

stowa

# CONFIGURATIES VOOR AQUATHERMIE DE AFWEGINGEN BOVEN WATER



RAPPORT

2020  
13

CONFIGURATIES VOOR AQUATHERMIE;  
DE AFWEGINGEN BOVEN WATER

RAPPORT

2020

13

ISBN 978.90.5773.875.3



# COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer  
Postbus 2180  
3800 CD Amersfoort

AUTEURS Joram Dehens, CE Delft  
Katja Kruit, CE Delft  
Lieke Noij, Syntraal  
Simon Bos, Syntraal

## BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Lex Bosselaar, RVO  
Harry de Brauw, Waternet  
Lisa Haenitsch-Saxe, gemeente Den Haag  
Reinier Romijn, Unie van Waterschappen  
Barry Scholten, Ennatuurlijk  
Ghada Sukkar, Waterschap Vallei en Veluwe  
Pauline Tiecken, gemeente Apeldoorn  
Teun Vercauteren, Eteck  
Cees de Wit, Netwerk Aquathermie

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau  
STOWA STOWA 2020-13  
ISBN 978.90.5773.875.3

Copyright Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.  
Disclaimer Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

# TEN GELEIDE

**De beslisboom in dit rapport leidt de initiatiefnemer van een aquathermieproject door een groot aantal keuzes, met een kansrijke opstelling als resultaat. Deze configuratie kan de gebruiker vervolgens laten doorrekenen en vergelijken met mogelijke andere warmtebronnen.**

De belangstelling voor aquathermie groeit snel. Woningen, kantoren, scholen en andere utiliteitsgebouwen moeten de komende 30 jaar van het aardgas af en aquathermie is een duurzaam alternatief. Het kan bovendien in een groot deel van de warmtebehoefte voorzien en ontmoet relatief weinig bezwaren. Daarom onderzoeken veel gemeenten, waterbeheerders en energiecoöperaties de mogelijkheden van aquathermie.

Hierbij is het vaak lastig inzicht te krijgen in de technische en economische haalbaarheid van aquathermie voor een gebouw of een wijk. Laat staan deze te vergelijken met andere warmtebronnen. Dit komt mede doordat er bij de toepassing diverse keuzes te maken zijn: Welke waterbronnen zijn bruikbaar? Warmte centraal of decentraal opwerken? Welke temperatuur moet het water krijgen? Hoe slaan we de warmte op? Een combinatie van keuzes noemen we een configuratie.

In dit onderzoek zijn de technische opties in beeld gebracht met de voor- en nadelen per situatie. Dit resulteert in een beslisboom. Daarnaast zijn voor twee voorbeeldwijken 24 configuraties doorgerekend. Hiermee hebben initiatiefnemers een hulpmiddel in handen om kansrijke opstellingen voor aquathermie te ontdekken en te verkennen.

Joost Buntsma  
Directeur STOWA

# SAMENVATTING

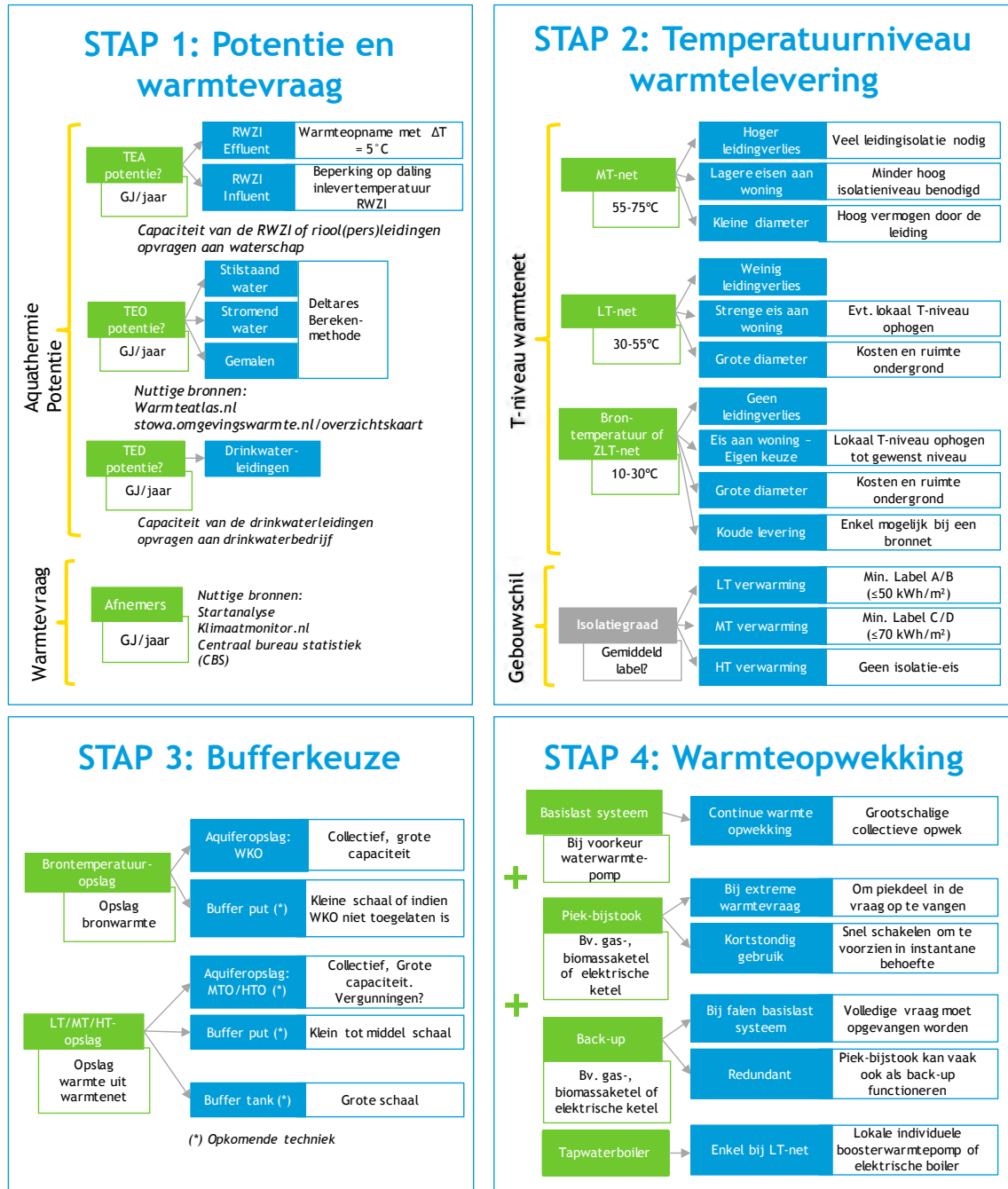
Aquathermie is één van de warmtebronnen die een bijdrage kunnen leveren aan een klimaatneutrale warmtevoorziening in Nederland. Bij aquathermie wordt thermische energie (warmte en koude) gewonnen uit water, zoals thermische energie uit oppervlaktewater (TEO), afvalwater (TEA) of drinkwater (TED), en omgezet naar bruikbare warmte voor gebouwen.

In deze studie is een afwegingskader ontwikkeld waarmee gemeenten, regio's, waterbeheerders, projectontwikkelaars, corporaties en bewoners verschillende technische systemen (configuraties) voor aquathermie met elkaar kunnen vergelijken. Hiermee kunnen deze partijen aquathermie beter meenemen in de afwegingen voor een duurzame warmte-infrastructuur en ook de juiste vraagstelling formuleren om richting een haalbaarheidsstudie of businesscase te komen.

## **AFWEGINGSKADER: BESLISBOOM**

De onderstaande beslisboom (afwegingskader) is ontwikkeld om de belangrijkste technische opties van een aquathermiesysteem weer te geven, met daarbij de technisch-economische afwegingen die gemaakt moeten worden om voor een bepaalde configuratie van opties te kiezen. Het doorlopen van de beslisboom laat zien welke configuraties voor een aquathermiesysteem in een bepaalde situatie (indicatief) kansrijk zijn. Naast technisch-economische aspecten zijn er ook omgevingsaspecten die meewegen, zoals CO<sub>2</sub>-emissies, ecologie, comfort en ruimte in de woning.

FIGUUR 1 OVERZICHT BESLIJBOOM



## DOORREKENING VAN CONFIGURATIES

Er is een berekening uitgevoerd van de investeringen, energiegebruiken, vermogens, energiekosten en emissies van 24 verschillende systeemconfiguraties. Deze zijn vergeleken voor twee verschillende voorbeeldbuurten (een stadsbuurt en een dorpsbuurt), waarbij is uitgegaan van 500 woningen met isolatieniveau C als uitgangspunt.

De configuratie MT-net met label C heeft de laagste investeringskosten. Dit komt doordat er de minste kosten gemaakt worden in de woning (zie Figuur 12). De investeringen in het warmtenet en in de woning hebben relatief een veel grotere bijdrage dan de investeringen in de bron, opslag en opwekking.

De configuraties met label A/B en LT- of bronnetten hebben de laagste energiegebruiken. De kosten van energie zijn echter het laagst waar de warmte collectief wordt opgewekt, omdat daar grootverbruikstarieven gelden. De CO<sub>2</sub>-besparing is, omwille van het lage energieverbruik, het hoogst bij een bronnet met label A/B (Figuur 14). In de toekomst zullen de CO<sub>2</sub>-emissies verder dalen door het verduurzamen van de Nederlandse elektriciteitsmix.

De resultaten laten in het algemeen zien dat de keuzes aan de vraagzijde (isolatie- en temperatuurniveau) een veel grotere invloed hebben op de kosten en verbruiken dan de keuzes aan de bronzijde.

## TOEKOMSPERSPECTIEF EN INNOVATIE

Naar de toekomst toe zullen bepaalde ontwikkelingen kunnen bijdragen aan de afwegingen voor aquathermieconfiguraties, zoals:

- verlaging CO<sub>2</sub>-emissie van elektriciteit;
- isolatie van woningen, waarmee LT-oplossingen aantrekkelijker worden;
- verduurzaming van de pieklast;
- innovatieve buffers op middentemperatuur, waarmee pieken in elektriciteitslevering opgevangen kunnen worden.

Daarnaast kunnen innovatieve technieken bijdragen aan een optimalere inzet van aquathermie. Voorbeelden hiervan zijn innovatieve warmtewisselaars, buffers op middentemperatuur en flexibele warmtenetten.

# DE STOWA IN HET KORT

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie.

Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' – de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft – om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoeklijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede aan alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

*Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.*



# CONFIGURATIES VOOR AQUATHERMIE; DE AFWEGINGEN BOVEN WATER

## INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	DE STOWA IN HET KORT	
<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>1</b>
	1.1 Waarom deze studie?	1
	1.2 Onderzoeksopzet	1
	1.3 Relatie met Leidraad en de Handreiking Aquathermie	2
	1.4 Begrippen	2
	1.5 Leeswijzer	3
<b>2</b>	<b>CONFIGURATIES VOOR AQUATHERMIE</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>BESLISBOOM</b>	<b>5</b>
	3.1 STAP 0: Is aquathermie kansrijk?	5
	3.2 STAP 1: Potentieel aanbod en warmtevraag	5
	3.3 STAP 2: Temperatuurniveau	8
	3.4 STAP 3: Buffer	11
	3.5 STAP 4: Warmteopwekking	13
	3.6 Overzicht beslisboom	15
	3.7 Procesmatige en ecologische afwegingen	17

<b>4</b>	<b>VERGELIJKING VAN CONFIGURATIES</b>	<b>18</b>
4.1	Overzicht van geanalyseerde configuraties	18
4.2	Berekeningsmethodiek	19
4.3	Resultaten stadsbuurt	20
4.4	Resultaten dorpsbuurt	23
4.5	Andere aspecten	26
<b>5</b>	<b>INNOVATIE</b>	<b>28</b>
5.1	Warmtewisselaars	28
5.2	Buffer	29
5.3	Warmtenet	31
<b>6</b>	<b>REFERENTIES</b>	<b>33</b>
BIJLAGE A	SAMENSTELLING BEGELEIDINGSCOMMISSIE	34
BIJLAGE B	TOELICHTING OP BEREKENINGEN	35
BIJLAGE C	BUSINESSCASE OVERZICHT TEO & TEA	39
BIJLAGE D	BESLISBOOM AQUATHERMIE	42

# 1

## INLEIDING

### 1.1 WAAROM DEZE STUDIE?

Aquathermie is één van de warmtebronnen die een bijdrage kunnen leveren aan een klimaatneutrale warmtevoorziening in Nederland. Bij aquathermie wordt thermische energie (warmte en koude) gewonnen uit water, zoals thermische energie uit oppervlaktewater (TEO), afvalwater (TEA) of drinkwater (TED), en omgezet naar bruikbare warmte voor gebouwen.

In het Klimaatakkoord is afgesproken dat marktpartijen voor veel voorkomende woning- en gebouwtypen arrangementen ontwikkelen voor energiebesparing (isolatie) en duurzame energie- en warmteoplossingen, waarvan aquathermie ook deel uit maakt. In de afgelopen maanden zijn ten behoeve van de Leidraad/Startanalyse van het Expertisecentrum Warmte en energietransitiemodellen kengetallen voor aquathermie verzameld op basis van een beperkt aantal businesscases (hoofdzakelijk TEO)<sup>1</sup>.

Van gemeenten wordt nu verwacht dat zij in hun Transitievisie Warmte en Regionale Structuur Warmte een afweging maken voor een duurzame warmtevoorziening. Bij gemeenten en gebouw eigenaren leven echter nog veel vragen over de financiële en technische haalbaarheid van aquathermie, zodat er een afweging gemaakt kan worden tussen:

- toepassing in verschillende typen wijken;
- TEO, TEA en TED als bron;
- verschillende varianten, bijvoorbeeld meer isolatie (waardoor met een lagere temperatuur verwarmd kan worden en de COP verbetert), andere afgiftesystemen (waardoor woningen ook gekoeld kunnen worden) en opslag van hogere temperaturen.

### 1.2 ONDERZOEKSOPZET

Het doel van deze studie is om een objectief, algemeen afwegingskader te bieden waarmee gemeenten, regio's, waterbeheerders, projectontwikkelaars, corporaties en bewoners verschillende vormen en configuraties van aquathermie met elkaar kunnen vergelijken, mee kunnen nemen in de afwegingen voor een duurzame warmte-infrastructuur en ook de juiste vraagstelling kunnen formuleren om tot het gewenste resultaat te komen.

Dit onderzoek richt zich op techno-economische afwegingen. In de Handreiking Aquathermie van STOWA (STOWA, 2018) wordt ingegaan op stappen en afwegingen van een procesmatige aard.

In dit onderzoek worden de volgende vragen beantwoord:

- Welke technische opties zijn er voor een aquathermiesysteem?
- Op basis van welke kwalitatieve en kwantitatieve elementen kunnen de configuraties worden vergeleken?

<sup>1</sup> De startanalyse kan een indicatie geven of aquathermie interessant is voor een buurt, maar nog niet welke variant en welke keuzes er nog meer een rol spelen.

- Welke (technisch-economische) vragen moeten in een verkennend proces beantwoord worden?
- Welke configuraties van aquathermie zijn in welk type gebouwen en welk type wijken kansrijk?

Deze vragen zijn beantwoord op basis van een literatuurstudie van bestaande rapporten en uitgewerkte businesscases voor aquathermie, interne ervaring en expertise van de auteurs, en berekeningen die gebaseerd zijn op de Startanalyse van PBL. Daarnaast zijn gedurende het onderzoek de opzet en resultaten besproken met een begeleidingscommissie. De samenstelling hiervan is opgenomen in Bijlage A.

De resultaten zijn weergegeven in enerzijds een beslisboom waarin kwalitatieve aspecten aan de orde komen en anderzijds een kwantitatieve vergelijking van configuraties in twee voorbeeldbuurten.

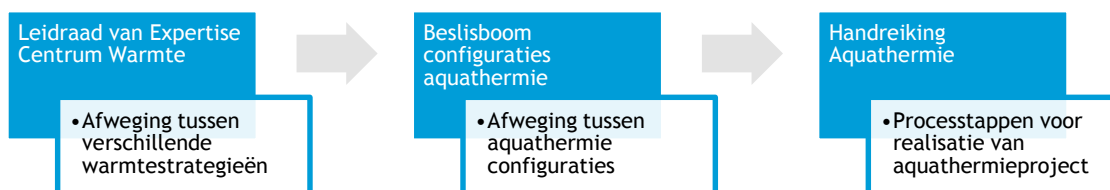
### 1.3 RELATIE MET LEIDRAAD EN DE HANDREIKING AQUATHERMIE

De beslisboom vormt een aanvulling op een aantal andere instrumenten die zijn ontwikkeld om de keuzes rondom de warmtetransitie te ondersteunen:

- De Leidraad voor de warmtetransitie door het Expertise Centrum Warmte (ECW), een ondersteunend instrument voor Transitievisies Warmte en uitvoeringsplannen.
- De Handreiking Aquathermie gepubliceerd door STOWA. Deze handreiking helpt waterbeheerders, gemeenten, eigenaren van gebouwen en energieleveranciers in de stappen die genomen moeten worden om tot realisatie van TEO-projecten te komen.

