn is deze ruimte er misschien niet meer en kan er niet meer worden uitgebreid.
- Waterenergieplan: hierin wordt vooraf een plan gemaakt van toegestane warmte-onttrekkingen waarbij rekening gehouden is met de cumulatieve effecten. Dit zou kunnen leiden tot een eerlijkere verdeling van de warmte. Nadeel is dat het niet altijd van te voren bekend of in te schatten is waar de warmte-onttrekkingen zullen plaatsvinden en wat de omvang van de winningen zijn.

5.4 Vergunningverlening via Waterenergieplan

Vergunningverlening aan de hand van een waterenergieplan verloopt dan ook vermoedelijk anders. Het waterenergieplan geldt dan als een referentieontwerp, waartegen vergunningsaanvragen getoetst worden. 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 reguleert hoe om te gaan met meervoudige warmteonttrekkingen. Er worden afspraken gemaakt over omvang van de onttrekkingen en afstanden tussen winningslocaties. Op deze manier zou het water weer voldoende opwarmen (regeneratievermogen) voor de volgende koudelozing.

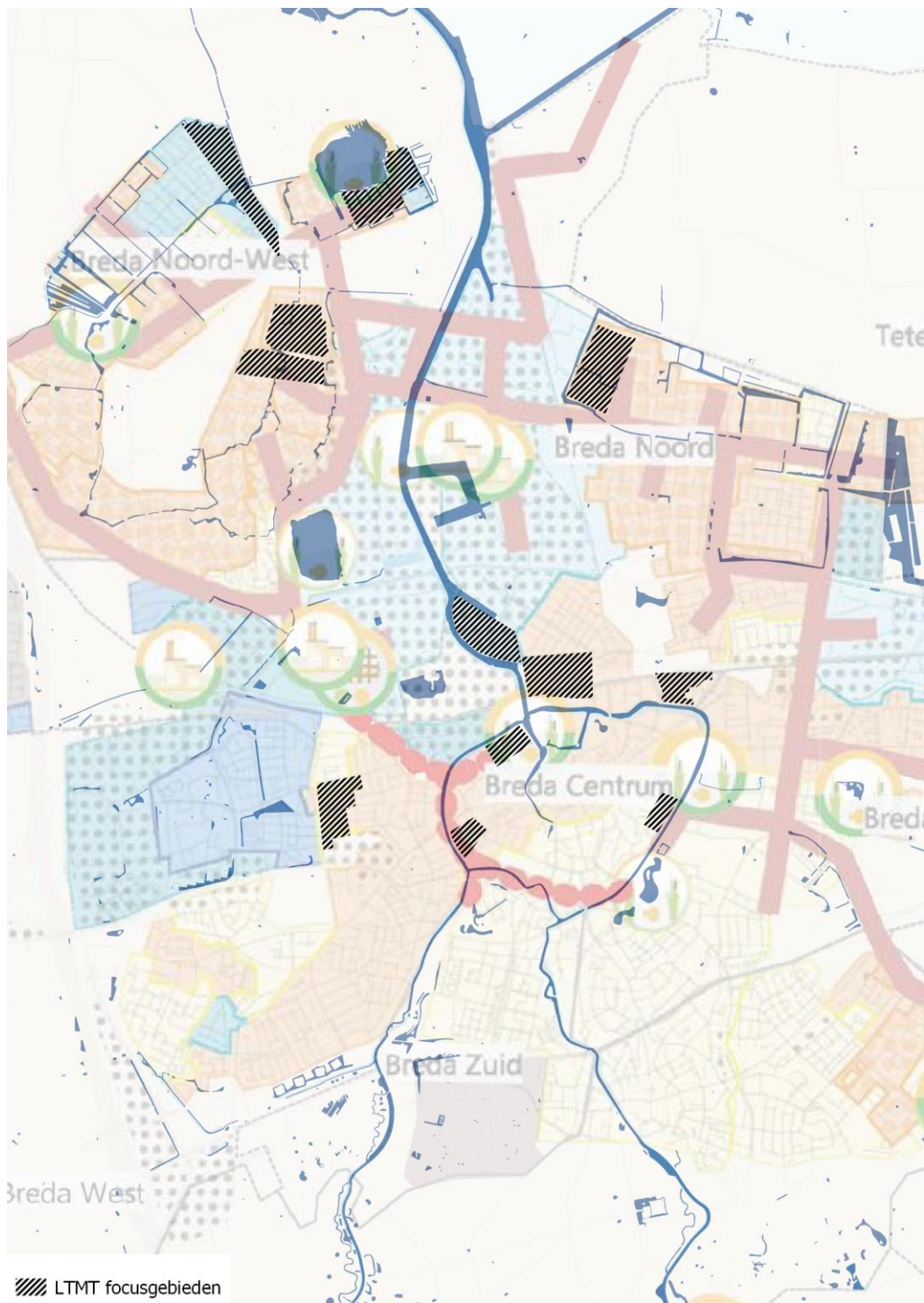
Als er daadwerkelijk een vergunningsaanvraag binnen komt, moet nagegaan worden in hoeverre dat afwijkt van het waterenergieplan. Als het binnen de range van het waterenergieplan blijft, kan de vergunning verleend worden. Indien het afwijkt, dan kan de vergunning geweigerd worden. Er dient tevens een optie te zijn dat afwijkingen wel worden geaccepteerd, indien goed onderbouwd. Dit moet mogelijk zijn zolang dat definitieve kaververdeling nog niet vaststaat.

