



Nationaal potentieel van aquathermie

Analyse en review van de
mogelijkheden



Committed to the Environment

Deltares
Enabling Delta Life



Nationaal potentieel van aquathermie

Analyse en review van de mogelijkheden

Dit rapport is geschreven door:

Katja Kruit (CE Delft)

Benno Schepers (CE Delft)

Ronald Roosjen (Deltares)

Pascal Boderie (Deltares)

Delft, CE Delft, september 2018

Publicatienummer: 18.5S74.116

Energietechniek / Warmtewinning / Water / Oppervlakte water / Afvalwater / Drinkwater / Potentieel
VT: Aquathermie

Opdrachtgever: STOWA

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider [Benno Schepers](#) (CE Delft)

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Inhoud

	Samenvatting	3
1	Inleiding	4
2	Definities	5
	2.1 Werking van aquathermie	5
	2.2 Definities van potentiëlen	5
3	Thermische energie uit oppervlaktewater (TEO)	8
	3.1 Beschrijving van het concept	8
	3.2 Methodiek op hoofdlijnen	9
	3.3 Potentieel van het watersysteem	9
	3.4 Potentieel van de warmtevraag relevant voor TEO	16
	3.5 Potentieel TEO	18
4	Thermische energie uit afvalwater (TEA)	21
	4.1 Beschrijving van het concept	21
	4.2 Potentieel TEA	21
5	Thermische energie uit drinkwater (TED)	23
	5.1 Beschrijving van het concept	23
	5.2 Potentieel TED	23
6	Review financiële cockpit	24
	6.1 Review parameters en model	24
	6.2 Toepasbaarheid voor andere vormen van aquathermie	26
7	Conclusies en aanbevelingen	27
	7.1 Conclusies	27
	7.2 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek	28
	Literatuur	29

Samenvatting

Nederland staat voor de grote uitdaging om in 2050 een warmtevoorziening te hebben waarin geen aardgas wordt gebruikt en die geen CO₂-uitstoot heeft. Om hier invulling aan te geven zijn de laatste jaren diverse technieken beschikbaar gekomen. Eén van de opties die tot op heden echter beperkt aandacht heeft gekregen is aquathermie. In deze studie is daarom een inschatting gemaakt van de potentie van de verschillende varianten van aquathermie. Daaruit blijkt dat het gebrek aan aandacht ontorecht is: aquathermie kan namelijk onder de juiste condities een aanzienlijke bijdrage leveren aan de transitie van de warmtevoorziening. De varianten die bekeken zijn, zijn thermische energie uit oppervlaktewater, afvalwater en drinkwater: TEO, TEA en TED.

Thermische energie uit oppervlaktewater (TEO)

In de Nederlandse delta is veel oppervlaktewater beschikbaar. In theorie overtreffen de thermische mogelijkheden van dit water de totale warmtevraag van Nederland. TEO is met name interessant voor gebieden waar de warmtevoorziening ingevuld kan worden met temperaturen lager dan 70 graden. Om het potentieel van TEO te bepalen, zijn drie criteria toegepast:

1. Het warmtevraaggebied moet geschikt zijn voor een warmtenet.
2. De nabijheid van een waterlichaam waar warmte uitgehaald kan worden is voldoende. Hier hanteren we een maximum van 5 km. De eerdere potentiëstudie van IF Technology (2016) hanteerde een kleinere afstand.
3. De ondergrond moet geschikt zijn om als warmtebuffer op te treden om de warmte uit de zomer in op te slaan, zodat deze in de winter gebruikt kan worden.

Wanneer de drie criteria gecombineerd worden, dan blijkt dat TEO een economisch potentieel heeft van ongeveer 150 PJ per jaar, ruim 40% van de totale toekomstige warmtevraag in de gebouwde omgeving van 350 PJ per jaar. De eerdere studie van IF Technology gaf een totale potentie van 42 PJ (12% van de toekomstige warmtevraag).

Thermische energie uit afvalwater (TEA)

Naast het oppervlaktewater heeft ook het afvalwater in Nederland een grote thermische potentie. Deze thermische potentie kan ontsloten worden op verschillende punten in de keten (rioolgemalen en RWZI's). Door Tauw en IF Technology is een analyse uitgevoerd naar de kansen. Zij komen tot de conclusie dat TEA een economisch potentieel heeft circa 56 PJ per jaar.

Thermische energie uit drinkwater (TED)

Met name bij de productie van drinkwater komt warmte vrij. Deze warmte kan nuttig ingezet worden voor de verwarming van gebouwen. Een analyse van KWR schat het potentieel hiervan op circa 4-6 PJ per jaar.

Deze studie presenteert de potentiëlen van de varianten tezamen, maar deze zijn niet additioneel. De potentiëlen van TEO, TEA en TED vertonen overlap. Het totale potentieel is dus niet de som van de drie. Aanvullende analyses zijn nodig om dit gezamenlijk potentieel te bepalen. Dit geldt ook voor het realistische (markt-) potentieel. Hiervoor moeten de aquathermie-concepten met alternatieve, concurrerende technieken vergeleken worden. Om uiteindelijk een goede analyse van de kansen van aquathermie te maken, wordt aanbevolen om de witte vlekken in data en kennisvelden in te vullen. Succesfactoren voor het realiseren van het potentieel zijn onder meer de ontwikkeling van warmtenetwerken, subsidiëring zoals SDE+ en opname in energietransitiemodellen.

1 Inleiding

De energietransitie krijgt de laatste tijd steeds meer vorm in Nederland. Een grote set aan technische mogelijkheden is de laatste jaren uitgewerkt. Eén van de mogelijkheden die echter pas recent onder de aandacht is gekomen, is de mogelijkheid om met behulp van water een bijdrage te leveren aan de warmte- en energietransitie van Nederland.

Om inzicht te krijgen in de mogelijkheden die er zijn van water in combinatie met thermische energie hebben STOWA, de Unie van Waterschappen, Rijkswaterstaat en het ministerie van I&W aan CE Delft en Deltares gevraagd het nationaal potentieel van aquathermie in beeld te brengen.

In de afgelopen jaren is er een aantal onderzoeken uitgevoerd naar de potentiëlen van de verschillende vormen van aquathermie. Een totaalbeeld hiervan is echter nog niet opgesteld. Daarom is voor Thermische Energie uit Oppervlaktewater (TEO) een vernieuwde kwantitatief onderzoek gedaan en is aan de hand van een bureaustudie een analyse gemaakt van de uitgevoerde deelstudies voor Thermische Energie uit Afvalwater (TEA) en Thermische Energie uit Drinkwater (TED). Deze analyses bestaan uit een kritische review van de studies, aangevuld met een kwantitatieve onderbouwing van het nationale potentieel dat voortkomt uit deze analyses.

2 Definities

2.1 Werking van aquathermie

Bij aquathermie wordt thermische energie gewonnen uit water. Het water heeft hierbij temperatuurniveaus tussen 7 en 25°C en is daarmee een zeer lage temperatuur (ZLT) warmtebron. De warmte wordt primair gewonnen wanneer het water warm is, waardoor dit logischerwijs dus tijdens de zomermaanden (en deels voor- en naseizoen) gebeurt.

De gewonnen warmte wordt ingezet in de wintermaanden. Dit impliceert een seizoensopslag. Hiervoor lijkt een aquifer in de ondergrond de meest logische keuze. Aangezien aquifers ook worden gebruikt als open bodemenergiesysteem (warmte/koudeopslag, WKO), ligt een combinatie met een dergelijk systeem voor de hand. De Nederlandse bodem is op zeer veel plekken geschikt voor een open bodemenergiesysteem.

De gewonnen en opgeslagen energie kan worden ingezet voor koude- of warmtevoorziening via een warmtenet. Bij warmtevoorziening moet de warmte worden opgewaardeerd naar een voldoende hoge temperatuur middels een elektrische warmtepomp. Dit kan een collectieve warmtepomp zijn of individuele warmtepompen per gebouw.

De drie belangrijkste vormen van aquathermie zijn Thermische Energie uit Oppervlaktewater (TEO), Thermische Energie uit Afvalwater (TEA) en Thermische Energie uit Drinkwater (TED). De werking van deze concepten wordt aan het begin van elk hoofdstuk beschreven.

2.2 Definities van potentiëlen

In recent uitgevoerde studies worden verschillende definities gehanteerd voor het potentieel van aquathermie.

