

Engineering the earth

Thermische Energie uit Oppervlaktewater
Business case “Fabriekswartier” Tilburg



Engineering the earth

Thermische Energie uit Oppervlaktewater
Business case “Fabriekskwartier” Tilburg

Thermische Energie uit Oppervlaktewater

Business case “Fabriekskwartier” Tilburg

Opdrachtgever **Unie van Waterschappen**

Postbus 93218
2509 AE Den Haag
T 070 - 456 1571 | E rromijn@uvw.nl
Contactpersoon: de heer R. Romijn

Adviseur **IF Technology bv**

Postbus 605
6800 AP ARNHEM
T 06-50451394 | E b.scholten@iftechnology.nl
Contactpersoon: de heer B. Scholten

Colofon

Auteur: **de heer F. Niewold**

Versie: Concept 1.2

Gecontroleerd door: de heer B. Scholten

Vrijgegeven door: de heer M. Koenders

Inhoudsopgave

1	Samenvatting	5
2	Inleiding	9
2.1	Algemeen	9
2.1.1	Achtergrond	9
2.1.2	Uitrol strategie TEO	9
2.1.3	Casus: Fabriekskwartier Tilburg	10
2.2	Plan van aanpak	10
2.2.1	Selecteren van kansrijke locaties	10
2.2.2	Inventarisatie gebiedskenmerken en belanghebbenden	11
2.2.3	Verkenning business case	11
2.2.4	Verdiepingsfase	12
2.2.5	Projectrealisatie en exploitatie	12
2.3	Doelstellingen casussen	12
2.3.1	Algemene doelstellingen	12
2.3.2	Doelstellingen casus: Fabriekskwartier Tilburg	12
2.4	Leeswijzer	13
3	Inventarisatie	14
3.1	Stakeholderanalyse	14
3.2	Kenmerken gebouw(en)	14
3.3	Kenmerken watersysteem	19
3.4	Kenmerken bodem	23
3.5	Klimaatadaptie	28
3.6	Omgevingsbelangen	29
3.6.1	Juridische belangen	29
4	Business case	30
4.1	Energieconcepten	30
4.2	Schetsontwerp	37
4.3	Impact leefomgeving	39
4.4	Financiële analyse	40
4.5	Duurzaamheid	49
5	Conclusies en aanbevelingen	52
5.1	Technische en energetische haalbaarheid	52

5.2	Ruimtelijke inpassing	53
5.3	Financiële haalbaarheid	54
5.4	Spoorboekje	54
Referenties		56
Afkortingen.....		58
6.1	Principe Smart polder – TEO	59
6.2	Principe Warmte- en Koude Opslag (WKO).....	64
6.3	Koude uit diepe plassen.....	66
Bijlage 1	Conceptbeschrijvingen TEO/Smart polder	
Bijlage 2	Energieconceptvorming gebouwinstallatie	

1

Samenvatting

Uitgangspunten

Deze business case is uitgevoerd om inzicht te krijgen in de technische en financiële haalbaarheid van thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) in combinatie met warmte- en koude opslag (WKO). De business case is toegepast op het “Fabriekskwartier” in Tilburg (zie Figuur 1). Het Fabriekskwartier is een nieuw te ontwikkelen duurzame wijk aan de Piushaven in het centrum van Tilburg. Voor deze ontwikkeling is een inschatting gemaakt van het energieverbruik voor de warmtevraag van 1.020 MWh_{th} (~3.690 GJ_{th}) per jaar en de koudevraag van 240 MWh_{th} (~850 GJ_{th}) per jaar.

Het oppervlaktewater wordt verkregen uit de Piushaven. Het oppervlaktewater nabij de locatie is circa 25 meter breed en circa 2,5 meter diep. Uitgangspunt is dat er geen stroming in het kanaal plaatsvindt.

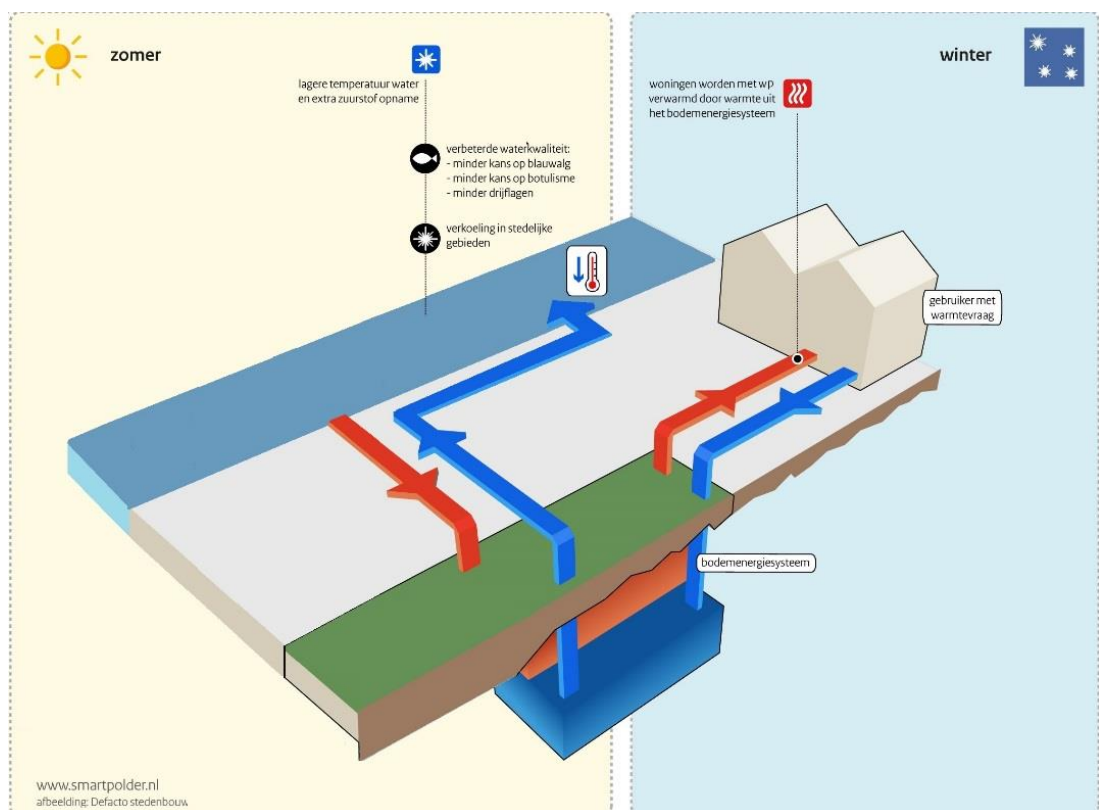
*Figuur 1
Fabriekskwartier aan
de Piushaven in
Tilburg.
Bron: Google Earth.*