5.5 Additionele maatregelen: tijdelijke beperkingen

Daarnaast zou het verstandig zijn om beleidsbepalingen te ontwikkelen om tijdelijke beperkingen bij lage debieten af te kunnen kondigen. Dat kan grote dalingen in de watertemperatuur voorkomen en daarmee de impact op het ecosysteem. Daartegenover zou ook toegestaan kunnen worden dat op momenten met veel debiet er ook meer warmte onttrokken mag worden (dynamische randvoorwaarde voor het onttrekkingsdebiet), waarmee de beperkingen gecompenseerd kunnen worden. Het voordeel daarvan zou zijn dat grote temperatuurdalingen voorkomen worden, maar over het hele seizoen gezien meer warmte gewonnen kan worden.

5.6 Bijdrage aan transitiebeleid Aardgasvrij

Een waterenergievisie zou ook een kader kunnen bieden voor de bronnenstrategie van de gemeente. Het geeft namelijk aan welke (delen) van wateren wél en niet als warmtebron gebruikt mogen kunnen worden. Ter illustratie is in figuur 5.2 de warmtekaart uit de Transitievisie Warmte nogmaals weergegeven, maar nu met de potentiële aquathermie warmtekavels erin geplaatst. Hierdoor wordt inzichtelijk gemaakt waar de potentiële Aquathermie-kavels liggen. Het deel van de warmtevraag dat overblijft zal door andere warmtebronnen ingevuld moeten worden. Een dergelijke uitwerking kan zo helpen de bronnenstrategie aan te scherpen. Gemeenten en waterschappen zouden gezamenlijk zo'n nadere uitwerking opstellen en eventueel vastleggen in een waterenergieplan. In deze dialoog kan het energiebelang en het natuur- en waterbelang zorgvuldig afgewogen worden.



Figuur 5.2 De warmtekaart uit de Transitievisie Warmte van Breda, met daarin de gearceerde vlakken als de potentiële warmtekavels voor aquathermie, waarbij De Mark niet overvraagd wordt. Deze illustreert hoe met deze aanpak de Transitievisie Warmte nader kan worden uitgewerkt met betrekking tot de bronnenstrategie en kavelindeling.

5. Conclusies en aanbevelingen

In deze studie zijn potentiële Aquathermie-kavels in Breda geïdentificeerd middels verkennende 1D-berekeningen. Zo is een beeld verkregen van de mogelijke bijdrage van Aquathermie aan de energietransitie als aquathermie opgeschaald zou worden. Er is een nadere 3D-analyse gemaakt van de effecten op de watertemperatuur van De Mark, waarbij ook stratificatie-effecten en cumulatieve effecten zijn meegenomen. Tot slot zijn de consequenties van de resultaten doorvertaald naar het waterbeleid en energietransitie-beleid en zijn de beleidsimplicaties voor aquathermie geanalyseerd met het oog op opschaling.

5.1 Conclusies

Potentiële warmtekavels die in aanmerking komen voor aquathermie uit De Mark.

