Afbeelding: Sicco Pictures

Rapportage verdieping potentie warmtebronnen Gemeente Utrecht (TEO & Geothermie)

Gemeente Utrecht

Wij maken duurzame warmte beschikbaar voor iedereen

GREENVIS
ENERGY SOLUTIONS

Greenvis is onderdeel van
De WarmteTransitieMakers B.V.

Warmte Transitie Makers

Gemeente Utrecht
t.a.v.: Vera Haaksma & Hans Kraaij

Auteur	**Sibren Lochs,** **Joachim Kooijinga**
Datum	**23-11-2021**
Gecontroleerd	**Daniël De Greef**
Kenmerk	**GV21059 – GUT - Rapportage verdieping bronnenpotentie Gemeente Utrecht (TEO & Geothermie)**

Inhoudsopgave

1 Inleiding 5

1.1 Situatiebeschrijving 5

1.2 Doelstelling 5

2 Methode praktische potentie bepaling geothermie 6

2.1 Ondergronds en bovengronds ruimtebeslag geothermie 6

2.2 Bepaling locatie boorlocaties 7

2.3 Bepaling praktische potentie 8

3 Methode praktische potentie bepaling TEO 9

3.1 Inleiding Thermische Energie uit Oppervlakte Water 9

3.2 Opdeling watertypen 10

3.3 Aanpak berekening praktische warmtepotentie 12

3.4 Grote stilstaande kanalen (Merwedekanaal, Vaartsche Rijn, Leidsche Rijn) 18

3.5 Grote stromende kanalen (Amsterdam-Rijnkanaal) 19

3.6 Kleine rivieren/stromende wateren 20

3.7 Plassen/Meren 21

3.8 Overzicht correctiefactoren verschillende watertypen 22

4 Resultaten geothermie en TEO 23

4.1 Locatiekaart potentiële boorlocaties voor geothermie 23

4.2 Praktische potentie Geothermie 24

4.3 Locatiekaart potentiële locatie WP-installaties TEO 25

4.4 Praktische potentie TEO 25

4.5 Vernieuwd bronnenoverzicht 27

5 Beschrijving verschillende energieketens 28

5.1 Vereenvoudigingen: piek, tapwater en systeemconfiguraties 28

5.2 Overzicht energieketens tot warmte 29

5.3 TEO en ondiepe geothermie: (Zeer) lage temperatuur warmtebronnen 30

5.4 Diepe geothermie 30

5.5 Biomassa 30

5.6 Biogas 30

5.7 Waterstofgas 31

5.8 Hoeveel windmolens en zonnepanelen zijn dat extra? 31

6 Potentie WKO-systemen nieuwbouw 32

7 Potentie en kansen voor zonthermie 33

7.1 Inleiding 33

7.2 De rol van (seizoens)opslag 33

7.3 Varianten van zonthermie 34

7.4 Randvoorwaarden voor zonthermie 35

7.5 Kansen voor zonthermie in Utrecht 35

7.6 Technische potentie voor zonthermie in Utrecht 36

8 Conclusies en mogelijke vervolgstappen 37

8.1 Conclusies geothermie 37

8.2 Conclusies TEO 37

8.3 Effect van keuze warmtebron op elektriciteitsvraag 38

8.4 Conclusies WKO bij nieuwbouw en zonthermie 38

Bijlage A Bronnen bovengronds ruimtebestek geothermie installatie 39

Bijlage B Bronnen ondergrondse doublet afstand 40

Bijlage C Nieuwe boorlocatie kaart geothermie gemeente Utrecht incl. Drinkwater beschermingszones (Bron: omgevingsvisie Gem. Utrecht) 41

Bijlage D Berekening praktische potentie Amsterdam-Rijnkanaal 42

Bijlage E Ruimtebeslag Technische ruimte warmtepompinstallatie 44

Bijlage F Toelichting WarmingUp potentiekaart 45

Bijlage H WKO potentie Nieuwbouwlocaties 47

1 Inleiding

1.1 Situatiebeschrijving

In de gemeente Utrecht is dit jaar de Transitie Visie Warmte (TVW) opgesteld met daarin de visie voor de energietransitie die de komende jaren gaat plaatsvinden. In december 2019 hebben wij een studie voor de gemeente afgerond met een analyse van de toekomstige warmtevraag en potentiële duurzame bronnen in de gemeente Utrecht. Er is vooral gekeken naar de technische potentie voor verschillende duurzame warmtebronnen. Uit recente gesprekken met stakeholders is gebleken dat er behoefte is naar een inschatting van de praktisch haalbare potentie van een aantal bronnen, omdat die aanzienlijk lager uit kan vallen. Bij de gemeente leven er nog diverse vragen over het ketenrendement van verschillende energieketens waarmee bruikbare warmte gemaakt kan worden. Daarnaast is er behoefte aan een presentatievorm van de resultaten die aansprekend is voor een breder publiek en de gemeenteraad.

1.2 Doelstelling

Dit rapport beoogt de volgende doelen te behalen:

- Verdiept inzicht in de (praktische) potentie van ondiepe en diepe geothermie en warmte uit oppervlaktewater (TEO) in combinatie met WKO (hele gemeente) en via directe onttrekking (alleen Amsterdam-Rijnkanaal) in de stad Utrecht.
- Een duidelijke toelichting van ketenwerking, rendementen en uitstoot bij verschillende energieketens die nuttige warmte produceren:
    - TEO → 50 °C/70 °C
    - Ondiepe geothermie → 50 °C/70 °C
    - Diepe geothermie tot aan de voordeur (ketenverliezen en temperatuuraflevering)
    - Biogasketen tot warmte
    - Waterstofgasketen tot warmte

2 Methode praktische potentie bepaling geothermie

2.1 Ondergronds en bovengronds ruimtebeslag geothermie

Hieronder worden voor zowel bovengronds (installatie) en ondergronds (doubletafstand/interferentie) uitgangspunten gedefinieerd voor zowel diepe als ondiepe geothermie installaties. De potentie voor ultra diepe geothermie is niet meegenomen in dit onderzoek.

2.1.1. Bovengronds ruimtebestek installatie uitgangspunt:

Voor diepe geothermie 1 ha (100mx100m), zie geraadpleegde bronnen 8Bijlage A.
Voor ondiepe geothermie 0,5 ha (70x70m), aanname op basis van minder materiaal en ruimte benodigd t.o.v. diepe geothermie installatie. Voor ultradiepe geothermie zal de installatie en daarmee het bovengrondse ruimtebestek niet of nauwelijks toenemen t.o.v. diepe geothermie.

2.1.2 Ondergronds ruimtebeslag uitganspunt diepe geothermie (op einddiepte boring):

Dit ondergrondse uitgangspunt is van belang om interferentie tussen injectie- en productieput (doublet) te voorkomen, maar ook interferentie tussen nabijgelegen doubletten te voorkomen. De ondergrondse afstand tussen de productie- en injectieput moet dusdanig worden gekozen dat er gedurende de levensduur/afschrijvingsperiode van het doublet (minimaal 30 en max 50 jaar), er geen doorbraak van het koudefront (injectiefront) plaatsvindt. Het tijdstip waarop het koudefront de productieput bereikt wordt de doorbraaktijd genoemd[5]. Op basis van verschillende studies, zie 8Bijlage B, is er gekozen voor de volgende uitgangspunten voor ondergronds ruimtebeslag:

- Doublet afstand 1200m.
    - (Afstand tussen de uiteinden van de injectieput en de productieput)
- Afstand tussen doubletten 800m.
    - (Radius waarbij interferentie kan optreden tussen verschillende doubletten)
- Dubbele aardwarmtebron met per bron twee schuin lopende putten (kruis)

Op basis van deze uitgangspunten blijft de minimale levensduur van een doublet 30 jaar zonder interferentie-effect, daarna zou temperatuur in de productieput een paar graden kunnen afnemen waardoor je productiecapaciteit licht afneemt. Maar door "te conservatieve" aannames in ruimtebeslag mis je de optimale potentie van de ondergrond en heb je sowieso minder capaciteit beschikbaar door een verminderd aantal praktisch haalbare boorlocaties.

2.1.3 Ondergronds ruimtebeslag ondiepe geothermie uitgangspunt (op einddiepte boring)

Voor ondiepe geothermie is er gekozen voor de volgende uitgangspunten voor ondergronds ruimtebeslag:

- Doublet afstand 1000m
    - (Afstand tussen de uiteinden van de injectieput en de productieput)
- Afstand tussen doubletten (interferentie radius) van 800m.
    - (Radius waarbij interferentie kan optreden tussen verschillende doubletten)
- Enkele aardwarmtebron met per bron één doublet

Hoelang het duurt en of er interferentie optreedt tussen putten hangt voornamelijk af van de dikte en debiet van het reservoir. Deze zijn voor ondiep en diepe geothermie per project verschillend (vandaar dezelfde, maar algemene aannames).

2.2 Bepaling locatie boorlocaties

In de gemeente Utrecht is er voor de gehele gemeente een opsporingsvergunning afgegeven voor geothermie, welke in het beheer is van ENGIE Energy Solutions B.V. Hierdoor zijn er geen duidelijke restricties op het gebied van vergunningen. Ook is er recent een onderzoek geweest naar de ondergrondse potentie van geothermie door PanTerra Geoconsultants B.V. Op basis van dit onderzoek is het haalbaar geothermische vermogen van een doublet ingeschat met als zoekgebied de gehele provincie Utrecht. Op basis van dit onderzoek is ervoor gekozen om alleen de locaties waar er in een gunstig geval $5MW_{th}$ vermogen haalbaar lijkt, op te nemen als potentiële boorlocatie voor diepe geothermie. Bij een lager thermisch vermogen is een businesscase voor een diep geothermie project namelijk niet meer realistisch.

Op basis van de genoemde uitganspunten in paragraaf 2.1 wordt er een praktische potentie bepaald a.d.h.v. het maximaal haalbare aantal boorlocaties in de gemeente Utrecht. Hiervoor zijn niet alleen bovenstaande uitgangspunten de beperkende factor maar ook gebiedsrestricties. Niet alleen de restricties, maar ook mogelijke beperkingen m.b.t. de keuze voor een boorlocatie worden in acht genomen, zie Tabel 1. Wat we verstaan onder deze terminologie wordt hier beschreven:

- Beperking: Hier kan geothermie onder voorwaarden worden ontwikkeld.
- Restrictie: Hier kan geen geothermie worden ontwikkeld.

In twee stappen wordt er een kaart met potentiële boorlocaties voor zowel diepe als ondiepe geothermie opgesteld:

- Stap 1 -> Gebiedsinformatie uit tabel 1 bepaalt potentiële zoekgebieden.
- Stap 2 -> Uitgangspunten in paragraaf 2.1 bepalen het maximaal aantal boorlocaties binnen elk zoekgebied.

Tabel 1. Gebiedsinformatie met restrictie/beperking voor boorlocatie & installatie.

Gebiedsinformatie	Restrictie/Beperking voor locatie geothermie	Bron
Geothermie potentie Provincie Utrecht *	Restrictie	Panterra onderzoek
Boringsvrije zones/ Grondwater bescherming zones	Restrictie	Omgevingsvisie Provincie Utrecht
Bebouwing & Wegdelen	Restrictie	Geodata nationaalgeoregister
Natura 2000, NNN en groene contour	Restrictie	Warmteatlas
Oppervlaktewateren	Restrictie	Geodata nationaalgeoregister
Aardkundige waarden	Beperking	Omgevingsvisie Provincie Utrecht
Natuur & stilte zones	Beperking	Omgevingsvisie Provincie Utrecht
Percelen met particulier eigendom	Beperking	Geodata nationaalgeoregister
Bedrijventerrein	Beperking	Warmteatlas

2.3 Bepaling praktische potentie

De praktische potentie van zowel diepe als ondiepe geothermie in de gemeente Utrecht wordt bepaald a.d.h.v. het maximaal aantal doubletten.

De omrekening van potentie (MW_{th}) naar energie (TJ) per doublet is als volgt:

E [TJ] = potentie [MW_{th}] * 8500 [h] * 3600 [s] / 10^{e6}

Diepe geothermie

Uitgangspunten voor de bepaling:

- Praktische potentie op basis van het maximale aantal doubletten met een potentieel vermogen van meer dan 5 MW_{th}. Dit is de minimale hoeveelheid energie die een geotermiebron op moet brengen om te kunnen exploiteren. Alle zoekgebieden liggen in de zone die volgens de studie van Panterra alleen in de best case een vermogen van meer dan 5 MW_{th} kunnen leveren.
- De 8500 vollasturen (i.p.v. 8760 volledige vollast) is gebaseerd op de aanname dat er periodiek klein onderhoud van de installatie nodig is en dat er incidenten kunnen plaatsvinden waardoor de installatie tijdelijk stilligt.

Ondiepe geothermie

Uitgangspunten voor de bepaling praktische potentie:

- Praktische potentie berekenen uitgaande van 0,5 MW_{th} per doublet.
- Praktische potentie op basis van het maximale aantal doubletten in Utrecht.

3 Methode praktische potentie bepaling TEO

3.1 Inleiding Thermische Energie uit Oppervlakte Water

Oppervlaktewater is voor de gemeente Utrecht een grote potentiële bron van duurzame warmte. Thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) is het concept waarbij warmte of koude wordt gewonnen voor de verwarming en koeling van woningen en gebouwen. Water wordt onttrokken uit het oppervlaktewater waarna het door een warmtewisselaar stroomt waardoor het wordt afgekoeld. Het afgekoelde water wordt weer geloosd op het oppervlaktewater waarna het weer opwarmt door interactie met de atmosfeer en instraling van de zon tot de evenwichtstemperatuur. Wanneer een waterlichaam stroomt kan dit, afhankelijk van de temperatuur van het instromende water, zorgen voor een hogere of lagere benutbare warmtepotentie. De thermische potentie van oppervlaktewateren is afhankelijk van de oppervlakte, de doorstroming en de (gemiddelde) watertemperatuur. Warmtewinning uit oppervlaktewater wordt vaak gecombineerd met warmte-koudeopslag (WKO) in de ondergrond.

In deze studie is gebruik gemaakt van de WarmingUp TEO potentie kaart[1] voor de bepaling van de technische warmtepotentie per waterlichaam (standaard onttrekkingsregime). In de praktijk blijkt het niet haalbaar om de totale technische potentie te benutten. In deze studie zijn de invloed van de negatieve interferentie tussen de in-outlets van TEO systemen, de beschikbare bovengrondse ruimte voor TEO installaties en de WKO potentie onderzocht, om een beter beeld te krijgen van de (haalbare) praktische potentie. Zie voor een toelichting op de WarmingUp potentiekaart zie 8Bijlage FF.

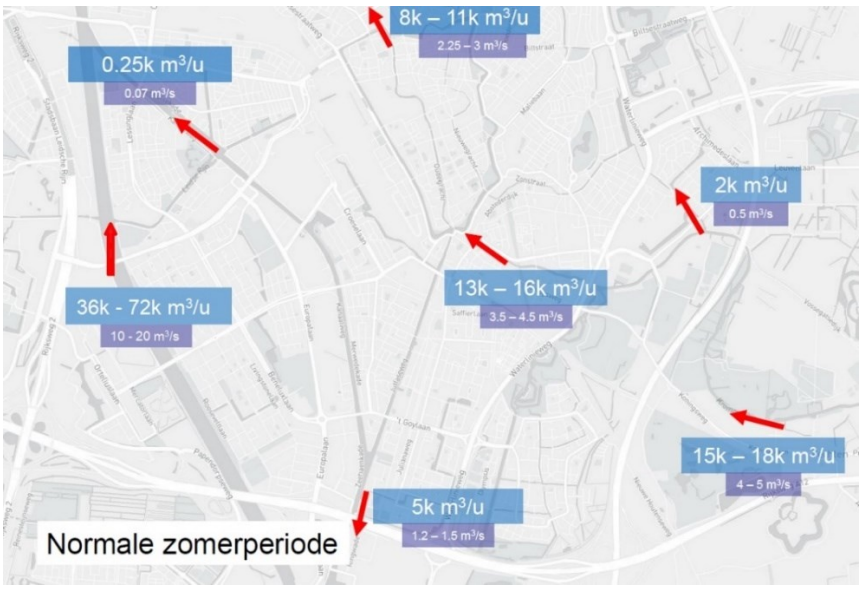
Exacte berekening voor inpassing TEO systemen

De gebruikte methodiek in dit rapport is een generieke gemeentebrede benadering. Wanneer er concrete plannen worden gemaakt voor de inpassing van een of meerdere TEO systemen is een exacte berekening nodig om te zorgen dat er geen negatieve interferentie optreed. In dat geval is een specialistisch 3D model om de koude lozing(en) te modeleren.