Deze beslisboom vormt een ondersteuning bij de configuratiekeuze voor een aquathermiesysteem en kan worden ingezet als stap tussen deze instrumenten (zie Figuur 2).

FIGUUR 2 SAMENHANG TUSSEN VERSCHILLENDE INSTRUMENTEN DIE ONDERSTEUNEN BIJ DE WARMTETRANSITIE



### 1.4 BEGRIPPEN

De volgende begrippen worden gebruikt in deze studie:

#### VORMEN VAN AQUATHERMIE

- aquathermie: benutten van warmte of koude uit water;
- TEO: thermische energie uit oppervlaktewater;
- TEA: thermische energie uit afvalwater;
- TED: thermische energie uit drinkwater;
- configuratie: combinatie van technische keuzes in een warmtesysteem.

### TEMPERATUURNIVEAUS

- MT: Middentemperatuur (ca. 55-70°C). Met warmte op middentemperatuur kunnen woningen vanaf ca. label D worden verwarmd en kan direct warmtapwater worden voorzien.
- LT: Lage temperatuur (ca. 30-50°C). Met LT-warmte kunnen goed geïsoleerde woningen met een LT-afgiftesysteem (LT-radiatoren, vloerverwarming) worden verwarmd. Voor warmtapwater moet de warmte verder worden opgewaardeerd met bijvoorbeeld een boosterwarmtepomp.
- Brontemperatuur: (Zeer) laag temperatuurniveau (ca. 10-20°C). Het water wordt in de woning gebruikt als bron om warmte te onttrekken met een individuele warmtepomp.

### COEFFICIENT OF PERFORMANCE (COP) EN SEASONAL PERFORMANCE FACTOR (SPF)

De Coëfficiënt of Performance (COP) geeft voor een warmtepomp aan hoe efficiënt deze warmte opwekt. De COP bepaalt namelijk de hoeveelheid elektriciteit die nodig is om warmte op te opwaarderen naar hogere temperaturen. Bij een COP gelijk aan 3 komt één derde van de warmte uit elektriciteit. Bij een COP gelijk aan 5 komt nog maar 20% uit elektriciteit. Hoe hoger de COP, des te efficiënter het systeem werkt en hoe minder elektriciteit er nodig is om warmte te voorzien.

De COP hangt af van de temperaturen waartussen de warmtepomp opereert. Hoe groter het verschil tussen de temperatuur van het warmtenet en de temperatuur van de bron, des te lager de SPF zal zijn.

Omdat de temperatuurniveaus door het jaar heen niet geheel constant zijn, varieert de COP gedurende het jaar. De Seasonal Performance Factor (SPF) geeft het gemiddelde van de COP door het jaar heen.

## 1.5 LEESWIJZER

Deze rapportage beschrijft eerst wat wordt verstaan onder 'configuraties' voor aquathermie.

Vervolgens wordt de beslisboom beschreven. Deze geeft de belangrijkste technische opties van een aquathermiesysteem weer, met daarbij de technisch-economische afwegingen die gemaakt moeten worden om voor een bepaalde configuratie van opties te kiezen.

Daarna worden de verschillende technische opties kwantitatief vergeleken met elkaar en een referentiesituatie op aardgas. Hiervoor zijn berekeningen gedaan gebaseerd op kentallen en uitgangspunten.

Ten slotte worden verschillende innovatieve technieken beschreven die relevant zijn voor het toekomstperspectief van aquathermie.

# 2

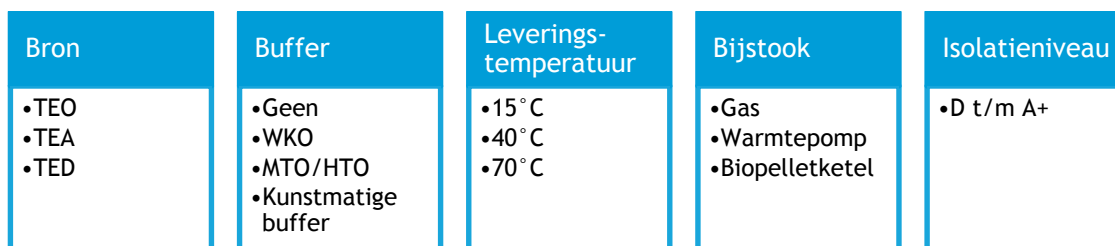
## CONFIGURATIES VOOR AQUATHERMIE

Er zijn verschillende technische configuraties mogelijk om aquathermie in te zetten voor warmte- of koudelevering aan gebouwen.

In deze studie verstaan wij onder een 'configuratie voor aquathermie' een **combinatie van technische keuzes** (zie ook Figuur 3):

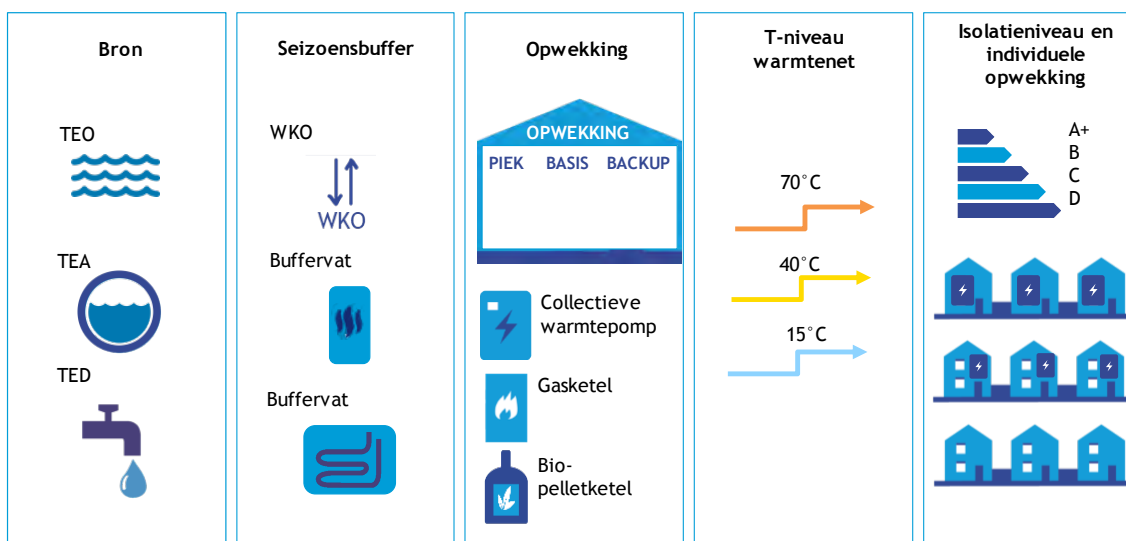
- Bron: TEO, TEA, TED.
- Collectieve warmteopslag (buffer): geen opslag, WKO, MTO/HTO, kunstmatige buffer.
- Leveringstemperatuur: 15°C (bronnet), 40°C (LT-net), 70°C (MT-net).
- Warmteopwekking (basislast, piek en back-up): gas, warmtepomp, biopelletketel;
- Isolatie niveau: energielabel D t/m A+.
- Individuele opwekking: geen, booster-warmtepomp voor warmtapwater, of water /water-warmtepomp. Dit is afhankelijk van het temperatuurniveau en isolatieniveau.

FIGUUR 3 TECHNISCHE KEUZES OM TOT EEN CONFIGURATIE TE KOMEN



Deze technische opties zijn schematisch weergegeven in Figuur 4.

FIGUUR 4 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN TECHNISCHE KEUZES VOOR AQUATHERMIE



# 3

## BESLISBOOM

Deze beslisboom is ontwikkeld om de belangrijkste technische opties van een aquathermiesysteem weer te geven, met daarbij de technisch-economische afwegingen die gemaakt moeten worden om voor een bepaalde configuratie van opties te kiezen.

In eerdere onderzoeken dient een afweging gemaakt te worden tussen de verschillende mogelijkheden voor warmtevoorziening. Zo verdienen in bepaalde wijken individuele warmtepompen de voorkeur en in andere wijken is bijvoorbeeld restwarmte van nabijgelegen industrie voor handen om een warmtenet te voeden. Wanneer aquathermie uit eerdere onderzoeken naar voren komt als een veelbelovende warmtevoorziening, leidt deze beslisboom je verder naar een specifieke aquathermieconfiguratie. Dit is in de beslisboom opgenomen als 'Stap 0'.

De beslisboom bestaat verder uit vier stappen:

1. Potentieel aanbod en warmtevraag.
2. Temperatuurniveau.
3. Buffer.
4. Warmteopwekking.

Elke stap bestaat uit een aantal afwegingen die in een blok zijn weergegeven, waarbij zo veel mogelijk hulpmiddelen worden aangereikt zodat een antwoord kan geformuleerd worden op de vraag. Deze stappen vormen een eerste volgorde om vragen te doorlopen, maar moeten ook iteratief doorlopen worden.

### 3.1 STAP 0: IS AQUATHERMIE KANSRIJK?

Voordat de beslisboom voor aquathermieconfiguraties ingezet kan worden, is het eerst belangrijk om te verkennen of aquathermie als warmtevoorziening kansrijk is. Weeg eerst af welk type warmtevoorziening lokaal de voorkeur verdient. Hiervoor zijn verschillende instrumenten en modellen ontwikkeld, waaronder de Leidraad van het ECW met als onderdeel daarvan de Startanalyse.

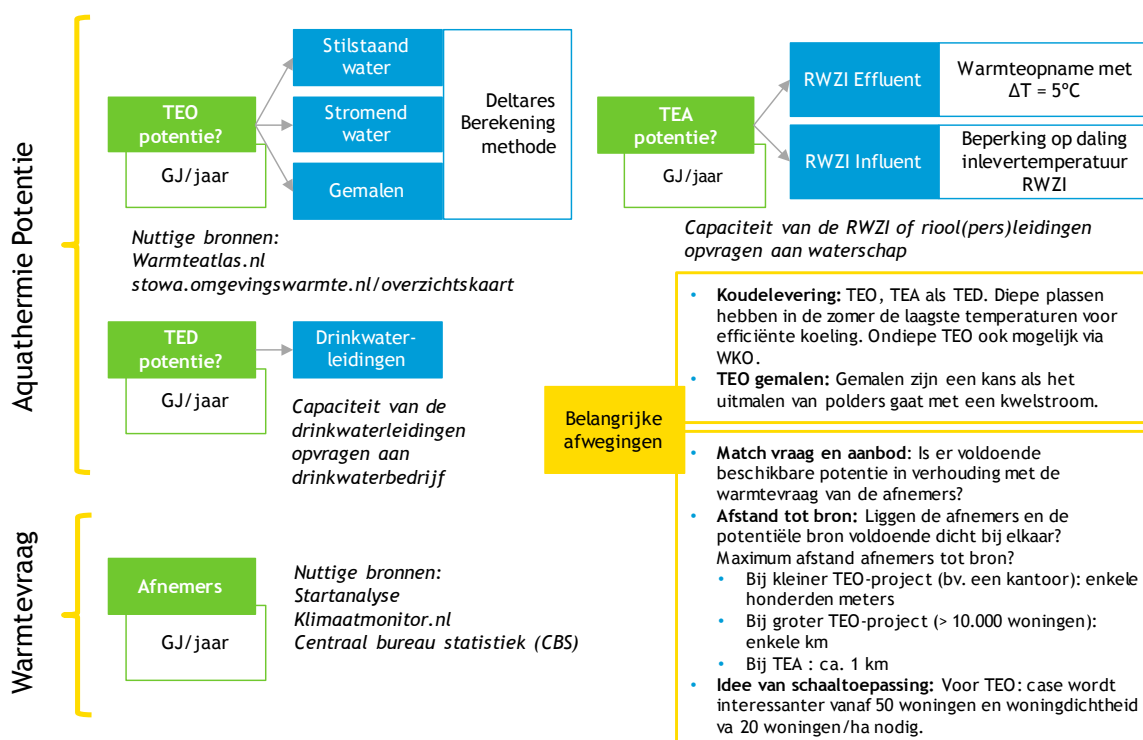
Met behulp van dergelijke technisch-economische analyses en potentiëstudies kan zo een eerste inzicht verkregen worden in de kansrijkheid van aquathermie. Is aquathermie kansrijk, dan kunnen de volgende stappen van de beslisboom worden verkend.

### 3.2 STAP 1: POTENTIEEL AANBOD EN WARMTEVRAAG

In de eerste stap is het belangrijk om het potentiële aanbod in beeld te brengen van TEO, TEA en/of TED. Voor de eerste twee bronnen kan gebruik gemaakt worden van landelijke potentiëkaarten, zoals de viewer van de STOWA (Potentie Aquathermie) waar de warmtepotentie van

alle waterschapsassets en van het oppervlaktewater ingezien kan worden. Het potentieel van TED moet worden opgevraagd bij en/of bepaald door het drinkwaterbedrijf.

Vervolgens moet het potentieel van TEO, TEA en/of TED vergeleken worden met de warmtevraag van de beoogde afnemers.



## TEA

Bij TEA kan men denken aan meerdere opties, namelijk warmte uit: rioolleidingen, persleidingen en het effluent. De potentie van TEA is onder andere afhankelijk van het debiet dat door de leiding stroomt en de diameter van de leiding. Het toepassen van riothermie bij rioolleidingen kan worden gedaan met meerdere technieken, waardoor ook de hoeveelheid warmte die gewonnen kan worden uit het afvalwater erg kan verschillen. Bij het winnen van warmte uit de persleiding dichtbij de RWZI (influent) kan een temperatuurdaling invloed hebben op het zuiveringsproces, waardoor er een beperking geldt. Er wordt onderzoek gedaan naar de invloed van TEA op het zuiveringsproces van de RWZI. Bij het winnen van warmte uit het effluent wordt er in het algemeen van uitgegaan dat de temperatuur van het water maximaal  $5^{\circ}\text{C}$  mag dalen. Verdere temperatuurdaling is in theorie mogelijk, maar moet met het waterschap worden afgestemd.

Het winnen van warmte uit het effluent kan bijvoorbeeld door middel van een platenwarmtewisselaar of rioolwarmtewisselaar. Voor iedere toepassing van TEA geldt dat er meerdere technieken zijn om warmte te winnen en dit is locatieafhankelijk. Denk hierbij onder andere aan: inwendige rioolwarmtewisselaar, uitwendige rioolwarmtewisselaar, relining en bypass-constructie.



**TEO**

Het winnen van warmte uit oppervlaktewater voor de toepassing in wijken kan relatief eenvoudig met een platenwarmtewisselaar. Bij het plaatsen van een warmtewisselaar dient men rekening te houden met voldoende beschikbare ruimte in het oppervlaktewater, de functie van het oppervlaktewater (bijv. scheepvaart) en de ecologische waarden van het water en uiteraard is ook de debiet/de stroming van belang voor de locatie van de warmtewisselaar. Oppervlaktewater mag niet te veel afkoelen, dit kan invloed hebben op de flora en fauna in het water. Het heeft de voorkeur dat het oppervlaktewater stroomt, zodat het water eenvoudiger/zonder veel (pomp)energie langs de wisselaar geleid kan worden. Bij stilstaand water zal er een grotere pomp geplaatst moeten worden om het water langs de wisselaar te leiden, wat de nodige extra energie vergt. Bij gemalen is deze pomp nog aanwezig en kan TEO gecombineerd worden met bestaande installaties. De grootte van een TEO-systeem is afhankelijk van de warmtevraag.

**TED**

Het winnen van thermische energie uit drinkwater kan met behulp van een warmtewisselaar in of om de drinkwaterleiding, tevens is het mogelijk een warmtewisselaar te realiseren in een bypass op de drinkwaterleiding. Het is voornamelijk interessant om warmte winnen uit het drinkwater tijdens de warme zomers. Door klimaatverandering zal het drinkwater steeds warmer worden in de zomer. Door TED altijd in combinatie met een aquiferopslag toe te passen, kan deze warmte in de winter optimaal worden benut. Tegelijkertijd willen waterbedrijven vermijden dat het drinkwater 's winters verder wordt afgekoeld, omdat bewoners dan een hoger energieverbruik krijgen voor het opwarmen van tapwater. Drinkwaterleidingen vallen onder vitale infrastructuur, hierdoor zullen er meer eisen zijn aan de technische installatie en het monitoren van het systeem.

De afstand tussen de warmtebron en warmtevrager is van belang. Hoe kleiner deze afstand, hoe minder warmte er verloren gaat.

**WARMTEVRAAG**

De warmtevraag kan bepaald worden op basis van het aantal woningen en de gemiddelde warmtevraag van die woningen. Voor eerste schattingen van de warmtevraag zijn de volgende bronnen als uitgangspunt te gebruiken:

- Startanalyse;
- Klimaatmonitor: Databank Klimaatmonitor Dashboard;
- CBS: CBS: StatLine databank;
- De Warmteatlas: WarmteAtlas.