Tabel 1 - Verschillende potentieeldefinities

Potentieel	(IF Technology, 2016)	(Ecofys, NWP, Blueconomy, 2017)	(Ecofys, 2014)
Theoretisch potentieel	‘Potentiële voorraad’: De hoeveelheid energie die in het natuurlijk watersysteem zit en in theorie benut kan worden.	De theoretische hoeveelheid energie die per oppervlakte-eenheid of per locatie beschikbaar is (b.v. zoninstraling of windaanbod per m ²). (Concurrentie met andere vormen van landgebruik wordt hierin veelal al meegenomen, b.v. uitsluiting van natuur- of militaire gebieden).	‘Energiepotentieel’: De hoeveelheid energie die in theorie kan worden opgewekt. Dit geeft dus het maximum van de technologie en de locatie, zonder rekening te houden met technologische beperkingen of maatschappelijke eisen/bezwaren.
Technisch potentieel	‘Technisch winbaar’: De potentiële voorraad die op basis van de huidige technische mogelijkheden uit een waterlichaam kan worden gewonnen. Voor de concepten waterlopen (& plassen) en gemalen vormt de beschikbare opslagcapaciteit van de ondergrond voor energieopslag een bepalende factor.	Dat deel van het theoretisch potentieel dat met technologie kan worden omgezet in bruikbare energiedragers, zonder rekening te houden beperkingen in het aanbod van de technologie (o.b.v. maximale marktgroei).	In het technisch potentieel wordt rekening gehouden technische beperkingen, zoals rendementen en onderhoud en veiligheid.

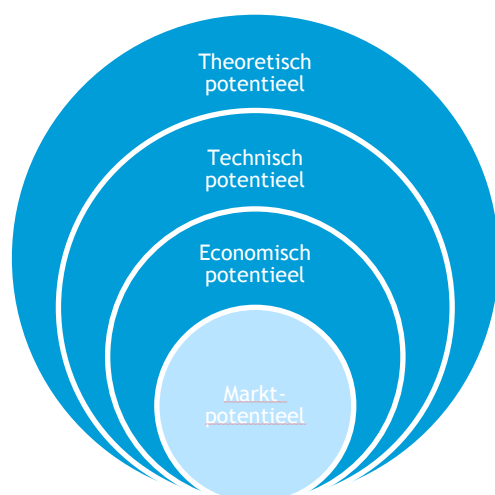
Potentieel	(IF Technology, 2016)	(Ecofys, NWP, Blueconomy, 2017)	(Ecofys, 2014)
	Als deze kleiner is dan de potentiële energielevering uit het watersysteem, beperkt dit het potentieel.		
Maximaal realiseerbaar		Dat deel van het technisch potentieel dat met beschikbare technologie kan worden ingevuld binnen een gegeven periode, waarbij alles uit de kast wordt gehaald maar wel rekening wordt gehouden met beperkingen in het aanbod van technologie; de (huidige) kosten-effectiviteit van de technologie speelt hier geen beperkende rol.	
Economisch potentieel	<p>‘Economisch winbaar’: Het technisch potentieel gecorrigeerd voor financiële haalbaarheid aspecten:</p> <ul style="list-style-type: none"> – minimaal vereiste energievraag/-aanbod van 1.000 GJ voor een rendabel project; – energievragers bevindt zich <1.000 m van het watersysteem; – de grootte van de energievraag in combinatie met de grootte van het technisch potentieel levert een geschiktheidswaardering. 	Deel van het maximaal realiseerbaar potentieel dat kosteneffectief kan worden gerealiseerd (vanuit het perspectief van de investeerder), indien niet-technologische, niet-economische barrières worden weggelaten.	
Marktpotentieel		Deel van het technisch-economische potentieel dat naar verwachting gerealiseerd wordt bij voortzetting van het huidige beleid (BAU-marktpotentieel) of indien door aanvullend beleid de kosten-effectiviteit wordt verbeterd en/of barrières worden weggelaten. (PLUS-marktpotentieel (aanvullend beleid)).	
Realistisch potentieel			
Maatschappelijk potentieel	De economisch winbare hoeveelheid energie, gecombineerd met maatschappelijke belangen: ecologie, drinkwatergebieden, archeologie, gebieden met hittestress en gebieden met waterkwaliteitsproblemen, enz.		Dat deel van het theoretisch energiepotentieel dat vanuit maatschappelijk oogpunt realiseerbaar is, rekening houdend met beperkende factoren vanuit milieu en sociale belangen.

In deze analyse onderscheiden wij het theoretisch potentieel, technisch potentieel en economisch potentieel overeenkomend met IF Technology (zie Tabel 2 en Figuur 1).

Tabel 2 - Gehanteerde potentieel-definities

Potentieel	Definitie
Theoretisch	De hoeveelheid energie die in het natuurlijk watersysteem zit en in theorie benut kan worden.
Technisch	De potentiële voorraad die op basis van de huidige technische mogelijkheden uit een waterlichaam kan worden gewonnen. De beschikbare opslagcapaciteit van de ondergrond en de ruimte voor warmtewisselaars vormt de beperkende factor.
Economisch ¹	Het deel van het technisch potentieel dat aansluit bij de warmtevraag: <ul style="list-style-type: none"> – minimale warmtevraag; – minimale warmtevraagdichtheid; – maximale afstand.
Markt	Het potentieel dat concurrerend is met andere warmtetechnieken. <i>(Buiten de scope van deze studie)</i>

Figuur 1 - Schematische weergave potentiëlen



¹ Er zijn tal van verschillende definities van ‘economisch’ potentieel. Voor deze studie wordt echter aangesloten bij de definitie van IF Technology, waarbij economisch gemotiveerde criteria het potentieel bepalen. Het is dus geen potentieel waaraan bijvoorbeeld businesscases ten grondslag liggen.

3 Thermische energie uit oppervlaktewater (TEO)

3.1 Beschrijving van het concept

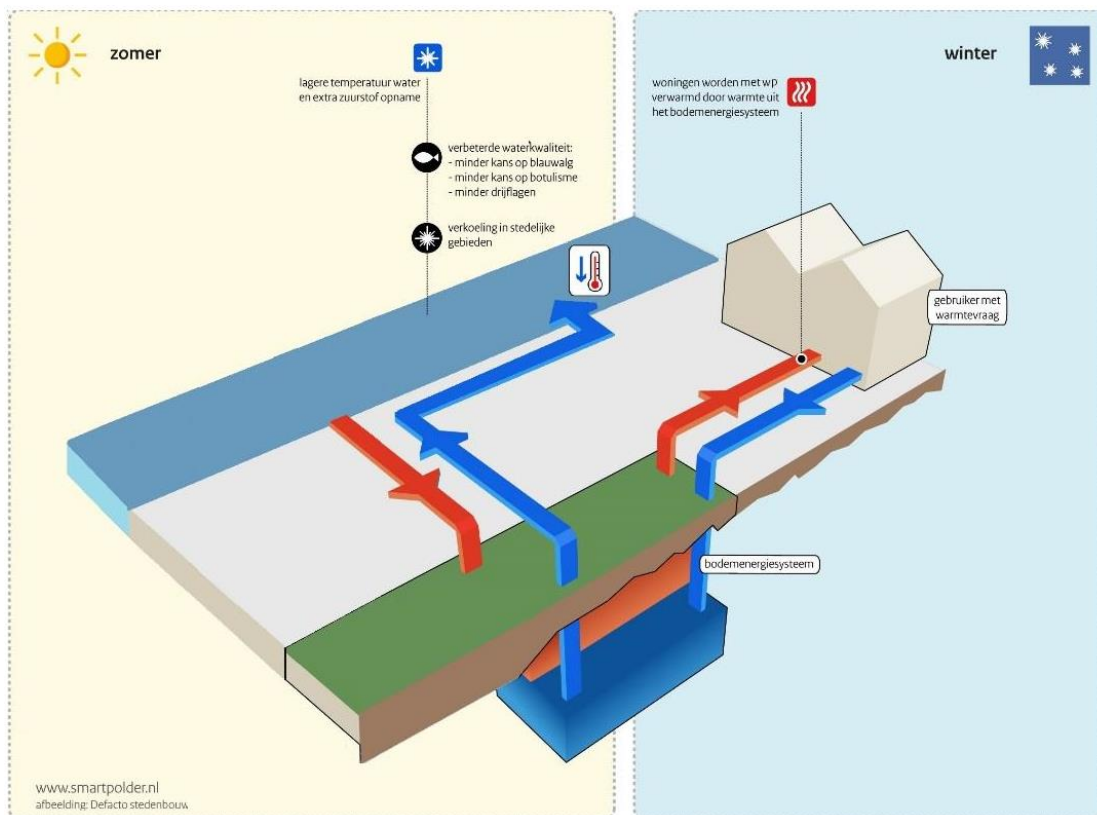
Thermische energie uit oppervlaktewater kan gewonnen worden uit:

- waterlopen en plassen (verwarming en koeling);
- diepe plassen (koeling);
- gemalen, ook wel ‘Smart polder’ genoemd (verwarming en koeling);
- zeewater.

Een systeem voor warmte uit oppervlaktewater bestaat uit de volgende onderdelen:

1. Oppervlaktewater.
2. Pompinstallatie en warmtewisselaar.
3. WKO (warmte/koudeopslag).
4. Centrale warmtepomp.
5. Distributienet.
6. Afgiftesysteem bij gebruikers.