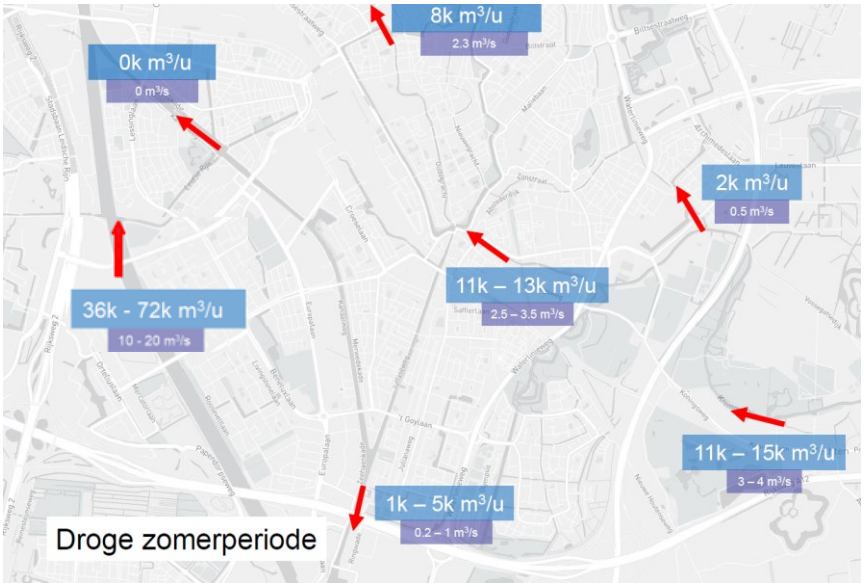
[1] Bron: https://warmingup.geoapps.nl/

3.2 Opdeling watertypen

De oppervlaktewateren in Utrecht zijn onder te verdelen in verschillende watertypen. Er wordt onderscheid gemaakt tussen grote en kleine oppervlaktewateren, stromende en stilstaande wateren en kanalen/rivieren/sloten en meren/plassen, zie Tabel 2. Voor elk van de 4 watertypen zijn de belangrijkste parameters in kaart gebracht om een accurate inschatting van de praktische potentie te kunnen berekenen. In Figuur 1 en Figuur 2 zijn de gemiddelde debieten voor een normale en droge zomerperiode door de belangrijkste waterlichamen in Utrecht[2]. Aan de hand van deze data wordt elk waterlichaam ingedeeld worden bij een bepaald watertype.



Figuur 1. Stromingen door Utrecht in een normale zomerperiode.



Figuur 2. Stromingen door Utrecht in een droge zomerperiode.

[2] Bron: HDSR

Tabel 2. Opdeling van verschillende watertypen. Per watertype wordt beschreven wat de belangrijkste overwegingen zijn.

	Stromend	Stilstaand
Grote kanalen/rivieren	Amsterdam-Rijnkanaal - Zeer grote warmtepotentie door zowel oppervlak als stroming - TEO installaties hebben relatief weinig invloed op de watertemperatuur	Merwede kanaal / Vaartsche Rijn / Leidsche Rijn / Uraniumkanaal en Energiehaven - Weinig stroming - Regeneratie door oppervlakte component - Goede menging van water door scheepvaart en ondiepte, wat potentie ten goede komt
Kleine kanalen/rivieren	Vecht en Kromme Rijn - Stromingsdominante warmtepotentie - Weinig regeneratie door gelimiteerde oppervlak - Weinig openbare data beschikbaar	Sloten / Vennetjes / Vijvers - Lage warmtepotentie - Weinig openbare data beschikbaar - Detailstudie nodig voor inpassing TEO systeem - Grote ecologische invloed
Plassen/Vijvers	Haarrijnseplas / Strijkviertelplas / Veldhuizerpark vijver / Nedereindse Plas / Maarsseveensche Plassen* - Grote technische warmtepotentie - Effectieve regeneratie oppervlakte koudelozing afhankelijk van inpassing TEO systemen - Rekening houden met bestemmingsplan (zwemwater)	

*niet in gemeente Utrecht

3.3 Aanpak berekening praktische warmtepotentie

Voor de algemene berekening van de praktische TEO potentie voor de gemeente Utrecht wordt gebruik gemaakt van de WarmingUp potentiekaart. Hierbij is ervan uitgegaan dat TEO wordt gecombineerd met WKO. In paragraaf 3.3.1 wordt de aanpak voor de praktische potentiebepaling beschreven mét WKO.

Voor het Amsterdam-Rijnkanaal is er ook onderzocht wat de potentie is wanneer er directe onttrekking wordt toegepast met een ruimer temperatuur onttrekkingsregime. Dat wordt beschreven in paragraaf 3.3.2.

3.3.1 Methode praktische TEO potentie i.c.m. WKO

TEO-systemen worden vaak gecombineerd met centrale warmtepompen om de temperatuur op te waarderen. De totale warmteproductie van de warmtepomp is hoger dan de onttrokken warmte uit het waterlichaam, omdat er in de warmtepomp ook nog elektriciteit wordt gebruikt. Bij een COP van 3 produceert de warmtepomp 3 delen nuttige warmte uit 1 deel elektriciteit en 2 delen TEO-warmte. De genoemde potenties in deze studie zijn altijd exclusief de elektriciteit die een warmtepomp gebruikt, dus enkel de warmte die onttrokken wordt uit het oppervlaktewater. De totale energie die geleverd wordt door een warmtepomp is, afhankelijk van de COP van de warmtepomp, hoger dan de TEO potentie.

Overzicht aanpak

1. Technische potentie per waterlichaam (WarmingUp potentie)
2. Opdeling waterlichamen in Utrecht in watertypes
3. Correctiefactor negatieve interferentie tussen in- en outlets per watertype (o.b.v. IF, Deltares, STOWA en aannames)
4. Bovengronds ruimtebeslag: Inpassing installaties op de kaart van Utrecht
5. WKO potentie beperking

1. Technische warmtepotentie

Voor de technische potentie wordt gebruik gemaakt van de WarmingUp TEO potentiekaart. In viewer wordt een minimum, gemiddelde en maximum potentie voor elk onttrekkingsregime gegeven, wat afhankelijk is van de gemeten of gemodelleerde debieten van dat waterlichaam. Het minimum van het 'standaard' onttrekkingsregime wordt gebruikt in deze studie (zie voor de aannames daarvan 8Bijlage FF). Hiervoor is gekozen omdat er wordt aangenomen dat de dimensionering van TEO systemen bepaald wordt aan de hand van het 'worst case scenario'. Per waterlichaam wordt het technisch potentieel bepaald. Omdat er voor het Merwedekanaal een detailstudie is uitgevoerd wordt daar gerekend met de technische en praktische potentie uit die studie. Voor alle andere wateren in Utrecht wordt gebruik gemaakt van de WarmingUp kaart voor de technische potentie bepaling.

2. Opdeling waterlichamen in Utrecht in watertypes

Zie paragraaf 3.2.

3. Correctiefactor negatieve interferentie tussen in- en outlets per watertype

Om een vertaling te maken van de technische potentie naar de praktische (haalbare) warmtepotentie wordt in dit rapport gerekend met verschillende correctiefactoren, afhankelijk van het type water. De gemeente heeft een onderzoek voor de Merwedekanaalzone laten uitvoeren waarbij is detail is gekeken

naar de inpassing van verschillende TEO systemen[3]. Voor de Merwedekanaalzone blijkt dat ongeveer de helft van de technische warmtepotentie praktisch winbaar is wanneer er rekening wordt gehouden met de negatieve interferentie tussen TEO systemen. In deze studie is er voortgebouwd op deze conclusie.

Zoals beschreven in de vorige paragraaf (3.2) zijn de oppervlaktewateren van Utrecht opgedeeld in verschillende watertypen. Per watertype wordt in de volgende paragrafen (3.4 t/m 3.7) beschreven hoe de inpassing van in en outlets, en de mogelijke negatieve interferentie daartussen, impact heeft op de praktische potentie. Voor elk watertype wordt een correctiefactor (met een onzekerheidsmarge) gedefinieerd die beschrijft welk deel van de technische warmtepotentie gewonnen kan worden, rekening houdend met de praktische inpassing van in en outlets in het waterlichaam.

4. Bovengrondse ruimtebeslag

Op basis van een ruimtelijke analyse wordt op de kaart aangegeven waar mogelijke TEO installaties kunnen worden gerealiseerd. Per waterlichaam wordt ingeschat of, en zo ja hoeveel, de bovengrondse ruimte een beperking is voor de totaal winbare potentie. Er is gerekend met een standaard TEO + warmtepompinstallatie van 6 MW. Voor deze standaard TEO + warmtepompinstallatie is berekend hoeveel warmte per jaar kan worden onttrokken. Het aantal plaatsbare installaties langs een waterlichaam bepaalt de maximaal winbare potentie aan de hand van de beschikbare bovengrondse ruimte. Wanneer de potentie lager is dan de praktische potentie die berekend is, dan wordt dit de limitatie. Gezien de omvang van het Amsterdam-Rijnkanaal en de mogelijkheid voor grotere TEO systemen is daar gerekend met TEO + Warmtepompinstallaties van 30 MW.

De mogelijke locaties voor TEO + warmtepompinstallaties bij de verschillende wateren in Utrecht zijn gebaseerd op de volgende uitganspunten:

- Het bovengrondse ruimtebeslag en inpassing voor warmtepompinstallatie. Ruimtebeslag benodigd voor warmtepompinstallatie op basis van bron Techniplan, zie 8Bijlage EE:
    - 6MW installatie: 19m x 19m (360 m^2).
    - 30MW installatie: 40m x 45m (1800 m^2)
    - Maximaal 100m van het waterlichaam verwijderd.
- Minimale afstand tussen TEO installaties in het waterlichaam:
    - Grote stilstaande kanalen: 500m (Studie Merwede kanaalzone[4])
    - Grote stromende kanalen: 400m ("worst-case scenario" Techniplan rapport[5])
    - Kleine stromende wateren: 250m
    - Meren/plassen: Afhankelijk van grote en vorm meer

Deze minimale afstand tussen de TEO installaties in het waterlichaam zijn aannames, gebaseerd op de minimale afstand om negatieve interferentie te voorkomen. Voor grote stromende kanalen is de minimale afstand relatief groot, omdat er wordt aangenomen dat langs het Amsterdam-Rijnkanaal grotere TEO + warmtepompinstallaties worden gebruikt van 30 MW (t.o.v. 6 MW voor de andere wateren).

In de analysesoftware GIS zijn op basis van bovenstaande uitgangspunten handmatig indicatieve locaties geselecteerd langs de in Tabel 2 weergegeven waterlichamen. Ook zijn hier net als voor geothermie de verschillende gebiedsinformatiebronnen mee in achting genomen uit Tabel 1.

---

[3] Merwedekanaalzone, Inventarisatie ontwikkelingen en potentieelstudie aquathermie – IF Technology 2021
[4] Merwedekanaalzone, Inventarisatie ontwikkelingen en potentieelstudie aquathermie – IF Technology 2021
[5] Bron: Haalbaarheid grootschalige aquathermie provincie Utrecht fase 2– Techniplan Adviseurs bv

5. **WKO potentie beperking**

In dit onderdeel van de studie wordt aangenomen dat TEO-systemen worden gecombineerd met WKO opslag.[6] Warmte uit de zomer wordt daarbij in de bodem opgeslagen voor gebruik in de winter. Er wordt daarom berekend of de WKO opslagcapaciteit rondom de wateren van Utrecht voldoende is zodat de volledige warmtepotentie kan worden benut. Wanneer de WKO opslagcapaciteit lager is dan de warmtepotentie van het oppervlakte water dan is dit de beperkende factor. In de zomerperiode kun je soms ook direct warmte leveren aan het warmtenet. Er wordt daarom aangenomen dat er ook 15% directe uitkoppeling plaats vindt. Dat wil zeggen; de watertemperatuur is in dat geval hoog genoeg (zomerperiode) om warmte uit te onttrekken en er is op datzelfde moment warmtevraag die direct kan worden geleverd (bijvoorbeeld tapwater vraag in de zomer).

De totale WKO-opslagpotentie is per waterlichaam bepaald. De mogelijke afstand van een WKO installatie tot het waterlichaam is door financiële en technische redenen beperkt. Aangezien alleen de WKO potentie per buurt bekend is, wordt er een inschatting gemaakt welk deel van de potentie voor het waterlichaam in kwestie gebruikt kan worden (aan de hand van de oppervlakte in de buurt van het waterlichaam). De aanname is dat de WKO installatie niet verder dan 400m van het waterlichaam wordt gerealiseerd i.v.m. aanleggen infrastructuur en hoge installatiekosten.

De gemeente Utrecht onderzoekt de capaciteit voor Open Bodem Energie Systemen (OBES) (GJ/jaar) aangeleverd per CBS-buurt. De conceptresultaten van dit onderzoeken zijn met ons gedeeld en hebben we verwerkt in deze analyse. Deze resultaten zijn dus nog onderhevig aan mogelijke veranderingen. De gemeente is hiervan op de hoogte.

De WKO potentie van het waterlichaam is vervolgens bepaald per buurt op basis van deze inschatting:

*Het percentage van de capaciteit in de ondergrond voor OBES binnen een bepaalde buurt kan worden benut door het waterlichaam (%) * OBES capaciteit cbs-buurt [GJ/jaar]*

Het percentage van de OBES capaciteit wat kan worden benut in de ondergrond is dus genomen op basis van het oppervlakte dat binnen 400m aan het waterlichaam grenst. De totale WKO opslagpotentie per waterlichaam is vervolgens bepaald door de inschatting voor alle aangrenzende buurten aan het waterlichaam bij elkaar op te tellen. Het percentage hoeveel van de ondergrondse OBES capaciteit kan worden benut per buurt is gebaseerd op een visuele inschatting in GIS.

3.3.2 Methode praktische TEO potentie op basis van directe onttrekking

Hieronder volgt de toelichting op de methode voor directe onttrekking. Dit hebben we alleen toegepast op het Amsterdam-Rijnkanaal.

1. **De uitgangspunten voor de potentieberekening is op hoofdlijnen als volgt:**

Warmte wordt onttrokken met een gemiddelde ΔT van 10°C, en nooit verder dan 3°C uitgekoeld. In de grafieken van de jaarbelastingduurkromme in Figuur 4, is te zien dat bij een watertemperatuur van 7°C of hoger het mogelijk is om de warmtepompinstallatie de volledig basislast te laten voorzien (7/3°C, ΔT 4°C). Bij een watertemperatuur van 5°C nog op 50% vermogen van de basislast (5/3°C, ΔT 2°C). Bij

[6] De SDE++ subsidie is ook enkel beschikbaar voor systemen met een WKO warmteopslag.

watertemperaturen lager dan 5°C zal de warmtelevering van de warmtepomp op het oppervlaktewater worden gestopt. Deze onttrekkingstemperaturen zijn gebaseerd op de ontwerpstrategie voor het deelsysteem Nieuwegein uit het onderzoek van Techniplan (2021) [7]. Voor de warmtevoorziening van de warmtepompinstallatie is aangenomen dat deze in 35% van de pieklast voorziet gedurende het jaar.

Na onttrekking wordt de warmte direct opgewaardeerd door een centrale warmtepomp. Invoeden op het hoofdtransportnet (primair net) is niet haalbaar vanwege de benodigde hoge temperaturen daarvoor. Daarom hebben we gekeken naar welke deelsystemen voldoende dichtbij het Amsterdam-Rijnkanaal liggen om direct aan een 'TEO + warmtepomp systeem' gekoppeld te worden (dus **na** het Warmte Overdracht Station, WOS).