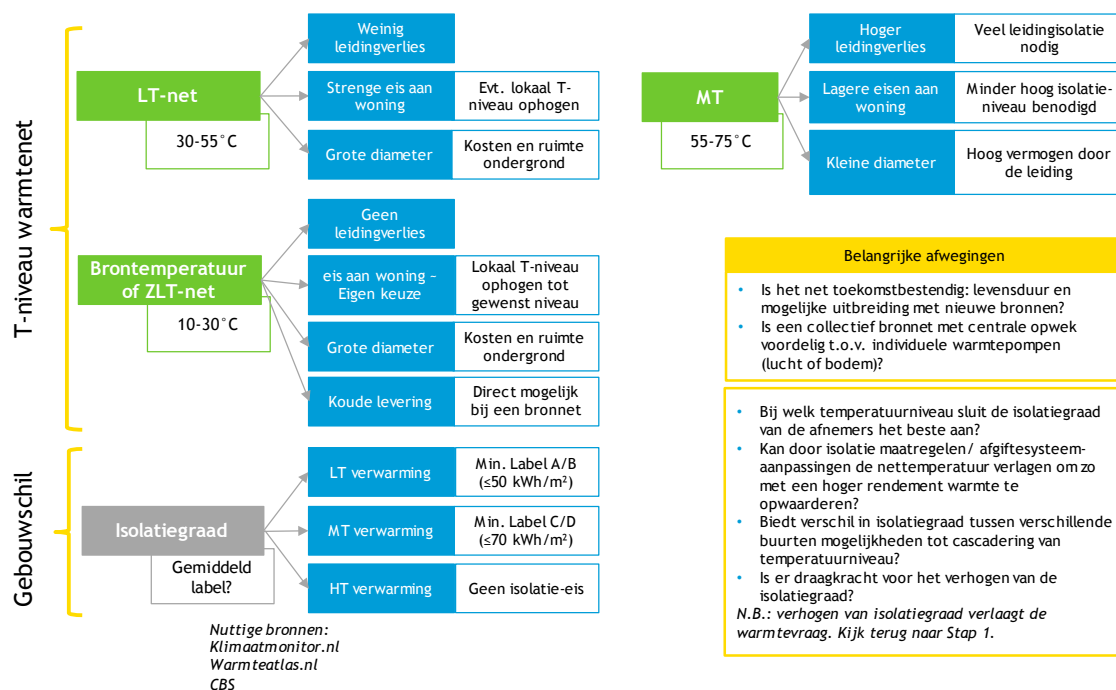
Een verfijndere en correctere weerspiegeling van de warmtevraag van de beoogde buurt wordt verkregen door onderscheid maken in verschillende woningtypes (appartement, rijwoning, vrijstaande woning, ...) en bouwjaren. Deze gegevens geven weer hoe groot de warmtevraag momenteel is. Op basis hiervan kan ook gekeken worden naar mogelijke isolatiescenario's. De warmtevraag kan worden beperkt door verbetering van het isolatieniveau. Zo neemt bijvoorbeeld de warmtevraag met ongeveer 13% af door isolatie van labelniveau D naar labelniveau C (Liander, 2018).

TABEL 1 BESLIJKADER VRAAG EN AANBOD

Afweging	TEO	TEA	TED
Algemene toepassingslimieten	Min. 50 woningen en een bewoningsdichtheid van ca. 20 woningen/ha.	Bij een TEA-influent: ligt aan het debiet en techniek. Bij TEA-wijkriolering: ongeveer 30 woningen.	Bij TED is het afhankelijk van het debiet en de techniek.
Match warmtevraag met aquathermie-potentie	Potentie TEO-bron (GJ/jaar) moet groter zijn dan de warmtevraag van de woningen (GJ/jaar).	Potentie TEA-bron (GJ/Jaar) moet groter zijn dan de warmtevraag van de woningen (GJ/jaar).	Potentie TEO-bron (GJ/jaar) moet groter zijn dan de warmtevraag van de woningen (GJ/jaar).
Afstand woningen tot bron	Klein TEO-project (bijv. een kantoor): enkele 100 m. Groter TEO-project (meer dan 10.000 woningen): tot enkele km.	Bij zowel TEA-influent, -effluent en -wijkriolering circa 1 km. Afhankelijk van de grootte van het project. De genoemde afstand is vastgesteld tijdens de STOWA-studie naar de potentie van TEA in 2018.	Bij TED is het circa 1 km. Afhankelijk van het debiet.

### 3.3 STAP 2: TEMPERAATUURNIVEAU

In deze stap worden de mogelijke temperatuurniveaus vergeleken. Het warmtenet zorgt voor de verdeling van de warmte naar de eindgebruiker. Het temperatuurniveau dat gekozen wordt voor de aflevering van de warmte hangt af van de isolatiegraad van de gebouwen, ruimtebeslag in de ondergrond, en kosten van de infrastructuur.

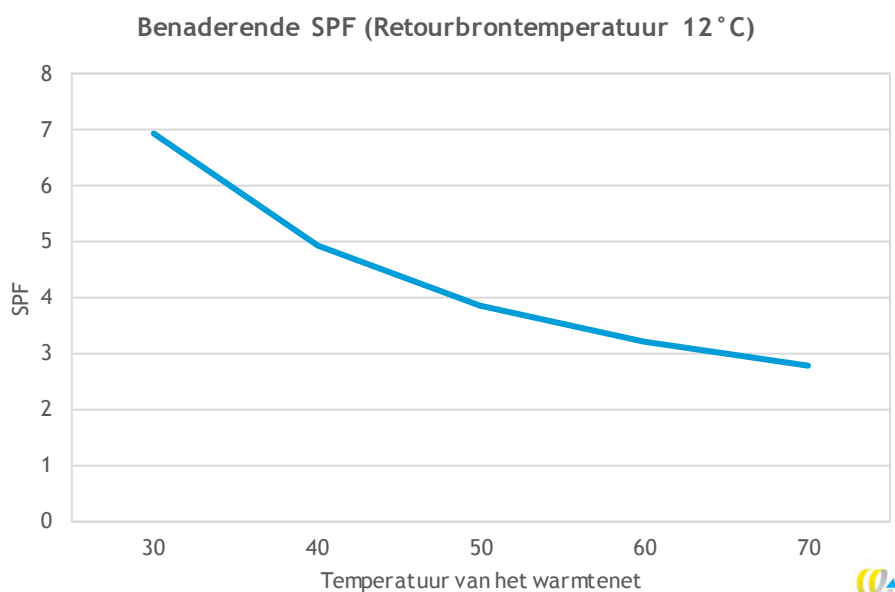


Goed geïsoleerde woningen met een lagetemperatuurafgiftesysteem hebben genoeg met een beperkte warmtelevering op lage temperatuur. Slecht geïsoleerde woningen hebben grote hoeveelheden warmte nodig op hoge temperatuur om de woning tot op een comfortabel niveau te verwarmen. Mogelijke verbetering van de isolatiegraad verlaagt de benodigde warmte en de temperatuur van die warmte. Dit leidt tot lagere isolatiekosten van de warmteleiding. Verbetering van de isolatiegraad van de woningen vergt grote investeringen en vereist voldoende investeringsruimte van de particulieren, woningcorporaties of utiliteitseigenaren.

Lagetemperatuurwarmtelevering vereist grotere leidingdiameters dan hogetemperatuurwarmtelevering voor eenzelfde warmtevraag. Er is dan wel weer minder leidingisolatie nodig en bovendien is bij een LT-net met goed geïsoleerde woningen de warmtevraag per woning lager dan bij een HT-net met slecht-geïsoleerde woningen. LT-netten worden vaak uitgevoerd als kunststofleidingen. Deze kunnen echter een kortere levensduur hebben dan metalen leidingen. Daarnaast zijn deze leidingen niet geschikt warmte te transporteren op hogere temperaturen. Mogelijke andere bronnen op hogere temperatuur, zoals geothermie, kunnen dan hun warmte niet in hetzelfde net kwijt. Dit maakt het systeem iets minder robuust naar de toekomst toe.

De nettemperatuur heeft een belangrijke invloed op de SPF en dus het energiegebruik van het systeem. De SPF hangt af van de temperaturen waartussen de warmtepomp opereert. Zoals aangegeven in Figuur 5 neemt de SPF af bij een hogere nettemperatuur. Dus hoe hoger de nettemperatuur, hoe meer elektriciteit nodig is om de warmte te leveren. Een MT-net heeft een SPF van ca. 2,5-3 en een LT-net heeft een hogere SPF van ca. 3 tot 4 (IF Technology, 2019a). Bij LT-netten komt dus minstens één vierde van de warmte uit elektriciteit en bij MT-netten is dat minstens één derde. Dit resulteert in een hoger energiegebruik bij de opwekzijde voor MT-netten en, zolang die elektriciteitsmix niet duurzaam is, ook in hogere CO<sub>2</sub>-emissies.

FIGUUR 5 SPF WARMTEPOMP IN FUNCTIE VAN DE NETTEMPERatuur



Berekend als 50% van de theoretische efficiëntie met een condensor en evaporator Delta T van 2°C.

Door diversiteit in woningen tussen buurten kan gekozen worden om de leveringstemperatuur te laten variëren door cascadering: Hoge temperatuurwarmte wordt gebruikt voor buurten met slecht geïsoleerde woningen en de retourwarmte kan vervolgens nog benut worden door buurten met goed geïsoleerde woningen. Een andere optie is wanneer in een wijk met goed geïsoleerde woningen enkele woningen slecht geïsoleerd zijn en dus niet verwarmd kunnen worden op lagere temperatuurniveaus, het temperatuurniveau van de warmte voor die woningen lokaal op te waarderen.

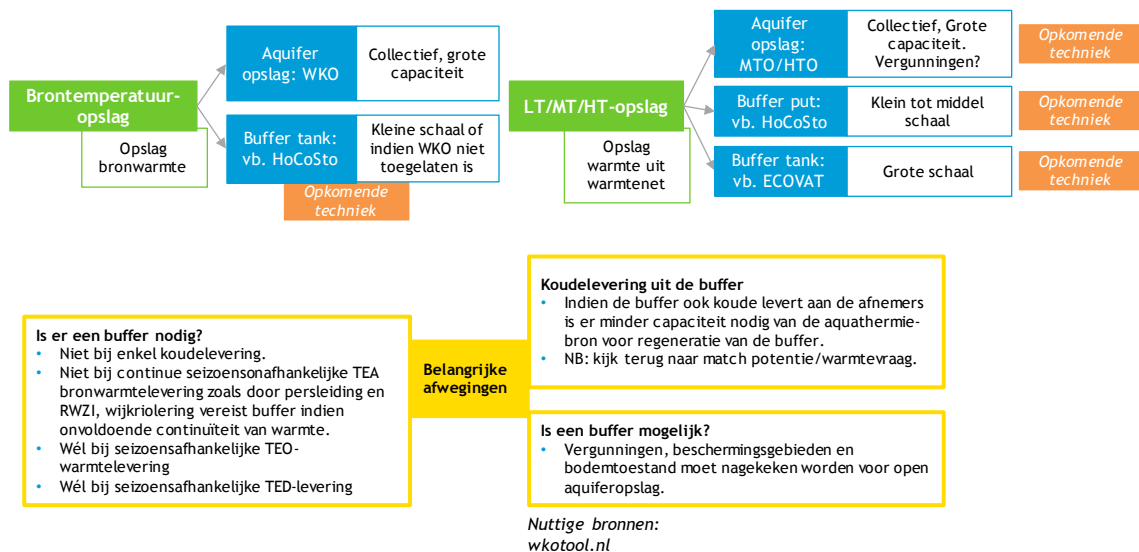
Een net op brontemperatuur biedt het meeste keuzevrijheid voor de eindgebruiker. De afweging tussen enerzijds mogelijke extra isolatiemaatregelen om de woning op een lage temperatuur te verwarmen of anderzijds een hoge temperatuuroopwaardering met een individuele warmtetechniek zodat de woning zonder extra vereiste isolatie-eis kan verwarmd worden ligt dan in de handen van de eigenaar zelf. Bij een brontemperatuurwarmtenet is er sprake van grote leidingdiameters om voldoende stromen van warmte te voorzien.

TABEL 2 BESLISKADER TEMPERATUURNIVEAU WARMTENET

Afweging	Brontemperatuurnet	LT	MT
Warmteopwekking	Individueel/decentraal	Collectief/centraal	Collectief/centraal
Koudelevering	Koudelevering mogelijk met zelfde net	Koudelevering vraagt een extra koudenet	Koudelevering vraagt een extra koudenet
Vereist schil isolatieniveau	Keuze van eigen temperatuurniveau en daaraan gekoppelde isolatievereiste	Min. niveau B/A ( $\leq 50 \text{ kWh/m}^2$ ). Of lokaal warmte opwaarderen.	Min. niveau C/D ( $\leq 70 \text{ kWh/m}^2$ ). Of lokaal warmte opwaarderen.
Ruimtebeslag bodem	Veel (grote leidingdiameter)	Veel (grote leidingdiameter)	Matig (kleine leidingdiameter)
Benodigde isolatiegraad leiding	Geen	Laag	Medium
Netwerk/leidingkosten	Voor alle opties vergelijkbaar. Voornamelijk de infrastructuurwerken bepalen de kosten. Bij hogere temperaturen wordt de dikkere leidingisolatie gecompenseerd door een kleinere leidingdiameter. Afhankelijk van de omgevingsfactoren, goedkoper bij open bermen en duurder in een dichtbebouwde binnenstad, kost de aanleg van een warmteleiding ca. 500-1.000 €/m (voor transportvermogen onder $1 \text{ MW}_{th}$ ).		

### 3.4 STAP 3: BUFFER

In deze stap wordt weergegeven waar men aan kan denken bij een buffer. Er zijn meerdere soorten buffers, denk hierbij bijvoorbeeld aan brontemperatuuropslag of hogetemperatuuropslag.



Het combineren van aquathermie met een seizoensbuffer kan ervoor zorgen dat het gehele jaar duurzame warmte kan worden geleverd. Een buffer is echter niet bij alle typen van aquathermie noodzakelijk om het gehele jaar warmte te leveren:

- Bij TEA is de noodzaak van een buffer afhankelijk van de bron. Bij het winnen van warmte uit een persleiding of het effluent is dit niet noodzakelijk, er is hier sprake van constante aanvoer. Bij een rioolleiding is het afhankelijk van het debiet of een buffer noodzakelijk is in relatie met de warmtevraag.
- Bij TEO is een buffer meestal altijd wenselijk. In de zomer kan de warmte worden gewonnen wanneer er minimale warmtevraag is. Tijdens de winterperiode kunnen de woningen dan worden voorzien van de warmte die is opgeslagen in de buffer tijdens de zomerperiode.
- Bij TED is seizoensopslag altijd noodzakelijk om temperatuurstijging in de zomer en -daling in de winter te voorkomen.

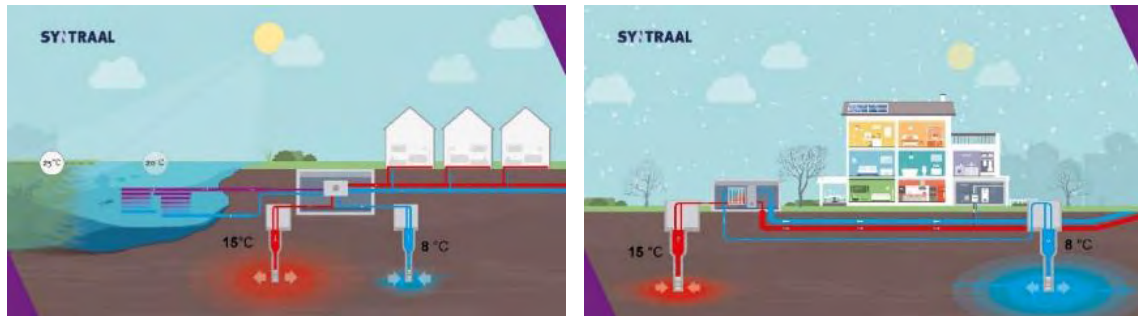
Bij het toepassen van een buffer dient men rekening te houden met de gewenste temperatuur van de warmte en de beperkingen die gelden in het gebied.

Het kan voorkomen dat het minimaal vermogen uit een omgevingswarmtebron (in de winter) niet voldoende is om de woningen het hele jaar door gasloos te verwarmen, terwijl de hoeveelheid energie jaarrond wel voldoende is. In dit geval kan een buffer de oplossing bieden. Hierbij kan een omgevingswarmtebron zoals riothermie of oppervlaktewater gebruikt worden om de buffer 's zomers te 'laden'. Een andere reden om een seizoensbuffer te gebruiken is de mogelijkheid van koudelevering in de zomer.

Bij een WKO wordt warmte en koude opgeslagen in een watervoerende zandlaag (aquifer) in de bodem (zie Figuur 6). In deze aquifer wordt een 'doublet' met minimaal één koude en één warme bron aangelegd. Wanneer er vraag naar koude is, wordt uit de koude bron grondwater opgepompt. De koude uit dit grondwater wordt met een warmtewisselaar afgestaan aan een warmtepomp in koelbedrijf. Door het onttrekken van koude, warmt het opgepompte

grondwater op, waarna het wordt geïnfiltreerd in de warme bron. Is er vraag naar warmte, dan wordt grondwater opgepompt uit de warme bron. Nu wordt warmte aan het grondwater onttrokken en, met een warmtewisselaar, aan de warmtepomp afgegeven.