Systeemconcept

Thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) in de vorm van warmtewinning in de zomer, kan worden omgezet in hoogwaardige warmte met een warmtepomp (WP) voor verwarming van gebouwen of voor de bereiding van warm tapwater. Dit is bijzonder goed toepasbaar bij afnemers met een overwegende warmtevraag (zoals woningen), en wordt 100% elektrisch opgewekt. TEO kan worden aangevuld met een warmte en koudeopslagsysteem in de bodem (WKO), zie Figuur 2.

*Figuur 2
Concept TEO: Smart
polder, WKO met
warmtewinning uit
oppervlaktewater.*



Als TEO in combinatie met een WKO systeem wordt toegepast, wordt gebruikt gemaakt van het natuurlijke temperatuurverschil tussen het oppervlaktewater in de zomer (circa 18 °C) en de stabiele grondwatertemperatuur (circa 12 °C). In de zomer wordt warmte gewonnen uit het oppervlaktewater en opgeslagen in het bodemenergiesysteem (WKO). Deze warmte kan in de winter uit de bodem worden opgepompt om te dienen als warmtebron voor de warmtepomp.

Voor het Fabriekskwartier is de warmtevraag meer dan viermaal zo groot als de koudevraag. Hiermee biedt de toepassing van de combinatie van warmtewinning uit oppervlaktewater met een seizoensopslag in een bodemenergiesysteem een zeer interessante en duurzame kans om de wijk te voorzien van de benodigde warmte en koude.

De energieonbalans in het WKO systeem die ontstaat bij een overwegende warmtevraag, wordt met het TEO systeem gebalanceerd.

Op basis van de huidige uitgangspunten is één doublet (één warme en één koude bron) met een maximaal debiet van 45 m³ per uur toereikend om de gebouwen in het Fabriekskwartier van voldoende warmte en koude te voorzien. Om de bronnen in de zomer voldoende te kunnen laden is een oppervlaktewatersysteem van maximaal 30 m³ per uur nodig. Een grondwater gevuld distributienet en de oppervlaktewaterleidingen zijn benodigd om de gebouwen van de gewenste warmte en koude te kunnen voorzien. Ook worden er juridisch gezien geen knelpunten voorzien voor de realisatie van TEO en WKO.

Aandachtspunten voor het bodemenergiesysteem zijn:

1. Redoxrisico (menging van ijzerrijk en zuurstofrijk water met mogelijk verstoppingsrisico).
2. Het open bodemenergiesysteem St. Jozefzorg ten zuidwesten van het Fabriekskwartier.
3. De VOCl-verontreiniging ten noorden van het Fabriekskwartier en de Piushaven.
4. Inpassing binnen het gebiedsgericht grondwaterbeheer van de gemeente.

De aandachtspunten worden niet als belemmering beschouwd. Alhoewel punt 3 meer studie vereist om zekerheid te bieden.

Duurzaamheid

Door de toepassing van TEO met een oppervlaktewaterdebiet van 30 m³ per uur kan TEO bijdrage aan de hittestress in een stedelijk gebied in de zomer door water met een temperatuurverschil van 6 °C te lozen. Daarnaast zorgt het aanbieden van duurzame koeling met grondwater voor een directe warmte-emissiereductie van 1.050 GJ_{th} ten opzichte van traditionele koelers (compressiekoelmachine), waarmee extra hittestress wordt voorkomen. De CO₂ emissiereductie kan in het meest optimale geval (volledig groen opgewekte stroom) 255 ton/jaar bedragen. In dat geval moet de elektriciteit ook duurzaam opgewekt zijn.

Financiële haalbaarheid

De financiële haalbaarheid van een WKO + TEO systeem bij het Fabriekskwartier in Tilburg is getoetst door een vergelijking te maken met een conventioneel systeem (gasketel en compressiekoelmachine). De verwachte terugverdientijd van een WKO + TEO systeem is ligt tussen de 5 - 13 jaar ten opzichte van een systeem met een gasketel voor warmtelevering en een compressiekoelmachine voor koudelevering afhankelijk van de

gekozen referentie. Aanvullend kan de terugverdientijd met 1 of 2 jaar verminderd worden als er rekening gehouden wordt met een CO₂ emissieprijs van 30 €/ton.

Vervolg

De plannen voor de ontwikkeling van het Fabriekskwartier zijn al in een gevorderd stadium. Hierbij is de toepassing om het te ontwikkelen gebied te verduurzamen een belangrijk aandachtspunt. De integratie van TEO in combinatie met een WKO systeem heeft een significante meerwaarde gezien de thermische onbalans.