Er is door ons een inschatting gemaakt van het vermogen geleverd door een WOS per verzorgingsgebied, zie. Tabel 3. Deze inschatting is gebaseerd op de aanname dat in de huidige situatie 60% van de woningen binnen het gebied is aangesloten op het warmtenet en in het groei scenario richting de toekomst 80% is aangesloten. Naar verwachting zal het warmtenet verdichten richting de toekomst waarbij er meer woningen worden aangesloten. De verzorgingsgebieden van de WOS rondom het Amsterdam rijnkanaal zijn weergegeven in Figuur 3.

Er wordt uitgerekend hoeveel warmte (energie) er onttrokken kan worden uit het oppervlaktewater, niet hoeveel energie er in totaal wordt geleverd door de warmtepomp. De elektriciteit die de warmtepomp verbruikt komt nog bij de geleverde energie aan het warmtenet. Dit is afhankelijk van de COP van de warmtepomp. Met de aangenomen COP van 2,7 in deze studie is de geleverde energie van de warmtepomp 59% hoger dan onttrokken warmte uit het oppervlaktewater.

[7] Bron: Haalbaarheid grootschalige aquathermie provincie Utrecht fase 2– Techniplan Adviseurs bv

Tabel 3. Inschatting warmtevraag en benodigd vermogen piekvermogen per WOS verzorgingsgebied.

			Huidige levering warmtenet (60% aangesloten)	Groeiscenario levering warmtenet (80% aangesloten)
Verzorgingsgebied	**Totale Warmtevraag (TJ)**	**Totaal Piekvermogen (MW)**	**Piekvermogen (MW)**	**Piekvermogen (MW)**
1	450	84	50	67
2	708	132	79	106
6	386	67	40	54
7	85	18	11	15
Totaal	**1629**	**301**	**181**	**241**

Aandachtspunt is wel dat voor verzorgingsgebied 2 een nieuwe WOS langs het kanaal zal moeten worden geplaatst om op het secundaire net in te voeren met warmte uit het Amsterdam-Rijnkanaal. WOS nummer 2 ligt namelijk ten oosten van de wijk Kanaleneiland, zie Figuur 3.

2. Temperatuur invloed TEO installatie op oppervlaktewater Amsterdam Rijnkanaal

Op basis van de benodigde thermische vermogens ten behoeve van de verschillende verzorgingsgebieden is er gekeken naar de invloed op de oppervlaktewater temperatuur door de koude lozing van een TEO installatie. De berekeningen zijn gedaan volgens de methodiek beschreven in 8Bijlage D. Er is gekeken naar de volgende parameters, zie Tabel 4.

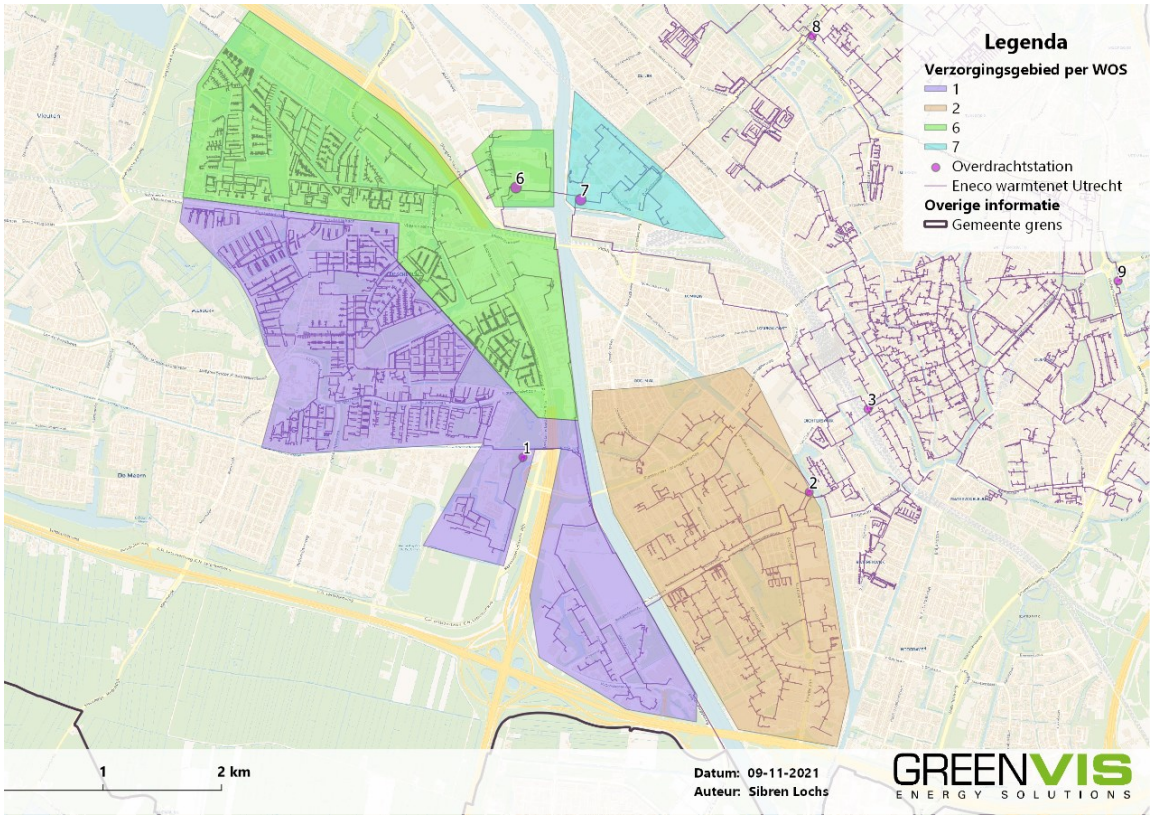
Tabel 4. Temperatuur invloed per Warmtepompinstallatie van beoogde verzorgingsgebieden.

	Verzorgings-gebied 1 (23MW WP)	Verzorgings-gebied 2 (37MW WP)	Verzorgings-gebied 6 (19MW WP)	Verzorgings-gebied 7 (5MW WP)	Totaal TEO installaties (84MW WP)
Afstand tot volledige vermenging (km)	0,48	1,25	0,33	0,02	-
Afstand tot evenwichtstemperatuur[8](km)	5,5	8,9	4,6	1,2	20,3
Temperatuurdaling kanaal na volledige vermenging (°C)	0,35	0,56	0,29	0,08	-

De 1e parameter beschrijft de afstand waarnaar de koudelozing volledig vermengd is met het kanaalwater. De afstand tot de evenwichtstemperatuur beschrijft de afstand na de koudelozing waarnaar het

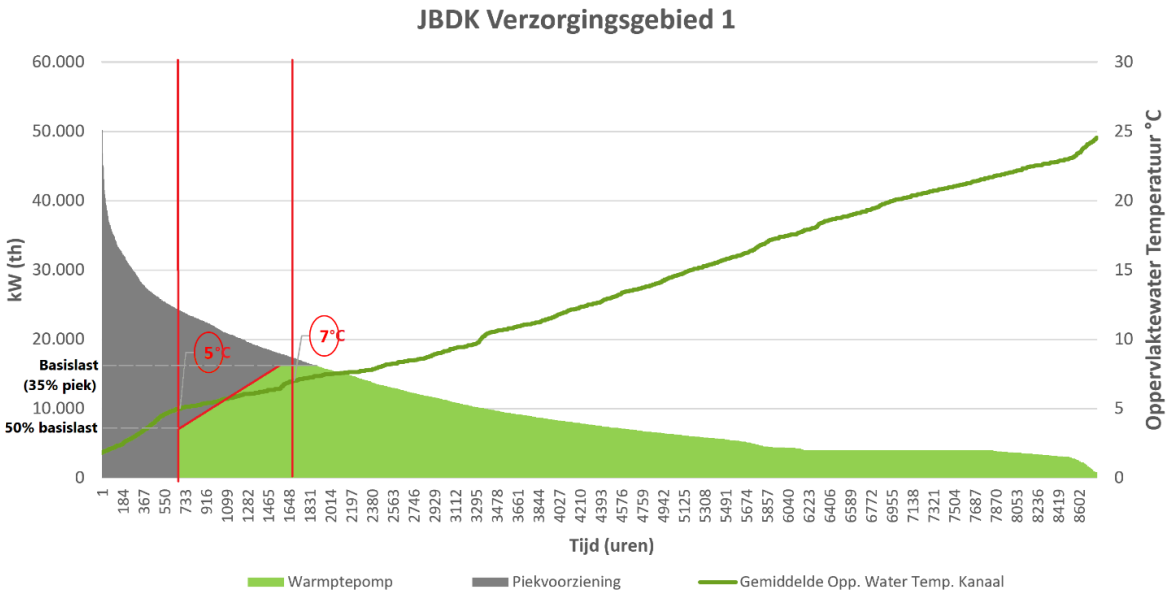
[8] Deze afstand is waarschijnlijk een overschatting. Zie voor een toelichting en een vergelijking met een andere rekenmethodiek 8Bijlage D.

kanaalwater weer volledig is opgewarmd (mits er geen andere koudelozingen plaats vinden) tot de evenwichtstemperatuur[8].



Figuur 3. Verzorgingsgebieden WOS locaties Eneco warmtenet Utrecht

Figuur 4. Inschatting jaarbelastingduurkrome verzorgingsgebied WOS 1 warmtenet Eneco. Weergegeven zijn de vollast



uren op basis van directe onttrekking TEO inclusief warmtepomp (groen), en de rest op basis van een piekvoorziening (grijs). Daarnaast is de gemiddelde oppervlaktewatertemperatuur ARK weergegeven. Hierin staat de minimale onttrekkingstemperatuur bij 5°C waarbij nog 50% van de basislast kan worden onttrokken en 7°C waarbij volledige basislast kan worden onttrokken.

3.4 Grote stilstaande kanalen (Merwedekanaal, Vaartsche Rijn, Leidsche Rijn)

Voor de Merwedekanaalzone is een studie uitgevoerd waarbij met een collectief WKO-net de geplande nieuwbouw van warmte en koude voorziet en waarbij TEO wordt ingezet voor de regeneratiebehoefte. Hierbij is ook een gedetailleerde berekening gedaan voor de inpassing van verschillende TEO installaties, rekening houdend met negatieve interferentie.

Het Merwede kanaal kenmerkt zich door een relatief laag gemiddeld zomerdebiet (250m3/h) ten opzichte van het totale oppervlak. De winbare warmtepotentie wordt dus voornamelijk bepaald door de oppervlakte van het kanaal. Het kanaal is daarnaast relatief ondiep (3-4 meter) en er vindt scheepsvaart plaats waardoor er is aangenomen dat er geen verticale temperatuurgradiënt aanwezig is. Met de huidige kennis lijken de Vaartsche Rijn en Leidsche Rijn dezelfde eigenschappen te hebben, waardoor dezelfde rekenmethodes gebruikt kunnen worden.

De analyse van de beschikbare bovengrondse ruimte voor TEO + warmtepompinstallaties is voor het Merwede kanaal in mindere mate van belang, gezien de significante nieuwbouwplannen in die omgeving. Eventuele TEO + warmtepompinstallaties kunnen worden meegenomen in het ontwerp en kunnen zowel boven als ondergronds worden ingepast. Voor de Leidsche en Vaartsche Rijn zal er worden gekeken of het bovengrondse ruimtegebruik een belemmering is voor de totaal winbare potentie.

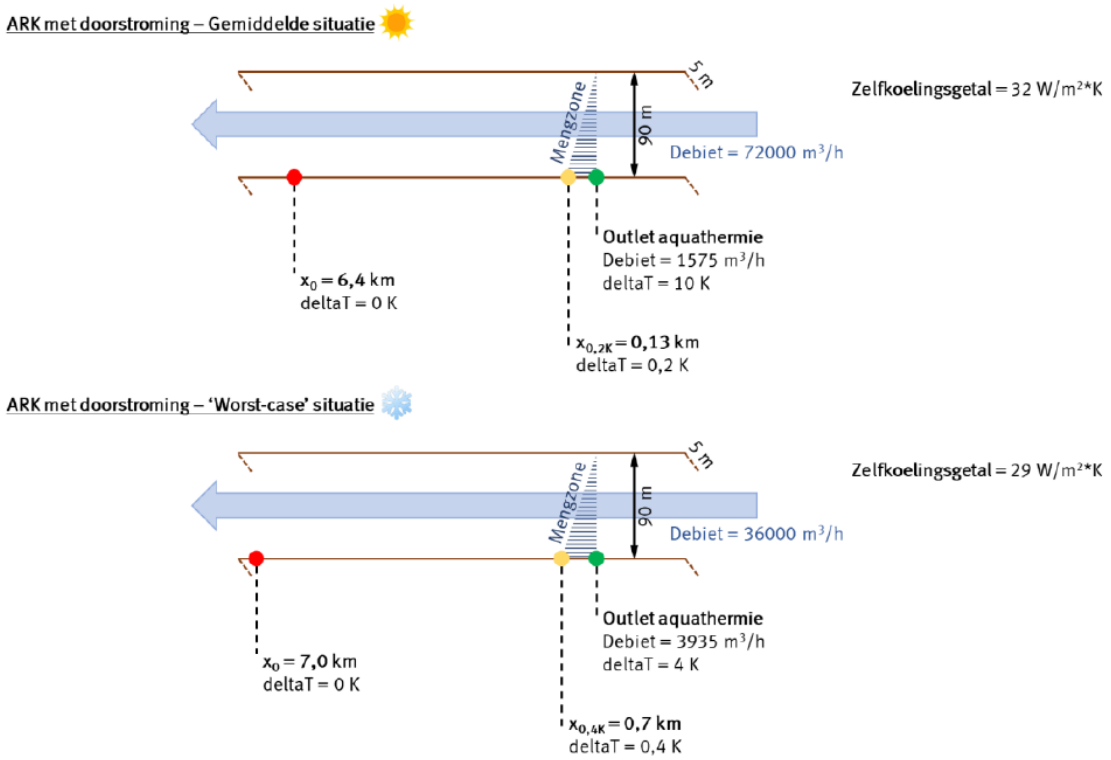
Correctiefactor negatieve interferentie tussen in en outlets TEO installaties

Voor grote stilstaande kanalen is het debiet van het kanaal laag t.o.v. het lozingsdebiet van de TEO installatie. Dat betekent dat het lozingswater volledig moet opwarmen voordat het opnieuw kan worden gebruikt voor een TEO installatie. Wanneer dit niet gebeurt zal dit zorgen voor negatieve interferentie waardoor het oppervlaktewater steeds verder afkoelt. Om zoveel mogelijk van de potentie van het oppervlaktewater te benutten is een optimale inpassing van TEO installaties noodzakelijk wat in de praktijk niet altijd mogelijk zal zijn. De studie die de gemeente Utrecht heeft laten uitvoeren voor de Merwedekanaal zone laat zien dat ongeveer de helft van de technische warmtepotentie kan worden gewonnen (correctiefactor = 0.5) wanneer er rekening wordt gehouden met negatieve interferentie tussen de TEO systemen[9]. De Merwedekanaalzone kenmerkt zich doordat er grootschalige nieuwbouw is gepland waarbij in het ontwerp rekening kan worden gehouden met de inpassing van TEO systemen. Voor bestaande bouw (bijvoorbeeld rond de Vaartsche Rijn) wordt ingeschat dat de inpassing van TEO systemen lastiger is door de beperkte ruimtelijke mogelijkheden. De correctiefactor (en onzekerheid) voor de inpassing van in en outlets van TEO systemen in grote stilstaande kanalen wordt daarom ingeschat op 0,45±33%. Ook voor het Merwedekanaal wordt deze correctiefactor gehanteerd.