**FIGUUR 6** PRINCIPE SEIZOENSBUFFERING WARMTE VIA WKO: WARMTE WORDT IN DE ZOMER GEWONNEN EN OPGESLAGEN IN HET GRONDWATER IN EEN WATERVOERENDPAKKET (LINKS). IN DE WINTER WORDT HET RELATIEF WARMTE WATER ONTTROKKEN WAARBIJ DE WARMTE AAN DE WONINGEN WORDT AFGEGEVEN (RECHTS)



Een warmtekoudeopslag is een open systeem, niet te verwarren met een gesloten systeem (zogenoemde bodemlussen). Een gesloten systeem maakt gebruik van de geleidbaarheid van de bodem, terwijl een open systeem werkt door het oppompen van grondwater.

De mogelijkheden voor het plaatsen van WKO-systemen hangen af van verschillende factoren. Indien er geen directe belemmeringen zijn (specifiek beleid, Natura 2000-gebieden etc.) is de locatie afhankelijk van de beschikbaarheid van gronden, de doorlaatbaarheid van de bodem, de thermische straal van de bronnen en de grondwaterstroming.

De opbouw van de bodem en de energievraag van de afnemer is van grote invloed op de economische haalbaarheid van een WKO-systeem. Het systeem moet aangelegd worden in een zandlaag, een zogenaamd watervoerend pakket. De economische haalbaarheid van een WKO-systeem neemt af naarmate deze zandlaag zich dieper in de ondergrond bevindt.

Naast de economische haalbaarheid zijn er ook technische eisen voor een goed werkend WKO-systeem:

- er is een watervoerend pakket (zandlaag) nodig met een hoge hydraulische doorlaatbaarheid;
- boven en onder het gekozen watervoerend pakket moet er een isolerende/afsluitende laag aanwezig zijn (vaak een kleilaag);
- de grondwaterstroming moet laag zijn (maximaal 60 meter per jaar);
- de chemische eigenschappen van het water moeten geschikt zijn;
- de warme en koude bron moeten ver genoeg uit elkaar liggen (minimaal 3 keer de thermische straal) om kortsluiting te voorkomen.

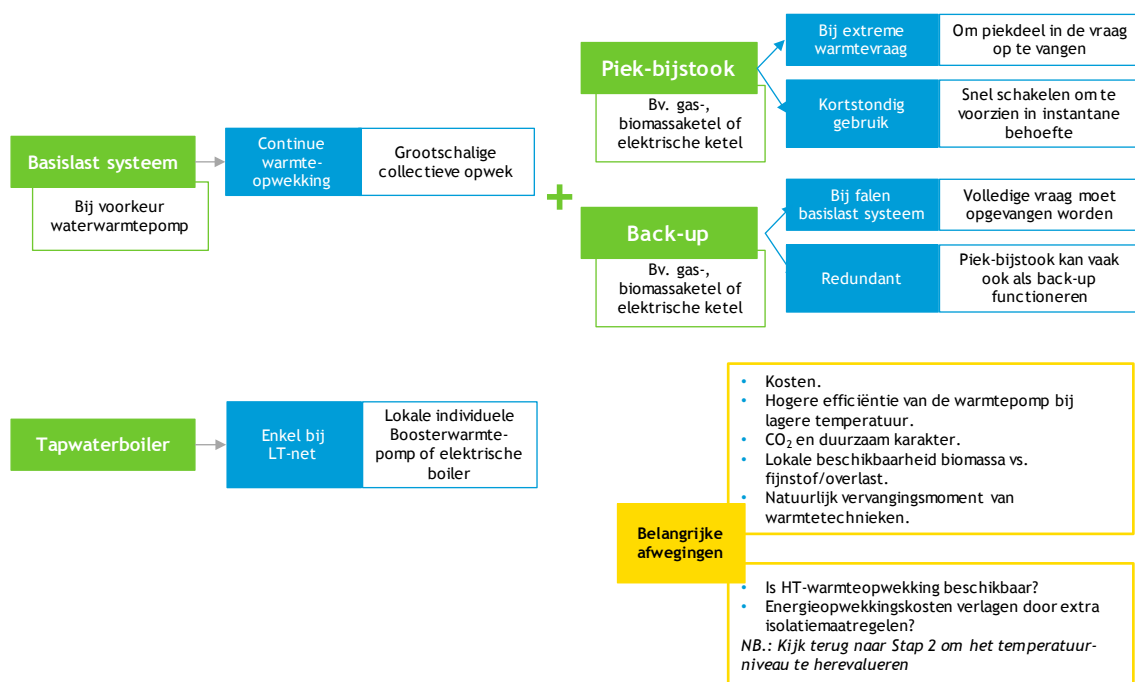
Een WKO is een buffer die al op grote schaal wordt toegepast. Middelhoge temperatuuropslag (30-60°C) en hoge temperatuuropslag (60-90°C) worden nog niet op grote schaal toegepast. HTO is in principe niet toegestaan door de 25°C-grens (Algemene Maatregel van Bestuur Bodemenergie) en het creëren van een warmteoverschot in de ondergrond is ook niet toegestaan. In het verleden zijn bij HTO-projecten technische problemen opgetreden. Er zijn ook kunstmatige buffermogelijkheden ontwikkeld. Deze worden beschreven in Hoofdstuk 5.

TABEL 3 BESLIJKADER BUFFER

Afweging	WKO (open systeem)	Heat pit storage	Buffervat	MTO/HTO ATEs
T-niveau	Brontemperatuur	LT/MT	LT/MT	MT
Schaalgrootte	Kleine buurten tot hele wijken	Enkele woningen tot een kleine buurt	Hele wijken	Kleine buurten tot hele wijken
Bodemgeschiktheid	Open systeem in aquifer	Bijna overal toepasbaar	Bijna overal toepasbaar	Open systeem in aquifer
Onbebouwde ruimte nodig	Beperkt nodig: op één punt boren	Middel tot grote graafwerken	Middel tot grote graafwerken	Beperkt nodig: op één punt boren

### 3.5 STAP 4: WARMTEOPWEKKING

MT-netten hebben altijd een vorm van warmteopwekking nodig om het temperatuurniveau te verhogen. Deze opwekking vindt plaats in een technische ruimte (warmteoverdrachtsstation of energiecentrale).



De warmteopwekking heeft meerdere onderdelen: basislast, pieklast en back-up.

#### BASISLAST

De basislast zorgt ervoor dat het overgrote deel van de warmtevraag kan worden voorzien. De basislast is bij voorkeur een water/water-warmtepomp, welke zowel collectief als individueel kan worden toegepast. De efficiency van een warmtepomp is afhankelijk van de brontemperatuur (aquathermie of buffer) en de leveringstemperatuur aan de woningen. Hoe groter het temperatuurverschil tussen de bron en de leveringstemperatuur, hoe lager de efficiency. Vaak worden meerdere kleinere warmtepompen toegepast.

#### PIEKLAST

Een piekvoorziening wordt ook wel bijstook genoemd. Een piekvoorziening zorgt ervoor dat op de momenten de er veel warmtevraag is (tijdens winterperiode) er voldoende warmte beschikbaar is. Als piekvoorziening kan men denken aan bijvoorbeeld een gasketel, biomassaketel, luchtwarmtepomp of elektrische ketel. Een piekvoorziening gaat vaak gepaard met een

MT-buffervat om de grootste schommelingen op te vangen. De piekvoorziening kan tevens dienen als back-up. De pieklast kan een ontwikkeling in de tijd doormaken. Zo heeft op dit moment een piekvoorziening met een gasketel de laagste kosten. Naar de toekomst toe zal de pieklast kunnen afnemen door verdere isolatie van woningen. Op een moment kan de pieksetel vervangen worden door een duurzame piekvoorziening, zoals een warmtepomp.

### BACK-UP

Er dient altijd een back-upvoorziening aanwezig te zijn. Wanneer bijvoorbeeld een warmtepomp in storing gaat en geen warmte meer kan leveren zal gebruik worden gemaakt van de back-upvoorziening. In de toegepaste aquathermiecases wordt meestal gebruik gemaakt van een gasketel (of houtpallets) als back-upvoorziening. Ook is het mogelijk dat de warmtevraag wordt verdeeld over meerdere warmtepompen, hierdoor zal er bij een onvoorziene gebeurtenis meer van de warmte geleverd kunnen worden door de basislast van het aquathermie-systeem.

Het is bij zowel de piek- als back-upvoorziening van belang te kijken naar het natuurlijk vervangingsmoment van de huidige installatie.

TABEL 4 BESLISKADER WARMTEOPWEKKING

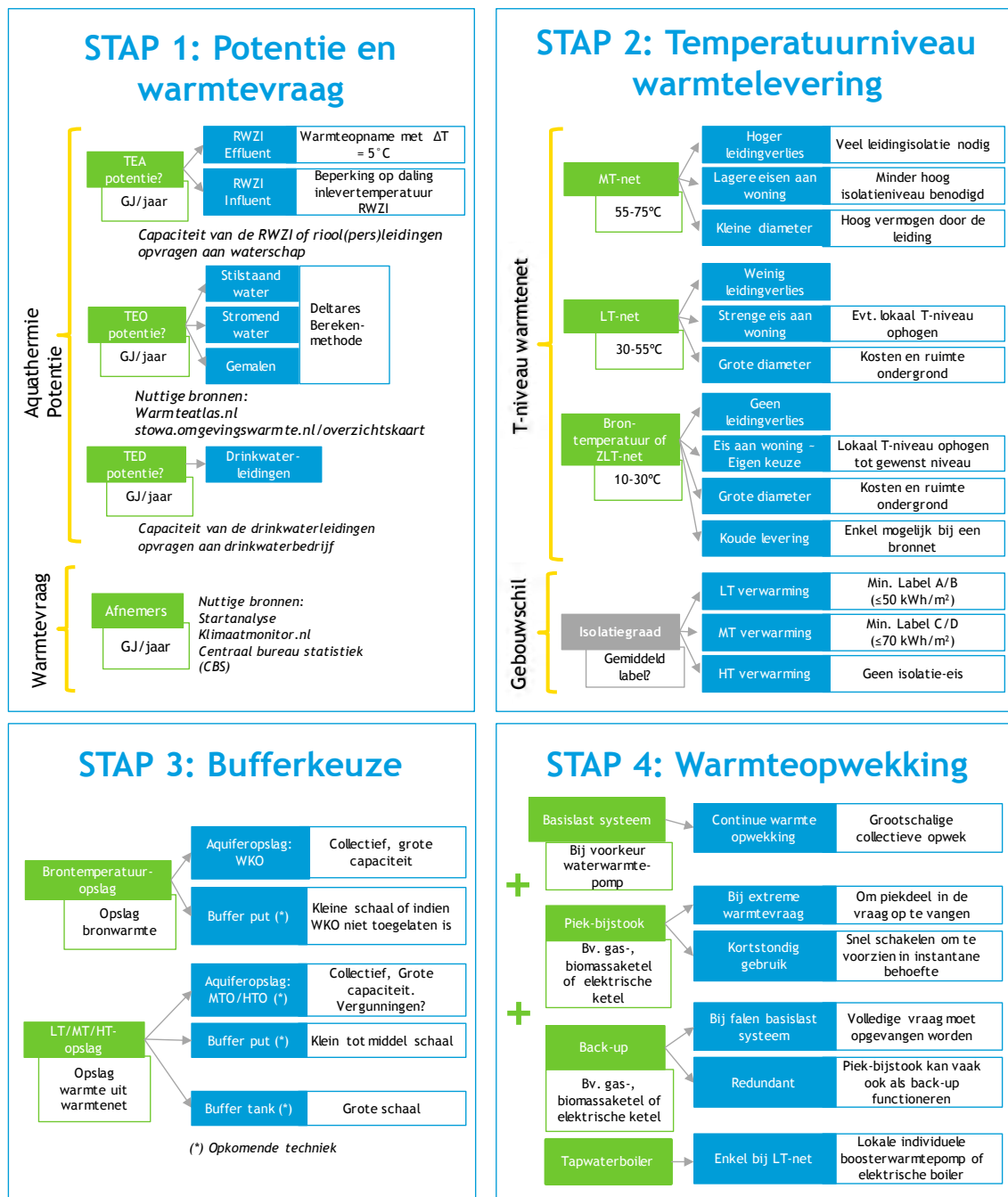
Afweging	Warmtepomp	Gasketel	Biomassaketel
Rendement	Hoge COP: enkele malen hoger dan 100%	Ca. 100%	Ca. 100%
Kostprijs	Hoge investeringskost – lage operationele kost -> nuttig voor continu gebruik als basislast	Lage investeringskost – hogere operationele kost -> nuttig in extreme situatie als piek en back-up	Matige investeringskost – hogere operationele kost -> nuttig in extreme situatie als piek en back-up
Duurzame karakter	Afhankelijke van de huidige elektriciteitsmix in Nederland: verduurzaamt in de toekomst	Aardgas: Fossiele brandstof. Bio/groengas: klimaatneutraal (beperkt beschikbaar).	Afhankelijk van herkomst biomassa verantwoord gebruik (beperkt beschikbaar)
Overig	Laag geluidsniveau; geen overlast		Lokale fijnstofemissies en mogelijk overlast



### 3.6 OVERZICHT BESLISBOOM

Een overzicht van de beslissboom is gegeven in Figuur 7.

FIGUUR 7 OVERZICHT BESLISBOOM

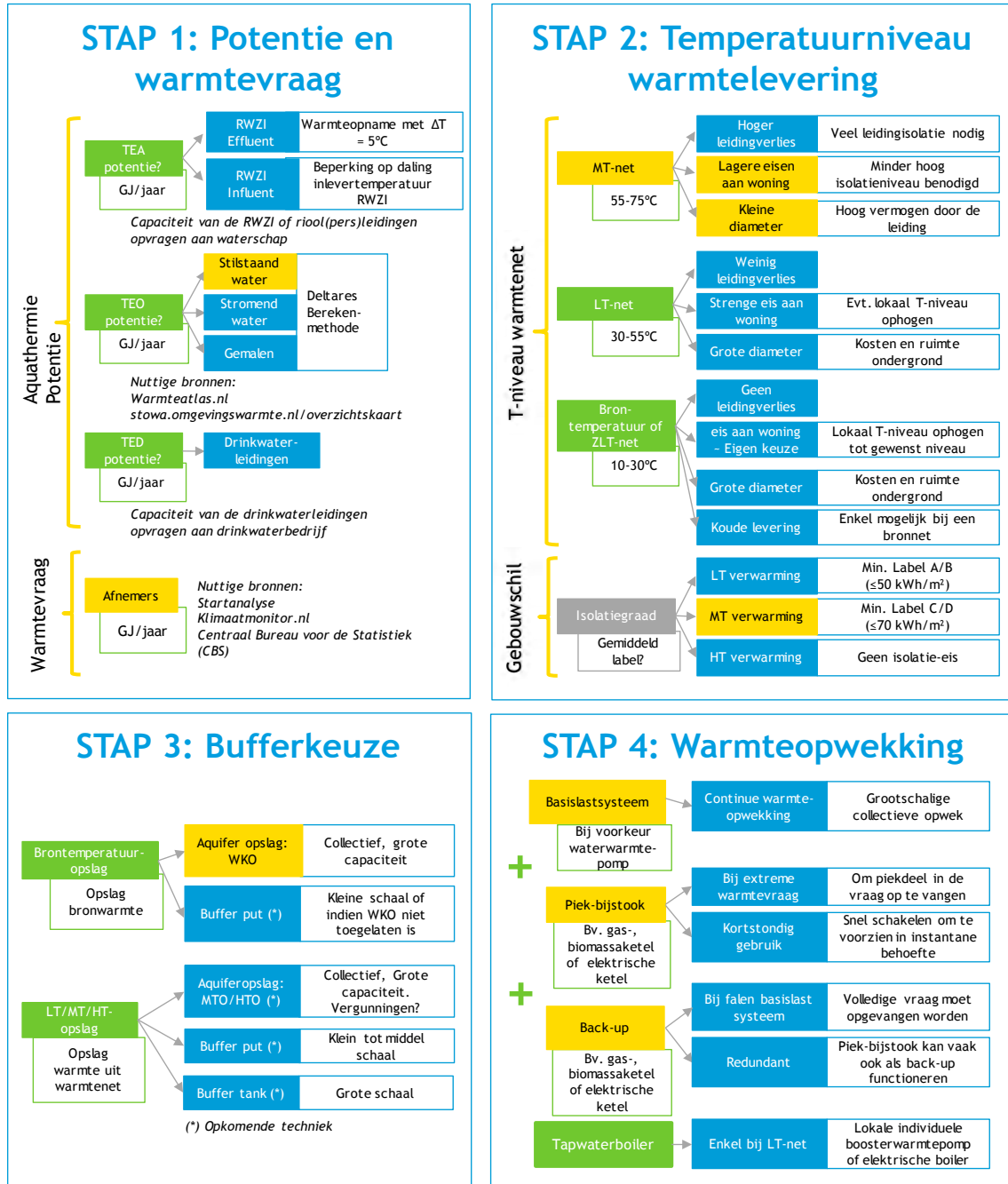


Bij het aaneenschakelen van de stappen en het afwegen van de technische opties zoals beschreven in de voorgaande hoofdstukken, kan worden uitgekomen op de meest kansrijke configuraties voor een aquathermiesysteem in een bepaalde situatie.