Figuur 2 - Schematische weergave van TEO



Bron: (IF Technology, 2017).

In dit systeem wordt in de zomer water uit het oppervlaktewater middels een pomp en warmtewisselaar met enkele graden (3 tot 6 °C) afgekoeld. Deze warmte wordt opgeslagen in een WKO (aquifer). In de winter wordt de warmte uit de WKO met een centrale warmtepomp opgewaardeerd naar circa 70 °C. Deze warmte wordt met een warmtenet gedistribueerd aan de afnemers. Met deze temperatuur kunnen gebouwen direct (zonder verdere opwaardering) worden verwarmd en van warm tapwater worden voorzien.

Een TEO-systeem is vergelijkbaar met een wijk-WKO-systeem. In een WKO-systeem moet echter de warmte-onttrekking jaarlijks gelijk zijn aan de koude-onttrekking, waardoor een regulier systeem alleen geschikt is voor afnemers met een grote koudevraag (en dus grote warmteproductie). Bij TEO wordt de WKO in balans gehouden door de toevoeging van warmte uit het oppervlaktewater.

Een alternatief concept is een systeem zonder centrale warmtepomp. Hierbij wordt de warmte uit de WKO, met een temperatuurniveau van circa 25 °C, zonder opwaardering gedistribueerd aan de afnemers. De afnemers moeten het water na verwarmen met individueel opgestelde warmtepompen. Dit is gunstig als de afnemers een lage temperatuurbehoefte hebben, bijvoorbeeld jongere bouw of nieuwbouw met vloerverwarming.

TEO is niet alleen inzetbaar voor het verwarmen, maar ook voor koelen van gebouwen. Indien nodig kan het oppervlaktewater daarom ook in worden gezet als aanvulling op het koelend vermogen van een WKO. De koelvraag van de gebouwde omgeving is echter aanzienlijk lager dan de warmtevraag (helemaal bij woningen). In deze studie is niet gekeken naar het potentieel van koelen met TEO.

3.2 Methodiek op hoofdlijnen

Op hoofdlijnen bestaat de verkenning uit het opstellen van kansenkaarten en totaalberekeningen op basis van de volgende informatie:

- statische informatie van het hoofdwatersysteem en regionale waterlopen (breedte, diepte, etc.) ten behoeve van de warmteflux;
- typische temperatuurverloop over de seizoenen in de waterlopen;
- de totale vraag naar warmte/koude in de directe omgeving van het hoofdwatersysteem.

Aan de hand van deze informatie wordt de aanbodkant aan de vraagkant van warmte en koude gekoppeld.

3.3 Potentieel van het watersysteem

In 2016 is door IF Technology (in samenwerking met Deltares) een eerste analyse gemaakt van de mogelijkheden van oppervlaktewater als bron van duurzame warmte. Deze studie kent een aantal aannames welke op dit moment anders ingevuld zouden worden. Daarom wordt een nieuwe analyse gedaan van de potentie van het watersysteem. Aan de hand van de aangepaste aannames (met name de afstand van levering) wordt een nieuwe analyse gemaakt van de mogelijke potentie. Aandachtspunt hierbij is dat in vergelijking tot de eerdere potentiëstudie (IF Technology, 2016), het watersysteem vaker limiterend zal zijn, indien de transportafstand voor warmte wordt vergroot. Dit vergt nadere verfijning van de inschatting van het warmteleverend vermogen van verschillende watersystemen. In deze studie wordt met vuistregels gewerkt, verbeteringen van deze vuistregels zullen waar mogelijk worden ingepast, maar zijn geen onderdeel van deze studie.

3.3.1 Gebruikte bronnen

De Onderdelen 1) en 2) uit Paragraaf 3.2 zijn direct afkomstig uit het Nationaal Water Model (Helpdesk Water, 2018). Het Nationaal Water Model is een modelinstrumentarium dat gebruikt kan worden bij de waterstaatkundige onderbouwing van beleidskeuzes voor de lange termijn. Binnen het Deltaprogramma wordt het model ingezet voor beleidsvraagstukken op het gebied van waterveiligheid en de zoetwatervoorziening. De regionale watersystemen worden meegenomen voor zover dit nodig is voor het bepalen van de landelijke waterverdeling. Hierdoor is het onderliggende hydrologische model een fijnmazig model geworden met honderden waterlopen. Op basis van een aantal uitgangspunten wordt met behulp van het Nationaal Water Model bepaald wat de onttrekkingscapaciteit van het oppervlaktewater is (OC in GJ/jaar). Deze warmte en koude moeten over het algemeen in een bodemsysteem opgeslagen kunnen worden om op een later moment nuttig gebruikt te kunnen worden² (zie ook Paragraaf 3.1).

De bodemopbouw en de locaties van bestaande WKO-systemen zijn beschikbaar in de WKO-tool, ontwikkeld door IF Technology in opdracht van het toenmalig ministerie van VROM (Rijksoverheid, 2018). Deze webapplicatie is bedoeld om op quickscanniveau op een bepaalde locatie een indruk te krijgen van de kansen voor de toepassing van open en gesloten bodemenergiesystemen, al dan niet in combinatie met een warmtepomp. Voor de verkenning van de kansenkaarten is de onderliggende database van de WKO-tool (Nationaal Hydrologisch Instrumentarium) gebruikt. De bodemopslagcapaciteit in de eerste 5 km langs het hoofdwatersysteem wordt gebruikt in deze verkenning.

In de volgende paragrafen wordt achtereenvolgens uiteengezet hoe de bodemopslagcapaciteit BC, oppervlaktewateronttrekkingscapaciteit OC en de potentie per locatie berekend zullen worden.

3.3.2 Methodiek

Berekeningsmethode bodemopslagcapaciteit

Voor het berekenen van de hoeveelheid warmte of koude, die per hectare per jaar in de ondergrond maximaal opgeslagen kan worden, zijn de volgende randvoorwaarden gebruikt:

- Open systemen maken alleen gebruik van de zandpakketten in de ondergrond tot een maximale diepte van 250 m beneden maaiveld. Voor de berekeningen is de totale beschikbare dikte meegenomen.
- De filters kunnen over 80% van de totale dikte van het pakket geplaatst worden en 70% van het bruto oppervlak kan benut worden.
- De helft van het beschikbare volume wordt gebruikt voor de warme bron, de andere helft voor de koude bron.
- De bodem boven de gemiddelde grondwaterstand (REGIS) wordt niet meegenomen in de berekening.

² Er zijn ook situaties denkbaar waarbij de onttrokken warmte en/of koude direct ingezet kan worden voor het verwarmen en/of koelen van een gebouw. Bij deze verkenning zijn we er echter van uitgegaan dat de onttrokken warmte/koude eerst wordt opgeslagen in de bodem.

Voor het berekenen van de energiehoeveelheid (Q_t , in GJ) is de volgende formule gebruikt:

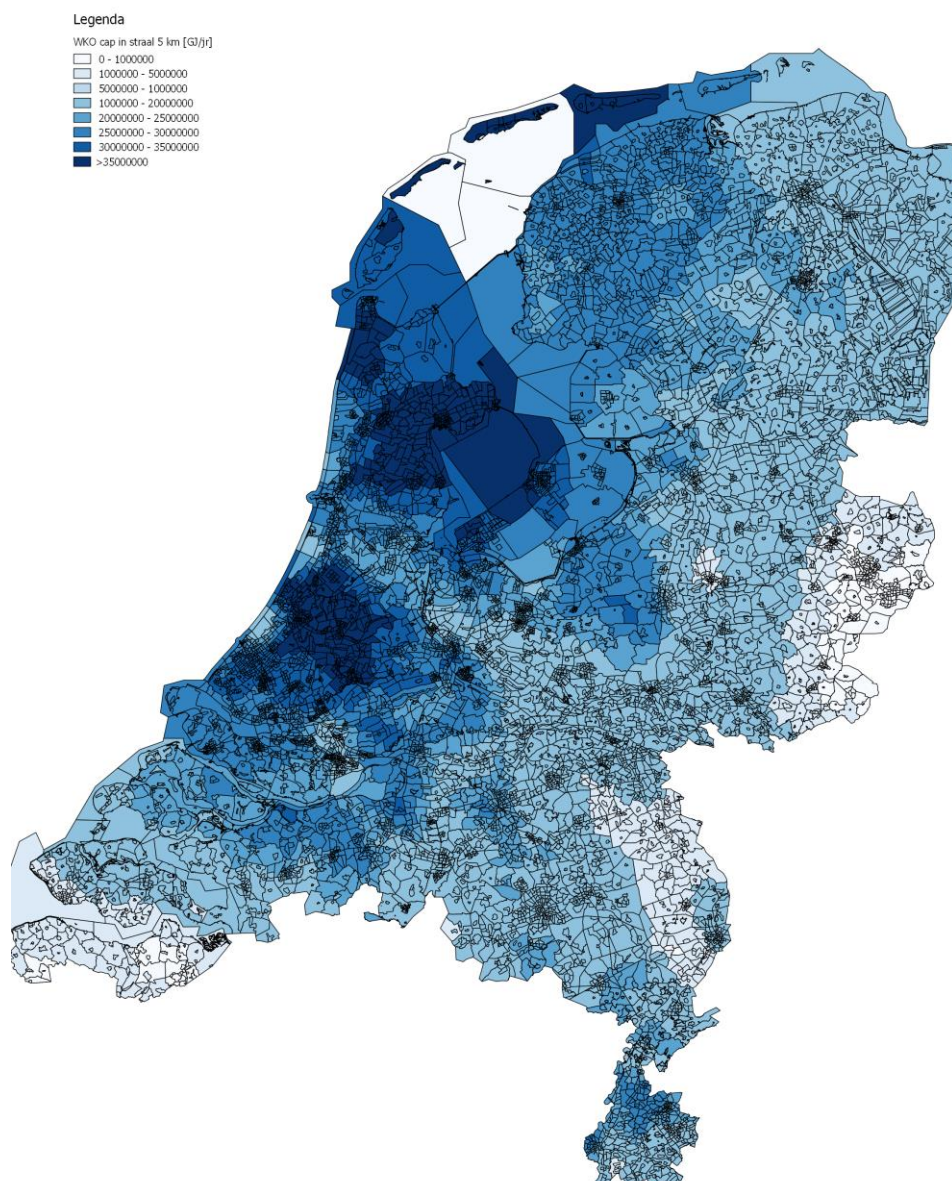
$$Q_t = \rho \cdot c_p \cdot d \cdot A_b \cdot \Delta T_{gem} \cdot \theta \cdot 0.56$$