[9] Merwedekanaalzone, Inventarisatie ontwikkelingen en potentieelstudie aquathermie – IF Technology 2021

3.5 Grote stromende kanalen (Amsterdam-Rijnkanaal)

Het Amsterdam-Rijnkanaal verschilt van de andere wateren in Utrecht omdat er een relatief hoog debiet doorheen stroomt, het een breed kanaal is en het een druk bevaren waterweg door binnenvaartschepen is. Deze warmtepotentie van het kanaal is groot en bied kansen voor zowel lokale TEO systemen als eventuele inkoppeling op het stadswarmtenet van Utrecht. Eerdere studies (Techniplan fase 1 en 2) hebben laten zien dat een groot TEO-WKO systeem (30MW) een relatief kleine impact heeft op de temperatuur van het kanaal over een relatief korte afstand Figuur 5. Zie D voor de berekening van de impact van een groot TEO-WKO systeem op het Amsterdam-Rijnkanaal uit de rapportage van Techniplan.



Figuur 5. Voorbeeld van een warmtebalans voor een scenario met een 30 MW TEO-WKO installatie bij het Amsterdam-Rijnkanaal voor de zomer en winter situatie. Na 0,13 km (gemiddeld) en 0,7 km (worst-case) treedt volledige mening op en is de deltaT 0,2K en 0,4K respectievelijk. Na 6,4 km (gemiddeld) en 7,0 km (worst-case) is de temperatuur volledig hersteld naar de evenwichtstemperatuur. (Techniplan adviseurs bv, 2021).

Correctiefactor negatieve interferentie tussen in en outlets TEO installaties

Voor grote stromende kanalen is het debiet van het kanaal hoog t.o.v. het lozingsdebiet van een TEO installatie. Dat betekent dat de koudelozing snel volledig is vermengd met het kanaalwater. Voor een TEO+WKO installatie met een vermogen van 30MW ligt is de afstand waarbij de koudelozing volledig vermengd is tussen de 130m (normaal scenario) en 700m (worst-case scenario)[10]. Gezien de totale lengte van 10km van het Amsterdam-Rijnkanaal in Utrecht wordt er ingeschat dat er weinig potentie verloren gaat door de praktische inpassing van TEO systemen. De correctiefactor voor de inpassing van in en outlets van TEO systemen wordt daarom ingeschat op 0,9±11%.

[10] Bron: Haalbaarheid grootschalige aquathermie provincie Utrecht fase 2– Techniplan Adviseurs bv

3.6 Kleine rivieren/stromende wateren

De Vecht, de Kromme Rijn en de Singel worden gekenmerkt door een relatief hoog debiet t.o.v. het totale oppervlak. De warmtepotentie is daarom stromingsdominant en wordt voor het merendeel bepaald door het instromende water aan de zuidzijde van Utrecht door de Kromme Rijn. Een belangrijke kanttekening hierbij is dat het instromende water (Kromme Rijn) de normale evenwichtstemperatuur moet hebben[11]. Wanneer het instromende water kouder is, doordat er stroomopwaarts al warmte uit het water is gewonnen, heeft dat een negatieve invloed op de totaal winbare potentie. Aangezien de oppervlakte van deze waterlichamen relatief klein is t.o.v. het debiet, warmt het water slechts langzaam weer op richting de evenwichtstemperatuur in de gemeente Utrecht. Wanneer de volledig winbare potentie wordt gewonnen, zal dat nog over een bepaalde afstand stroomafwaarts invloed hebben op de temperatuur van het oppervlaktewater.

Doordat deze wateren stromingsdominant zijn, zal de watertemperatuur steeds lager worden na een koudelozing. Bij het ontwerp van TEO systemen dient rekening te worden gehouden aangezien dit invloed heeft op het aantal uur dat de individuele systemen kunnen worden ingezet (vollasturen). Het eerste TEO systeem (stroomopwaarts) kan de meeste warmte onttrekken. Als dit ook maximaal gebeurt, hebben volgende TEO systemen (stroomafwaarts) steeds wat minder potentie.

Correctiefactor negatieve interferentie tussen in en outlets TEO installaties

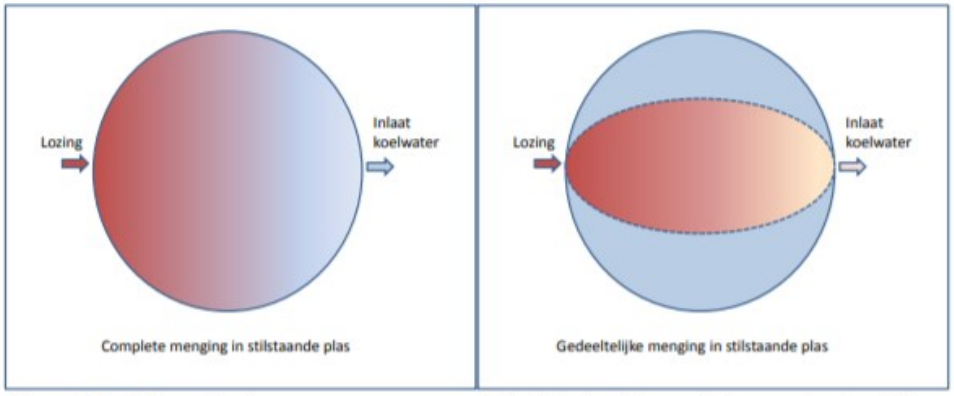
Voor kleine rivieren/stromende wateren is het debiet van het waterlichaam relatief hoog (zie Figuur 1 en Figuur 2) t.o.v. het lozingsdebiet van een TEO installatie waardoor de koudelozing relatief snel volledig is vermengd met het rivierwater. Net als bij de grote stromende wateren zal er daarom weinig negatieve interferentie plaats vinden tussen de TEO systemen. Deze waterlichamen hebben een hoger ecologisch risico waardoor de maximaal toegelaten impact van de koudelozing kleiner is[12]. Als laatste is er minder betrouwbare data over deze wateren waardoor de technische potentie van de WarmingUp potentie meer onzeker is. Voor delen van deze wateren lijkt de potentie (te) hoog. Rekening houdend met deze fenomenen wordt de correctiefactor voor de inpassing van in en outlets van TEO systemen ingeschat op 0,75±20%.

[11] De evenwichtstemperatuur is de temperatuur van het oppervlakte water wanneer er geen warmte of koudelozingen hebben plaats gevonden.

[12] Bron: STOWA – Kader voor vergunningverlening koudelozingen 1.0

3.7 Plassen/Meren

Voor stilstaande wateren zonder mening (plassen en meren) is het belangrijk om rekening te houden met de mengzone van de koudelozing. Het effectieve oppervlak van het waterlichaam waarover de koudelozing zich verspreid is in de realiteit kleiner dan het totale oppervlak, zie Figuur 6. Afhankelijk van de inpassing van de in en outlets van 1 of meerdere TEO installaties is de warmtepotentie van een stilstaande plas of meer lager dan wanneer het gehele oppervlak gebruikt zou worden.



Figuur 3.5 Schematische weergave van complete (links) en incomplete menging (rechts) van warmtelozing over stilstaande plas.

Figuur 6. Schematische weergave van complete (links) en incomplete meningen (rechts) van warmtelozing over een stilstaande plas (bron: Merwedekanaalzone, Inventarisatie ontwikkelingen en potentieelstudie aquathermie – IF Technology 2021)

Bij de berekeningen van de WarmingUp potentiekaart is geen rekening gehouden met dit fenomeen waardoor de potentie van plassen en meren wordt overschat.

Daarnaast zakt het koude water van een koude lozing naar de bodem waardoor de warmte uitwisseling met de atmosfeer sterk wordt geremd. Voor de potentie van plassen/meren/vijvers wordt daarom ook een correctiefactor voor de geremde warmte uitwisseling met de atmosfeer gehanteerd.

$$W = A_{eff} \cdot k \cdot f \cdot \Delta T_{eff}$$

Waarin:

W	warmtevracht in W;
A_{eff}	effectieve oppervlakte van het watersysteem waarover lozing zich verspreidt en waarover uitwisseling met de atmosfeer plaatsvindt in m^2.
k	warmteuitwisselingscoëfficiënt (zelfkoelingsgetal) in $W/m^2/°C$;
f	factor voor de omrekening van ΔT naar ΔT_{eff};
ΔT	temperatuurverschil tussen ingenomen en geloosd water in °C;
ΔT_{eff}	effectief temperatuurverschil tussen belast water en water in evenwicht met de atmosfeer in °C.

Figuur 7. Beschrijving van de Warmteonttrekkingscapaciteit (Warmtevracht) van een stilstaand waterlichaam.

Correctiefactor negatieve interferentie en geremde warmte uitwisseling

Voor plassen/meren en vijvers wordt zowel rekening gehouden met de inpassing van in en outlets van TEO installaties als de geremde warmte uitwisseling van de koudelozing met de atmosfeer. De correctiefactor voor de inpassing van in en outlets van TEO systemen wordt ingeschat op 0,65±23%. De correctiefactor voor de geremde warmte uitwisseling met de atmosfeer wordt ingeschat op 0,5±20%. De correctiefactor voor deze 2 factoren tezamen is 0,34±41%.

3.8 Overzicht correctiefactoren verschillende watertypen

Per watertype is er een correctiefactor vastgesteld om te corrigeren voor de inpassing van TEO systemen en de negatieve interferentie die daardoor zal optreden. In Tabel 55 is een overzicht van de gehanteerde correctiefactoren te vinden.

Tabel 5. Gehanteerde correctiefactoren voor negatieve interferentie tussen in-outlets van TEO systemen in de verschillende watertypen.

Watertype	**Correctiefactor**
Grote stilstaande kanalen	0,45 ±33%
Grote stromende kanalen	0,9 ±11%
Kleine rivieren/stromende wateren	0,75 ±20%
Plassen/meren	0,34 ±41%

4 Resultaten geothermie en TEO

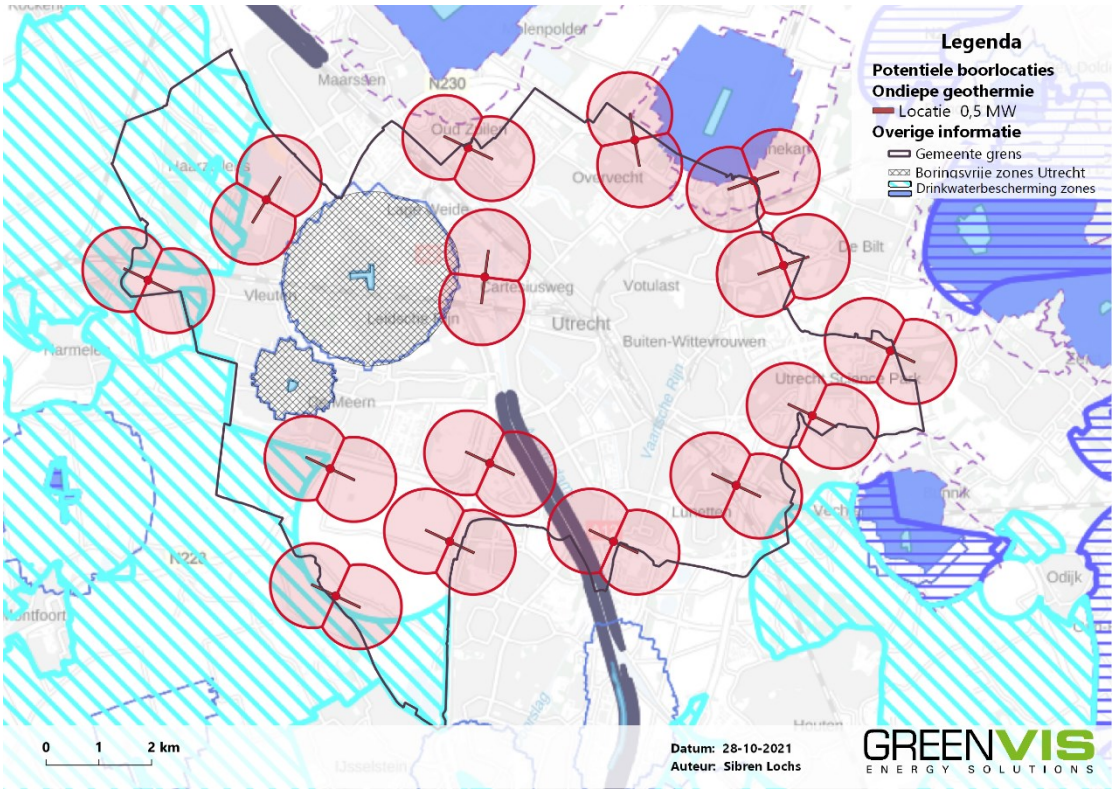
4.1 Locatiekaart potentiële boorlocaties voor geothermie

Figuur 8 is de kaart met indicatieve boorlocaties voor diepe geothermie. Hierin staan indicatieve locaties waar in het beste geval (high case) een vermogen van meer dan $5MW_{th}$ per bron gerealiseerd kan worden ontwikkeld (bron onderzoek Panterra[13]). In 8Bijlage C zijn dezelfde boorlocaties aangegeven, inclusief de drinkwaterbeschermingzones, welke een restrictie vormen voor een potentiële boorlocatie. De overige restricties uit Tabel 1 zijn ook meegenomen bij het positioneren van de indicatieve boorlocaties.

Figuur 8. Indicatieve boorlocaties voor diepe geothermie in gemeente Utrecht. Op basis van onder andere ondergrondse potentie diepe geothermie op basis van onderzoek Panterra[6].

In Figuur 9 staan de indicatieve boorlocaties voor ondiepe geothermie weergegeven. Bij het vormen van zowel Figuur 8 & Figuur 9 zijn de restricties, beperkingen en bevorderlijke gebiedsinformatie in acht genomen zoals gepresenteerd in Tabel 1.

[13] Bron: Geothermie potentie provincie Utrecht – Onderzoek Panterra *



Figuur 9. Locatiekaart potentiële boorlocaties voor ondiepe geothermie installaties in gemeente Utrecht. Inclusief de drinkwaterbeschermingzones binnen de gemeente Utrecht.

4.2 Praktische potentie Geothermie

In Tabel 6 staan de resultaten van de praktische potentie berekening van zowel diepe als ondiepe geothermie beschreven. Zoals eerder beschreven in sectie 2.3 van de methodiek wordt er voor diepe geothermie alleen gekeken naar bron locaties waar 5MW$_{th}$ vermogen haalbaar lijkt op basis van de meest recente ondergrond gegevens uit het Panterra onderzoek.

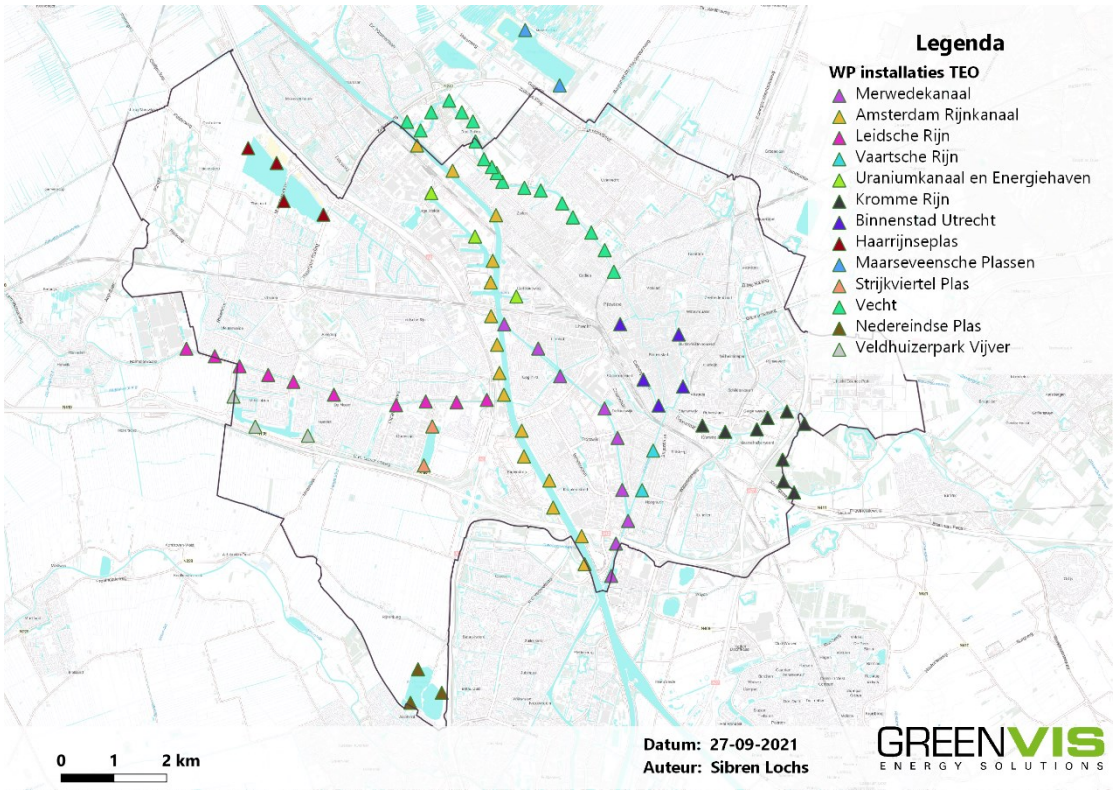
Tabel 6. Resultaten praktische potentie diepe en ondiepe geothermie

Potentie diepe geothermie		
Aantal dubbele doubletten	Potentie (MWth)	Potentie (TJ)
8	80	2448

Potentie ondiepe geothermie		
Aantal doubletten	Potentie (MWth)	Potentie (TJ)
15	7,5	230

4.3 Locatiekaart potentiële locatie WP-installaties TEO

In Figuur 10 is de locatiekaart met mogelijke (indicatieve) locaties voor WP-installaties t.b.v. TEO weergegeven. Deze locatiekaart is gevormd op basis van aannames gepresenteerd in sectie 3. Op basis van deze kaart kon zoals weergegeven in de 3e kolom van Tabel 7, de praktische potentie TEO (TJ/Jaar) met de correctiefactor/restrictie van bovengrondse ruimte beperking worden bepaald.