In Figuur 8 is een voorbeeld weergegeven van een resultaat van deze determinatieprocedure. De beslissboom wordt in dit voorbeeld als volgt doorlopen:

1. Er is voldoende TEO-potentie uit een grachtencircuit voor de warmtevraag van 500 woningen.
2. De woningen hebben gemiddeld label C en door de smallere straten zijn kleinere leidingdiameters gewenst. Daarom lijkt een MT-net met directe verwarming kansrijk.
3. Bij een TEO-systeem is een WKO bijna altijd nodig.
4. Met een centrale warmtepomp en gasbijstook levert deze warmte op middentemperatuur aan 500 woningen in de omgeving.

FIGUUR 8 VOORBEELD VAN UITKOMST VAN DE BESLISBOOM. DE GEKOZEN OPTIES ZIJN GEEL GEMARKEERD



Zoals reeds eerder is aangegeven in belangrijke afwegingen is een rechtlijnige aanpak niet altijd mogelijk en zal bij belangrijke aanpassingen zoals isolatiemaatregelen teruggekeken moeten worden naar eerdere stappen. Het afwegingskader is een iteratief proces, bijvoorbeeld wanneer isolatiemaatregelen worden toegepast bij woningen zal de warmtevraag van deze woningen afnemen. Daardoor zal de match tussen warmteaanbod en warmtevraag ook veranderen. Kortom, dan is het van belang weer te kijken naar het potentieel van de aquathermiebronnen.

### 3.7 PROCESMATIGE EN ECOLOGISCHE AFWEGINGEN

Bovenstaande bepaling is vooral van systeemtechnische en economische aard. Rekening houden met volgende kwalitatieve elementen biedt extra mogelijkheden en kansen:

- CO<sub>2</sub>-emissies: Bij het overgaan van verwarmen op aardgas op een aquathermiesysteem wordt afgestapt van verbranding van fossiele brandstof in de woning. Afhankelijk van de aquathermieconfiguratie wordt er in het systeem nog gebruik gemaakt van elektriciteit en/of aardgas om de warmte op te waarden. De externe energievraag kan worden beperkt door isolatie van de gebouwen en verlaging van de temperatuur van het net. De emissies kunnen verder naar beneden worden gebracht door de resterende energievraag in te vullen met duurzaam opgewekte elektriciteit.
- Ecologie: Door warmte uit oppervlaktewater te onttrekken kan de waterkwaliteit in de zomer verbeteren. Afkoeling van het oppervlaktewater heeft ook een verkoelend effect voor de omgeving. Denk bijvoorbeeld aan stedelijke buurten in de zomer.
- Betrokkenheid bewoners, aansluitpercentage: aquathermiesystemen gaan gepaard met de aanleg van een nieuw warmtenet. Dit is een volledig nieuwe infrastructuur met hoge investeringen. Hoe meer woningen aangesloten worden op het warmtenet hoe meer deze investeringskosten verdeeld worden. Een hoog aansluitpercentage zorgt dus voor een lagere aansluitbijdrage per woning. Goede betrokkenheid van zowel woningcorporaties en bewoners zorgt ervoor dat het aansluitpercentage toeneemt.
- Meekoppelkansen: Het door aquathermie gevoede warmtenet is een alternatief voor de bestaande gasinfrastructuur. Wanneer de gasleidingen aan vervanging toe zijn kunnen de vervangingskosten van het gasnet benut worden voor de aanleg van een nieuw warmtenet.
- (Realistische) volloop: In bestaande bouw zullen niet alle woningen tegelijk kunnen worden aangesloten. Er moet rekening gehouden worden met een volloopscenario waarbij eerst een deel van de woningen met het warmtenet worden voorzien en geleidelijk meer woningen/gebouwen worden aangesloten.

## 4

## VERGELIJKING VAN CONFIGURATIES

Een aantal verschillende technische configuraties is vergeleken voor twee verschillende voorbeeldbuurten: een stadsbuurt en een dorpsbuurt. De doorgerekende configuraties worden eerst toegelicht. Daarna wordt een beschrijving gegeven van de berekenmethodiek.

Vervolgens wordt de impact van de keuzes weergegeven op een aantal vergelijkingsaspecten:

- totale investeringskosten;
- energiegebruik;
- jaarlijkse energiekosten;
- CO<sub>2</sub>-emissies.

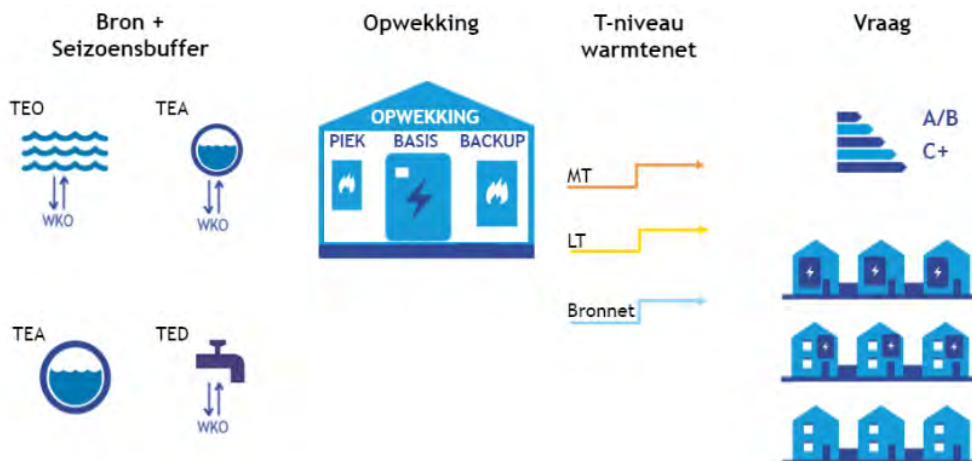
Ten slotte worden andere, niet-kwalitatieve vergelijkingsaspecten besproken.

## 4.1 OVERZICHT VAN GEANALYSEERDE CONFIGURATIES

Een overzicht van de geanalyseerde opties is gegeven in Figuur 9.

FIGUUR 9

OVERZICHT VAN GEANALYSEERDE OPTIES



Voor beide voorbeeldbuurten zijn verschillende combinaties doorgerekend. In totaal zijn zes configuraties doorgerekend aan de vraagzijde:

1. Isolatie niveau C + MT-net.
2. Isolatie niveau C + LT-net.
3. Isolatie niveau C + bronnet.
4. Isolatie niveau A/B + MT-net.
5. Isolatie niveau A/B + LT-net.
6. Isolatie niveau A/B + bronnet.

Deze zijn gecombineerd met vier configuraties aan de bronzijde:

1. TEO + WKO.
2. TEA + WKO.
3. TEA zonder opslag.
4. TED + WKO.

In totaal zijn daarmee per buurt 24 verschillende configuraties vergeleken.

Als er sprake is van centrale opwekking, dus bij MT-net en LT-net, wordt in alle configuraties gebruik gemaakt van een collectieve warmtepomp voor de basislast en een gasketel voor de piekvoorziening. Als er sprake is van opwekking op woningniveau zijn er individuele water/water-warmtepompen nodig in de woning. Bij een bronnet gebeurt de opwek volledig lokaal. Bij een LT-net bij isolatieniveau C is er naast de centrale opwek ook in de woningen een warmtepomp aanwezig. Bij een LT-net is in alle gevallen een extra warmtapwatervoorziening nodig. Dit kan met een elektrische boiler of (booster-)warmtepomp worden voorzien.

#### 4.2 BEREKENINGSMETHODIEK

Een berekening is uitgevoerd voor de 24 configuraties. Er zijn vijf verschillende stappen in de berekening (zie Figuur 10). Iedere stap omvat een techno-economische bepaling van de investeringen en energiekosten, alsook een bepaling van de energieverbruiken en vermogens. Hier is een kort overzicht weergegeven van de berekeningsmethode, in Bijlage B is een uitgebreidere toelichting opgenomen. De pijlen in de figuur volgen de flow van warmte vanuit de aquathermiebron tot in de woning.

FIGUUR 10 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE REKENSTAPPEN



Waar mogelijk is gebruik gemaakt van de berekeningsmethodiek van het Functioneel Ontwerp VESTA (CE Delft, 2019). Deze methodiek volgt dezelfde techno-economische bepalingen als gehanteerd in de Startanalyse v0.8 van het Planbureau voor de Leefomgeving. Een uitzondering is de woningisolatie. In de Startanalyse 0.8 wordt aangenomen/door gerekend dat alle woningen minimaal worden geïsoleerd naar label B.

In deze analyse worden ook configuraties door gerekend met een isolatieniveau C/D, omdat woningen met dit isolatieniveau met een MT-net verwarmd kunnen worden zonder verdere isolatiemaatregelen.

Deze studie heeft als doel om de verschillende configuraties op eerdergenoemde aspecten ten opzichte van elkaar af te wegen. Een volledige businesscase bepaling of total cost of ownership (TCO) berekening is niet aan de orde. De jaarlijkse periodieke kosten zijn beperkt tot de variabele energiekosten. Hierin zit dus geen herinvestering van installaties of O&M. De investeringskosten omvatten alle investeringen gelinkt aan de verwarming, gaande van de uitkoppelingskosten van de bron tot de warmteafleverzet in de woning en eventuele aanpassingen aan afgiftesysteem en isolatie.

Naast de techno-economische factoren is ook gekeken naar de milieu-impact. Zo zijn de CO<sub>2</sub>-emissies bepaald op basis van gas- en elektriciteitsverbruik met behulp van emissiecoëfficiënten (CO<sub>2</sub> emissiefactoren, 2020). Deze worden weergegeven ten opzicht van de huidige CO<sub>2</sub>-emissies, namelijk verwarmen met de hr-Ketel. De impact van isolatiemaatregelen, vermindering van de CO<sub>2</sub>-emissies wordt ook voor de referentie met de hr-ketel in rekening gebracht.

### 4.3 RESULTATEN STADSKUUR

#### BESCHRIJVING VAN DE BUURT

Voor de berekening hebben we een fictieve stadsbuurt aangenomen van 500 woningen, bestaande uit een combinatie van 400 portiekwoningen en 100 rijtjeswoningen. Per portiekwoning zijn er twee portiekwoningen aanwezig, één op de begane grond en één op de hogere etages. De woningen zijn gebouwd in de jaren 30, maar zijn intussen voldoende geïsoleerd tot en met label C zodat zij op MT-niveau verwarmd kunnen worden.

Deze fictieve stadsbuurt is losjes gebaseerd op de Vruchtenbuurt in Den Haag. Een buurtoppervlak van 8,5 ha geldt voor deze 500 woningen, geschaald op basis van CBS-gegevens voor de Vruchtenbuurt 2018.

FIGUUR 11 TYPISCHE WONINGEN IN VOORBEELDBUURT STAD. LINKS: HAAGSE PORTIEKWONING. RECHTS: RVO-VOORBEELDWONINGEN, 2011



#### VERGELIJKING CONFIGURATIES

De totale warmtevraag, vermogen van het distributienet, totale investeringen, elektriciteitsverbruik en CO<sub>2</sub>-emissies voor alle 24 configuraties zijn gegeven in de volgende tabellen en figuren.

TABEL 5 THERMISCHE WARMTEVRAAG WONINGEN EN WARMTENETVERMOGEN PER CONFIGURATIE

	MT-net		LT-net		BronT-net	
	Woningen label A/B	Woningen label C	Woningen label A/B	Woningen label C	Woningen label A/B	Woningen label C
Warmtevraag (GJ)	9.334	11.768	9.334	11.768	9.334	11.768
Gelijktijdig vermogen warmtenet (MW)	1,7	2,4	1,7	1,9	1,2	1,5

TABEL 6 TOTALE INVESTERING PER CONFIGURATIE IN MILJOEN EURO

	MT-net		LT-net		BronT-net	
	Woningen label A/B	Woningen label C	Woningen label A/B	Woningen label C	Woningen label A/B	Woningen label C
TEA excl. WKO	11,8	7,4	13,8	10,8	14,4	10,4
TEA incl. WKO	12,0	7,6	14,0	11,0	14,6	10,6
TEO incl. WKO	12,0	7,6	14,0	11,0	14,6	10,6
TED incl. WKO	11,9	7,6	13,9	11,0	14,5	10,5

TABEL 7 ELEKTRICITEITSVERBRUIK VAN DE WARMTEPOMPEN (WP) IN GJ

	MT-net		LT-net		BronT-net	
	Woningen label A/B	Woningen label C	Woningen label A/B	Woningen label C	Woningen label A/B	Woningen label C
WoningWP/warmwaterWP	0	0	677	2.462	2.853	4.366
WP TEA excl. WKO	3.307	4.169	2.269	2.439	0	0
WP TEA incl. WKO	3.307	4.169	2.269	2.439	0	0
WP TEO incl. WKO	3.006	3.790	1.973	2.121	0	0
WP TED incl. WKO	3.207	4.043	2.170	2.333	0	0

Het totale elektriciteitsverbruik is de optelsom van het elektriciteitsverbruik in de woning (warmtepomp voorruimteverwarming en/of warmtepomp voor warmtapwater) en het elektriciteitsverbruik voor de collectieve warmtepomp van de desbetreffende aquathermieconfiguratie.

De resultaten laten zien dat de keuzes aan de vraagzijde (isolatie- en temperatuurniveau) een veel grotere invloed hebben op de kosten en verbruiken dan de keuzes aan de bronzijde.

Tabel 7 laat zien dat het totale elektriciteitsverbruik het laagst is bij een bronnet met label A/B. Dat komt doordat door isolatie het meeste energie is bespaard, en in het bronnet het minste verlies optreedt.

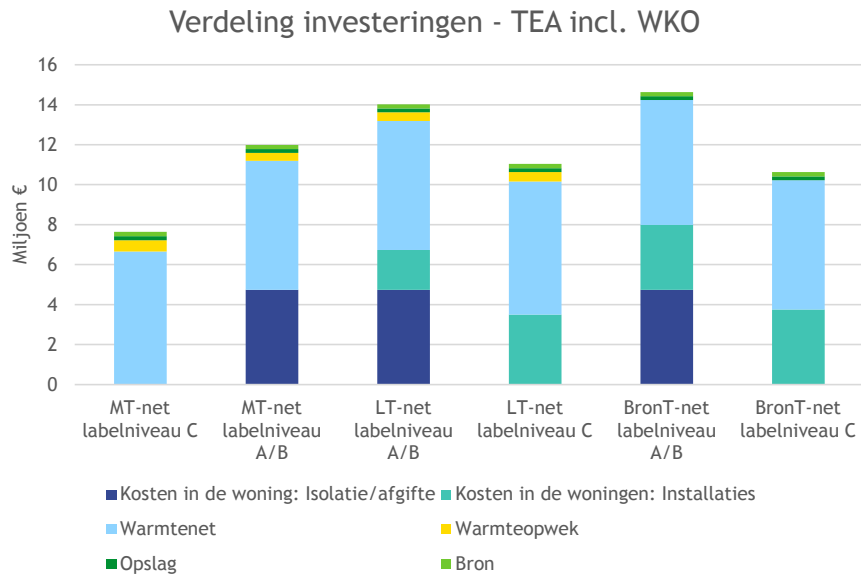
Over het algemeen kan gesteld worden dat het elektriciteitsverbruik lager is bij de beter geïsoleerde woningen omwille van een lagere warmtevraag en omwille van een lagere afgifte-temperatuur waardoor de SPF van de warmtepompen verbetert.

In Figuur 12 is de verdeling gegeven van de investeringskosten over de verschillende kostenposten (uitkoppeling, buffer, opwekking, warmtenet, woninginstallaties, woningisolatie en afgifte) voor configuraties met TEA met WKO als bron. Hierin is te zien dat de investeringen in het warmtenet en in de woning relatief een veel grotere bijdrage hebben dan de investeringen in de bron, opslag en opwekking. De bron, opslag en opwekking hebben een geringe invloed op de investering.

De configuratie MT-net met label C heeft de laagste investeringskosten. Dit komt doordat er de minste kosten gemaakt worden in de woning.