waarbij:

d	= totale dikte van de geschikte bodemlagen	[m]
A_b	= Beschikbare bruto oppervlak per bron	= 5.000 [m ² /ha]
c_p	= warmtecapaciteit van water	= 4.2 [kJ/kg °C]
ΔT_{gem}	= gemiddelde temperatuurverschil	= 6 [°C]
θ	= porositeit	= 0.3 [-]

Hierboven wordt uitgegaan van een maximale filterlengte van 80% van de pakketdikte en een maximaal benutbaar oppervlakte van 70%, waarmee de factor 0.56 verklaard is. Hiermee komt de hoeveelheid winbare energie per m³ grond uit op 21 GJ/ha per meter filterlengte, oftewel 0,0021 GJ/jaar per m³ zand. De dikste zandpakketten zijn maximaal 250 m diep en liggen in Noord- en Zuid-Holland. Hier is de maximale opslagcapaciteit dus orde 5.000 GJ/ha. Naar het oosten en noordoosten daalt de opslagcapaciteit naar orde 1.000 GJ/ha. In Figuur 3 wordt een indicatie gegeven van de verdeling van de opslagcapaciteit over Nederland.

Figuur 3 - Verdeling opslagcapaciteit bodem



Berekeningsmethode oppervlaktewateronttrekkingscapaciteit

Warmteonttrekking (WO) aan oppervlaktewater

Door het onttrekken van warmte het water waaraan dit onttrokken wordt kouder. Warmteonttrekking (kortweg WO) is dus equivalent met het afkoelen van water. Bruikbare warmte kan worden onttrokken in de zomer wanneer het oppervlaktewater warmer is dan bijvoorbeeld 15°C. De hoeveelheid warmte (MW) die gegeven de

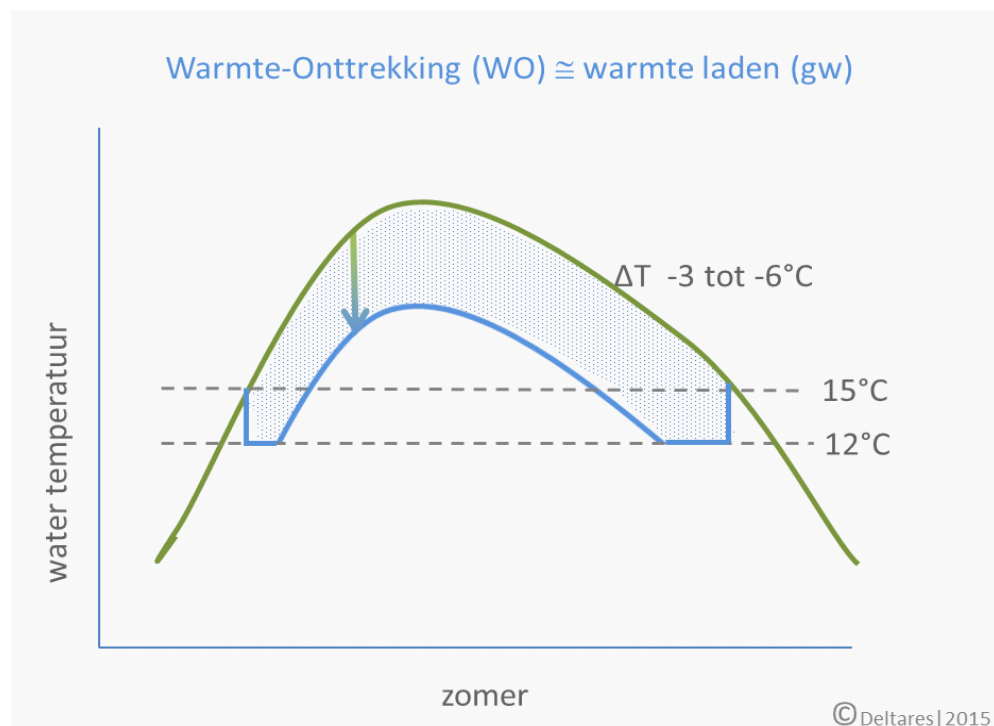
omstandigheden onttrokken kan worden is de warmteonttrekkingscapaciteit (WOC) en deze hangt af van de hoeveelheid water (debiet), de watertemperatuur. Er zijn (nog) geen normen voor afkoeling van water.

De maximale temperatuurverandering als gevolg van warmteonttrekking (ΔT_{WO}) is gedefinieerd als:

$$\Delta T_{WO} = \max(\min(T - T_{\min}, \Delta T_{\max}), 0)$$

waarbij T_{\min} de minimaal benodigde watertemperatuur is en ΔT_{\max} de maximale temperatuurverlaging ten opzichte van de achtergrond.

Figuur 4 - Temperatuurrange voor onttrekken van warmte in de zomer



In Figuur 4 is de temperatuurrange (ΔT_{WO} in °C) voor warmteonttrekking in de zomer aangegeven. De warmteonttrekkingscapaciteit WOC (in GJ/ha/jr) kan met voorgenoemde formule worden berekend. We hebben voor deze verkenning de WOC berekend voor elke rekenelement van het Nationaal Water Model met behulp van de volgende uitgangspunten:

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

Voor stromende wateren is de warmteonttrekkingscapaciteit een functie van de afvoer Q [m^3/s] en de maximale temperatuurverandering. Deze functie is voor stromende rivieren gedefinieerd als:

$$WOC = |Q| \times \Delta T_{wo} \times \rho_w \times c_p$$

Waarbij $|Q|$ de stromingsrichting onafhankelijke waarde is van de afvoer, ρ_w de dichtheid van zoet water ($998 \text{ kg}/\text{m}^3$) en c_p de warmtecapaciteit van water ($4.195 \text{ J}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$). Deze formule berekent de warmteonttrekkingscapaciteit uit de maximale temperatuurverandering en het beschikbare debiet. De warmteonttrekkingscapaciteit is een vermogen en wordt uitgedrukt in de dimensie MW ($= 10^6 \text{ W}$).