Hierbij is het wel belangrijk dat TEO op een juiste wijze wordt geïntegreerd in het installatie concept en dat er ruimte in het gebied wordt gereserveerd voor leidingen en bronnen. Voor het vervolg is het van belang dat dit op korte termijn wordt afgestemd met de belanghebbenden.

We bevelen daarom aan om op korte termijn:

1. Te starten met het ontwerp van het systeem, en de benodigde vergunningen (Waterwet) aan te vragen.
2. Parallel dient de organisatievorm gestalte te krijgen, waarbij o.a. eventuele aanbesteding, financiering en tariefvorming moeten plaatsvinden.

2

Inleiding

2.1 Algemeen

2.1.1 Achtergrond

Om uitvoering te geven aan het Klimaatakkoord van Parijs zullen er de komende decennia ingrijpende veranderingen plaats moeten vinden in de infrastructuur van de Nederlandse energievoorziening. In het Klimaatakkoord is de afspraak gemaakt om de temperatuurstijging ruim beneden de 2 °C te houden door onder andere de mondiale uitstoot van broeikasgassen met circa 90 procent te reduceren tot 2050. In “Energierapport – Transitie naar duurzaam” is zelfs aangekondigd dat de ruimteverwarming in Nederland CO₂-vrij moet zijn in 2050 (EZ, 2016). De lange levensduur en afschrijftermijnen van energievoorzieningen maken het een prioriteit om zo snel mogelijk met de energietransitie te beginnen (PBL, 2017). De energietransitie is een beleidsplan van de overheid om van fossiele brandstoffen naar volledig duurzame energiebronnen over te stappen. De komende decennia zullen de verouderde gasleidingen aan vervanging toe zijn. Hierin ligt een grote kans om een transitie van fossiele warmtelevering naar duurzame warmtelevering te bewerkstelligen.

Eén van de alternatieven voor ruimteverwarming en -koeling is een WKO systeem. De geschiktheid van een WKO systeem is afhankelijk van de balans tussen de warmte- en koudevraag van de gebouwen. Vooral combinaties van goed geïsoleerde woningen (warmtevraag) en bedrijfsmatig gekoelde gebouwen (koudevraag), zoals kantoren en datacenters zijn uitermate geschikt in combinatie met een WKO systeem. Indien gebouwen een overwegende warmte- of koudevraag hebben, is een WKO systeem minder geschikt. Echter kan dit bijzonder goed opgevangen worden door energie uit oppervlaktewater over te dragen om de balans in een WKO systeem te handhaven. In opdracht van Rijkswaterstaat en de Unie van Waterschappen (UvW) heeft IF Technology aangetoond dat het economisch potentieel van warmtewinning uit waterlopen, plassen, gemalen en kunstwerken (TEO) 42 – 182 petajoule per jaar is (IF Technology, 2016a en b). Binnen deze marge kan het economisch potentieel toenemen door toepassing van collectieve systemen en het gebruik van warmtenetten. Dit wordt mede veroorzaakt door de opschaling van de systemen en de verdeling van investeringskosten. Tevens zorgen warmtenetten voor een flexibilisering van de warmte- en koudevraag.

2.1.2 Uitrol strategie TEO

De potentie van TEO is in 2016 door de Energiecoalitie Rijkswaterstaat & UvW in kaart gebracht met de landelijke verkenning. Om deze potentie concreet te maken is het verzoek

van de Energiecoalitie aan IF Technology om onder andere concrete kansrijke casussen uit te werken voor zeven regio's en deze in te kunnen brengen bij de tafel energie en ruimte die in elke regio wordt georganiseerd. Doel hiervan is het enthousiasmeren van de regio's om TEO op te nemen in de regionale energiestrategie als alternatief voor een gasloze duurzame oplossing.

Om de diverse mogelijkheden van TEO te etaleren voor wethouders van de gemeenten en andere initiatiefnemers, worden de zeven casussen in de vorm van een factsheet opgenomen in een portfolio die zal worden opgesteld door STOWA.

Door energie uit oppervlaktewater te halen kunnen gebouwen worden verwarmd of gekoeld. Neveneffect is dat het koelen van oppervlaktewater hitte bestrijdt en de waterkwaliteit verbetert, wat een interessante bijdrage kan leveren aan ruimtelijke adaptatie, aangezien dit principe in het grootste deel van Nederland toepasbaar is.

2.1.3 Casus: Fabriekskwartier Tilburg

Het Fabriekskwartier in Tilburg is als één van de kansrijke locaties naar voren gekomen. Dit gebied wordt gekenmerkt door een nieuw te ontwikkelen duurzame wijk met voldoende oppervlaktewater. De ambitie is om van het Fabriekskwartier een volledig energie neutrale wijk te maken. Hoewel het bestemmingsplan nog niet definitief is, wordt er overwegend ruimte gemaakt voor woningen (grondgebonden en appartementen) en daarnaast openbare ruimten (kleinschalige kantoren, winkels, horeca en een school). Voor de energievraag zullen de gebouwen worden getypeerd als een mix van woningen en utiliteitsbouw. In dit rapport wordt de technische en financiële haalbaarheid van het Fabriekskwartier in Tilburg beschreven. Er is onderzocht wat de randvoorwaarden zijn voor het toepassen van TEO op deze locatie.

2.2 Plan van aanpak

In het plan van aanpak zijn de stappen beschreven die zijn uitgevoerd om tot een business case te komen. Hierbij worden de verschillende activiteiten, hulpmiddelen en resultaten beschreven.