Op basis van warmteprofielen is het mogelijk om potentiële aquathermie-warmtekavels te identificeren. De warmteprofielen geven aan of gebouwen geschikt zijn voor een lage, midden of hoge temperatuursystemen. Gebouwen met eenzelfde profiel en die dicht bij elkaar in de buurt liggen kunnen geclusterd worden tot logische warmtekavels. Dit levert een set van potentiële warmtekavels op die geschikt zijn voor aquathermie. Er is onderscheid gemaakt in warmtekavels met bebouwing die alleen geschikt is voor lage temperatuur en kavels met bebouwing die geschikt is voor lage- én middentemperatuur. De omvang van de kavels kan bepaald worden aan de hand van temperatuurberekeningen. De 1D-modelberekeningen zijn hier goed bruikbaar voor. De omvang van de kavels moet corresponderen met de (maximale) warmte-onttrekkingen binnen de randvoorwaarde voor temperatuurdaling en onttrekkingsdebieten.

De hoeveelheid warmte die uit de Mark kan worden gewonnen.

Op basis van de verkennende 1D-modelberekeningen zouden alle potentiële lage temperatuur warmtekavels, voorzien kunnen worden van warmte uit De Mark binnen de temperatuurgrens van 3°C daling. Worden de randvoorwaarden voor vergunningverlening toegepast, dan mag minder warmte onttrokken worden. In het geval van de LT kavels kan in 2003 in ca. 82% van de warmtevraag worden voldaan in 2007 in 98%. Dit komt overeen met 2.889 en 3.458 woningen voor respectievelijk 2003 en 2007.

Kijken we naar de warmte-onttrekking van alle LT+MT kavels, dan treden grote temperatuurdalingen op. Wanneer de randvoorwaarden voor vergunningverlening worden toegepast, dan kan slechts in 20% van de warmtevraag worden voorzien en in 2007 ca. 36%. Als het droge jaar 2003 als maatgevend zou worden genomen, dan kunnen ca. 4.443 woningen in Breda uit De Mark verwarmd worden met Aquathermie. Als 2007 als maatgevend zou zijn, dan zouden dat ca. 8.185 woningen zijn.

De verwachte effecten op de watertemperatuur van De Mark.

Met de 3D-modelberekeningen is het effect op de watertemperatuur nauwkeuriger bepaald door ook het effect van stratificatie mee te nemen. Voor een droog jaar ligt de maximale cumulatieve afkoeling tussen -2.2°C en -3.9 °C en tussen -1.4°C en -4.4 °C voor een nat jaar. De 3D-

modelberekeningen laten dus een iets grotere daling zien dan de 1D-modelberekeningen. Deze maximale afkoeling vindt voor de gesimuleerde aquathermiesystemen plaats benedenstrooms van het centrum van Breda.

Omdat het maximale cumulatieve temperatuurseffect groter is dan de gehanteerde 3°C, kan dat aanleiding zijn om de omvang van de aquathermie-warmtekavels nog verder terug te brengen. Dit is echter een zeer lokaal en tijdelijk effect nabij een lozingspunt en hoeft dus niet per se maatgevend te zijn.

In De Mark kan stratificatie optreden op momenten dat er weinig turbulentie is. Deze stratificatie kan tot een dag lang blijven en neemt af zodra de turbulentie in het water toeneemt. Omdat de Mark relatief klein en ondiep is en een beperkte doorstroming heeft, heeft de variatie in luchttemperatuur en zoninstraling een behoorlijke invloed op de watertemperatuur. De aanwezigheid van De Nieuwe Mark heeft een beperkte invloed op de temperatuureffecten, mede doordat er geen koudelozingen in de Nieuwe Mark zijn gepland.

De implicaties voor het beleid rondom aquathermie.