Om de WOC ook voor semi-stagnante wateren te kunnen toepassen is de formule uitgebreid met een tweede term die vereffening van het temperatuurverschil via de atmosfeer kwantificeert:

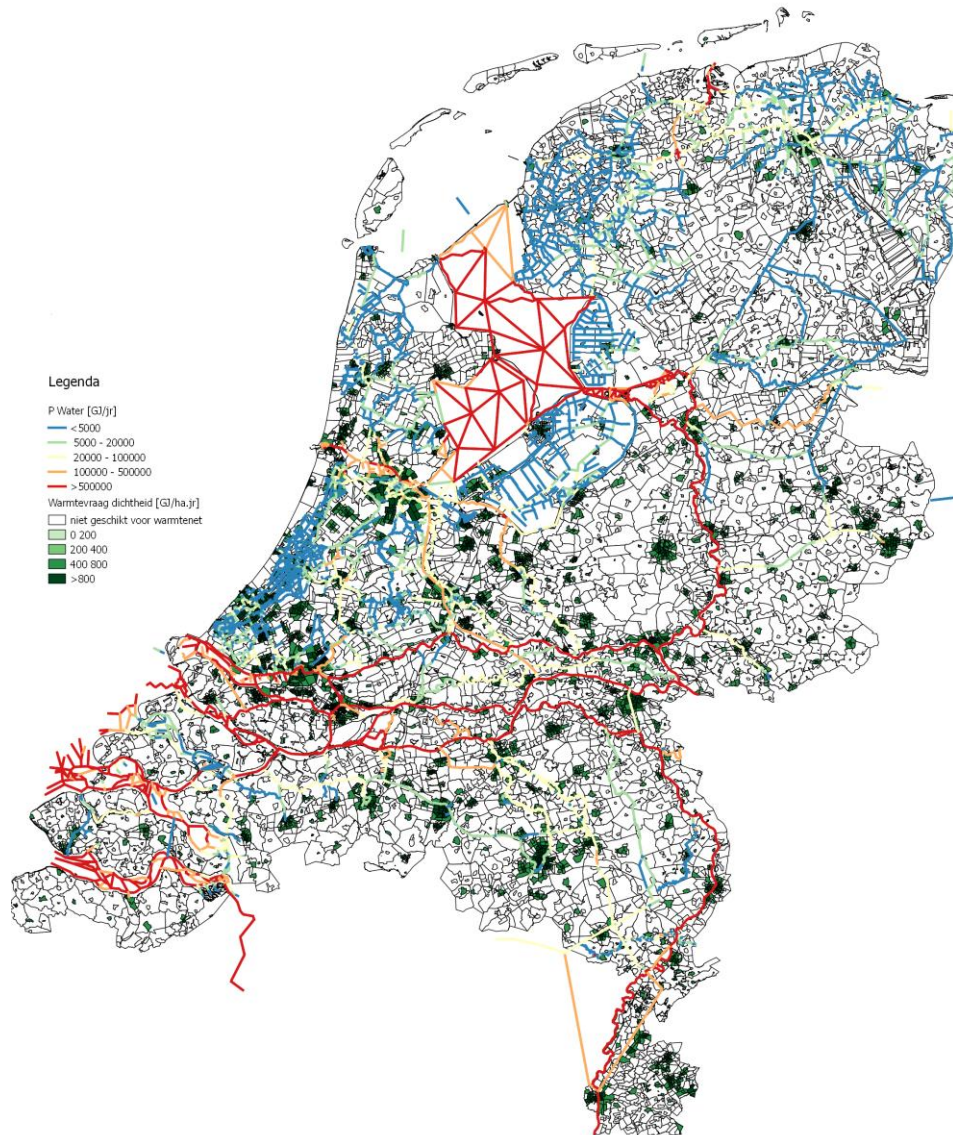
$$WOC = |Q| \times \Delta T \times \rho_w \times c_p + \left(\frac{Z \times A \times \Delta T}{10^6} \right)$$

Waarbij Z de warmteoverdracht coëfficiënt³ en A de oppervlakte is (in m^2) van het wateroppervlak en ΔT temperatuurverhoging is.

In de volgende figuur wordt per deelsegment van het oppervlaktewater weergegeven wat de capaciteit is.

³ De warmteoverdrachtscoëfficiënt (of het zelfkoelingsgetal) k wordt door het model zelf bepaald en maakt daarom deel uit van de uitvoer van het model. In (CIW, 2004) is een constante waarde van $40 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ gehanteerd.

Figuur 5 - Verdeling warmteonttrekkingscapaciteit



3.4 Potentieel van de warmtevraag relevant voor TEO

Aan de hand van een GIS-analyse wordt gekeken waar relevante warmtevraag is die ingevuld kan worden met TEO. Het uitgangspunt hierbij is dat TEO een mogelijkheid voor buurten waar een warmtenet toegepast kan worden. Hierbij wordt alleen gekeken naar de gebouwde omgeving: woningen en utiliteitsbouw (zoals kantoren, winkels en scholen). Industrie en landbouw vallen buiten de scope van de analyse.

Berekening warmtevraag

De omvang en locatie van de huidige warmte- en koudevraag is berekend op buurtniveau op basis van gegevens van Statline (CBS) en de basisregistratie Adressen (BAG, het Kadaster)⁴. Voor utiliteitsbouw (kantoren, scholen, winkels, etc.) zijn kentallen gebruikt die in het Vesta-model van PBL zijn opgenomen (CE Delft, 2015). De totale warmtevraag van woningen en utiliteit komt in deze berekening uit op 496 PJ en de totale koudevraag op 13 PJ.

Om een indicatie van de toekomstige warmtevraag te geven, wordt een autonome besparing verondersteld van 1,0% per jaar. Dit komt overeen met de besparing op het energiegebruik voor warmte voor de periode 2020-2030 volgens de Nationale Energieverkenning (NEV) (ECN, PBL, CBS, RVO, 2017). Om het potentieel voor TEO te bepalen, wordt deze besparing doorgezet tot het jaar 2050. Daarmee komt de totale warmtevraag in 2050 op 349 PJ.

Criteria voor collectieve warmte

Niet in elke buurt is collectieve warmte een kansrijke oplossing. Om een warmtenet economisch rendabel te laten zijn, is onder meer een voldoende hoge warmtevraag en een hoge warmtevraagdichtheid nodig. De precieze voorwaarden voor een rendabel warmtenet hangen af van de lokale situatie.

In deze analyse gaan we uit van de eisen voor minimale warmtevraag en warmtevraagdichtheid, zoals opgesteld door RVO in het Afwegingskader Locaties (RVO, 2013) voor collectieve installaties met omgevingswarmte, ZLT-restwarmte of WKO als bron. In Tabel 3 staan de 'minimumeisen' van deze geschiktheid benoemd.

Tabel 3 - Geschiktheidseis voor collectieve warmte

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

De totale warmtevraag van de buurten die aan deze twee criteria voldoen is in 2050 234 PJ. In Figuur 6 worden deze buurten weergegeven.

⁴ Het CBS monitort het gemiddelde gas- en elektriciteitsverbruik van huishoudens per buurt; uit de BAG van het Kadaster kan worden opgemaakt wat de fysieke aantallen in een buurt zijn.

Figuur 6 - Overzicht buurten die voldoen aan de criteria uit het Afwegingskader Locaties

Legenda

CBS-buurt

Warmtevraag geschikt voor TEO



3.5 Potentieel TEO

Voor het bepalen van het potentieel worden de uitkomsten uit de voorgaande twee paragrafen gecombineerd in een GIS-analyse. De onttrekkingscapaciteit (KOC en WOC) en bodemopslagcapaciteit (BC) worden gecombineerd en vergeleken met de warmte- en koudevraag (W resp. K) om tot een kanskaart te komen. De potentie wordt berekend als de fractie van de warmtevraag die zowel geleverd kan worden door de watergangen als opgeslagen kan worden in de ondergrond.

$$Potentie_w = \min \left[\min \{ OC_w, BC \}, W \right] / W$$

$$Potentie_k = \min \left[\min \{ OC_k, BC \}, K \right] / K$$

Deze potentiewaarde ligt hiermee altijd tussen 0 en 1.

Per CBS-wijk is gekeken in een straal van 5 km naar alle beschikbare wateren die warmte kunnen leveren. Deze totale beschikbare warmte is per wijk opgeteld, en daarmee is per wijk aangegeven in hoeverre TEO in de warmtevoorziening van die wijk kan voorzien, niet rekening houdend met het feit dat ook andere wijken uit hetzelfde water warmte kunnen onttrekken.

Om een inschatting te krijgen van de totale potentie is vervolgens per wijk ingeschat hoeveel wijken uit hetzelfde water warmte kunnen onttrekken. Hiertoe is in GIS berekend hoeveel wijken in een straal van 5 km rondom de wijk te vinden zijn. De totale beschikbare warmte per wijk wordt gedeeld door dit getal. Dit geeft een goede indicatie van de totale potentie van TEO, indien overal maximaal gebruik zou worden gemaakt van TEO.

Naast het warmteaanbod en de warmtevraag worden nog twee additionele criteria toegepast op de GIS-analyse:

- Omdat voor de bestaande bouw directe verwarming vanuit TEO zo goed als onmogelijk is, wordt aangenomen dat seizoensopslag van de warmte in de bodem mogelijk moet zijn (gelijk aan WKO). Gebieden waar dit niet mogelijk is, vallen af.
- Er zijn in principe geen vuistregels voor de afstand waarover warmte getransporteerd kan worden van bron naar afnemer. In eerdere studies voor TEO is onder andere gekeken naar een afstand van 100 m voor waterlopen en plassen en 1 km voor gemalen en stuwen. Voor deze studie is gekozen voor een afstand van 5 km, omdat op deze wijze een groter deel van een gemeente in aanmerking komt voor de warmtebron. Juist ook omdat buurten ‘aan elkaar gekoppeld’ kunnen worden, waardoor meerdere buurten na/achter elkaar aangesloten worden; ook als ze verder dan 1000 m van het oppervlaktewater liggen. Bij een grens van 10 km krijgt een warmtenet op TEO een regionaal karakter (gemeentegrensoverschrijdend). Dit wordt niet realistisch geacht bij een LT-warmtebron.