FIGUUR 12

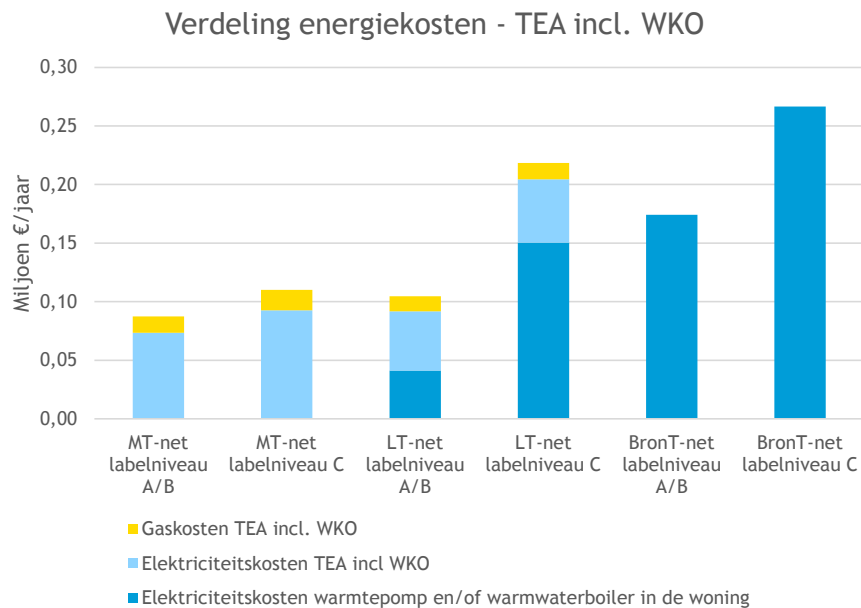
VERDELING VAN INVESTERINGEN VOOR DE ZES VRAAGZIJDENCONFIGURATIES VOOR TEA MET WKO



Figuur 13 laat de energiekosten zien. Deze zijn afhankelijk van de energieverbruiken in Tabel 7, maar zijn bovendien nog sterker beïnvloed door de gehanteerde elektriciteitsprijs. In een woning geldt het kleinverbruikerstarief. Dit tarief ligt een stuk hoger dan het zakelijk elektriciteitstarief voor de centrale opwek. Daarom zijn, ondanks een hoger energieverbruik dan bij een LT- of bronnet, toch de laagste energiekosten voor het MT-net met label A/B.

FIGUUR 13

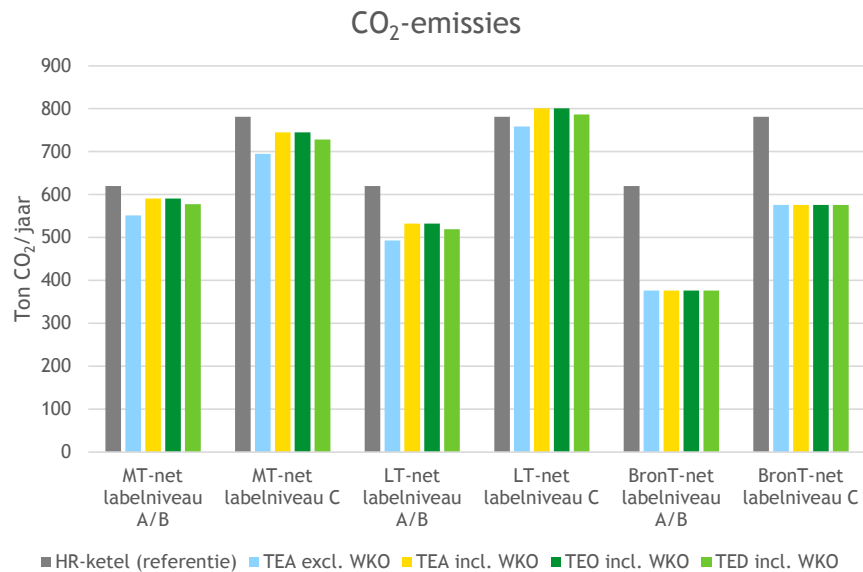
VERDELING VAN DE VARIABLE ENERGIEKOSTEN VAN DE ZES VRAAGCONFIGURATIES VOOR TEA MET WKO



In Figuur 14 worden de CO<sub>2</sub>-emissies weergegeven voor enerzijds de bestaande hr-ketel als referentie voor de woonwijk en anderzijds de potentiële aquathermieconfiguraties. Er is te zien dat de CO<sub>2</sub>-besparing, omwille van het lage energieverbruik, het hoogst is bij een bronnet met label A/B. Er valt op te merken dat er weinig onderscheid is tussen de verschillende bronconfiguraties.



FIGUUR 14

CO<sub>2</sub>-EMISSIES PER CONFIGURATIE (EMISSIEKANTALLEN 2020)

Een belangrijke vermelding is dat de emissies sterk afhankelijk zijn van de huidige Nederlandse elektriciteitsmix. Deze elektriciteitsmix zal sterk verduurzamen richting 2030. Volgens de Klimaat- en Energieverkenning (KEV) zal de CO<sub>2</sub>-emissiefactor van elektriciteit in Nederland dalen van 0,58 kg/kWh in 2020 tot 0,28 kg/kWh in 2030 (PBL, 2019).

#### 4.4 RESULTATEN DORPSBUURT

##### BESCHRIJVING VAN DE BUURT

Een fictieve dorpsbuurt is aangenomen van 500 woningen, meer bepaald een combinatie van 200 vrijstaande woningen en 300 rijwoningen. De woningen zijn gebouwd in de jaren 70, maar zijn intussen voldoende geïsoleerd tot en met label C zodat zij op MT-niveau verwarmd kunnen worden.

Deze fictieve dorpsbuurt is losjes gebaseerd op Rijnsaterwoude in Kaag en Braassem. Een buurtoppervlak van 22,5 ha geldt voor deze 500 woningen.

FIGUUR 15

TYPISCHE WONINGEN IN VOORBEELDBUURT DORP. RVO-VOORBEELDWONINGEN, 2011



**VERGELIJKING CONFIGURATIES**

De resultaten van de doorrekening van de 24 configuraties zijn in volgende tabellen gegeven.

**TABEL 8 THERMISCHE WARMTEVRAAG WONINGEN EN WARMTENETVERMOGEN PER CONFIGURATIE**

	MT-net		LT-net		BronT-net	
	Woningen label A/B	Woningen label C	Woningen label A/B	Woningen label C	Woningen label A/B	Woningen label C
Warmtevraag (GJ)	10.518	14.725	10.518	14.725	10.518	14.725
Gelijktijdig vermogen net (MW)	2,1	3,0	2,1	2,3	1,5	1,9

**TABEL 9 INVESTERING PER CONFIGURATIE IN MILJOEN EURO**

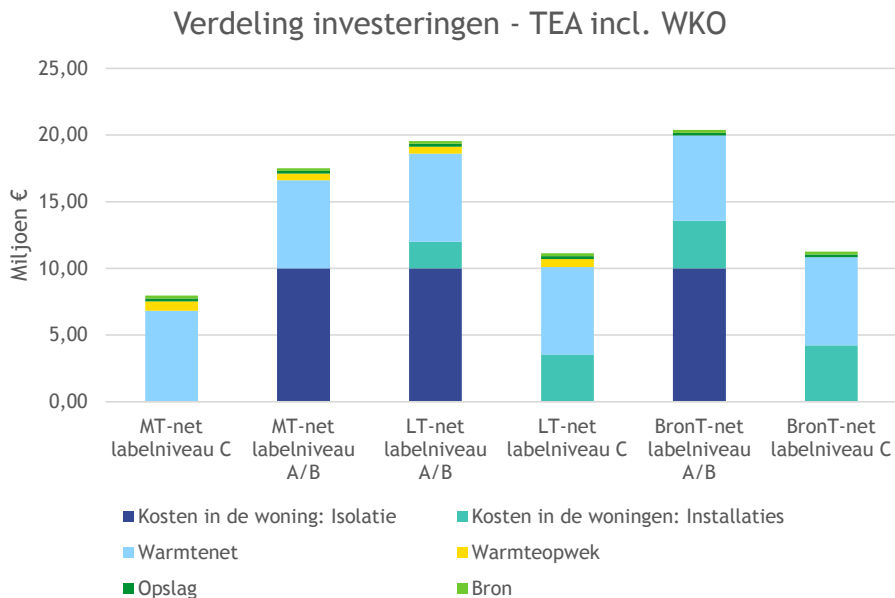
	MT-net		LT-net		BronT-net	
	Woningen label A/B	Woningen label C	Woningen label A/B	Woningen label C	Woningen label A/B	Woningen label C
TEA excl. WKO	17,3	7,8	19,3	10,9	20,2	11,1
TEA incl. WKO	17,5	8,0	19,6	11,1	20,4	11,3
TEO incl. WKO	17,5	8,0	19,5	11,1	20,4	11,2
TED incl. WKO	17,4	7,9	19,5	11,1	20,3	11,2

**TABEL 10 ELEKTRICITEITSVERBRUIK VAN DE WARMTEPOMPEN (WP) IN MWH**

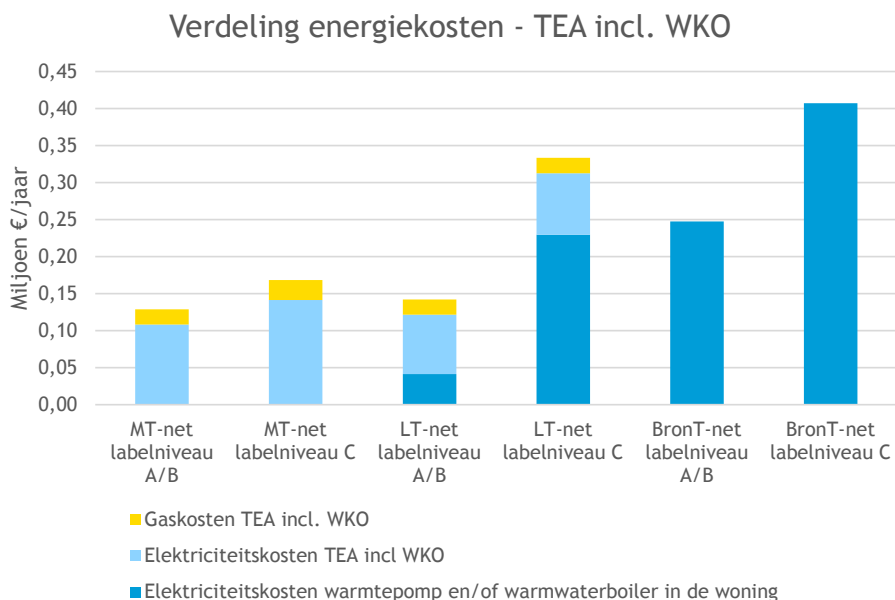
	MT-net		LT-net		BronT-net	
	Woningen label A/B	Woningen label C	Woningen label A/B	Woningen label C	Woningen label A/B	Woningen label C
woningWP/ warmwaterWP	0	0	188	1.045	1.126	1.853
WP TEA excl. WKO	1.355	1.769	1.002	1.035	0	0
WP TEA incl. WKO	1.355	1.769	1.002	1.035	0	0
WP TEO incl. WKO	1.232	1.608	872	900	0	0
WP TED incl. WKO	1.314	1.715	959	990	0	0

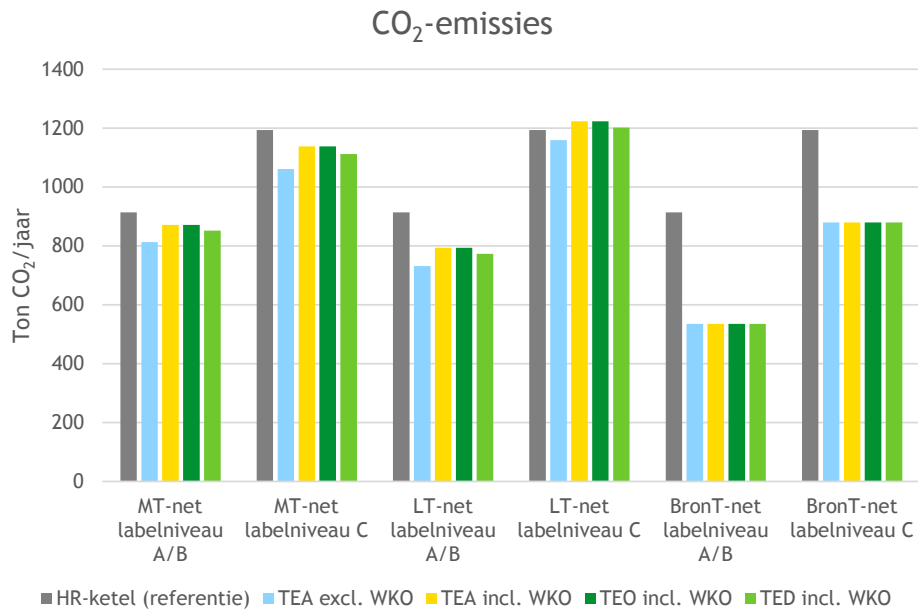
Het totale elektriciteitsverbruik is de optelsom van het elektriciteitsverbruik in de woning (warmtepomp voorruimteverwarming en/of warmtepomp voor warmtapwater) en het elektriciteitsverbruik voor de collectieve warmtepomp van de desbetreffende aquathermieconfiguratie.

FIGUUR 16 VERDELING INVESTERINGEN TEA MET WKO



FIGUUR 17 VERDELING VAN DE VARIABLE ENERGIEKOSTEN VAN DE 6 VRAAGCONFIGURATIES VOOR TEA MET WKO



FIGUUR 18 CO<sub>2</sub>-EMISSIES PER CONFIGURATIE (EMISSIEKENTALLEN 2020)

Net als in de stadsbuurt zijn de investeringskosten, elektriciteitsverbruik en CO<sub>2</sub>-besparing sterk afhankelijk van door de configuratie aan de vraagzijde. De kosten liggen in de dorpsbuurt iets hoger omdat de isolatiekosten hoger zijn voor deze woningtypen (grotere woningen, vrijstaande bebouwing). Daarnaast zijn de kosten van het warmtenet iets hoger omdat de woningen verder uit elkaar liggen, ondanks dat de kosten per meter tracé lager liggen in de dorpsbuurt.

#### 4.5 ANDERE ASPECTEN

Naast de kwantitatieve aspecten, verschillen de configuraties ook op kwalitatieve aspecten.

- **Comfort:** Onder comfort kunnen verschillende dingen verstaan worden. Met verwarming op middentemperatuur wordt een koude woning sneller warm. Daarnaast is een beter geïsoleerde woning (met de juiste ventilatie) in het algemeen comfortabeler dan een minder goed geïsoleerde woning.
- **Gedoe:** Bij een beter isolatieniveau moet er meer in de woning gebeuren.
- **Ruimte in de woning:** Bij een MT-net is er geen warmtepomp of buffervat nodig in de woning dus wordt er minder ruimte gebruikt dan bij een hr-ketel. Bij een LT-net en bronnet is er meer ruimte nodig.
- **Verzwarende elektriciteitsaansluiting en elektriciteitsnet:** Bij een bronnet en LT-net waar individuele warmtepompen worden gebruikt om de warmte op te waarden, is er mogelijk een hogere capaciteit nodig. Het kan dat daarvoor het elektriciteitsnet moet worden verzaamd.
- **Ruimte in ondergrond:** In principe is bij een bronnet een grotere buis nodig dan bij een MT-net, maar bij een MT-net moet deze beter worden geïsoleerd. Ruimte in de ondergrond kan beperkt zijn, bijvoorbeeld in oude stadswijken.
- **Ruimte in de wijk:** Bij collectieve opwaardering van warmte is er een warmtestation in de wijk nodig. Daar moet ruimte voor zijn.
- **Afstand tot de bron:** Bij een grotere afstand tot de bron kan er meer warmteverlies optreden. Bij de lage temperatuur van aquathermie is dit verlies echter beperkt.

- Spreiding van de isolatieniveaus binnenin een buurt: Een combinatie van goed geïsoleerde woningen en slecht geïsoleerde woningen zorgt voor een complexere case. Vanuit energetisch oogpunt is het voor goed geïsoleerde woningen het efficiëntst om op lage temperatuur of brontemperatuur de warmte te verdelen; zie Tabel 7 en 10. Vanuit investeringsperspectief zien we in Tabel 6 en Tabel 9 dat er grote investeringskosten gepaard gaan om minder goed geïsoleerde woningen geschikt te maken voor lage temperatuurverwarming. Hier biedt opwek naar hogere temperaturen met een warmtepomp in de woning mogelijkheden, zij het met substantiële investeringskosten voor de aanschaf van warmtepompen, zie Figuur 12 en Figuur 16, en een hoog lokaal elektriciteitsverbruik, zie Tabel 7 en 10. Daarnaast dient er ook rekening gehouden te worden met de andere afwegingen die zijn uitgelegd in Stap 2 van de Beslisboom. In de praktijk zal in een gemengde wijk het optimum voor een temperatuurniveau afhangen van hoeveel woningen al goed geïsoleerd zijn en in hoeverre er bereidheid en draagkracht is om de overige woningen aan te passen (ofwel met een warmtepomp ofwel door isolatiemaatregelen).

# 5

## INNOVATIE

Naast de technische opties die uitgebreid zijn beschreven en kwantitatief zijn beschouwd, zijn er ook steeds meer (realistische) innovatieve opties beschikbaar. Deze specifieke producten zijn niet kwantitatief beschouwd, maar worden hier kwalitatief beschreven.

### 5.1 WARMTEWISSELAARS

Innovatieve warmtewisselaars maken het winnen van warmte uit oppervlaktewater of afvalwater makkelijker en efficiënter.

#### THERMOGENIUS

De ThermoGenius™ van INDURIO is een waterwarmtewisselaar en kan worden toegepast in stilstaand en stromend oppervlaktewater. De ThermoGenius wordt in Nederland al toegepast. De warmtewisselaar is voornamelijk geschikt op individuele schaal, met name voor woonboten en woningen op en nabij het water. De huidige ThermoGenius is geschikt voor wateren met een minimale diepte van 3 meter. Er wordt ook ontwikkeld om de ThermoGenius geschikt te maken voor ondiepere oppervlaktewateren. (Bron: indurio.nl)

FIGUUR 19

ONTWERP VAN EEN THERMOGENIUS



Er kan ook energie worden gewonnen uit zowel oppervlaktewater als grondwater door middel van een warmtewisselaar in een damwand.