Opschaling van aquathermie vraagt om een doorontwikkeling van beleid. Twee instrumenten zouden daarin een rol kunnen spelen: een *waterenergievisie* en een *waterenergieplan*. De *waterenergievisie* zou een nadere uitwerking kunnen zijn van de Strategienota Aquathermie. Daarin kunnen drie typen of watergangen aangewezen worden: voorkeursgebieden, uitsluitingsgebieden en aandachtsgebieden. Voor deze drie typen kunnen verschillende beleidsregimes gelden. Aandachtsgebieden zijn gebieden met waterlichamen waar potentieel een grotere warmtevraag is dan warmteaanbod. In die gebieden treedt het risico op overbelasting op. Hier geldt dat er getoetst moet worden op stratificatie en cumulatieve effecten. Als de daling van de temperatuur te groot wordt, dan is er voor initiatieven die later komen geen ruimte meer. Naast het principe van wie-het-eerst-komt-wie-het-eerst-maakt, is ook een ander verdelingsprincipe mogelijk, namelijk die van het waterenergieplan. Daarbij wordt vooraf een (ruimtelijk) plan gemaakt met een verdeling van aquathermie-warmtekavels. De aanpak die in deze studie is ontwikkeld kan daarvoor gebruikt worden. Bij toetsing aan een waterenergieplan zijn de cumulatieve effecten al in het plan opgenomen. Nadeel van deze aanpak is dat de warmtekavels bekend moeten zijn, maar dat de kavels op dit moment nog niet zijn aangewezen. Andersom, zou een waterenergieplan juist kunnen helpen om de bronnen en warmtekavels aan te wijzen en daarmee het energietransitie-beleid concretiseren. Tot slot zou het verstandig zijn om beleidsbepalingen te ontwikkelen om tijdelijke beperkingen bij lage debieten af te kunnen kondigen. Dat kan grote dalingen in de watertemperatuur en impact op het ecosysteem voorkomen.

5.2 Discussie

5.2.1 Aquathermie-beleid voor de toekomst

Op dit moment is de toepassing van aquathermie nog relatief kleinschalig in Nederland. Er is veel ambitie om aquathermie op de korte termijn te stimuleren. In de meeste gevallen blijven de initiatieven ruim binnen de beschikbare warmtecapaciteit. Er zijn echter al situaties bekend waarin meerdere warmte-onttrekkingen uit dezelfde watergang gepland zijn en waarbij verwacht kan worden dat er cumulatieve effecten op gaan treden. Gezien de ambitieuze doelstellingen van het Klimaatakkoord zal dit naar verwachting vaker op gaan voorkomen. Men het oog op de langere termijn is van belang om daar nu al op te anticiperen.

In deze studie wordt een onderscheid gemaakt tussen een waterenergievisie en een waterenergieplan. Beide zijn mogelijke beleidsinstrumenten om op deze opschaling te anticiperen, waarbij de waterenergievisie de hoofdlijnen aangeeft en een waterenergieplan een concrete uitwerking voor een aandachtsgebied vormt. De methode die in deze studie is ontwikkeld kan daarvoor gebruikt worden.

5.2.2 Potentiële Aquathermie-kavels

In deze studie is uitgegaan van de warmteprofielenkaart van de gemeente Breda. Deze geeft weer welke gebouwen geschikt zijn voor op lage, midden- of hoge temperatuursystemen. Daarvan zijn clusters gemaakt en is aangenomen dat deze kavels aquathermie als warmtebron krijgen. Bij de bepaling van de potentiële warmtekavels voor Aquathermie is echter géén rekening gehouden met andere warmtebronnen. Het kan dus best zo zijn dat bepaalde kavels beter op een andere warmtebron aangesloten zouden kunnen worden. Ook is er geen rekening gehouden met zogenaamde 'energielabelsprongen' (bijvoorbeeld door isolatie) waardoor kavels groter kunnen worden. De uiteindelijke bron- en kavelverdeling is een complex proces. Deze studie kan daarbij helpen door een eerste ruimtelijk beeld van Aquathermie-warmtekavels te schetsen. Dit beeld zou in een aantal iteratieslagen verder uitgewerkt kunnen worden, waarin ook andere bronnen aan de puzzel worden toegevoegd, zodat er een totaalplaatje kan gaan ontstaan.