In Tabel 4 staan de uitkomsten van de GIS-analyse aan de hand van de genoemde aanpak en criteria. In Figuur 7 worden de uitkomsten op de kaart weergegeven. In de tabel is te zien dat het potentieel in 2050 ongeveer 150 PJ bedraagt. Hierbij is rekening gehouden met de eventuele uitputting van het oppervlaktewater, waardoor niet in alle gevallen de volledige warmtevraag ingevuld kan worden⁵. Het economisch potentieel van TEO bedraagt ongeveer

⁵ Uit de GIS-analyse blijkt dat ongeveer 80% van totale warmtevraag ingevuld kan worden, als rekening wordt gehouden met overlap: meer buurten die uit hetzelfde oppervlaktewater hun warmte willen halen.

43% van de totale warmtevraag van de gebouwde omgeving (in 2050). Bijna twee derde van de buurten die geschikt zijn voor warmtenetten zou door TEO voorzien kunnen worden.

Tabel 4 - Potentieel TEO voor de gebouwde omgeving

	Warmtevraag woningen en utiliteit	Geschikt voor warmtenetten	TEO mogelijk per buurt	TEO mogelijk gezaamenlijk	% van totaal	% van geschikt voor warmtenetten
	[PJ]	[PJ]	[PJ]	[PJ]		
Huidig	498,8	333,7	267,1	199,8	40,1%	59,9%
In 2050	349,2	233,6	189,2	151,5	43,4%	64,8%

Toelichting Tabel 4

De koppen van de tabel moeten als volgt gelezen worden:

- Warmtevraag woningen en utiliteit: Optelling van de totale warmtevraag van woningen, kantoren, scholen, winkels, etc.
- Geschikt voor warmtenetten: Aandeel van de totale warmtevraag, waarbij de buurten voldoen aan de criteria van minimale warmtevraagdichtheid en minimale absolute warmtevraag.
- TEO mogelijk per buurt: Optelsom van de warmtevraag van alle buurten die met behulp van oppervlaktewater verwarmd kunnen worden.
- TEO mogelijk gezaamenlijk: Optelsom van de warmtevraag van alle buurten die met behulp van oppervlaktewater verwarmd kunnen worden, wanneer rekening wordt gehouden met uitputting van oppervlaktewater, doordat meerdere buurten uit één waterlichaam warmte onttrekken.
- % van totaal: Aandeel van totale warmtevraag die ingevuld kan worden met TEO gezaamenlijk.
- % van geschikt voor warmtenetten: Aandeel van de warmtenetten die gevoed kunnen worden met TEO.

Vergelijking eerdere potentieelstudie

De uitgevoerde analyse geeft een beeld van de totale potentie van TEO bij grootschalige toepassing, met distributie van de warmte in warmtenetten tot een straal van 5 km vanaf de watergangen. In deze analyse is gebruik gemaakt van het nationaal watermodel. Niet alle watergangen zijn hierin opgenomen. Met name de kleinere watergangen zijn niet meegenomen in deze analyse. Dit levert een (beperkte) onderschatting van de totale potentie.

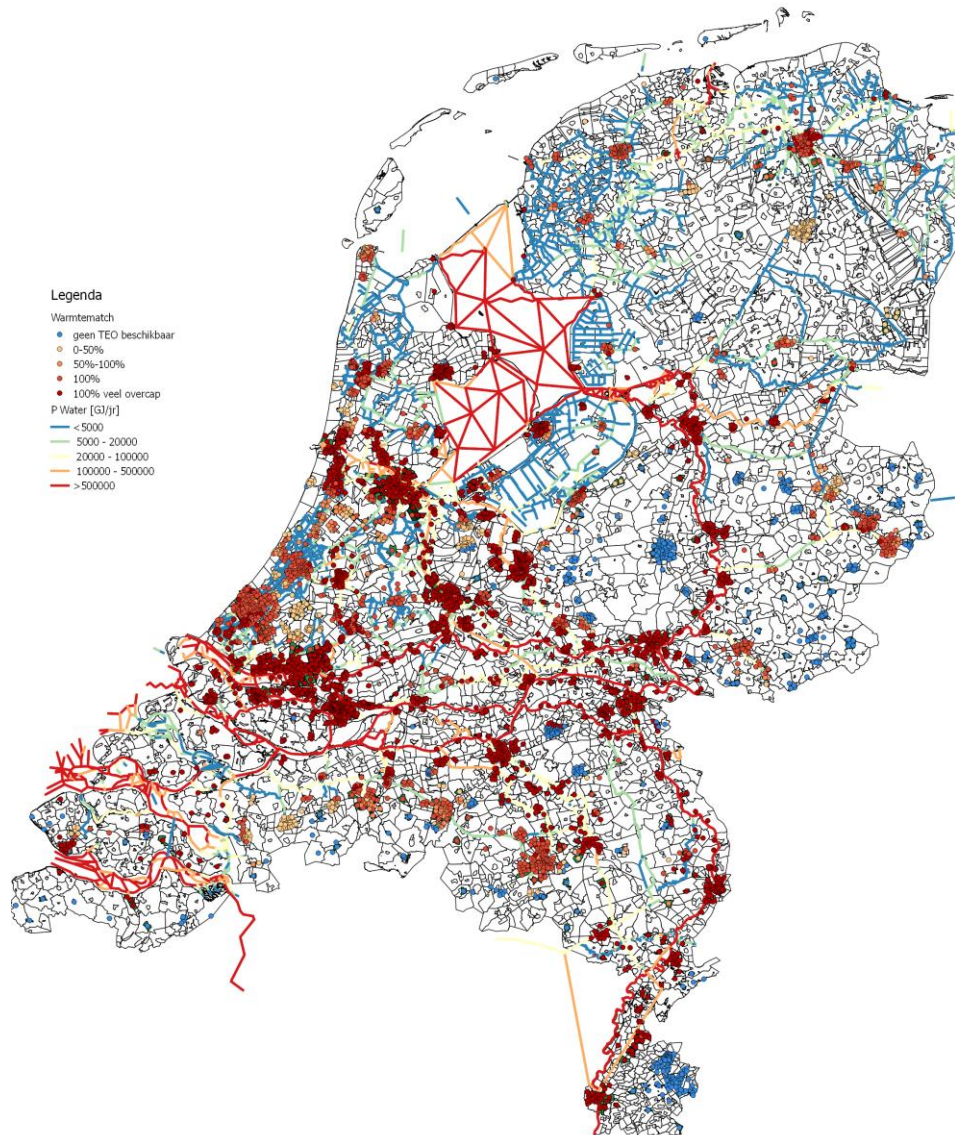
Daarnaast is een andere potentieel grote bron van warmte de zee. Deze is ook niet meegenomen in deze analyse. Dit zal in een strook langs de kust een extra potentie geven. Met name Den Haag kan hierdoor een veel groter aandeel van haar warmtevoorziening uit TEO halen.

De eerdere potentiëstudie (IF Technology, 2016) gaf een totale potentie van 42 PJ (12% van de warmtevraag in 2050). Het grote verschil ten opzichte van deze studie is de transportafstand van warmte vanaf de watergangen: maximaal 5 km versus de eerder gehanteerde 100 meter voor waterlopen en plassen en 1 km voor gemalen en stuwen.

Wel zijn in deze studie ook de kleine watergangen meegenomen.

Aanbevolen wordt de kleine watergangen te integreren met deze potentiëstudie, en ook de zee mee te nemen als warmtebron, om een totaalbeeld te krijgen van de potentie van TEO.

Figuur 7 - Geografische weergave potentieel TEO



4 Thermische energie uit afvalwater (TEA)

4.1 Beschrijving van het concept

Het gebruik van afvalwater als bron van warmte biedt in Nederland verschillende mogelijkheden. Deze warmte is afkomstig van:

- Afvalwater op woningniveau. De warmte hieruit kan worden teruggewonnen met een douchewarmtewisselaar.
- Persleidingen en rioolgemalen (influent van RWZI's).
- Effluent van RWZI's.

In deze studie ligt de focus op de centrale terugwinning van warmte uit persleidingen, rioolgemalen en effluent van RWZI's. Hierbij wordt met een warmtewisselaar warmte uit het water onttrokken. Net als bij TEO is deze warmte van een laag temperatuurniveau. Deze zal eveneens met een centrale (of individuele) warmtewisselaar moeten worden opgewaardeerd naar het gewenste temperatuurniveau. De warmteterugwinning op woningniveau valt buiten de scope van deze studie.