#### OMSCHRIJVING ENERGIE DAMWAND VAN WEBSITE

*Energiewinning uit kadeconstructies kan op een diepte van maximaal 25 meter.*

*Toepasbaar als energiebron om individuele objecten als gebouwen, etc. met behulp van een warmtepomp te verwarmen en/of koelen, maar ook in te zetten als thermische energiebron voor laagtemperatuur-warmtenetten of passief verwarmen van wegen en brugdekken.*

*Bron: indurio.nl*

FIGUUR 20

SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN EEN THERMOGENIUS IN EEN KADECONSTRUCTIE (BRON: INDURIO)



## 5.2 BUFFER

HoCoSto en Ecovat zijn voorbeelden van innovatieve buffers die op hogere temperatuur warmte opslaan. Hierdoor kan de buffer ná de collectieve warmtepomp worden ingezet. Op deze manier kan de warmtepomp aanbodgestuurd worden geopereerd. Dit houdt in dat de warmtepomp wordt ingezet op het moment dat er pieken zijn in elektriciteitsproductie uit wind en zon. Het warmtesysteem kan zo pieken in het elektriciteitssysteem opvangen. De buffer wordt hiermee ingezet als kortere termijn (dag/week) opslag, in plaats van of in aanvulling op de seizoensopslag in WKO.

### HOCOSTO

HoCoSto® (Hot Cold Storage) is een vorm van heat pit storage. In volgend tekstkader wordt de omschrijving van de productwebsite gegeven.

#### OMSCHRIJVING HOCOSTO VAN WEBSITE

*De uitvinding bestaat uit een eenvoudige opslagconstructie voor het bufferen van seizoenswarmte (STES).*

*De buffer ontvangt in de zomer warmte en geeft deze warmte in de winter terug aan conventionele verwarmings- en warmwatersystemen. HoCoSto buffert in de zomer zonne-energie in een ondergrondse opslag in de vorm van voelbare warmte voor gebruik in de winter. Het gedraagt zich als een enorme zonneboiler en de meeste standaardregelaars kunnen meerdere ketels in een systeem aan. Daarom is er geen extra apparatuur nodig om te integreren in een standaard zonne-installatie.*

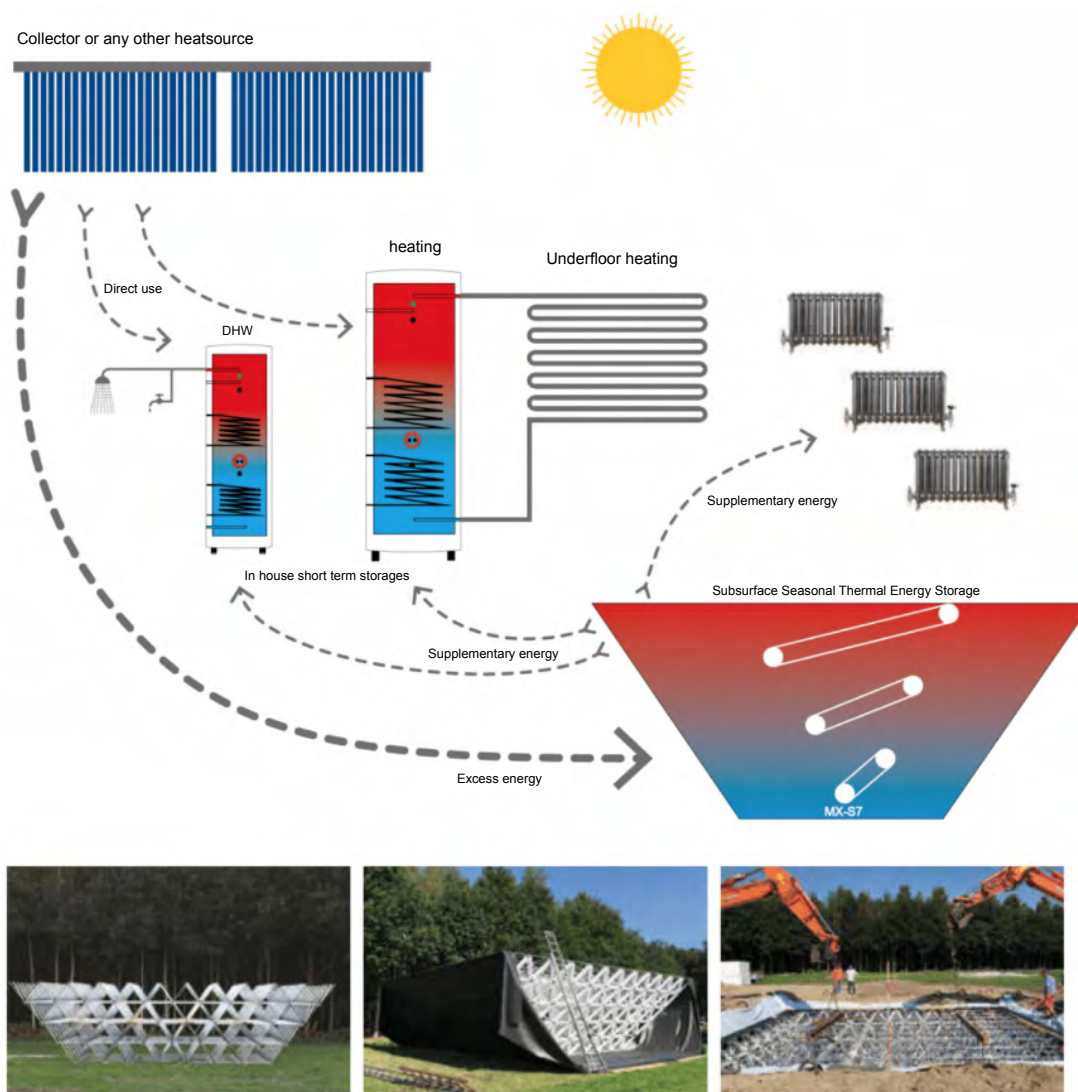
*De berging heeft niet veel ruimte nodig en kan gemakkelijk onder een parkeerplaats, speeltuin of gazon worden geplaatst zonder de functionaliteit van dit gebied te verliezen. Het opladen van de warmteopslag kan op veel manieren gebeuren omdat er meerdere technologieën zijn om warmte op te wekken. Zonne-warmtepijpen zijn de meest waarschijnlijke bron, maar men kan ook afvalwarmte van airconditioningsystemen gebruiken, of proceswarmte van fabrieken.*

*De STES bevindt zich in een gesloten circuit met de opwekbron, met andere woorden: het water dat in de unit zit, blijft binnen. De constructie van de opslag zal ondergronds zijn en kan een wieldruk van 5 ton per wiel aan. Daarom kan het in bijna elk gebied worden geïnstalleerd zonder ruimteverlies.*

*De HoCoSto-opslag is modulair en kan ter plaatse worden gemonteerd”.*

Bron: HoCoSto product

FIGUUR 21 SCHEMATISCHE WEERGAVE EN PRAKTIJKFOTO'S VAN EEN HOCOSTO. (BRON: HOCOSTO)



## ECOVAT

Een Ecovat® is een buffervat. In volgend tekstkader wordt de omschrijving van de productwebsite gegeven.

### OMSCHRIJVING ECOVAT VAN WEBSITE

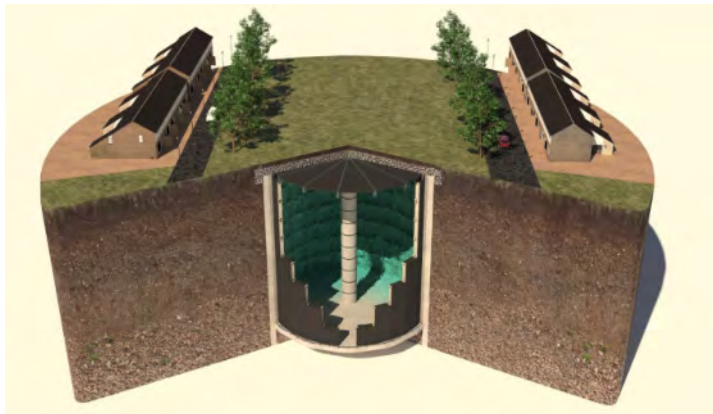
“Het Ecovat® is een groot ondergronds buffervat gevuld met water, geschikt voor seizoensopslag. Warmte en koude worden via de wand door geleiding aan het vat toegevoegd of onttrokken. Bij een warmteopslag in water van 90 °C, heeft het systeem over zes maanden minder dan tien procent energieverlies. Ecovat wordt gebouwd op basis van het ‘vat in vat’ principe. De constructie bestaat uit een betonnen buitenvat met daarin een sterk geïsoleerd binnenvat. Met warmtewisselaars aan de wand kan warmte aan het vat worden onttrokken of toegevoegd. Warmte in het vat kan op verschillende temperaturen worden gebracht”.

Bron: Ecovat homepage



FIGUUR 22

VISUALISATIE VAN EEN ECOVAT



### 5.3 WARMTENET

#### FLEXYNET

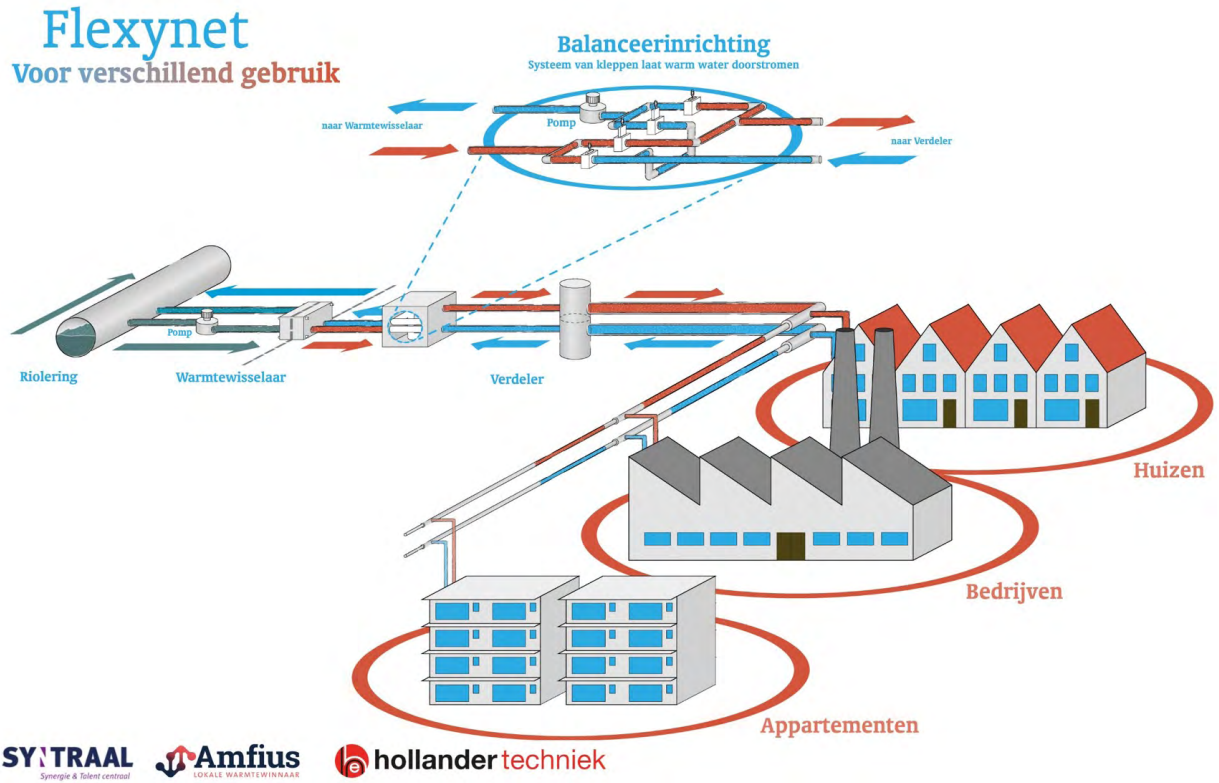
Met het Flexynet kan warmte en koude uitgewisseld worden tussen diverse partijen zoals bedrijven, fabrieken en woonwijken. Hierdoor kan energie worden bespaard. In volgend tekst-kader wordt de omschrijving van de productwebsite gegeven.

#### OMSCHRIJVING FLEXYNET VAN WEBSITE

*“Flexynet werkt met twee transportleidingen: een warme (rood) en een koude (blauw). Het water wordt bij de gebruikers gepompt in één van de twee transportleidingen door middel van hun eigen warmtepomp. Wanneer gebruiker 1 warmte nodig heeft, wordt het water uit de warme leiding gehaald. Gebruiker 1 koelt het water af waarna het water terugstroomt in de koudere leiding. Gebruiker 3, die koude nodig heeft, krijgt water uit de koude leiding. De gebruiker warmt het water op en vervolgens stroomt het terug in de warme leiding. Hiermee is de cirkel gesloten. Wanneer na uitwisseling toch een tekort bestaat op het net, levert een bron de benodigde warmte of koude tot er weer balans is. Wanneer een gebruiker meer warmer of kouder water nodig heeft dan beschikbaar op het Flexynet, kan deze de warmte of koude opwaarderen naar de gewenste temperatuur met een warmtepomp”.*

*(bron : Flexynet : De werking)*

FIGUUR 23 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN EEN FLEXYNET



# 6

## REFERENTIES

AT Osborne & IF technology, 2019. *Haalbaarheidsstudie TEO in Kaag en Braassem*, Baarn ; Arnhem: AT Osborne & IF technology.

Berenschot, 2019. *Routekaart voor CO<sub>2</sub>-reductie in de technologische industrie*, Berenschot Groep B.V., Utrecht

CE Delft, 2019. *Functioneel Ontwerp Vesta 4.0*, CE Delft, Delft

CO<sub>2</sub> emissiefactoren, 2020. *Lijst CO<sub>2</sub> emissiefactoren*. [Online]  
Available at: <https://www.co2emissiefactoren.nl/lijt-emissiefactoren/>

IF Technology, 2019a. *Kengetallen Aquathermie*, Arnhem: IF Technology.

IF Technology, 2019b. *Business case integrale aanpak TEO en klimaatadaptatie in Amersfoort Schothorst*, Arnhem: IF Technology.

IF Technology, 2019c. *Haalbaarheidsstudie TEO TED en Geothermie-retour Vruchtenbuurt in Den Haag*, Arnhem: IF Technology.

Liander, 2018. *Potentiële energiebesparing na isolatiemaatregelen (intern memo)*. [geen uitgever]

Merosch, 2020. *Isolatiepakketten ten behoeve van CEGOIA model*. Bodegraven: Merosch.

PBL, 2019. *Klimaat- en Energieverkenning 2019*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).

STOWA, 2018. *Handreiking Aquathermie: Hoe gaan we verder met TEO en TEA?*, Amersfoort: STOWA.

Syntraal, 2019. *Haalbaarheid riothermie De Zefier, gemeente Velsen*. Deventer: Syntraal.

Syntraal, 2020. *Warmtenet Kerschoten, Haalbaar en betaalbaar?*. Deventer: Syntraal.

**BIJLAGE A**

# SAMENSTELLING BEGELEIDINGSKOMMISSIE

De begeleidingskommissie voor deze studie bestond uit:

- Lex Bosselaar, RVO;
- Harry de Brauw, Waternet;
- Lisa Haenitsch-Saxe, gemeente Den Haag;
- Reinier Romijn, Unie van Waterschappen;
- Barry Scholten, Ennatuurlijk;
- Ghada Sukkar, Waterschap Vallei en Veluwe;
- Pauline Tiecken, gemeente Apeldoorn;
- Teun Vercauteren, Eteck;
- Cees de Wit, Netwerk Aquathermie.

**BIJLAGE B**

# TOELICHTING OP BEREKENINGEN

In deze bijlage worden de berekeningen toegelicht.

**B1 VRAAGZIJDDE**

Uitleg voor de verschillende vraagzijdevarianten die worden doorgerekend is op de volgende bladzijde weergegeven.