Figuur 10. Locatiekaart mogelijke (indicatieve) locaties WP-installaties TEO.

4.4 Praktische potentie TEO

In tabel 7 staan de resultaten van de praktische potentie berekening van TEO omschreven, in de tabel zijn de volgende 4 kolommen opgenomen:

1. Technische potentie uit WarmingUp TEO potentie kaart
2. Praktische potentie met correctiefactor voor inpassing in- en outlets
3. Praktische potentie met beperking bovengrondse ruimte
4. Praktische potentie met beperking WKO opslag.

Kolom 4 geeft eigenlijk de werkelijke praktische potentie van TEO weer in de gemeente Utrecht op basis van deze voornaamste waterlichamen binnen de gemeente. Hiermee is er een totale praktische potentie van **806 TJ/Jaar** haalbaar binnen de gemeente.

Tabel 7. Resultaten van technische potentie TEO tot aan werkelijk praktische potentie TEO i.c.m. WKO opslag

Grote kanalen (stilstaand)	Technische potentie (TJ/jaar)	Praktische potentie met correctiefactor in-outlets (TJ/jaar)	Potentie met bovengrondse ruimte beperking (TJ/jaar)	Potentie met WKO opslag beperking (TJ/jaar)
Merwede kanaal	223	100 ±33%	100	81
Vaartsche Rijn	99	45 ±33%	45	31
Leidsche Rijn	202	91 ±33%	91	82
Uraniumkanaal en Energiehaven	514	231 ±33%	108	56
Grote kanalen stromend				
Amsterdam-Rijnkanaal (WKO)	2241	2017 ±11%	1994	179
Kleine stromende wateren				
Kromme Rijn	481	360 ±20%	343	27
Utrecht Centrum	444	333 ±20%	180	19
Vecht	467	350 ±20%	350	54
Plassen/vijvers/meren				
Haarrijnseplas	834	284 ±41%	144	31
Strijkviertelplas	112	38 ±41%	38	38
Veldhuizerpark vijver	132	45 ±41%	45	45
Nedereindse Plas	387	132 ±41%	93	93
Maarsseveensche Plassen	548	186 ±41%	72	72
Totaal	**6684**	**4212**	**3603**	**806**

4.4.1 Resultaten directe onttrekking TEO Amsterdam Rijnkanaal

Op basis van de potentiële groei van het warmtenet van Eneco verwachten we dat de TEO potentie voor directe onttrekking in de toekomst **776 TJ/jaar** zal zijn. De resulterende TEO potentie per verzorgingsgebied wordt gepresenteerd in Tabel 8. De genoemde potentie is de hoeveelheid warmte die uit het oppervlaktewater wordt onttrokken. De elektriciteit die de warmtepomp verbruikt komt nog bij de geleverde energie aan het warmtenet. Dit is afhankelijk van de COP van de warmtepomp.

Tabel 8. Resultaten van benodigd vermogen WP installatie en totale potentie per verzorgingsgebied.

Verzorgingsgebied	Totaal basislast vermogen WP installatie huidig scenario (MW)	Totaal basislast vermogen WP installatie groei scenario (MW)	Totale TEO potentie[14] Huidig scenario (TJ)	Totale TEO potentie groei scenario (TJ)
1	18	23	162	216
2	28	37	256	341
6	14	19	129	173
7	4	5	35	47
Totaal	**63**	**84**	**582**	**776**

[14] Ex elektra WP

4.5 Vernieuwd bronnenoverzicht

In Figuur 11 zijn de duurzame warmtebronnen voor de gemeente Utrecht samengevat, de toekomstige warmtevraag van 7600 TJ op jaarbasis is gebaseerd op het jaar 2040. Dit is geen compleet bronnenoverzicht, de nadruk ligt vooral op de bronnen die zijn meegenomen in deze studie.

Geschatte warmtevraag Utrecht in 2040: **7600 TJ**

Categorie	Bron	Warmtepotentie (in TJ)	Praktische potentie (TJ)	Zekerheid	Temperatuur warmtebron	Minimale Schaalgrootte WEQ	CO2 besparing bij inzet op 70 °C (% t.o.v. aardgas referentie)	Indicator elektriciteitsverbruik (kWh/GJ)	Bovengronds ruimtebeslag tijdens productie
Restwarmte	Douwe Egberts restwarmte	<50 TJ	-	Goede zekerheid	40-70 °C	🏠🏠	87%	35	Wellicht grotendeels binnen fabriek zelf; mogelijk Warmtepomp nodig
	Nedal Restwarmte	<50 TJ	-	Goede zekerheid	30-60 °C	🏠🏠	87%	35	Wellicht grotendeels binnen fabriek zelf; mogelijk warmtepomp nodig
	Asfaltcentrale Lage Weide	110-620 TJ	-	Goede zekerheid	HT	🏠🏠	87%	35	Wellicht grotendeels binnen fabriek zelf
	Andere industriële restwarmte	0-140 TJ	-	Matige zekerheid	Onbekend	🏠🏠	87%	35	Klein; Mogelijk seizoensopslag & warmtepomp nodig
	Koelwarmte	0-560 TJ	-	Matige zekerheid	30-45 °C	🏠🏠	77%	88	Warmtepomp nodig; seizoensopslag wellicht
	Datacenters	30-120 TJ	-	Matige zekerheid	20-35 °C	🏠🏠	77%	88	Warmtepomp nodig; seizoensopslag wellicht
Zonthermie	Zon op veld	3043 TJ	-	Matige zekerheid	30 - 100 °C	🏠🏠	99%	6	Zonnecollectoren in het veld
Aquathermie	TEO + WKO	6.700-9.200 TJ	810 TJ	Goede zekerheid	5 - 25 °C	🏠🏠	78%	103	Warmtepomp en seizoensopslag nodig
	TEO directe ontrekking	6.700-9.200 TJ	776 TJ	Goede zekerheid	5 - 25 °C	🏠🏠	78%	103	Warmtepomp nodig
	TEA	440-570 TJ	-	Goede zekerheid	18 - 25 °C	🏠🏠	77%	110	Warmtepomp nodig; seizoensopslag wellicht
	TED	250-1000 TJ	-	Slechte zekerheid	10 °C	🏠🏠	76%	113	Warmtepomp nodig; seizoensopslag wellicht
Geothermie	Ondiepe 500 - 1500 m-mv*	5.000-14.000 TJ	230 TJ	Matige zekerheid	15 - 50 °C	🏠🏠🏠	80%	93	Boorsite ca 30x30m; mogelijk warmtepomp en seizoensopslag nodig
	Diep 1500 - 4000 m-mv*	1.800 - 7.200 TJ	2448 TJ	Slechte zekerheid	50 - 140 °C	🏠🏠🏠	99%	6	Tijdens boring grote site, tijdens exploitatie klein
	Ultradiep > 4000 m-mv*	1.300-5.500 TJ	Onbekend	Slechte zekerheid	> 140 °C	🏠🏠🏠	99%	6	Tijdens boring grote site, tijdens exploitatie klein
Biomassa	Biomassa	1.600 TJ	-	Goede zekerheid	90-110 °C	🏠🏠🏠	99%	3	Grote installatie met gebouw; verkeer aanvoer brandstof

Goede zekerheid	🏠	Individuele of klein collectieve toepasing mogelijk
Matige zekerheid	🏠🏠	Kleine warmtenet mogelijk vanaf ongeveer 200 WEQ's
Slechte zekerheid	🏠🏠🏠	Groot warmtenet nodig, minimaal groter dan 1500 WEQ's

Figuur 11. Bronnenoverzicht voor de gemeente Utrecht. De geschatte warmtevraag in 2040 is gebaseerd op een onderzoek van Greenvis[15] uit 2019.

[15] Greenvis 2019 - Hernieuwbare warmtebronnen in de gemeente Utrecht

5 Beschrijving verschillende energieketens

In dit hoofdstuk wordt een algemene beschrijving gegeven van verschillende manieren om gebouwen te verwarmen. Deze informatie is relevant om een integrale maatschappelijke afweging te maken tussen verschillende warmteopties. Daarom gaan we in op:

- Ketenwerking van grondstof of opwek tot bruikbare warmte in gebouwen.
- Rendementen en verliezen per conversie- of transportstap.
- Totale CO_2-uitstoot in de keten.

Wat de vereiste temperatuur van 'bruikbare warmte' is hangt af van de mate van isolatie in gebouwen. Een goede isolatie laat het gebruik van lagere afgiftetemperaturen toe. Daarom rekenen we twee afgiftetemperaturen door: 70 °C en 50 °C. De lijst doorgerekende warmteketens is samengesteld op basis van de informatiebehoefte van de gemeente.

5.1 Vereenvoudigingen: piek, tapwater en systeemconfiguraties

Voor de eenvoud worden pieklast en warm tapwaterbereiding niet expliciet doorgerekend in de ketens. De reden is dat voor beide nog meerdere opties beschikbaar zijn met elk hun impact op het totale ketenrendement.

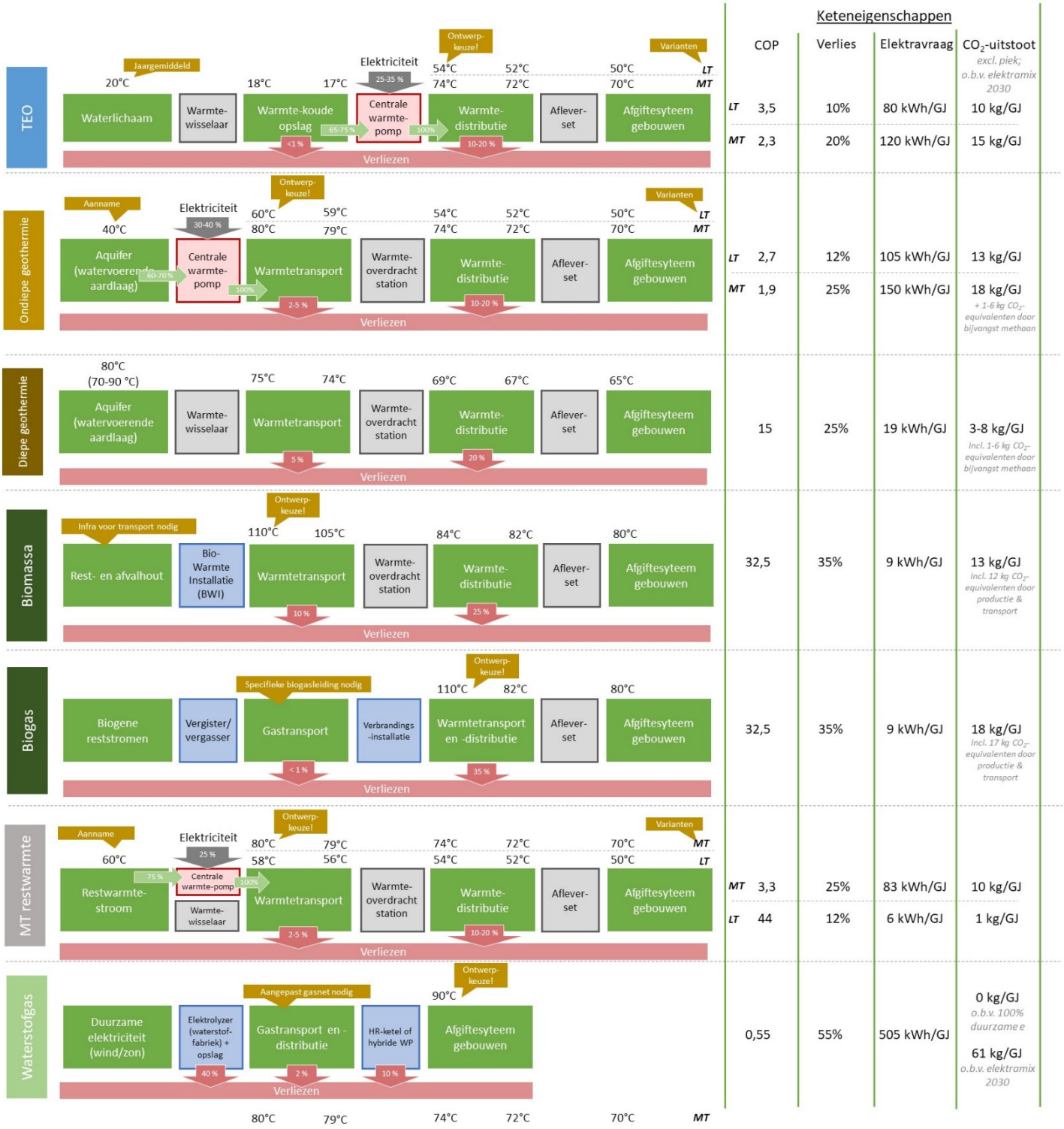
In de praktijk moet voor tapwater bij 50°C levering uit een warmtenet nog een extra voorziening worden opgenomen om legionellavorming tegen te gaan. Dit kan een booster warmtepomp, een elektrische doorstroomverwarmer of een elektrische boiler zijn. Ook een zonneboiler kan hieraan bijdragen. Elke optie heeft een ander rendement.

Daarnaast zijn er voor het invullen van de piekvraag in de winter verschillende opties. Seizoensopslag zoals warmte-koude opslag kan zelf (een deel van) de piekvraag invullen of een piekketel op aardgas of biogas, of een elektrische boiler kunnen naast de basisbron fungeren als pieklast. Ook een centrale aansluiting op het bestaande warmtenet in Utrecht kan de piekvraag invullen voor een lokaal net met een lokale bron.

Tot slot zijn er nog diverse varianten voor systeemconfiguraties denkbaar. In de doorgerekende en berekende ketenschema's is gekozen voor een gangbare variant. Andere varianten kunnen andere ketenrendementen opleveren. Ook kan er in elk ontwerp nog worden geoptimaliseerd voor een specifieke case.

5.2 Overzicht energieketens tot warmte

Hieronder wordt een schematisch overzicht gegeven van de verschillende doorgerekende ketens. In de volgende paragrafen worden deze ketens beschreven.



Figuur 12. Ketenschema's en rendementen voor warmtenetten gevoed met thermische energie uit oppervlaktewater (TEO), ondiepe geothermie, diepe geothermie biomassa en biogas, en voor het verbranden van opwekken en verbranden van waterstofgas in gebouwgebonden ketels. Ter referentie: de CO_2-uitstoot bij verbranding van aardgas is ca. 56 kg/GJ.