4.2 Potentieel TEA

In een recente studie hebben Tauw en IF Technology een analyse gemaakt van de mogelijkheden van TEA in Nederland (Tauw, IF Technology, 2018). In deze analyse is gekeken naar de technische en economische potentie van TEA bij RWZI's en gemalen. In Tabel 5 worden hiervan de uitkomsten weergegeven.

Tabel 5 - Uitkomsten potentieelanalyse TEA

	Eenheid	Technische potentie			Economische potentie		
		Met WKO	Zonder WKO	Totaal	Met WKO	Zonder WKO	Totaal
RWZI's	GJ/jaar	9.750.000	43.756.000	53.506.000	8.961.000	32.182.000	41.143.000
Gemalen	GJ/jaar	5.173.000	11.238.000	16.411.000	4.928.000	10.155.000	15.083.000

Bron: (Tauw, IF Technology, 2018).

Opmerkingen bij de tabel:

- TEA zonder WKO kan het hele jaar door gewonnen worden, omdat hier geen sprake is van (tussentijdse) opslag van warmte.
- TEA met WKO mag bij het voorgaande punt opgeteld worden, omdat deze warmte in de zomer gewonnen wordt, opgeslagen wordt in een WKO om in de winter (extra) beschikbaar te zijn. Hier zit een kleine overschatting in, omdat je bij het optellen van beide ervan uit gaat dat ze 'naast elkaar' beschikbaar zijn. Dat is niet helemaal zo, maar in de zomer is het afvalwater veel warmer, waardoor er gemakkelijk en ook meer warmte gewonnen kan worden. Deze overschatting is rekenkundig dermate gering, dat hij wat ons betreft verwaarloosbaar is en dus niet gecorrigeerd behoeft te worden. Het gaat over een ordergrootte van een paar %.
- De potentie met WKO is lager dan zonder WKO, dat komt omdat de WKO-capaciteit hierin bepalend is. En o.b.v. het voorgaande punt kunnen we deze als extra capaciteit beschouwen.

- Het potentieel in de leidingen nemen we niet mee bij de bepaling van het totale potentieel, omdat uiteindelijk de warmte die door de gemalen of de RWZI's gaat de daadwerkelijk te winnen warmte is (anders zouden we deze dubbel tellen).

Uit de analyse blijkt dat er een technisch potentieel van ongeveer 70 PJ en economisch van ongeveer 56 PJ is bij de bekeken mogelijkheden van TEA.

Op het moment van schrijven zijn kaarten over de geografische verdeling van het potentieel van TEA niet beschikbaar. Het is daarmee niet mogelijk om een indicatie te geven van de overlap/interferentie tussen TEO en TEA.

Er is voor deze rapportage geen review uitgevoerd naar de aannames en methodiek voor het bepalen van de potentiëlen van TEA.

5 Thermische energie uit drinkwater (TED)

5.1 Beschrijving van het concept

De winning van thermische energie uit drinkwater kan via twee varianten:

- Grondwater van ca. 11°C. Dit kan worden afgekoeld naar 7°C voordat het gefilterd wordt. Het warmtenet van ThermoBello in Culemborg is hier een praktijkvoorbeeld van (ThermoBello, -).
- Rivierwater dat via grote (pers)leidingen naar wordt vervoerd.

Het gaat hierbij altijd over 'ruw water' dat nog verwerkt moet worden.

5.2 Potentieel TED

Er is in Nederland nog geen uitgebreide analyse uitgevoerd naar de concrete mogelijkheden van TED. Wel is door KWR een overzicht gemaakt van de thermische mogelijkheden van drinkwater. Uit dit overzicht blijkt dat drinkwater een technisch potentieel heeft om circa 1,4% van de warmtevraag van de gebouwde omgeving in te vullen. Dit komt overeen met 4-6 PJ (KWR, 2018). In dezelfde studie wordt geconcludeerd dat TED altijd een beperkte rol zal blijven spelen in de energietransitie.

6 Review financiële cockpit

Voor de analyse van de economische mogelijkheden van TEO heeft Rebel een rekenmodel ('financiële cockpit') opgesteld. In deze stap wordt dit rekenmodel gereviewed om een oordeel te geven of deze aanpak breder van toepassing kan zijn op aquathermie-projecten in het algemeen.

6.1 Review parameters en model

In het rekenmodel worden de kasstromen van negen projecten doorgerekend. Daarvan zijn drie in de bestaande bouw. Alle projecten bevatten een WKO. Eén project (Houten de Mossen) betreft een bestaand WKO+TEO-systeem.

Het aantal aansluitingen per project varieert van 1 gebouw tot 5.500 nieuwbouwwoningen en -utiliteitsgebouwen. Er zijn per project drie scenario's opgenomen: 50, 100 en 200% van het basis aantal aansluitingen.

Tabel 6 - Overzicht projecten in Financiële cockpit

Projectnaam	Warmte- vraag	Koude- vraag	Bebouwings- dichtheid	Afnemer	Water- systeem	Type warmte	Locatie	IRR ⁶
	GJ/jaar	GJ/jaar	m ² GBO/m ² locatie	Type	Type	Type	Naam	
De Beurs	2.844	288	2,60	Bedrijf/ bestaand	Waterloop/ stilstaand	LT	Leeuwarden	3,35%
Baronie Haven	1.360	450	2,30	Woningen/ nieuwbouw	Waterloop/ stilstaand	LT	Alphen aan den Rijn	1,24%
Merwedekanaalzone	40.680	21.960	1,60	Mix/ nieuwbouw	Waterloop/ stilstaand	LT	Utrecht	11,45%
Fabriekskwartier	3.672	864	0,75	Mix/ nieuwbouw	Waterloop/ stilstaand	LT	Tilburg	5,48%
Zelling Onderneming	835	167	0,53	Woningen/ nieuwbouw	Waterloop/ getijden	LT	Nieuwerkerk aan den IJssel	-0,05%
Genderdal	5.634	-	0,44	Woningen/ bestaand	Waterloop/ stilstaand	MT	Eindhoven	5,78%
Harderweide	13.200	-	0,33	Woningen/ nieuwbouw	Plas/ stilstaand	LT	Harderwijk	-4,53%
De Mossen (renovatie project)	2.100	1.750	0,17	Woningen/ bestaand	Plas/ stilstaand	LT	Houten	10,38%
Dordtse Kil IV	6.300	92	0,03	Bedrijf/ nieuwbouw	Waterloop/ getijden	LT	Dordrecht	4,34%

⁶ IRR is internal rate of return, een getal (%) dat het nettorendement van de investeringen in een project weergeeft.

Over het algemeen lijkt het model degelijk opgezet te zijn, maar is er voor de gebruiker/review onvoldoende inzicht in de opbouw en onderbouwing van de opgenomen componenten. Dit leidt ertoe dat er geen sluitend oordeel over de correctheid van de businesscases gegeven kan worden. Enkele aspecten die bekeken zijn in het model en die variatie in de businesscase mogelijk maken zijn de parameters voor de rendementsberekening en kosten van de systeemcomponenten.

Rendementsberekening

Van de businesscases hebben er twee een negatief projectrendement (IRR), vier goed (>5 IRR) en drie matig (IRR<5).

In het model zijn voor de gebruiker de volgende parameters aan te passen:

- afstand tot oppervlaktewater (beïnvloedt lengte waterleiding);
- warmteprijs;
- koudeprijs;
- rendementseis.

Het berekende warmte- en koudetarief is van invloed op het projectrendement. Bij De Mossen ligt het warmtetarief op 59 euro/GJ; bij een warmtetarief van 19 euro/GJ is het rendement negatief. Bij andere projecten zorgt het bijstellen van het koudetarief van 30-50 euro/GJ naar 20 euro/GJ tot een slechtere businesscase.

Systeemcomponenten

Het gemodelleerde systeem bestaat uit een aantal componenten:

- leidingen;
- WKO-installatie;
- oppervlaktewaterinstallatie;
- warmtepompen collectief;
- warmtepompen individueel (niet bij elke);
- gasketel;
- ontwerp & advies;
- onvoorzien;
- warmtewisselaars;
- afgifteset;
- ontwerp & advies extra;
- onvoorzien extra.

De investeringskosten zijn in het model per project ingegeven. Daarbij is niet te zien waar deze van afhankelijk zijn. Door de kostenparameters te vergelijken met de omvang van de warmtelevering en het aantal aansluitingen, is de ordegrrootte en afhankelijkheid van de kosten geschat. De ordegrrootte van de kosten zijn gegeven in Tabel 7.

Tabel 7 - Ordegrrootte kostencomponenten

Kostencomponent	Ordegrrootte kosten	Afhankelijk van
WKO-installatie	30-50 euro/(GJ/jr) warmtelevering	Omvang warmtelevering
Oppervlaktewaterinstallatie	100.000-150.000 euro	Niet afhankelijk
Collectieve warmtepomp	36-58 euro/(GJ/jr) warmtelevering	Omvang warmtelevering
Leidingen	1.000-3.000 euro/aansluiting	Aantal aansluitingen

Een beschouwing van de kostencomponenten leert ons vooral dat ieder project heel specifiek is, met haar eigen opbouw en financiële effecten. Ook in vergelijking met traditionele warmtenetten (met bijvoorbeeld restwarmte) zijn de verschillen groot. Het gaat dan met name om de ordegrootte van de kosten.