5.2.3 Ecologische draagkracht

In deze studie is naar de daling in de watertemperatuur gekeken als indicator voor ecologische impact en niet naar de daadwerkelijke impact op de ecologie. Effecten van bijvoorbeeld filtering zijn ook niet meegenomen. Doordat koudepluimen in smalle lijnvormige wateren langdurig aanwezig kunnen blijven, zijn lokaal beperkingen in habitatgeschiktheid te verwachten als gevolg van koudelozingen. Hierover is binnen WarmingUP afgelopen jaren de nodige kennis vastgelegd en ontwikkeld. Deze inzichten zullen in de update van de handreiking vergunningverlening koudelozingen worden verwerkt. Mogelijk worden de criteria daarop aangepast.

In de handreiking Vergunningverlening Koudelozingen zijn recentelijk de voorwaarden aangepast. Voor lijnvormige, stromende watergangen geldt tegenwoordig de randvoorwaarde voor het onttrekkingsdebiet van 10% van het zomergemiddeld debiet, waar dat voorheen 5% was. In de Strategienota Aquathermie wordt ook 10% van het maatgevende lage afvoerdebiet gehanteerd. Uitgaand van deze studie lijkt dat toch te veel. Kortom, het heroverwegen en verduidelijken van de uitgangspunten en vergunningscriteria is belangrijk.

5.2.4 Verschil tussen 1D berekeningen en de 3D berekeningen.

In deze studie is gebruik gemaakt van 1D modellen en daarna 3D modellen. Deze tweetrapsraket werkt goed. Voordeel van het 1D-model is dat gebruik gemaakt kan worden van bestaande modelschematisaties en dat op een relatief eenvoudige wijze tot een eerste selectie van potentiële aquathermie-warmtekavels gekomen kan worden. Echter, het gebruikte 1D-model houdt geen rekening met stratificatie. Daarom raden we (voor dit soort analyses) aan om een extra 3D-modellering uit te voeren om de impact van deze processen op de verspreiding van koude in het watersysteem te toetsen.

5.2.5 Kosten

In deze studie is een situatie doorgerend waarin aquathermie op een bepaalde wijze is opgeschaald. Hierbij is geen rekening gehouden met de kosten en technische, haalbaarheid. Deze studie was daarvoor niet bedoeld. Voor een inschatting van de kosten van aquathermie verwijzen we naar De Fockert et al (2022).

5.2.6 Ruimtelijk inpassing

In een studie voor Nijmegen waarbij gekeken is naar opschaling van aquathermie, kwam naar voren dat de ruimtelijke inpasbaarheid een punt van aandacht is (Roosjen et al, (2021). Naast de leidingen van het warmtenet, legt ok de warmteopslag (wko) een aanzienlijk beslag op de ondergrondse ruimte. Ook bovengronds moet er ruimte zijn voor de (industriële) warmtepompen. Hier moet dus rekening gehouden worden. Voor handvatten over hoe het ondergrondperspectief in de warmtetransitie kan worden meegenomen verwijzen we naar Maring et al (2022).

5.3 Aanbevelingen voor Breda

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

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

In Breda is er potentie voor aquathermie. Benut de potentie van deze warmtebron door projecten te initiëren en te faciliteren. Zorg ervoor dat de projecten gemonitord worden, zodat meer inzicht verkregen kan worden in de effecten op de watertemperatuur, de impact van filtering en stroming en daarmee op de ecologie.

2. Maak gebruik van het hydrologisch model om extra scenario's door te rekenen

Met het ontwikkelde 3D-model kunnen een aantal extra onderzoeken gedaan worden. Relevante vervolgvragen die uit dit onderzoek naar voren komen zijn, o.a.

- De extra hoeveelheid warmte die gewonnen kan worden als de onttrekkingen langer zouden doorgaan (bijvoorbeeld tot eind september)
- De omvang van de warmtekavels wanneer de woningen en gebouwen aangesloten worden op een bronnet met warmte-koudeopslag (wko) en aquathermie gebruikt wordt om de wko in balans te houden.
- De effecten op de watertemperatuur bij gebruik van aquathermie voor de (her)ontwikkeling van 't Zoet.

2. Maak voor Breda een nadere uitwerking van de beleidslijn aquathermie door een waterenergievisie en eventueel waterenergieplannen te maken.