5.3 TEO en ondiepe geothermie: (Zeer) lage temperatuur warmtebronnen

(Zeer) lage temperatuur warmte (< 25 °C (ZLT) of 25-55 °C (LT)), kan uit allerlei warmtebronnen worden gewonnen, zoals lucht, bodem, water, koelingsprocessen of de ondiepe ondergrond (500m – 1.500m onder maaiveld). Het winnen van warmte uit deze bronnen gebeurt altijd met een of andere vorm van warmtewisselaar. Een warmtewisselaar brengt warmte over van het ene naar het andere medium zonder dat er contact of menging plaatsvindt. Door het gebruik van een warmtewisselaar is er altijd een verlies in temperatuur van ca. 1 °C tot 5 °C, afhankelijk van het ontwerp.

Na winning is bij thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) een vorm van warmteopslag nodig om voldoende jaaropbrengst te halen uit de bron. Vervolgens moet de warmte worden opgewaardeerd en getransporteerd naar de afnemers. Als de opwaardering vóór het transport gebeurt, spreken we van '*centrale* opwaardering', anders van '*de*centrale opwaardering' (in dit geval wordt het warmtesysteem ook wel een *bronnet* genoemd). In het ketenschema wordt uitgegaan van centrale opwaardering.

5.4 Diepe geothermie

De beschikbare temperatuur uit diepe geothermie is voornamelijk afhankelijk van de diepte van de geschikte geologische formatie. In Utrecht zal deze temperatuur wellicht tussen 70°C en 100°C liggen[16]. Voor de ketenberekening gaan we uit van 80°C. Na een aantal warmtewisselaars (bij de bron, bij warmte-overdracht en bij de afleverset) kan daarmee een temperatuur van circa 65°C worden geleverd aan het afgiftesysteem in gebouwen. Door de warmtewisselaars groter te maken kan het temperatuurverlies nog worden verkleind, maar worden de installaties ook duurder.

5.5 Biomassa

Biomassa is een term voor materiaal van plantaardige herkomst, zoals rest-en afvalhout, snoieafval en voedselresten of plantaardige olie. Het kan worden ingezet als energiebron, door verbranding in een biowarmteinstallatie (BWI) of vergassing. Biomassa wordt gezien als hernieuwbare energiebron, aangezien de geoogste planten en bomen teruggroeien (korte CO_2 cyclus). Het heeft bovendien ook betrouwbare levering van energie, het is niet afhankelijk van weersomstandigheden zoals wind- of zonne-energie. Echter is er wel veel discussie omtrent het onderwerp biomassa, met betrekking tot de korte termijn klimaateffecten en de vraag of het gebruik van biomassa daarmee wel klimaatwinst oplevert ten opzichte van fossiele energiebronnen.

5.6 Biogas

Biogas is een brandbaar gas dat kan worden geproduceerd uit natte biologische reststromen zoals gft-afval, mest en andere agrarische reststromen. Doordat dit gas een andere samenstelling heeft dan aardgas (in tegenstelling tot groengas, wat dezelfde samenstelling heeft als aardgas), kan dit enkel door specifieke biogasleidingen worden getransporteerd. Om die reden is het niet realistisch om biogas tot bij de woningen te brengen, maar enkel om het in te zetten als (hulp)bron van een warmtenet.

---

[16] Warmtebron Utrecht – 2020 - Haalbaarheidsstudie LEAN

Bij de productie van biogas komt nog steeds CO_2 vrij, maar doordat het gas zelf enkel kort-cyclische koolstof[17] bevat, is de CO_2-reductie t.o.v. aardgas nog steeds 70% of meer (bron: Expertise Centrum Warmte).

5.7 Waterstofgas

Waterstofgas kan op talloze manieren worden geproduceerd. De variant waar op de middellange toekomst (10-30 jaar) het meeste potentieel in zit is groene waterstof. Deze wordt geproduceerd door elektrolyse van water met duurzame elektriciteit uit wind en zon. Hierdoor is waterstof nagenoeg CO_2-neutraal. Omdat er zowel in de productie, als het opslaan en het verbranden van waterstof verliezen optreden, is het ketenrendement (ca 55%) lager dan bij direct inzetten van elektriciteit voor warmte in elektrodeboilers (rendement 99%) en elektrische warmtepompen (rendement 250% - 450%).

Waterstofgas kan mits een aantal aanpassingen worden getransporteerd in het bestaande aardgasnet, maar kan niet (in grote hoeveelheden) worden bijgemengd met aardgas.

5.8 Hoeveel windmolens en zonnepanelen zijn dat extra?

De totale warmtevraag van gebouwde omgeving in de gemeente Utrecht zal in de toekomst (2040) rond 7.600[18] TJ/jaar liggen, al zit op dit getal uiteraard nog onzekerheid. Als al deze warmtevraag met één van bovenstaande warmteconcepten zou worden ingevuld, hoeveel extra windmolens of zonnepanelen zijn er dan nodig? De resultaten van deze fictieve exercitie worden weergegeven in onderstaande Tabel 9. Het moge duidelijk zijn dat niet één oplossing geschikt zal blijken voor het voorzien van heel Utrecht van warmte, maar dat er een mix nodig zal zijn van deze en andere oplossingen.

Tabel 9. Aantal benodigde windmolens of zon-PV om totale warmtevraag gemeente Utrecht te voorzien.

Concept	Aantal windmolens[19]	Aantal voetbalvelden zon-PV[20]
TEO, afgifte op 50°C	39	1.100
TEO, afgifte op 70°C	58	1.700
Ondiepe geothermie, afgifte op 50°C	50	1.400
Ondiepe geothermie, afgifte op 70°C	72	2.100
Diepe geothermie	9	255
Biogas	4	120
Waterstofgas	240	6.900

[17] Kortcyclische koolstof is koolstof die recent is vastgelegd in de biomassa en dus kortgeleden uit de lucht is gehaald door planten. Daarom zorgt verbranding van biogas niet voor een netto toename van CO_2 in de atmosfeer.
[18] Greenvis studie 2019 (GV19091)
[19] Uitgaande van windmolens van 5.6 MW met een jaarproductie van 15.6 GWh per windmolen, in lijn met de genoemde windmolens in het de ontwerp RES U16
[20] Uitgaande van 0,8 MWpiek per hectare en een jaarproductie van 1000 MWh/MWpiek. Een voetbalveld is 0,68 hectare.

6 Potentie WKO-systemen nieuwbouw

In dit hoofdstuk is beschreven of WKO potentie van de verschillende subwijken in Utrecht toereikend is voor de geplande nieuwbouw woningen tot 2050 en wat de resulterende potentie is. Hierbij is geen rekening gehouden met bestaande bouw. De methode voor de berekening kan worden samengevat in de volgende 5 stappen:

1. Subwijken koppelen aan cbs-buurt potentie WKO
2. Berekening warmte en koudevraag op basis van standaard nieuwbouwwoning
3. Aanname aandeel warmtepomp van de warmtevraag
4. Berekening totale warmtevraag uit WKO voor subwijken
5. Check of de totale WKO potentie kleiner of groter is dan de nieuwbouw warmtevraag
6. WKO potentie bepalen

De WKO potentie is bekend per cbs-buurt terwijl het aantal nieuwbouw woningen tot 2050 bekend is per subwijk. Per subwijk is daarom berekend wat de totale WKO potentie is (OBES en GBES), zie bijlage H.

Om de warmte en koudevraag per subwijk te berekenen aan de hand van het geplande aantal nieuwbouwwoningen zijn aannames gemaakt voor een standaard nieuwbouwwoning. De warmte en koudevraag is gebaseerd op de BENG normering voor nieuwbouwwoningen[21]. Aangezien niet bekend is wat voor type woningen worden gebouwd wordt een gemiddelde waarde voor de warmte en koudevraag aangenomen. Voor de warmte en koudevraag wordt aangenomen dat deze 44 kWh/m2/jaar en 12 kWh/m2/jaar respectievelijk zijn. De gemiddelde oppervlakte van de bestaande woningen in de gemeente Utrecht[22] is 96m^2. Er is aangenomen dat de nieuwbouwwoningen gemiddeld hetzelfde oppervlak hebben. Met deze aannames heeft een nieuwbouwwoning een warmtevraag en koudevraag van 15,4 en 4,2 GJ/jaar respectievelijk.

Er wordt aangenomen dat de temperatuur van de warme bron van de WKO wordt opgewaardeerd met een warmtepomp. Een deel van de totale warmtevraag van een woning wordt daarom geleverd door het gebruik van elektriciteit. Er is aangenomen dat de warmtepomp een COP heeft van 4, waardoor het aandeel van de warmtevraag wat geleverd wordt door elektriciteit 25% is. De warmtevraag vanuit WKO is hiervoor gecorrigeerd (deze wordt dus kleiner dan de totale warmtevraag van de woningen).

Per subwijk is met het aantal nieuwbouwwoningen en de standaard warmtevraag per nieuwbouwwoning de totale warmtevraag per jaar berekend. De totale warmtevraag voor nieuwbouwwoningen komt is **622 TJ.**

In Tabel 10 (Bijlage H WKO potentie Nieuwbouwlocaties) worden de resultaten gepresenteerd voor alle subwijken van Utrecht. De resultaten laten zien dat in elke subwijk de WKO potentie voldoende is voor de geplande nieuwbouw woningen met als uitzondering de subwijk 'Binnenstad city- en winkelgebied'.

De totale potentie voor WKO voor nieuwbouw is berekend door per subwijk het minimum van of de warmtevraag voor nieuwbouw of de WKO potentie bij elkaar op te tellen. Dit resulteert in een WKO potentie van **586 TJ voor OBES** en **554 TJ voor GBES** (inclusief warmtepomp).

---

[21] Bron: RVO Energieprestatie indicatoren – BENG (link) en kentallen Greenvis
[22] Bron: CBS statline

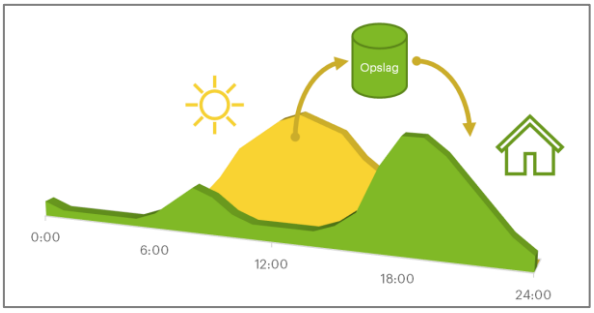
7 Potentie en kansen voor zonthermie

7.1 Inleiding

Zonthermie is de verzamelnaam van warmteproductie-technieken waarbij zonlicht wordt omgezet in warmte. Afhankelijk van de techniek kan zonthermie **lage tot zeer hoge temperaturen** produceren. Zonthermie produceert per definitie **duurzame warmte**, is goedkoop in gebruik en is modulair (op kleine en grote schaal toepasbaar). Keerzijde is dat initiële investeringskosten hoog kunnen zijn. Zonthermie is inzetbaar op zowel kleine als grote schaal. In Denemarken wordt zonthermie al breed ingezet om duurzame warmte te produceren voor gebouwen.

De volgende **aandachtspunten** zijn belangrijk bij de toepassing van zonthermie:

- Het ruimtebeslag en de benodigde infrastructuur
- De match in de tijd tussen warmtevraag en aanbod
- De initiële investeringskosten en businesscase over de tijd



Warmte is beperkt transporteerbaar, vooral ook vanwege de hoge kosten van warmteleidingen. De afstand tussen productie en gebruik is bij voorkeur dus beperkt.

7.2 De rol van (seizoens)opslag

Omdat zonthermische warmte sterk varieert in de tijd is warmteopslag in de meeste gevallen noodzakelijk. Alleen wanneer er een heel grote warmtevraag aanwezig is (zoals in het bestaande warmtenet van Utrecht), kan zonthermie mogelijk worden ingezet zonder seizoensopslag (naar analogie met de directe onttrekking van TEO zonder WKO). Twee aandachtspunten hierbij zijn:

- Zonthermie zonder opslag moet ook op zonnige zomerdagen zijn warmte kwijt kunnen, wat het maximale vermogen limiteert.
- Zonthermie moet in de bronnenmix de preferente bron zijn zodat het opweksysteem bij zonnige omstandigheden altijd warmte kwijt kan. Dit legt flexibiliteitseisen op aan de andere bronnen in het systeem.

Bij zonthermie systemen die voornamelijk midden en hoge temperatuur warmte produceren, kan WKO (wettelijk beperkt tot 25 °C) niet de rol van seizoensopslag vervullen. Andere opslagsystemen zoals *Pit*

thermal energy storage (PTES)[23] en *Tank thermal energy storage* (TTES)[24] zijn reële opties voor opslag van warmte op midden tot hoge temperaturen.

7.3 Varianten van zonthermie

Zonthermie kan zowel op individueel woningniveau als in een collectief systeem een bijdrage leveren aan de verduurzaming van gebouwen.

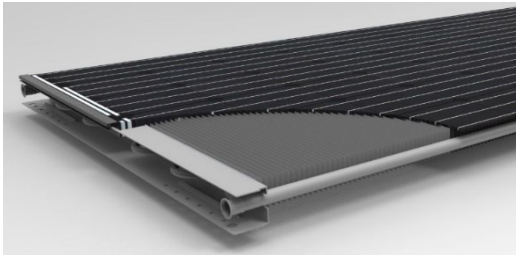
7.3.1 Vlakke plaat zonnecollectoren (FPC) en zonneboilers

De 'flat plate collector' (FPC) is het meest voorkomende type zonnecollector. Zonlicht verwarmt een vlakke metalen plaat en die warmte wordt opgeslagen voor later gebruik. Een glasplaat bevindt zich voor de metalen plaat. Dit beperkt de warmteverliezen naar de omgeving.
De FPC kent twee gangbare verschijningsvormen: (1) grotere systemen, zoals zonneweides voor duurzame warmteproductie en (2) de zonneboiler. De zonneboiler is een individuele installatie voor zonthermie i.c.m. een buffervat waarmee een deel (meestal ong. 50%) van de warmte voor warm tapwater wordt ingevuld.
Aandachtspunten: Het rendement van een FPC is afhankelijk van de 'output temperatuur', als er een hogere temperatuur wordt gevraagd gaat het rendement omlaag.

7.3.2 Vacuümbuis collectoren (ETC)

De 'evacuated tube collector' (ETC) is een hoog rendement type zonnecollector. Dit type collector is goed herkenbaar aan de glazen buizen waarin een vacuüm zit. Het vacuüm in de glazen buis levert een uitstekende isolatie. Dit type collector kan daardoor relatief hogere temperaturen produceren.
Aandachtspunten: Omdat de vacuüm buizen ook ruimte in beslag nemen is het 'netto collector oppervlak per m2' wat lager. Dit type collectoren is doorgaans kwetsbaarder; als het vacuüm wordt verbroken gaat het rendement omlaag. Tot slot is dit type zwaarder dan vlakke plaat collectoren waardoor bestaande daken versterkt moeten worden voordat er vacuüm buizen op kunnen geplaatst worden.

7.3.3 PVT (photovoltaic thermal) systemen



In 'photovoltaic thermal' (PVT) panelen wordt de productie van warmte én elektriciteit uit zonlicht gecombineerd. Er zijn varianten voor zowel hogere als lagere temperaturen. Het gecombineerde rendement voor elektriciteit én warmte is hierdoor relatief hoog. De systemen zijn wel complexer, omdat er zowel

[23] Voorbeeld: Hocosto systemen
[24] Voorbeeld: Ecovat systemen

elektriciteit als warmte vrijkomt. Het type collector zoals veel in PVT panelen toegepast lijkt op de vlakke plaat collector (FPC). Door de warmte af te voeren wordt het zonnepaneel gekoeld.
Aandachtspunten: PVT panelen zijn vooral geschikt voor lagere temperaturen. Dit is onder meer omdat het 'elektrische deel' beter gaat presteren als de temperatuur laag wordt gehouden. De LT warmte kan worden gevoed aan een warmtepomp.