6.2 Toepasbaarheid voor andere vormen van aquathermie

Dit model is opgezet voor thermische energie uit oppervlaktewater. Bij afvalwater worden de volgende verschillen voorzien:

- De warmte wordt op een andere manier uitgekoppeld, namelijk met warmtewisselaars in rioolbuizen, de gemalen of persleidingen. Dit kan invloed hebben op de kosten van de uitkoppelingsinstallatie.
- Daarnaast is het temperatuurniveau iets hoger. Mogelijk is het dan voordelig om leidingen te isoleren en/of andere debieten te kiezen. Daardoor kunnen de leidingkosten anders zijn.
- Ten slotte is het warmteaanbod bij TEA door het jaar heen constanter dan bij TEO. Doordat er in de winter ook warmteaanbod is, kan de WKO kleiner gedimensioneerd worden.

Als deze verschillen worden opgenomen in de parameters, kan dit rekenmodel ook toegepast worden voor TEA.

7 Conclusies en aanbevelingen

In deze studie zijn drie opties voor aquathermie samengebracht: TEO, TEA en TED. Voor TEO is een nieuwe analyse uitgevoerd aan de hand van nieuwe gegevens en nieuwe aannames. Voor TEA en TED is gebruikt gemaakt van bestaand onderzoek. Uit de analyse van de mogelijkheden van aquathermie zijn diverse conclusies getrokken en aanbevelingen op te stellen.

7.1 Conclusies

7.1.1 Algemeen

- Deze rapportage is een weergave van een algemene, globale studie naar de mogelijkheden van aquathermie in Nederland. Het is geen detailanalyse.
- Het technisch economisch van aquathermie is aanzienlijk en lijkt daarmee een significant aandeel in de warmtetransitie te kunnen hebben.
- In de studie is niet gekeken naar concurrerende technieken of de interactie daarvan met aquathermie.
- De verschillende varianten van aquathermie zijn allen een combinatie van technieken. De varianten hebben daarbij een aanzienlijke elektriciteitsvraag voor (warmte)pompen. Zonder CO₂-vrije elektriciteit is aquathermie niet volledig CO₂-vrij.
- De potentiëlen van TEO, TEA en TED zijn niet zo maar 1-op-1 optelbaar. De varianten vertonen enerzijds overlap en kunnen anderzijds elkaar aanvullen.

7.1.2 TEO

- Het technische potentieel van TEO, los van afstanden, is groter dan de warmtevraag van Nederland.
- TEO heeft het grootste potentieel van aquathermie: circa 150 PJ in 2050. Dit is circa 40% van de totale warmtevraag van de gebouwde omgeving.
- Een belangrijke parameter voor het bepalen van het potentieel is de zoekstraal voor de match van vraag en aanbod. In deze studie is deze gesteld op 5 km. De gemiddelde afstand van de buurten die in deze analyse mogelijk gebruik kunnen maken van TEO blijkt tussen de 1,5 en 2 km te liggen (centrum van de wijk tot de warmteleverende watergang).
- Het systeem van TEO bestaat uit meerdere onderdelen. Dit betekent dat er meerdere restricties zijn op de toepassing (zoals geschiktheid bodem voor opslag) en dan meerdere technieken noodzakelijk zijn om een stabiele warmtevoorziening te garanderen (grootschalige inzet van elektrische warmtepompen).
- In de studie is niet rechtstreeks gekeken naar de economische haalbaarheid van het concept. Wel is hier indirect rekening mee gehouden door gebruik te maken van de criteria van het Afwegingskader Locaties van RVO. Deze criteria zijn deels gebaseerd op de economische mogelijkheden van collectieve warmtesystemen. Daarnaast is ook de keuze voor de zoekstraal van 5 km ingegeven door een inschatting van de economische mogelijkheden.
- Opslag in de ondergrond: blijkt vrijwel nergens maatgevend te zijn. Opslagcapaciteit dus vrijwel niet limiterend.

7.1.3 TEA

- TEA heeft een technisch potentieel van circa 70 PJ.
- TEA heeft een economisch potentieel van circa 56 PJ.
- Er bestaat een grote overlap tussen TEA en TEO. Per locatie moet een afweging worden gemaakt om te kijken welke optie de voorkeur heeft.
- Op het moment van schrijven van deze rapportage zijn alle achterliggende gegevens van de TEA-analyse nog niet beschikbaar, waardoor het niet mogelijk is een inhoudelijk oordeel te geven over de gehanteerde methodiek van de analyse.

7.1.4 TED

- TED heeft een technisch potentieel van circa 4-6 PJ.
- De analyse van de mogelijkheden van TED is op een hoog aggregatieniveau uitgevoerd. Hierdoor is een vergelijking met TEO en TEA niet goed mogelijk. Ook zijn de concrete mogelijkheden in de warmtetransitie onduidelijk.
- In de overzichtsstudie over TED wordt geconcludeerd dat TED altijd een zeer beperkte rol in de warmtevoorziening zal spelen.

7.2 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

Uit de voorgaande analyses komen meerdere aanbevelingen naar voren. Hierbij valt te denken aan witte vlekken in de data, beperkte analyses en scopes, etc. De volgende aanbevelingen verdienen hierbij de aandacht:

- In het onderzoek is niet gekeken naar de ‘concurrentie’ van aquathermie met andere warmtebronnen, zoals restwarmte, geothermie, laagtemperatuuraardwarmte of zonnethermie of individuele warmtetechnieken. Om een goede inschatting te maken van de mogelijkheden van aquathermie is een dergelijke vergelijking nodig.
- Bij de analyse van TEO is niet gekeken naar de mogelijkheden van de Noordzee. Dit biedt mogelijk wel een aanvullend potentieel.
- De kleine wateren (die niet in het nationaal hydrologisch model zitten).
- Er is op dit moment nog veel onduidelijk over de kosten en opbouw daarvan van de verschillende typen aquathermie. Voor een betere opname van aquathermie in de verschillende modellen voor beleidsanalyse (zoals Vesta, CEGOIA, EnergieTransitieModel) is het wenselijk dat er generieke kostenparameters komen om het doorrekenen en vergelijkbaar maken van aquathermie mogelijk te maken.
- Er dient onderzocht te worden waar de match en/of overlap tussen TEO en TEA zit in Nederland. Hiermee kan een oordeel worden gegeven over de (on)mogelijkheden die deze twee opties gezamenlijk hebben.
- Er dient een review te worden uitgevoerd van de aannames en methoden in de analyse van TEA.
- TEO en TEA kunnen elkaar overlappen en elkaar versterken. Er dient daarom een analyse te worden uitgevoerd naar de combinatie van TEO- en TEA-systemen.

Literatuur

- Boer, S. d., Scholten, B., Boderie, P. & Pothof, I., 2015. Kansenkaart voor energie uit oppervlaktewater. *H2O-online*, 22 juni.
- CE Delft, 2015. *Energiekentallen utiliteitsgebouwen Vesta 2.0*, Delft: CE Delft.
- ECN, PBL, CBS, RVO, 2017. *Nationale Energieverkenning 2017*, Petten: ECN.
- Ecofys, NWP, Blueconomy, 2017. *Overige hernieuwbare energie in Nederland*, Utrecht: Ecofys.
- Ecofys, 2014. *Marktkansen en bijdrage aan verduurzaming van innovatieve technologie voor energie met water*, Utrecht: Ecofys.
- Helpdesk Water, 2018. *Nationaal Water Model*. [Online]
Available at: <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/applicaties-modellen/applicaties-per/watermanagement/watermanagement/nationaal-water/>
[Geopend september 2018].
- IF Technology, 2016. *Landelijke verkenning warmte en koude uit het watersysteem*, Arnhem: IF Technology.
- IF Technology, 2017. *Smart polder Merwedekanaalzone Utrecht*, Arnhem: IF Technology.
- KWR, 2018. *De rol van de drinkwatersector in de energietransitie*, Nieuwegein: KWR.
- Rijksoverheid, 2018. *WKO Tool Nederland*. [Online]
Available at: <http://www.wkotool.nl/>
[Geopend september 2018].
- RVO, 2013. *Afwegingskader Locaties*. [Online]
Available at: <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/duurzame-energie-opwekken/nationaal-expertisecentrum-warmte/instrumenten/afwegingskader-locaties>
[Geopend september 2018].
- Tauw, IF Technology, 2018. *Thermische Energie uit Afvalwater*, Deventer: Tauw.
- ThermoBello, -. *Techniek*. [Online]
Available at: <http://www.thermobello.nl/techniek>
[Geopend september 2018].