2.2.1 Selecteren van kansrijke locaties

Kansrijke locaties zijn via workshops met de belanghebbenden geselecteerd. Hierbij zijn mensen van de gemeente uitgenodigd met kennis van ruimtelijke ordening en energie. Belangrijk hierbij is dat er overzicht is (digitaal of door kennis van de aanwezige personen)

van waar ontwikkelingen zijn (nieuwbouw, renovatie of hoog energieverbruik). In de workshop is aan de hand van de kansenkaart gekeken of er een match te maken is tussen deze gebieden/gebouwen/wijken waar de ontwikkelingen gepland zijn en het aanwezige technische potentieel vanuit het oppervlaktewater, gemalen en/of diepe plassen.

2.2.2 Inventarisatie gebiedskenmerken en belanghebbenden

In deze fase wordt een overzicht gemaakt van de betrokkenen (stakeholderanalyse). Welke partijen zijn direct of indirect bij dit project of locatie betrokken. Welke rol spelen zij en kunnen zij input leveren voor de business case. In deze fase kan ook overwogen worden om een lokale netbeheerder en/of energiebedrijf te benaderen voor kennis van het gebied en het afstemmen van bestaande of toekomstige ontwikkelingen op energie gebied (bijvoorbeeld de aanleg van een warmtenet en het al dan niet vervangen van de bestaande gasinfrastructuur).

Verder worden de gebiedskenmerken geïnventariseerd bij de gemeente, waterschap en provincie. Eventueel kan er ook al een afnemer of projectontwikkelaar in beeld zijn waar gedetailleerde informatie beschikbaar is. Belangrijke gegevens zijn:

- kenmerken watersysteem en/of kunstwerk (gemaal);
- bodemopbouw en omgevingsbelangen grondwater;
- identificeren potentiële afnemers energie (warmte en/of koude);
- inventarisatie huidige/toekomstige energievraag beoogde afnemers.

2.2.3 Verkenning business case

Een belangrijke stap naar de realisatie is het uitwerken van de business case met het bepalen van het energieconcept op basis van de aanwezige/toekomstige vraag en het aanbod. In Bijlage 1 zijn diverse TEO/Smart polder concepten weergegeven met specifieke kenmerken. Met het energie concept wordt een schetsontwerp (SO) opgesteld van de thermische winning, distributie en opwekking. Deze wordt uitgewerkt in een financiële analyse. In het geval van verschillende investeerder(s) en afnemer(s) worden de investeringskosten en de exploitatiekosten opgenomen in een netto contante waarde (NCW) berekening om het mogelijke project rendement te kunnen berekenen. Bij een stakeholder die zowel investeerder als afnemer is, wordt de terugverdientijd ten opzichte van een referentiesysteem berekend. Ook wordt de juridisch haalbaarheid van het project beoordeeld (Waterwet en omgevingsbelangen). Als uit de business case blijkt dat het project haalbaar is en er voldoende draagvlak is bij de stakeholder(s) om het project verder

te brengen kunnen de voorwaarden voor het vervolg worden vastgelegd in een intentieovereenkomst tussen de belanghebbenden.

2.2.4 Verdiepingsfase

In de volgende fase wordt een verdieping uitgevoerd van het technisch ontwerp en worden de juridische haalbaarheid (het aanvragen van vergunningen) en de financiële haalbaarheid geïnventariseerd. Hierbij kunnen ook de maatschappelijke baten worden gewaardeerd. In deze fase dienen naast de kosten en de baten, de onzekerheden en risico's zo goed mogelijk in beeld te worden gebracht voor alle relevante stakeholders. Op basis van deze inzichten kan besloten worden om een samenwerkingsovereenkomst aan te gaan waarin de rolverdeling en het projectfinancieringsmodel worden vastgelegd.

2.2.5 Projectrealisatie en exploitatie

De hierop volgende fasen zijn projectrealisatie en exploitatie. Hierbij kan de realisatie/exploitatie van het project eventueel (deels) in de markt worden gezet. Belangrijk voor deze fase is het inrichten van een monitorings- en beheerorganisatie die langdurig het optimale rendement uit het project kan genereren en de hierbij vooraf gestelde randvoorwaarden kan monitoren en waar nodig kan bijsturen.

2.3 Doelstellingen casussen

2.3.1 Algemene doelstellingen

De casussen worden in de regio's ingezet om TEO als duurzaam en gasloos alternatief te positioneren en de markt zo uit te dagen hiermee aan de slag te gaan. Daarnaast hebben de casussen een zo divers mogelijk karakter (verschillende energie concepten en afnemers), hierdoor ontstaat een portfolio van TEO toepassingsmogelijkheden met specifieke baten. De casussen kunnen daarmee als blauwdruk dienen voor vergelijkbare situaties en zo worden opgenomen in de regionale energiestrategieën.

2.3.2 Doelstellingen casus: Fabriekskwartier Tilburg

De doelstelling van deze specifieke casus is om de technische en financiële haalbaarheid inzichtelijk te maken voor de belanghebbenden. Dit is in directe zin de gebiedsontwikkelaar: Triborgh gebiedsontwikkeling. Anderzijds is dit de UvW die in dit specifieke geval de haalbaarheid van een WKO + TEO systeem in combinatie een nieuw te ontwikkelen wijk met een mix van woningen en kleinschalige utiliteit wil onderzoeken.

2.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 1 is de samenvatting van dit rapport gegeven. Hoofdstuk 2 beschrijft de achtergrond en doelstellingen van de business case, het plan van aanpak om van een kansrijke locatie tot een TEO project te komen. Hoofdstuk 3 geeft de inventarisatie van het project weer. In dit hoofdstuk worden alle belangrijke gegevens benodigd voor de business case beschreven. De energetische, technische en financiële uitwerking van de business case en de maatschappelijke baten worden gepresenteerd in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 worden de conclusies en aanbevelingen gedaan. In bijlage 1 is een uitgebreide omschrijving te vinden van TEO en de Smart polder concepten.