Het uitwerken van een waterenergievisie kan duidelijkheid geven aan zowel de gemeente als het waterschap met betrekking tot deze bron en de warmtekavels. In de waterenergievisie kunnen de voorkeurslocaties, uitsluitingslocaties en aandachtsgebieden worden opgenomen. De aanwezigheid van andere warmtebronnen in de omgeving, of het gebrek daaraan zou als extra criterium meegenomen kunnen worden bij het aanwijzen van voorkeurs- of uitsluitingslocatie. Op de korte termijn lijkt er nog geen directe aanleiding te zijn om al waterenergieplannen op te stellen. Er zijn nog maar weinig aquathermie-projecten. Het wordt wel aanbevolen om de aanvragen en plannen in de gaten te houden en op tijd een waterenergieplan op te stellen, afhankelijk van het tempo van opschaling. Er zal niet alleen naar De Mark gekeken moeten worden, maar ook naar de andere wateren in Breda. De waterenergievisie (en eventuele waterenergieplannen) zou gezamenlijk opgesteld moeten worden door het waterschap en de gemeente.

3. Concretiseer de potentiële opschaling van aquathermie ten behoeve van het energietransitie-beleid.

In deze studie is bij de selectie van potentiële aquathermie-warmtekavels geen rekening gehouden met andere warmtebronnen, energielabelsprongen of andere overwegingen, zoals de woningbouwcorporaties, lopende initiatieven en draagvlak onder bewoners. Door die informatie toe te voegen wordt een nog beter en verfijnder beeld verkregen van de potentiële kavels. De effecten daarvan op de watertemperatuur kunnen eenvoudig worden doorgekend met het voor deze studie opgezette hydrodynamische model. Verschillende scenario's kunnen doorgerekend worden waarmee een bedrag geleverd wordt aan de verdere uitwerking van de transitievisie warmte en wijkuitvoeringsplannen.

4. Breid de toetsingscriteria voor vergunningverlening uit.

Er wordt aangeraden om bij de vergunningverlening, naast het zomergemiddeld debiet, ook te toetsen op maatgevende lage debieten en cumulatieve effecten. Dit kan bijvoorbeeld met behulp van modelberekeningen. Geadviseerd wordt het toegestane onttrekkingsdebiet van 10% van het zomergemiddeld debiet te herijken, omdat het een risico geeft op grote temperatuurdalingen. Daarnaast wordt geadviseerd de het cumulatieve effect van lozingen te toetsen.

5. Nader onderzoek naar mogelijkheden om effecten te beperken.

Er wordt geadviseerd om nader onderzoek te (laten) doen naar mogelijkheden om effecten te beperken. In relatie tot het technisch ontwerp kan onderzoek gedaan worden naar de wijze van koudelozingen om stratificatie zoveel mogelijk tegen te gaan, bijvoorbeeld door te zorgen voor extra turbulentie waardoor het sneller opmengt. In relatie tot beleidsinstrumenten zou uitgezocht moeten worden of het gericht en tijdelijk beperking van warmte-onttrekkingen mogelijk is, indien de watertemperatuur teveel daalt. Er dient nader onderzoek te komen onder welke voorwaarden dat soort beperkingen opgelegd zouden kunnen worden.