7.4 Randvoorwaarden voor zonthermie

De belangrijkste randvoorwaarden voor zonthermie is **beschikbaar oppervlak**. Dit kan op veld, op daken of op een combinatie van veld of dak. Bij een veldopstelling moet de afstand tussen opwek en het afnamegebied beperkt blijven om een concurrerend systeem te hebben. Welke afstand overbrugbaar is hangt af van de schaalgrootte van het systeem. Als vuistregel kunnen de volgende getallen worden aangenomen:

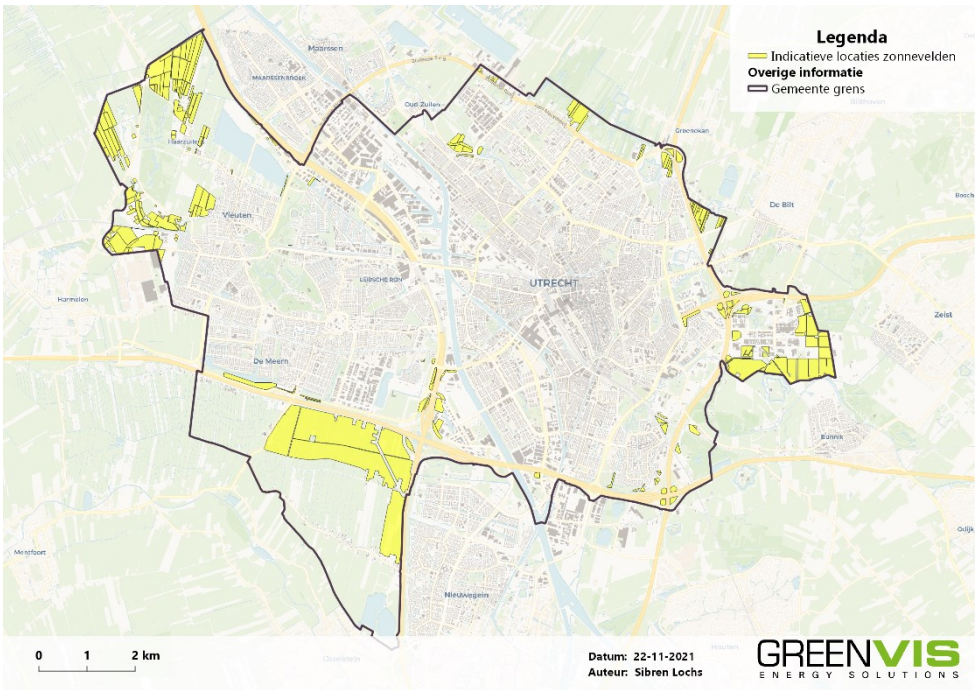
- Voor een zonthermie systeem met een warmteproductie voor **100 woningen** is ca. **1 voetbalveld** aan ruimte nodig en kan de afstand tussen opwek en afname niet groter zijn dan **200 m**.[25]
- Voor een zonthermie systeem met een warmteproductie voor **5000 woningen** zijn ca. **50 voetbalvelden** aan ruimte nodig en kan de afstand tussen opwek en afname niet grote zijn dan **3000 m**.

In deze voorbeelden is reeds gecorrigeerd voor benodigde ruimte voor seizoensopslag, seizoensopslag en transport en hulpbronnen.
Deze getallen zijn enkel bedoeld als globale indicatie. In specifieke cases kan, afhankelijk van het type zonnecollector en systeemkeuzes een (flink) hogere of lagere opbrengst per oppervlak worden gerealiseerd.

7.5 Kansen voor zonthermie in Utrecht

Zonthermie in veldopstelling is met name een kansrijk in gebieden met relatief veel open ruimte rondom de bebouwing en waar geen of weinig alternatieve warmtebronnen beschikbaar zijn. De beschikbare ruimte in Utrecht is schaars en zonthermie concurreert daarbij ook met zonelektrische systemen. Met name aan de (noord- en zuidwestelijke) randen van de gemeente is de nog onbebouwde ruimte (zie Figuur 13). Het grote voordeel van zonthermie is dat het intrinsiek, duurzame, hoge temperatuur warmte zonder bijkomende elektriciteitsbehoefte kan produceren.

[25] Op basis van een netto opbrengst van 0,36 GJ/m^2



Figuur 13. Potentiële zoekgebieden voor zonthermie in de gemeente Utrecht. Deze zijn gelijk aan de zoekgebieden voor elektrische zonnevelden

Twee routes om de kansen voor zonthermie in Utrecht te vergroten zijn

- Benutting van dakoppervlak. Aandachtspunten: draagkracht en concurrentie met zon-PV
- Opwek buiten gemeentegrenzen. Aandachtspunten: langere transportafstand en 'onderhandelingen' met andere gemeente over ruimtegebruik nodig.

7.6 Technische potentie voor zonthermie in Utrecht

Als bovengrens voor de maximale hoeveelheid op te wekken zonthermie in Utrecht is de potentie bepaald voor het benutten van alle potentiële zonnevelden.

Op basis van het oppervlak van de potentiële zonthermie velden en het kengetal voor de opbrengst van zonthermie per vierkante meter: **0,36 GJ/m^2**, is het technisch potentieel voor zonthermie bepaald binnen de gemeente. Er is **846 ha** aan technische potentie voor zonnevelden binnen de gemeente wat neerkomt op **3043 TJ.** De praktische en financiële potentiële potentie van zonthermie is niet berekend.

8 Conclusies en mogelijke vervolgstappen

8.1 Conclusies geothermie

De totale technische potentie voor ondiepe geothermie was ingeschat op **5000-14000 TJ** en voor diepe geothermie op **1800-7200 TJ.** Op basis van het geologisch onderzoek uitgevoerd door PanTerrra, restricties op mogelijke bovengrondse installaties en ondergrondse interferentie tussen boorlocaties is de praktische potentie aanzienlijk lager. De totale praktische potentie voor ondiepe geothermie is ingeschat op **230 TJ**[26] en voor diepe geothermie op **2448 TJ.**

Meer duidelijkheid over het potentieel van diepe en, in beperkte mate, ook ondiepe geothermie zal ontstaan nadat de onderzoeksboring ten oosten van Utrecht gerealiseerd is. Dan is er meer duidelijkheid over de hoeveelheid energie die uit één bron gewonnen kan worden.

8.2 Conclusies TEO

De totale technische potentie voor TEO in de gemeente Utrecht is **6700 TJ/jaar**. Na de toepassing van de correctiefactor voor negatieve interferentie tussen in en outlets van TEO systemen is de potentie **4200 TJ/jaar ±20%.** Het bovengrondse ruimtegebruik is voor sommige waterlichamen limiterend, waardoor de potentie **3600 TJ/jaar ±13%** is na de correctie hiervoor. De WKO potentie is in veel gevallen een (zeer) beperkende factor voor de praktische potentie van TEO. Het effect hiervan is groter bij stromende dan bij stilstaande wateren en dan met name bij het Amsterdam-Rijnkanaal. De praktische warmtepotentie voor TEO die overblijft na de correctie voor de WKO potentie is **800 TJ/jaar ±11%.**

Voor het Amsterdam-Rijnkanaal is ook gekeken naar de potentie van TEO wanneer er gebruikt wordt gemaakt van directe onttrekking op 4 locaties langs het Amsterdam-Rijnkanaal nabij een warmteoverdrachtstation van het warmtenet. De potentie voor directe onttrekking is **582 TJ** op basis van het huidige warmtenet en **776 TJ** op basis van de te verwachte groei naar de toekomst.

De TEO potentie met WKO en via directe onttrekking in het Amsterdam-Rijnkanaal kunnen niet 1 op 1 bij elkaar worden opgeteld. Omdat de WKO potentie de meest limiterende factor is voor het scenario mét WKO, en niet de afkoeling van het oppervlaktewater, is echter te verwachten dat de potenties grotendeels beide te benutten zijn.

Het is aan te bevelen om een gemeente breed plan voor de toepassing van TEO te maken zodat het oppervlaktewater in Utrecht zo optimaal mogelijk gebruikt kan worden. Meer duidelijkheid over de potentie van TEO kan ontstaan door verdiepend onderzoek op basis van lokale data. Als er locatie en project specifiek gerekend wordt, kunnen ook meerdere varianten voor de grote van de te gebruiken warmtepomp worden doorgerekend. Het verdient ook aanbeveling om in project specifieke onderzoeken te kijken naar de ecologische impact van TEO systemen op grote schaal. In vervolgstudies zou hier verder onderzoek naar kunnen worden gedaan. Voornamelijk voor de wateren met hoge ecologische waarde,

[26] Dit is een zeer grote stap t.o.v. de technische potentie. Dit komt doordat de technische potentie onvoldoende rekening hield met bovengronds ruimtebeslag en uitging van innovatieve boortechnieken die nog niet mainstream zijn. De vernoemde praktische potentie is daarom een veel reëler uitgangspunt.

zoals onder ander andere de Kromme Rijn en de Vecht, moet de impact van TEO systemen goed worden onderzocht.

8.3 Effect van keuze warmtebron op elektriciteitsvraag

De keuze voor een warmtebron heeft een groot effect op de elektriciteitsvraag van de warmtevoorziening in Utrecht. Uit de uitgevoerde analyses blijkt:

- Lage temperatuur warmtebronnen verhogen de elektriciteitsvraag aanzienlijk meer dan hoge temperatuur warmtebronnen.
- Het isoleren van woningen en gebouwen dempt het effect van voorgaande conclusie. Isoleren verlaagt de elektriciteitsvraag.
- Het inzetten van groene waterstofgas als belangrijkste energiedrager voor warmte resulteert in een elektriciteitsvraag die nog ca. 6 maal groter is dan voor lage temperatuur warmtebronnen.
- Het warmtenet voeden met all-electric bronnen is ook een optie, maar die bronnen zijn hier niet onderzocht, omdat die geïmporteerd moeten worden.

8.4 Conclusies WKO bij nieuwbouw en zonthermie

- Het toepassen van collectieve bodemenergie systemen voor toekomstige nieuwbouw in Utrecht heeft een potentie van ca. 590 TJ voor open systemen (OBES) en 550 TJ voor gesloten systemen (GBES) (inclusief warmtepomp).
- Zonthermie in veldopstelling is beperkt kansrijk in Utrecht door de schaarse beschikbare open ruimte en de concurrentie met zonelektrische panelen. Met name aan de (noord- en zuidwestelijke) randen van de gemeente is nog onbebouwde ruimte waar kansen voor zonthermie verkend kunnen worden. Het grote voordeel van zonthermie is dat het intrinsiek, duurzame, hoge temperatuur warmte zonder bijkomende elektriciteitsbehoefte kan produceren. Twee routes om de kansen voor zonthermie in Utrecht te vergroten zijn (1) Benutting van dakoppervlak en (2) Opwek buiten gemeentegrenzen.

Bijlage A Bronnen bovengronds ruimtebestek geothermie installatie

1. **Bron: ECW.**

Verder moet er ook bovengronds ruimte zijn voor de bouw van de installatie en de inrichting van het terrein. Gewoonlijk is een boorlocatie ongeveer 0,6 tot 1 hectare groot, wat overeenkomt met 1 à 1,5 voetbalveld. Als de installatie eenmaal staat, neemt een geothermiebron ongeveer een half voetbalveld aan oppervlakte in beslag.

2. **Bron: Eindrapport – Potentie van aardwarmte als duurzame warmtebron – WARM 2020.**

Voor een gemiddelde aardwarmte-installatie die ongeveer 0,3 PJ levert (en dus voorziet in de warmtevraag van 6.000 tot 10.000 woningen) is tijdens de bouw een oppervlakte van ongeveer één tot anderhalf voetbalveld nodig. Deze ruimte wordt gebruikt voor het aanleggen van het boorterrein, maar ook voor bijvoorbeeld parkeerplaatsen van voertuigen en een bassin voor het opvangen van testwater. Voor diepere boringen, met meer materialen, is vaak meer ruimte nodig. Als er minder ruimte beschikbaar is, kunnen materialen op een locatie elders in de buurt worden opgeslagen. Er zijn dan wel meer logistieke bewegingen. Tijdens het boren van de bronnen wordt voor een periode van gemiddeld 2 tot 3 maanden 24 uur per dag gewerkt. Geluids- en lichtoverlast tijdens het boren wordt zo veel mogelijk beperkt. Hiervoor gelden strikte normen. Na het boren en testen van de bronnen wordt een aantal voorzieningen (zoals het testwaterbassin) opgeruimd, waardoor minder ruimte nodig is. In de productiefase is de benodigde oppervlakte maximaal één voetbalveld groot. De boorlocaties moeten wel toegankelijk blijven voor periodiek onderhoud van de bronnen. De bovengrondse installaties staan in een gebouw. Aan het einde van de levensduur worden de bronnen opgeruimd

3. **Bron: EBN/Platform geothermie.**

Als de beste locatie gevonden is, vindt er een bodemonderzoek plaats zodat de gesteldheid van de bodem bekend is, zoals dat bij bouwactiviteiten van bijvoorbeeld woningen ook gebeurt. Dan start het inrichten van het terrein. Gewoonlijk is een locatie ongeveer 1 tot 1,5 hectare groot, wat overeen komt met 2 á 3 voetbalvelden. Daaromheen wordt een hek geplaatst. Op de grond komt een vloeistofkerende laag, zodat vloeistoffen niet de grond in kunnen lopen. Meestal gebruikt het bedrijf hiervoor waterdicht asfalt. Met beton maakt men een geschikte ondergrond om de boortoren op te plaatsen, en een zogenaamde putkelder. Daarin komt uiteindelijk het bovenste deel van de put te staan. Een putkelder zorgt voor een stevige basis waarvandaan de boring veilig kan plaatsvinden. Daarnaast zorgt het beton ervoor dat vloeistoffen niet de bodem in kunnen lekken. Vervolgens heit (of boort) de boorfirma een brede metalen buis in de grond. In deze buis, de 'conductor casing' komt de put. De buis wordt vastgezet in de grond met cement. Daarna bouwt men de boorinstallatie op.

4. **Bron: Stappenplan aardwarmte Gemeente Groningen – v final.**

De boorlocatie moet voldoen aan de wettelijke eisen uit de Mijnbouwwet en Arbowet en voldoende groot zijn om ruimte te geven aan de boortoren en het overige gereedschap. Een grootte hiervoor is ongeveer 35 x 70 meter, idealer is echter 70 x 100m. De grootte van de locatie is mede afhankelijk van de grootte van de boorinstallatie en deze verschilt per firma.