3

Inventarisatie

3.1 Stakeholderanalyse

Triborgh gebiedsontwikkeling

In opdracht van Triborgh gebiedsontwikkeling wordt het Fabriekskwartier ontwikkeld en gerealiseerd.

Waterschap De Dommel

Waterschap De Dommel is verantwoordelijk voor het kwalitatieve en kwantitatieve beheer van het regionale oppervlaktewater waar de Piushaven in Tilburg onder valt. Voor het brengen van water in of het onttrekken van water uit een oppervlaktewaterlichaam is het waterschap bevoegd gezag voor vergunningverlening.

Provincie Noord-Brabant

De gedeputeerde staten van de provincie Noord-Brabant is volgens artikel 6.4 van de Waterwet bevoegd gezag voor grondwateronttrekkingen en infiltraties ten behoeve van bodemenergiesystemen, zoals warmte- en koude opslagsystemen.

Gemeente Tilburg

De gemeente Tilburg is eigenaar van de kade van de Piushaven en bevoegd gezag van de openbare ruimte. Bij de realisatie van het project zijn voorzieningen in de openbare ruimte nodig (kabels, leidingen, inlaat en uitlaatwerk en bronnen), waar de gemeente bevoegd gezag is.

Unie van Waterschappen

De Unie van Waterschappen is de opdrachtgever van de huidige business case. Het doel is om TEO op te nemen in de regionale energiestrategie als alternatief voor gasloze duurzame oplossing.

Toekomstige eigenaren woningen en utiliteit

Hoewel de eigenaren in deze fase onbekend zijn, is het belangrijk dat de manier en inpassing van warmte- en koudelevering overeenkomt met de wensen en eisen van de gebouw eigenaren.

3.2 Kenmerken gebouw(en)

De mix van gebouwen die bestudeerd zijn in deze casus zijn divers en kunnen worden getypeerd als nieuwbouw. Het gebied zal overwegend woningbouw gaan bevatten. Het woningbouwprogramma bestaat uit verschillende type woningen. Hierbij moet gedacht

worden aan onder andere herenhuizen, kleinschalige appartementen, flex stadswoningen, dekwoningen en kangoeroewoningen. Daarnaast wordt er ruimte gemaakt voor kleinschalige bedrijvigheid, retail, horeca en een school. Het bijzondere aan het gebied is dat er naar een differentiatie in woonmilieus wordt gestuurd, waarbij de verschillende leefstijlen van de bewoners moet aansluiten bij de voorzieningen.

Over het algemeen worden nieuwbouwwoningen gekenmerkt door een relatieve lage warmtevraag voor ruimteverwarming. In dezelfde orde van grootte valt de warm tapwater vraag. Daarnaast is koeling of zomercomfort een toenemende wens en/of eis voor woningen. Bij utiliteitsgebouwen is de vraag naar warm tapwater significant lager dan voor woningen, terwijl koeling en zomercomfort een belangrijke behoefte is.

*Figuur 3
Gebied
Fabriekskwartier in
Tilburg.
Bron: Google Earth.*



Eigenschappen gebouw(en)

De relevante gebouw eigenschappen zijn gepresenteerd in *Tabel 2* voor de woningen en de utiliteitsbouw (Bron: Angelique Remijn, persoonlijke communicatie, 9 september 2017).

Tabel 1
Gebouw
eigenschappen
Fabriekskwartier
Tilburg. Bron:
Angelique Remijn,
persoonlijke
communicatie, 9
september 2017.

Fase	Woningen				Utiliteit	
	Woningen grond- gebonden	Woningen Apparte- menten	Totaal		Gebouw- oppervlak	Functie
1	9		9			
2	12	18	30		200 m ²	Kleinschalig commercieel
3	21	16	37		750 m ²	Horeca + commercieel
4	10	42	52			
5	30		30		250 m ²	Kleinschalig commercieel
6	20	15	35		250 m ²	Kleinschalig commercieel
7	11	62	73		6.000 m ²	School
8	13	18	31		500 m ²	Commercieel
Totaal	126	171	297		7950 m ²	

Om de warmte- en koudevraag van de verschillende gebouwen te bepalen is gebruik gemaakt van de Uniforme Maatlat Gebouwde Omgeving voor de warmtevoorziening in de woning- en utiliteitsbouw, versie 4.1 (RVO, 2017). Hierbij is aangenomen dat de energiebehoefte van de gebouwen overeenkomt met de Bijna Energie Neutrale Gebouwen (BENG). BENG is de energieprestatie norm vanaf 2020. De start van de bouw die overeenkomt met fase 1 is gepland in 2019 en zal duren tot 2023.