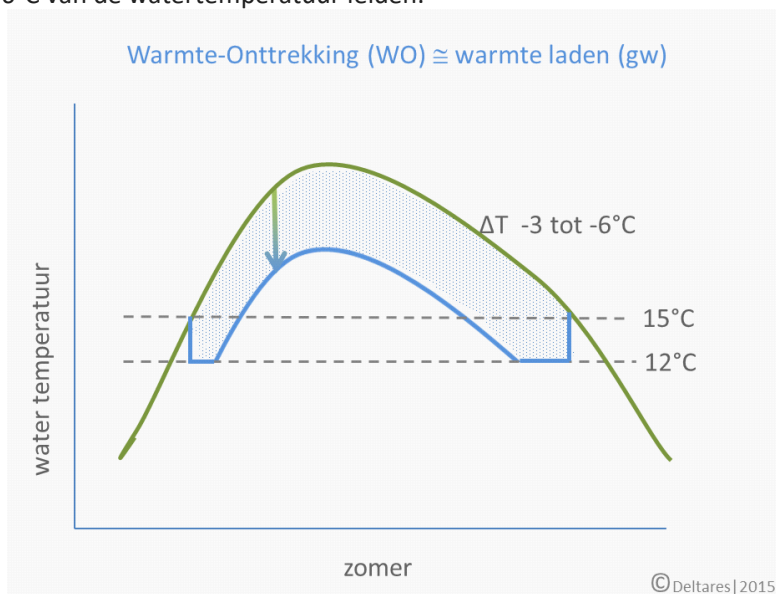
6. Bronnen

- Regionale Energiestrategie (2021) Breda. https://Breda.nl/wp-content/uploads/2020/04/Concept-regionale_Energiestrategie_Holland_Rijnland_29-04-2020.pdf
- CE & Deltares (2018). Nationale potentie Aquathermie
- <https://Breda.nl/ruimte/energie/PBL> (2019) Achtergronddocument Effecten Ontwerp Klimaatakkoord: Gebouwde Omgeving | PBL Planbureau voor de Leefomgeving.
- [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
- Maring, L, Van der Brugge, R. Roovers, G. Handvatten voor de inpassing van warmtenetten in de ondergrond (rapport) Deltars, Saxion en TNO.
- Roosjen, R. Van der Brugge, R., de Fockert, A. (2021) Grootschalige aquathermie: realistische warmteoptie? Casus Nijmegen. 11205153-001-BGS-0001
- Van der Brugge, R., Roosjen, R. Van der Linden, A. Boderie, P. Rooze, D. (2022) Aquathermie in Holland Rijnland. Deltares.
- HKV (2017), *"Effecten Nieuwe Mark zonder Sluis of Stuw"*, Notitie PR 3523.10
- Deltares (2015), *"LSM achtergronddocument – KPP2015 hydraulica schematisaties - zoet"*, Deltares ref: 1120072-015-ZWS-0002
- Deltares (2021), *"D-FLOW Flexible Mesh – User Manual"*, version 0.9.1, SVN revision 70209
- Doneker, R.L. and G.H. Jirka, (2007) *"CORMIX User Manual: A Hydrodynamic Mixing Zone Model and Decision Support System for Pollutant Discharges into Surface Waters"*, EPA-823-K-07-001, Dec. 2007.
- Choi, K.W., Li, J.H.W, (2008), Closure to *"Distributed Entrainment Sink Approach for Modeling Mixing and Transport in the Intermediate Field"*, Journal of Hydraulic Engineering 133(7), p.p 804-815, DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9429(2007)133:7(804)

7. Bijlage A Methode 1D berekeningen

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>).

Gangbare randvoorwaarden voor de berekeningen van de warmtecapaciteit, die ook in andere potentiëstudies gebruikt zijn, zijn weergegeven in figuur 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 1 Het meest gangbare onttrekkingsregime voor Aquathermie potentieberekeningen.

De warmte-onttrekkingscapaciteit (WOC) is opgebouwd uit twee componenten.

Stromende wateren

Voor stromende wateren is de WOC een functie van de afvoer Q (m^3/s) en de maximale temperatuurverandering:

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

Waarbij $|Q|$ de stromingsrichting onafhankelijke waarde is van de afvoer, ρ_W de dichtheid van zoet water (998 kg/m^3), c_p de warmtecapaciteit van water ($4195 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$) en ΔT de temperatuursverhoging. De warmte-onttrekkingscapaciteit 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 m^2) en ΔT 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.

Warmteonttrekking (WO)

De warmtevraag van de geselecteerde LT-kavel(s) en LT+MT-kavel(s) is verdeeld over De Mark en omgezet naar een warmteonttrekking per modelsegment met behulp van een Python routine. 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:

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

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%, 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.

Scenario 2

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, ρ_w de dichtheid van zoet water (998 kg/m^3), c_p de warmtecapaciteit van water (4195 $J/kg^{\circ}C$) en ΔT het temperatuurverschil ($5^{\circ}C$).

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

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

Welke weer wordt omgezet naar een hoeveelheid onttrokken energie per tijdseenheid (in MW_{th}).

Scenario 3

Voor scenario 2 zijn de gewenste onttrekkingen en aantal onttrekkingen gelijk aan scenario 1, maar de dagelijks opgelegde onttrekking in het model is gelimiteerd door randvoorwaarden over een maximale daling van de watertemperatuur van het Sobek-segment van 3°C en een minimum watertemperatuur van 12°C. Dit 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.

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 CO2-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>