	<b>MT-label C (Base case)</b>	<b>MT-label A/B</b>	<b>LT-label A/B</b>	<b>LT-label C + WP</b>	<b>BronT-label A/B + WP</b>	<b>BronT-label C + WP</b>
T-niveau (net)	De temp. waarop het warmtenet opereert is MT (ca. 70°C).	De temp. waarop het warmtenet opereert is MT (ca. 70°C).	De temp. waarop het warmtenet opereert is LT (ca. 50°C).	De temp. waarop het warmtenet opereert is LT (ca. 50°C).	De temp. waarop het warmtenet opereert is BronT (ca. 15°C).	De temp. waarop het warmtenet opereert is BronT (ca. 15°C).
T-niveau (levering in huis)	De temp. in huis is dezelfde als de temp. in het warmtenet, MT.	De temp. in huis is dezelfde als de temp. in het warmtenet, MT.	De temp. in huis is dezelfde als de temp. in het warmtenet, LT.	De temp. van het net wordt lokaal op woningniveau met behulp van een warmtepomp opgehoogd. Van LT-warmte naar MT-warmte.	De temp. van het net wordt lokaal op woningniveau met behulp van een warmtepomp opgehoogd. Van BronT-warmte naar MT-warmte.	De temp. van het net wordt lokaal op woningniveau met behulp van een warmtepomp opgehoogd. BronT-warmte naar MT-warmte.
Isolatie	Isolatie tot label C is noodzakelijk om de woning op MT te verwarmen.	Isoleren tot label A/B is beter dan noodzakelijk om de woning op MT te verwarmen en reduceert de warmtevraag van de woning verder.	Isolatie tot label A/B is noodzakelijk om de woning op LT te verwarmen.	Isolatie tot label C is noodzakelijk om de woning op MT te verwarmen.	Isolatie tot label A/B is noodzakelijk om de woning op LT te verwarmen.	Isolatie tot label C is noodzakelijk om de woning op MT te verwarmen.
Tapwater	Het MT-net is in staat om ook warmtapwater te voorzien.	Het MT-net is in staat om ook warmtapwater te voorzien.	Het LT-net is niet in staat om warmtapwater te voorzien. Hiervoor is een extra boiler voor nodig.	Het LT-net is niet in staat om warmtapwater te voorzien. Hiervoor kan gerekend worden op een warmwatervoorziening in de warmtepomp.	Het BronT-net is niet in staat om warmtapwater te voorzien. Hiervoor kan gerekend worden op een warmwatervoorziening in de warmtepomp.	Het BronT-net is niet in staat om warmtapwater te voorzien. Hiervoor kan gerekend worden op een warmwatervoorziening in de warmtepomp.
Warmtepomp (COP is afhankelijk van T-niveau)	Geen lokale warmtepomp is nodig.	Geen lokale warmtepomp is nodig.	Geen lokale warmtepomp is nodig.	De warmtepomp waardeert warmte op van LT-warmte naar MT-warmte. Dit gebeurt met een hoge COP.	De warmtepomp waardeert warmte op van BronT-warmte naar MT-warmte. Dit gebeurt met een lage COP.	De warmtepomp waardeert warmte op van BronT-warmte naar MT-warmte. Dit gebeurt met een lage COP.
Koudelevering	Geen koeling nodig.	Koeling nodig door middel van een airco.	Koeling nodig door middel van een airco.	Geen koeling nodig.	Het net kan in de zomer toegepast worden om koude te leveren.	Het net kan in de zomer toegepast worden om koude te leveren.
Netverzwaring	Niet nodig.	Niet nodig.	Niet nodig.	Mogelijks netverzwaring nodig om de warmtepompen van elektriciteit te kunnen voorzien.	Netverzwaring nodig om de warmtepompen van elektriciteit te kunnen voorzien.	Netverzwaring nodig om de warmtepompen van elektriciteit te kunnen voorzien.
Warmtevraag-reductie	Vraagreductie van enkel de slechtst geïsoleerde woningen.	Grote warmtevraagreductie omwille van de goede isolatie.	Grote warmtevraagreductie omwille van de goede isolatie.	Vraagreductie van enkel de slechtst geïsoleerde woningen.	Grote warmtevraagreductie omwille van de goede isolatie.	Vraagreductie van enkel de slechtst geïsoleerde woningen.
Afgiftesysteem (afhankelijk van T-niveau)	Geen aanpassing nodig.	Geen aanpassing nodig.	LT-afgiftesysteem nodig.	Geen aanpassing nodig.	LT-afgiftesysteem nodig.	Geen aanpassing nodig.

De kostenparameters en berekenmethoden zijn gebaseerd op het Functioneel Ontwerp van Vesta 4.0 (CE Delft, 2019) en zijn daarmee grotendeels gelijk aan de berekenmethode uit de Startanalyse versie 0.8 van het Planbureau voor de Leefomgeving. De berekeningen voor het afgiftesysteem en isolatiemaatregelen zijn gebaseerd op de methodiek die door Merosch is ontwikkeld voor het CEGOIA-model van CE Delft (Merosch, 2020).

## B.2 BRONZIJDDE

Er is bij de configuraties gekeken naar vier mogelijke bronnen, deze zijn:

1. TEA.
2. TEA met WKO.
3. TEO met WKO.
4. TED met WKO.

Het te leveren vermogen van de bronnen verschilt per scenario van de vraagzijde en het type warmtenet. Per mogelijke bron is de investering bepaald, de onderdelen zijn:

1. TEA:
  - a Warmtewisselaar
  - b Filtersysteem
  - c Warmtepomp (basislast)
  - d Gasketel (piekvoorziening & back-upvoorziening)
2. TEA met WKO:
  - a Warmtewisselaar
  - e Filtersysteem
  - f Warmtepomp (basislast)
  - g WKO (buffer)
  - h Gasketel (piekvoorziening & back-upvoorziening)
3. TEO met WKO:
  - a Warmtewisselaar
  - i Circulatiepomp
  - j Warmtepomp (basislast)
  - k WKO (buffer)
  - l Gasketel (piekvoorziening & back-upvoorziening)
4. TED met WKO:
  - a Warmtewisselaar
  - m Warmtepomp (basislast)
  - n WKO (buffer)
  - o Gasketel (piekvoorziening & back-upvoorziening)

Bij de jaarlijkse kosten is rekening gehouden met zowel het onderhoud als de kosten voor elektra (voor de warmtepomp basislast) en gas (piekvoorziening). De onderdelen die zijn meegenomen in het onderhoud: warmtewisselaar, warmtepomp en WKO. Er wordt uitgegaan dat de energie die benodigd is voor een WKO te verwaarlozen is, de pompenergie is minimaal.

Bij het bepalen van het elektraverbruik van de warmtepomp is rekening gehouden met de Coefficiency Of Performance (COP). De COP is afhankelijk van de temperatuur van de bron en de leveringstemperatuur. Deze is per configuratie bepaald. Er wordt van uitgegaan dat 80% van de totale warmtevraag in een jaar wordt geleverd door de warmtepomp, de basislast. De overige 20% zal worden geleverd door een piekvoorziening, de gasketel. De totale emissie van

CO<sub>2</sub> per configuratie is bepaald aan de hand van de uitstoot door de benodigde elektriciteit voor de warmtepomp en het gasverbruik door de piekvoorziening. Er is gebruik gemaakt van een referentie om de CO<sub>2</sub>-reductie te bepalen. De referentie zijn de emissies bij het verwarmen van de woningen met een hr-ketel.



## BIJLAGE C

## BUSINESSCASE OVERZICHT TEO &amp; TEA

In deze bijlage wordt een analyse gemaakt van reeds uitgerekenende businesscases. Er zijn zes verschillende businesscases geselecteerd, drie TEO-systemen en drie TEA-systemen. Aan de hand van vergelijkbare karakteristieken is gekeken welke factoren van belang zijn en doorslaggevend in de businesscase. Deze karakteristieken zijn ondersteunend geweest in de ontwikkeling van de beslisboom.

De selectie van de businesscases zijn onderverdeeld in TEO en TEA.

TABEL 11 SELECTIE VAN BUSINESSCASES

Type aquathermie	Geselecteerde cases	Bronvermelding
TEO	Den Haag: Vruchtenbuurt	(IF Technology, 2019c)
	Amersfoort: Schothorst	(IF Technology, 2019b)
	Kaag en Braassem: Rijnsaterwoude	(AT Osborne & IF technology, 2019)
TEA	Velsen: Verzorgingstehuizen	Interne expertise Syntraal
	Apeldoorn: Kerschoten	(Syntraal, 2020)
	Velsen: De Zefier	(Syntraal, 2019)

De belangrijkste eigenschappen zijn gegeven in Tabel 12.

TABEL 12 EIGENSCHAPPEN VAN DE BUSINESSCASES

Type	Geselecteerde cases	Type wijk	Bron	Energie-label	Temperatuur-niveau	Buffer
TEO	Den Haag: Vruchtenbuurt	Dichtbebouwd, jaren 30, rijwoningen (554)	Mient-circuit	Gem. C	70-40°C	WKO
	Amersfoort: Schothorst	Ca. 1.200 flats en ca. 300 rijwoningen, 8 scholen en supermarkt. Jaren 70 en 80.	Vallekanaal	Gem. C	70-40°C	WKO
	Kaag en Braassem: Rijnsaterwoude	2 dichte kernen en 2 delen lintbebouwing (546 woningen) jaren 60-80.	Braassemermeer	Gem. C	70-40°C	WKO
TEA	Velsen: Verzorgingstehuizen	Jaren 60-70 appartementencomplexen; 224 woningen	Riothermie en WKO	B&C	20-10°C	WKO
	Apeldoorn: Kerschoten	Jaren 60-70 woningen, met grotere warmtevragers (school, appartementen-complexen, verzorgings-tehuis, etc.)	RWZI	A-D	70-40°C	-
	Velsen: De Zefier	Nieuwbouw aantal lokalen van school + gymzaal	Riothermie	BENG	12-40°C	-

De relevante karakteristieken van de technische en financiële haalbaarheid, en andere bepalende elementen die doorslaggevend zijn in de realisatie en organisatie van de projecten, zijn hier opgelijst.

TABEL 13 BEPALENDE TECHNISCHE EN FINANCIËLE KARAKTERISTIEKEN IN DE GEANALYSEERDE BUSINESSCASES

Categorie	Bepalende elementen
Situatie	<p><b>Situatie wijk/eindgebruikers</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• het bouwjaar/isolatie niveau bepaalt de aanvoertemperatuur die wordt gekozen om de gebouwen comfortabel te kunnen verwarmen;</li> <li>• een hoge bebouwingsdichtheid zorgt ervoor dat er geen uitgestrekt warmtenet nodig is en dus minder verliezen en lagere aanlegkosten;</li> <li>• oppervlak en bouwtype (alsook het isolatieniveau) bepalen de warmtevraag van de woning of utiliteitsgebouw;</li> <li>• het totaal aantal gebouwen en de daaraan gekoppelde warmtevraag bepalen de grootte van het warmtenet en van de levering.</li> </ul> <p><b>Situatie potentieel aquathermie en bodemenergiesysteem</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• een inschatting van het energetisch potentieel van de watervoorziening bepaalt of er al dan niet voldoende warmte beschikbaar is;</li> <li>• een inschatting van het energetisch potentieel van een bodemenergiesysteem bepaalt verder of deze warmte al dan niet opgeslagen kan worden tijdens de zomer voor benutting in winter.</li> </ul>
Technische keuzes	<p><b>Aquathermieconfiguratie:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• De wijze waarop thermische energie uit water wordt gewonnen en het vermogen/temperatuurniveau dat hiermee gepaard gaat zijn bepalend. Het vermogen geeft een indicatie van de grootte van de installatie.</li> </ul> <p><b>Warmteopslag:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wordt er al dan niet gebruik gemaakt van seizoensgebonden warmteopslag in de bodem? Hierbij is vooral van belang welk type bodemenergiesysteem geselecteerd wordt (lagetemperatuurwarmtekoudeopslag of hogere temperatuurbuffers) en de vermogen stromen die aan de warmteopslag onttrokken worden.</li> </ul> <p><b>Warmtetechniek:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Een warmteinstallatie is nodig om de lagetemperatuurwarmte die wordt onttrokken aan een aquathermiebron op te waarden naar een bruikbare temperatuur. Het type en vermogen van de warmtetechniek, centrale versus individuele installaties en het al dan niet gebruik maken van bijstook vormen hierbij de belangrijkste keuzes.</li> </ul> <p><b>Warmtenet:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• De structuur en grootte van het warmtenet en het temperatuurniveau waarop dit werkt zijn bepalende karakteristieken.</li> </ul> <p><b>Woningaanpassingen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Isolatiemaatregelen verlagen de benodigde warmtevraag alsook de benodigde temperatuur om een woning comfortabel te kunnen verwarmen.</li> </ul>
Financieel kader	<p><b>Investeringskosten:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• De initiële kosten van de werkzaamheden en installaties van de bovenstaande warmtetechnieken.</li> </ul> <p><b>Doorlopende kosten:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kosten voor onderhoud, energie en operatie om de warmte te kunnen leveren.</li> </ul> <p><b>Verdienmodel leverancier:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• De opbrengst voor de warmteleverancier van de warmtelevering. Om de financiële haalbaarheid van de businesscase te beoordelen wordt een rendement naar voren geschoven dat de opbrengst afweegt ten opzichte van de kosten.</li> </ul> <p><b>Investeringen eindafnemers:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Afhankelijk van het temperatuurniveau van de warmtelevering zijn mogelijk investeringen nodig op gebouwniveau ter verbetering van de isolatiegraad, etc. om met warmte op lage temperatuur de woning te kunnen verwarmen. Mogelijk zijn er ook andere financiële bijdragen nodig om het project rendabel te maken.</li> </ul>

---

Categorie	Bepalende elementen
Afwegingen en projectorganisatie	<p data-bbox="389 230 699 253"><b>Initiatiefnemer en betrokken partijen:</b></p> <ul data-bbox="389 259 1289 313" style="list-style-type: none"><li data-bbox="389 259 1289 313">• Wie heeft aanleiding gegeven tot de haalbaarheidsstudie. Hoe is de businesscase tot stand gekomen en hoe ziet het organisatorisch kader er verder uit?</li></ul> <p data-bbox="389 349 496 371"><b>Projectstatus</b></p> <ul data-bbox="389 378 1182 432" style="list-style-type: none"><li data-bbox="389 378 1182 400">• Stappen die reeds doorlopen zijn en overeenkomsten die gesloten zijn in de realisatie van het project.</li><li data-bbox="389 407 815 430">• De volgende uitdagingen om het project te realiseren.</li></ul> <p data-bbox="389 468 576 490"><b>Succes- en faalfactoren</b></p> <ul data-bbox="389 497 911 551" style="list-style-type: none"><li data-bbox="389 497 911 519">• investeringsruimte en gerealiseerde meerwaarde voor de bewoners;</li><li data-bbox="389 526 501 548">• uitdagingen.</li></ul>

---

**BIJLAGE D**

# BESLISBOOM AQUATHERMIE

# Aquathermie

Hoe kan een aquathermiesysteem eruitzien? Deze beslisboom leidt in vier stappen langs de belangrijkste technische keuzes en bijbehorende afwegingen.



## STAP 1 MATCH WARMTEVRAAG EN AANBOD:

Warmtevraag	Aquathermiepotentie		
Hoeveel GJ/jaar is nodig? 	<b>TEO</b>  • Stilstaand water • Stromend water • Gemalen	<b>TEA</b>  • RWZI effluent • RWZI influent	<b>TED</b>  • Drinkwaterleidingen

## AFWEGINGEN

- Is er voldoende potentie om aan de vraag te voldoen?
- Ligt de bron dicht genoeg bij het project? Denk aan maximaal 100 meter tot enkele kilometers.
- Is het aantal woningen en de woningdichtheid voldoende voor een collectief warmtenet? Denk aan minimaal 50 woningen en 20 woningen/ha.

## STAP 2 BEPAAL TEMPERATUURNIVEAU WARMTENET:

Isolatiegraad	T-niveau warmtenet
Isolatiegraad van de afnemers 	<b>Middentemperatuur (MT)</b> 70°C
Label:  A B C D E F G	<b>Lage temperatuur (LT)</b> 40°C
MT verwarming LT verwarming	<b>Zeer lage temperatuur (ZLT)</b> 15°C

- Welk temperatuurniveau sluit aan bij de isolatiegraad van de afnemers?
- Kunnen de afnemers (op termijn) verder isoleren? Kosten zijn vaak hoger, maar CO<sub>2</sub>-uitstoot kan verlaagd worden.
- Zijn er op termijn mogelijke nieuwe bronnen op ZLT, LT of MT-niveau?
- Bij LT/ZLT-net: weegt de aquathermie-optie nog op tegen individuele warmte-opties?

N.B. Verhogen van isolatiegraad verlaagt de warmtevraag. Kijk terug naar Stap 1.

## STAP 3 KIES BUFFER:

Seizoensopslag	LT-MT-HT opslag
Opslag bronwarmte	Opslag warmte uit warmtenet
Geen buffer Aquifer opslag: WKO Buffertank	Aquifer opslag: MTO/HTO Bufferput Buffertank Opkomende technieken

- Is er een seizoensbuffer nodig?
  - Niet bij enkel koudelevering of TEA-effluent.
  - Wel bij TEO, TED, TEA-influent en ter uitbreiding van de capaciteit.
- Is het mogelijk de warmte in de bodem (aquifer) op te slaan?

## STAP 4 KIES WARMTEOPWEKSYSTEEM:

Collectieve opwekking	Individuele opwek tapwater
Basislast systeem + Piek-bijstook + Back-up	
Collectieve warmtepomp Gasketel Elektrische ketel Biomassaketel	Individuele warmtepomp Elektrische boiler

Collectieve opwekking (LT- en MT-net):

- Is het elektriciteitsnet geschikt voor elektrische opwekking?
- Zijn er redenen om nu al een gasloze optie voor piek en back-up te kiezen? (bijv. CO<sub>2</sub>-uitstoot, beschikbaarheid biomassa, luchtkwaliteit)

Individuele opwekking voor tapwater:

- Is er ruimte en draagkracht voor individuele warmtepomp?