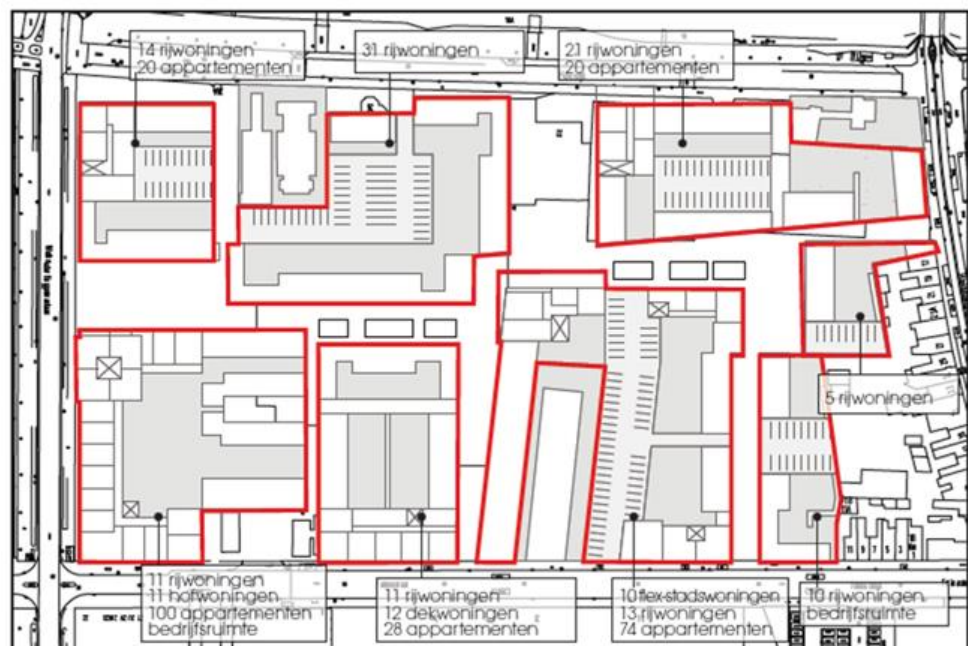
De exacte inrichting van het Fabriekskwartier is nog niet definitief. Daarom is er een inschatting gemaakt tijdens de huidige studie van de verdeling van woningen en utiliteit op basis van Figuur 4. Hierin is een voorlopige schatting gemaakt van de gebouwindeling in het Fabriekskwartier.

De grondgebonden woningen zijn verdeeld in hoekwoningen en tussenwoningen. De kleinschalige commerciële, commerciële en horeca gebouwen zijn verdeeld in een aantal met een specifiek vloeroppervlak. De verdeling en de bijbehorende warmte- en koudevraag is gepresenteerd in Tabel 2.

Tabel 2
Warmte- en
koudevraag
Fabriekskwartier
Tilburg.

Warmte- en koudevraag woningen					
Type		Rij hoek	Rij tussen	Appartementen	Woning totaal
Aantal units	-	26	100	171	
Gebouwoppervlak (GBO)	m ²	124	124	102	
GBO totaal	m ²	3.230	12.400	17.500	33.100
Ruimteverwarming	kWh/m ² *jaar	15,5	9,2	9,5	
Koeling/zomercomfort	kWh/m ² *jaar	4,0	3,0	8,0	
Warmtapwater	kWh/m ² *jaar	14,7	15,9	12,3	
Ruimteverwarming	kWh/jaar	50.100	114.000	166.000	330.000
Warmtapwater	kWh/jaar	12.900	37.300	140.000	190.000
Warmtevraag totaal	kWh/jaar	47.500	198.000	215.000	460.000
Koeling/zomercomfort	kWh/jaar	97.600	312.000	381.000	790.000
Warmte- en koudevraag utiliteitsbouw					
Type		Kleinschalig commercieel	Commercieel + Horeca	School	Woning totaal
Aantal units	-	14	8	1	
Gebouwoppervlak (GBO)	m ²	50	150	6.000	
GBO totaal	m ²	700	1.250	6.000	33.100
Ruimteverwarming	kWh/m ² *jaar	34,5	34,5	25,9	
Koeling/zomercomfort	kWh/m ² *jaar	3,9	3,9	6,2	
Warmtapwater	kWh/m ² *jaar	1,4	1,4	1,4	
Ruimteverwarming	kWh/jaar	24.200	43.100	155.000	223.000
Warmtapwater	kWh/jaar	2.730	4.880	37.200	44.800
Warmtevraag totaal	kWh/jaar	980	1.750	8.400	11.100
Koeling/zomercomfort	kWh/jaar	25.100	44.900	164.000	234.000
Warmte- en koudevraag totaal [MWh _{th} /jaar]					
Ruimteverwarming	Warmtapwater	Totaal warmte		Koude	
550	470	1.020		240	

Figuur 4
Bestemmingsplan
Fabriekskwartier
Bron: 170707
Wissing-1131-
Havenkwartier-
koersdocument
concept).



Systeem concept energielevering gebouw

Voor de opwekking van warmte wordt gebruik gemaakt van een elektrische warmtepomp. De warmtepomp is aangesloten op een WKO + TEO systeem. De koude wordt direct geleverd vanuit het WKO systeem en met behulp van een warmtewisselaar afgegeven aan het distributienetwerk. Het distributienetwerk transporteert de koude naar de gebouwen. Het werkingsprincipe van een WKO systeem is beschreven in Bijlage 1.

In de huidige studie is een concept doorgerekend waarbij vanuit een centraal gelegen technische ruimte de warmte en koude naar de gebouwen wordt gestuurd. De warmte vanuit het oppervlaktewater, warmte en koude vanuit het WKO systeem en de warmte en koude naar de gebouwen wordt altijd centraal via de technische ruimte verwerkt. De warmte- en koude overdracht gebeurt via warmtewisselaar, zodat het oppervlaktewater, het WKO grondwater en het water in het distributienetwerk niet met elkaar kunnen mengen.

3.3 Kenmerken watersysteem

Om te kunnen beoordelen of een TEO systeem haalbaar is, zijn de gegevens van het aanwezige oppervlaktewater belangrijk. Hiermee kan een inschatting worden gemaakt van de hoeveelheid energie die onttrokken kan worden. Verder kan de minimale afstand tussen het onttrekkings- en lozingspunt berekend worden. Uiteindelijk kan met deze gegevens een inschatting worden gemaakt van de investeringskosten van het TEO systeem.

Afmetingen oppervlaktewater

Het oppervlaktewater dat gebruikt kan worden voor het TEO systeem is de Piushaven. Het gedeelte van de haven tussen de brug op de Wethouder Baggermanlaan en de brug op de Hoevenseweg. De afmetingen van het water ter hoogte van het Fabriekskwartier (zie Figuur 5) zijn (Maaïke Paulissen, persoonlijke communicatie, 27 juli 2017):

- Breedte: 25 m
- Diepte: 2 - 2,5 m

Figuur 5
Piushaven
Bron: Google Earth.