Bijlage B Bronnen ondergrondse doublet afstand

5. **A. Lokhorst - Aardwarmte in Nederland - Verslag van het onderzoeksprogramma "Instandhouding Kennis Aardwarmte Exploratie en Exploitatie in Nederland (1997-2000), (december 2020)**

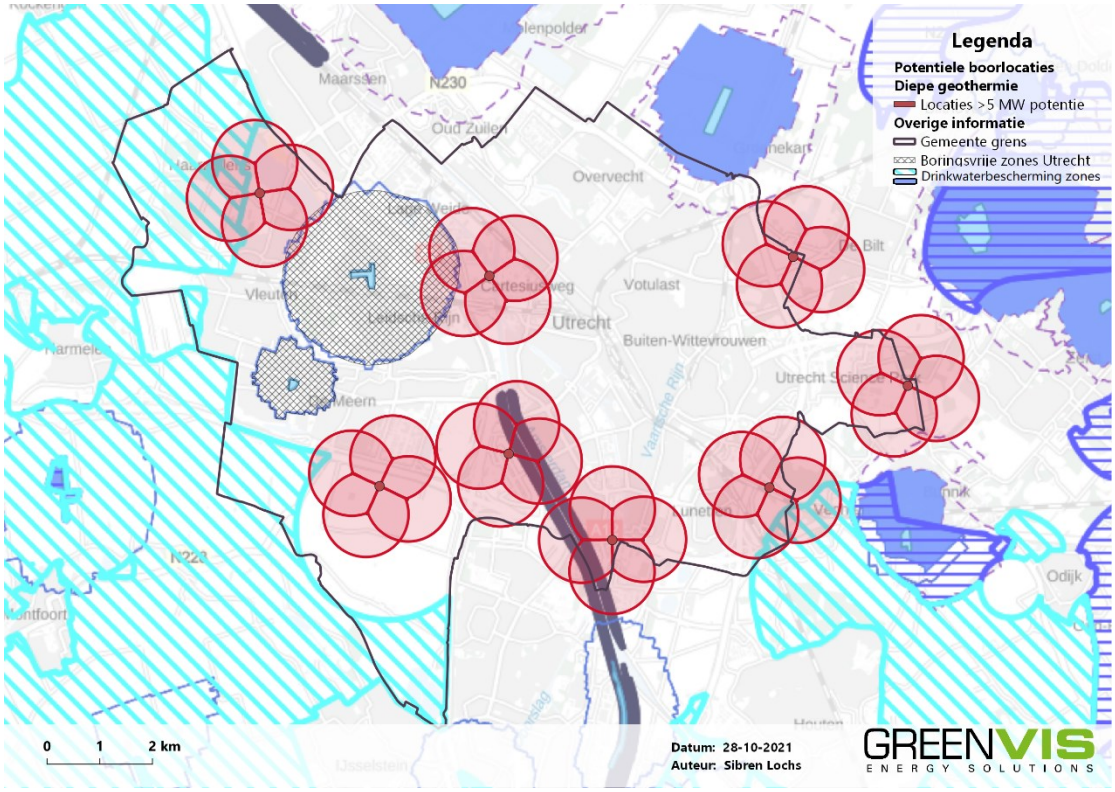
6. **Willems, C. J. L., Goense, T., Nick, H. M., & Bruhn, D. F. (2016, February). The relation between well spacing and Net Present Value in fluvial Hot Sedimentary Aquifer geothermal doublets; a West Netherlands Basin case study. In *41st Workshop on geothermal aquifer engineering Stanford University*.**

7. **Willems, C. J., Nick, H. M., Weltje, G. J., & Bruhn, D. F. (2017). An evaluation of interferences in heat production from low enthalpy geothermal doublets systems. *Energy*, *135*, 500-512.**

8. **Willems, C. J. L., & Nick, H. M. (2019). Towards optimisation of geothermal heat recovery: An example from the West Netherlands Basin. *Applied energy*, *247*, 582-593.**

9. **N.Buik, H. de Jonge, S. de Boer - Potentieel geothermie in Zuid -Holland, Toelichting potentieelkaarten geothermie, 29 november 2016.**

Bijlage C Nieuwe boorlocatie kaart geothermie gemeente Utrecht incl. Drinkwater beschermingszones (Bron: omgevingsvisie Gem. Utrecht)



Bijlage D Berekening praktische potentie Amsterdam-Rijnkanaal

Disclaimer; Deze informatie is letterlijk overgenomen uit de Techniplan fase 2 studie. Deze methode is toegepast voor de berekening van de invloed op de temperatuur van het Amsterdam-Rijnkanaal door de inpassing van de verschillende TEO systemen .

"Berekeningsvoorbeeld Amsterdam-Rijnkanaal. Bron: Techniplan fase 2

Input

- Lokale KNMI klimaatgegevens uit de jaren 2017 tot 2019
- Dimensies Amsterdam-Rijnkanaal: 90 meter breed en 5-6 meter diep
- Zelfkoelingsgetallen uit warmtebalansmodel gebaseerd op E. Aparicio Medrano (2009): 35W/m^2*K in de zomer en 29 W/m^2*K in de winter.
- ΔT zomer: 20°C/10°C, ΔT = 10 K
- ΔT winter: 7°C/3°C, ΔT= 4 K
- Benodigd debiet outlet (zomersituatie): 9 doubletten van 175 m^3/h = 1575 m^3/h
- Minimaal debiet Amsterdam-Rijnkanaal: Q_{ARK},min = 10 m^3/s = 36000 m^3/h, Gemiddeld debiet Amsterdam-Rijnkanaal: Q_{ARK}, gem = 20 m^3/s = 72000 m^3/h.

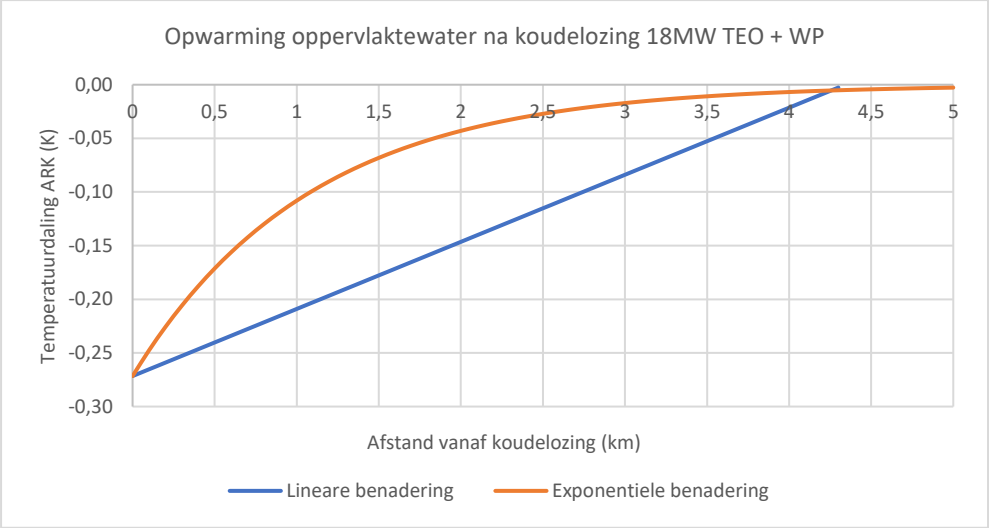
Benodigd vermogen WP-centrale (outlet aquathermie)

- Totaal vermogen: P_{wp} = Q_{wp}* cw*ΔT = 1575*4,2*10/3,6 = 18375 kW
- Afname per Kelvin en per meter lengte voor gemiddelde situatie (zomer): 32 W/m^2 * 90 m2 / 1 meter /1000 = 2,9 kW/m
- → Afstand tot evenwichtstemperatuur (ΔT = 0 K): x0 = 18375/2,9/1000 = 6,4 km
- Ratio debiet gemiddelde situatie (zomer): QWP/QARK,gem = 1575/72000 *100% = 2%
- Afnamesnelheid met gemiddeld zelfkoelingsgetal van 32 W/m^2: x0 = 6,4 km, ΔT = 10 K * 2% = 0,2 K
- → Afstand tot ΔT van 0,2 K: x0,2 = x0 * 2% = 6,4 km * 2% = 0,13 km
- Ratio debiet minimale situatie (winter): QWP/QARK,min = 3935/36000 *100% = 10%
- Afnamesnelheid met minimaal zelfkoelingsgetal van 29 W/m2 (wintersituatie): x0 = 7,0 km, ΔT = 4 K * 10% = 0,4 K
- → Afstand tot ΔT van 0,4 K: x0,5 = x0 * 10% = 7,0 km * 10% = 0,7 km"

Vergelijking lineaire en exponentiele rekenmethodiek

De bovenstaande berekeningen gaan uit van een lineaire opwarming van het oppervlaktewater. Wanneer er berekeningen worden gedaan met de rekenregels voor lijnvormige stromende wateren[27] dan heeft de opwarming van het oppervlaktewater een exponentieel verloop. Figuur 14 laat een vergelijking tussen de 2 rekenmethodes zien.

[27] Bron: STOWA – Kader voor vergunningverlening koudelozingen 1.0



Figuur 14. Vergelijking lineaire en exponentiële benadering opwarming oppervlakte water.

Bijlage E Ruimtebeslag Technische ruimte warmtepompinstallatie

techniplan adviseurs bv

Project: 3500PRU Aquathermie Provincie Utrecht
Onderwerp: 2b schaalgrootte WP's NWG

capaciteit WP-centrale	30 MW	30 MW	6 MW	6 MW
schaalgrootte WP's	2 x15MW	6x5MW	2x3MW	6x1MW
positie WP-centrale	positie 1	positie 1	positie 1	positie 1
COP	2,7	2,7	2,7	2,7

CAPEX

CAPEX warmtepomp	€ 14.700.000	€ 14.700.000	€ 2.940.000	€ 2.940.000
CAPEX overige installaties	€ 4.410.000	€ 5.880.000	€ 1.176.000	€ 1.470.000
Oppervlakte techniekruimte	1800 m2	1800 m2	360 m2	360 m2
CAPEX bouwkundig	€ 1.980.000	€ 1.980.000	€ 396.000	€ 396.000

Bron: Rapportage Techniplan B.V. Haalbaarheid grootschalige aquathermie provincie Utrecht

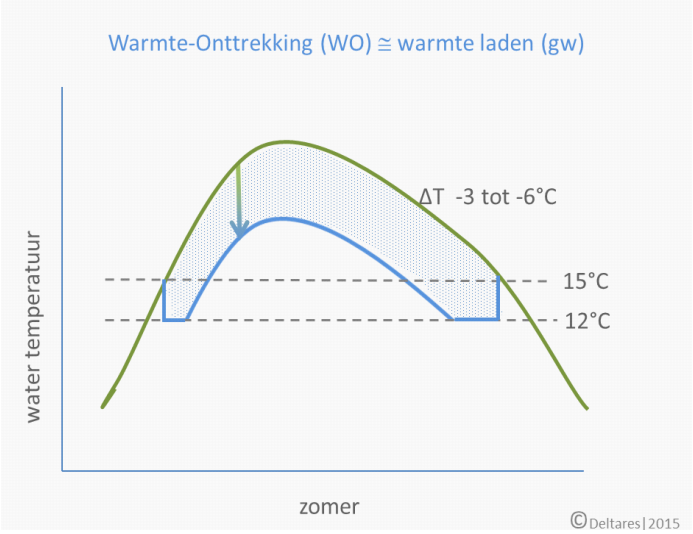
(4 juni 2021)

Bijlage F Toelichting WarmingUp potentiekaart

Hieronder volgt een samenvatting van de belangrijkste rekenregels van de WarmingUp potentiekaart.

Watertemperatuur

Er kan warmte uit oppervlaktewater onttrokken worden wanneer de temperatuur van water boven een bepaalde grens uitkomt. Welke grenzen gehanteerd worden zijn beleidskeuzes. Dit heeft invloed op de totale winbare potentie. Figuur 15 representeert het 'standaard' warmteonttrekkingsregime wat gehanteerd wordt in deze studie[28]. In het standaard onttrekkingsregime wordt warmte onttrokken wanneer de temperatuur van het oppervlaktewater boven de 15 graden uitkomt. Het water wordt daarna afgekoeld tot maximaal 12 graden (ΔT = 3). Wanneer de temperatuur van het oppervlakte hoger is dan 15 graden, wordt het water met maximaal 6 graden afgekoeld (ΔT = 6), maar nooit tot een lagere temperatuur dan 12 graden.



Figuur 15. "standaard' warmte onttrekkingsregime

Er zijn echter meerdere warmteonttrekkingsregimes mogelijk waarbij er langer of minder lang warmte wordt gewonnen uit het oppervlakte water. Dit heeft invloed op de technische warmtepotentie. Zoals gezegd is het onttrekking regime een beleidskeuze, waarover partijen zoals het waterschap, de gemeente, het rijk en Rijkswaterstaat moeten beslissen.

Warmtepotentie door stroming

Voor stromende wateren is de hoeveelheid te onttrekken warmte (WOC) een functie van de afvoer Q (m^3/s) en de maximale temperatuurverandering (ΔT).

$$WOC = |Q| * \Delta T_{WO} * \rho_w * c_p$$

Waarbij $|Q|$ de stromingsrichting onafhankelijke waarde is van de afvoer, ρ_w de dichtheid van zoet water (998 kg/m^3) en c_p de warmtecapaciteit van water (4185 J/kg*°C)[29].

[28] Bron: Rekenregels Warmte uit Oppervlaktewater - WarmingUp
[29] Bron: Rekenregels Warmte uit Oppervlaktewater - WarmingUp

De warmte onttrekkingscapaciteit (WOC) is het vermogen wat gewonnen kan worden uit het water. Hoeveel energie er per jaar onttrokken kan worden is afhankelijk van de gehanteerde uitgangspunten van het onttrekkingsregime (temperatuur verlaging). Nadat het oppervlakte water is afgekoeld door de toepassing van een TEO installatie zal deze weer opwarmen door interactie met de atmosfeer.

Warmtepotentie stilstaand water

Voor stilstaand water is de technische warmte onttrekkingscapaciteit een functie van de oppervlakte van het waterlichaam en de temperatuurverandering.
De warmte onttrekkingscapaciteit voor stilstaand water wordt beschreven door de volgende formule[29]:

$$WOC_a = (A * Z * \Delta T)$$

Waarin:

$\boldsymbol{A}$ = Oppervlakte van het wateroppervlak (m^2)

$\Delta\boldsymbol{T}$ = Temperatuuronttrekking (°C)

$\boldsymbol{Z}$ = Zelfkoelingsgetal

Waarbij $\Delta\boldsymbol{T}$ gelijk is aan 3-6°C voor het basisregime, $\boldsymbol{A}$ gelijk is aan de oppervlakte van het betreffende water en $\boldsymbol{Z}$ gelijk is aan 22 W/m^2*°C.

Bijlage H WKO potentie Nieuwbouwlocaties

Tabel 10. Overzicht per subwijk van: aantal nieuwbouwwoningen tot 2040, OBES en GBES potentie, Warmtevraag van nieuwbouw woningen en het overschot/tekort in vergelijking met de WKO potentie.

Subwijknaam	Aantal nieuwbouw-woningen tot 2040	OBES Potentie warmte-productie uit WKO + WP (TJ/jaar)	GBES Potentie warmte-productie uit WKO + WP (TJ/jaar)	Warmtevraag nieuw-woningen (TJ)	Verschil OBES met WV (TJ)	Verschil GBES met WV (TJ)
Oog in Al, Welgelegen	536	41	60	8	33	52
Lombok, Leidseweg	-	34	20	0	34	20
Nieuw Engeland, Schepenbrt	3.263	134	345	50	83	295
Pijlsweerd	166	24	20	3	22	17
Ondiep, 2e Daalsebrt	1.501	42	47	23	19	24
Zuilen-west	-	30	29	0	30	29
Zuilen-noord en -oost	330	63	63	5	58	58
Taagdreef, Wolgadreef	288	30	43	4	26	38
Zamenhofdreef, Neckardreef	1.198	42	52	18	23	34
Vechtzoom, Klopvaart	69	69	139	1	68	138
Zambesidreef, Tigrisdreef	536	69	251	8	61	242
Votulast	847	38	44	13	25	31
Tuindorp, Voordorp	463	115	207	7	108	200
Wittevrouwen, Zeeheldenbrt	205	31	33	3	28	30
Oudwijk, Buiten Wittevrouwen	42	34	32	1	33	31
Abstede, Gansstraat	658	66	383	10	56	373
Wilhelminapark, Rijnsweerd	1.600	195	616	25	171	591
Binnenstad city- en winkelgeb	7.140	82	47	110	-28	-63
Binnenstad woongebied	106	66	47	2	65	45
Lunetten	200	115	267	3	112	264

Oud Hoograven, Tolsteeg	185	40	44	3	38	41
Nieuw Hoograven, Bokkenbrt	370	53	60	6	47	54
Dichterswijk, Rivierenwijk	623	58	48	10	49	38
Transwijk	7.381	130	152	113	17	39
Kanaleneiland	1.494	57	64	23	34	41
Terwijde, De Wetering	371	126	120	6	120	114
Het Zand	880	88	99	14	75	85
Leidsche Rijn Centrum e.o	5.247	357	173	81	277	93
Parkwijk, Langerak	230	100	217	4	96	214
Leidsche Rijn-zuid	3.229	140	243	50	91	193
Vleuten, Haarzuilens	846	178	2324	13	165	2311
Veldhuizen, Vleuterweide	18	191	519	0	191	518
De Meern	453	180	931	7	173	924
Rijnenburg	-	83	1997	0	83	1997
Totaal	40.475	3106	9733	622		