Debiet oppervlaktewater

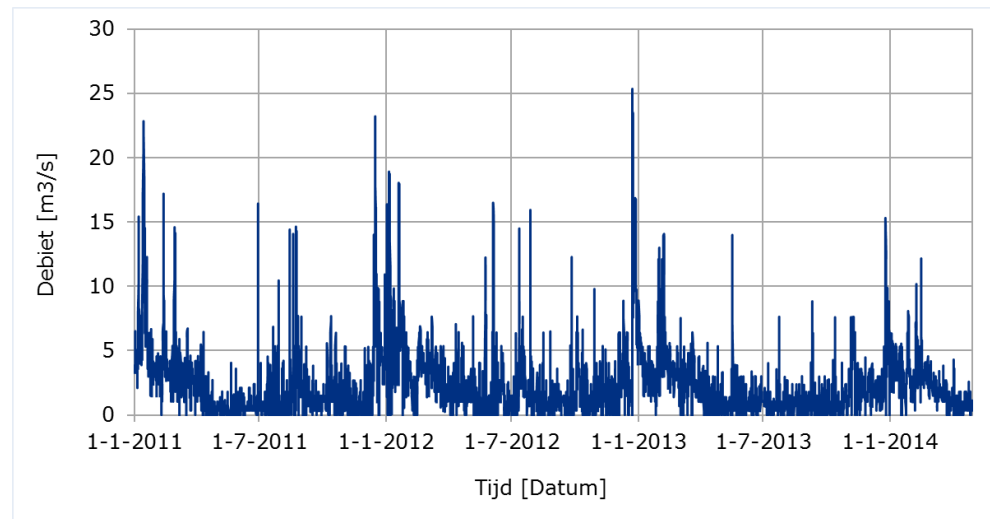
Gegevens van het debiet ter hoogte van de Piushaven zijn voor deze studie niet bekend. Het debiet ter hoogte van Sluis IV in het Wilhelminakanaal over de periode 1 januari 2011

t/m 1 april 2014 is weergegeven in Figuur 6 (bron: Maaïke Paulissen, persoonlijke communicatie, 14 augustus 2017). In Figuur 7 is de locatie van Sluis IV aangegeven. De stroming geeft een indicatie van de grootte en de richting (zuid naar noord) ter hoogte van de Piushaven. Maar doordat de afstand tussen Sluis IV en de Piushaven relatief groot is, ~10 km, kan het werkelijke debiet afwijken door invloeden op het Wilhelminakanaal tussen Sluis IV en de Piushaven.

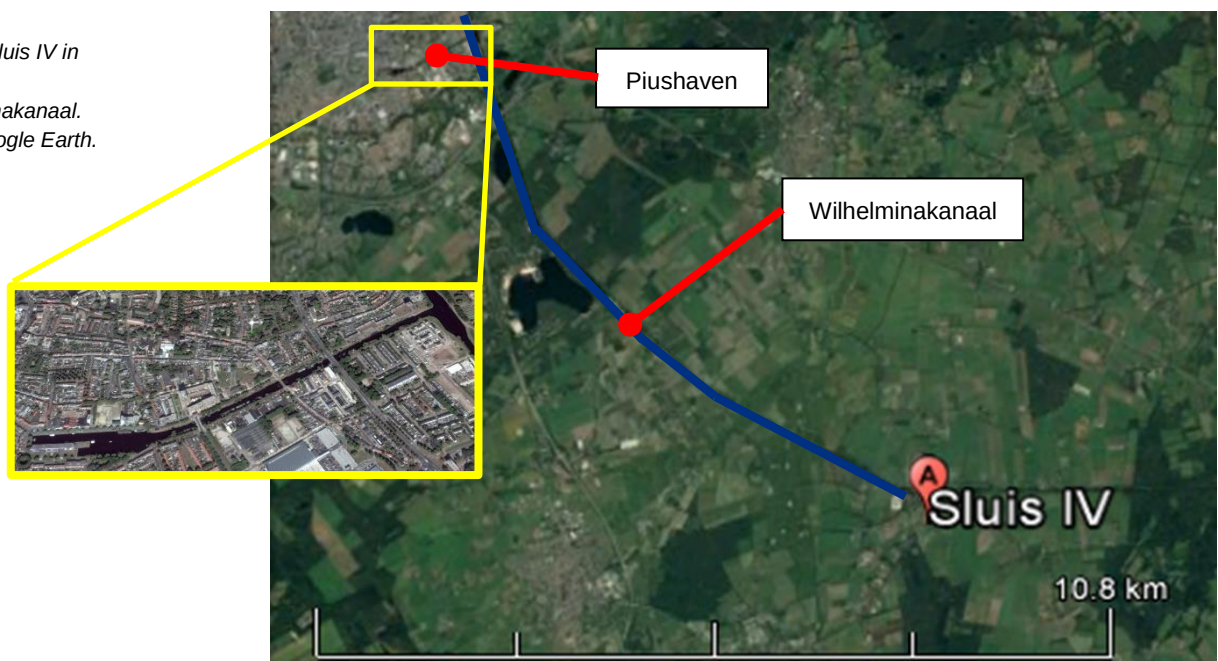
In de Piushaven ten westen van het Fabriekskwartier zit een rioolgemaal (Moerenburg). Het gemiddelde debiet van dit gemaal is 12.000 m³/dag met een capaciteit van 2.450 m³/h. Sinds de debieten relatief laag zijn t.o.v. de grootte van de Piushaven, wordt niet verwacht dat dit significante stroming veroorzaakt.

Aan de hand van deze analyse is het uitgangspunt voor de business case stilstaand water.

*Figuur 6
Debiet Sluis IV
Wilhelminakanaal.
Bron: Maaïke
Paulissen,
persoonlijke
communicatie, 14
augustus 2017.*



Figuur 7
Locatie Sluis IV in
het
Wilhelminakanaal.
Bron: Google Earth.

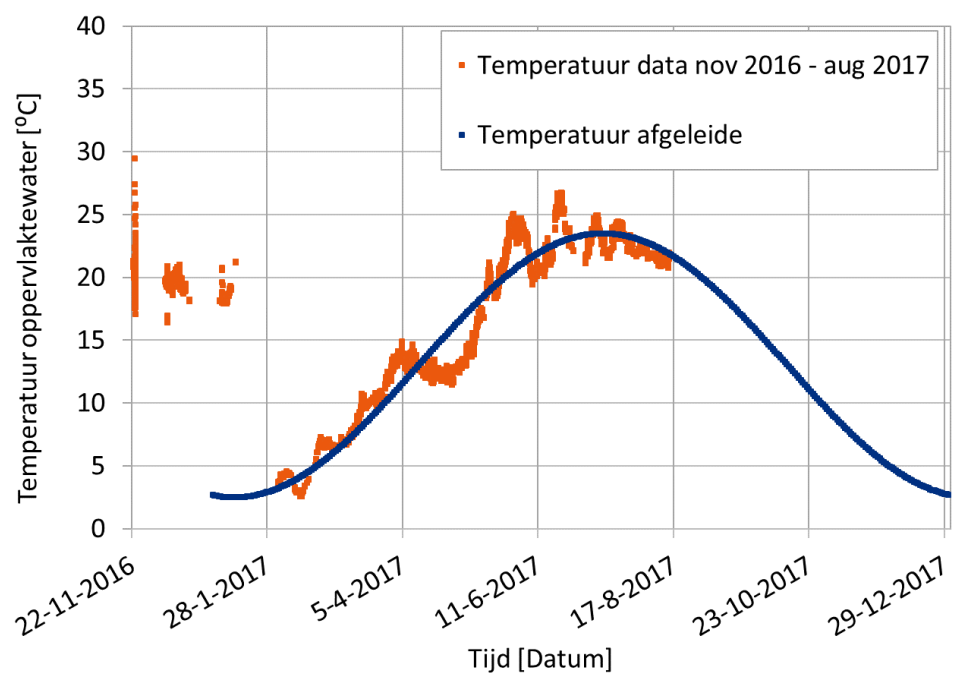


Temperatuur oppervlaktewater

De temperatuur van het oppervlaktewater in de Piushaven tussen 22 november 2016 en 15 augustus 2017 is weergegeven in Figuur 8 (oranje markerings). Het valt op dat er op 22 november meerdere meetpunten zijn. Daarnaast is de temperatuur van het water relatief hoog voor de betreffende periode van het jaar. Tussen 22 november en 1 januari 2018 worden de meetpunten niet als representatief beschouwd. Na 1 januari is er echter een logische trend in de water temperatuur te vinden die overeenkomt met de periode van het jaar. Daarom is de jaartemperatuur afgeleid van de correlatie van de data vanaf 1 januari 2016 tot 15 augustus 2017

Deze temperatuur afgeleide wordt gebruikt in de energetische analyse om het moment van laden en de hoeveelheid energie die geladen kan worden te bepalen.

Figuur 8
Temperatuur
oppervlaktewater,
locatie: Piushaven.
Bron (Maaïke
Paulissen,
persoonlijke
communicatie, 15
augustus, 2017.



Juridisch

Het gebruik van oppervlaktewater voor de levering van energie, het onttrekken en lozen van oppervlaktewater maakt de energieleverancier vergunning plichtig bij het waterschap in het kader van de Waterwet. Daarnaast zal de kade grotendeels in eigendom zijn van de gemeente en zullen doorvoeren en de aanleg van leidingen in openbaar terrein moeten worden afgestemd. Op voorhand kan niet met zekerheid worden gezegd dat het systeem zal worden vergund, maar ervaring leert dat een vergunning in goed overleg mogelijk is. Wel zijn er vaak maatwerkvoorschriften die randvoorwaarden vormen voor het ontwerp van onder andere de in- en uitlaat.

3.4 Kenmerken bodem

Bodemopbouw

De bodemopbouw in de directe omgeving van de locatie is beschreven op basis van de volgende gegevens:

- Grondwaterkaart van Nederland;
- Regionaal Geohydrologisch Informatie Systeem (REGIS);
- Boorbeschrijvingen uit het archief van TNO Bouw en Ondergrond via DINOloket;
- Boorbeschrijvingen van omliggende bodemenergiesystemen.

De bodem op de projectlocatie in Tilburg is geschematiseerd in een aantal watervoerende pakketten en scheidende lagen. De verwachte bodemopbouw op de locatie is weergegeven in Tabel 3.

Tabel 3
Bodemopbouw
ter hoogte van
het
Fabriekskwartier
in Tilburg.

Diepte [m-mv]*	Lithologie	Geohydrologie
0 – 5	fijn zand, soms klei, veen of leem	deklaag
5 – 45	matig fijn tot zeer grof zand	eerste watervoerende pakket
45 – 80	leem, klei en fijn zand	eerste scheidende laag
80 – 200	matig fijn tot zeer grof zand met kleilagen	tweede watervoerende pakket

* het maaiveld bevindt zich op circa 14 m +NAP

Vanwege provinciaal beleid (verbod voor dieper dan 80 meter) is het alleen toegestaan om een open bodemenergiesysteem te realiseren in het eerste watervoerende pakket. Dit pakket is qua zandstructuur geschikt voor een open bodemenergiesysteem. Vanwege de ondiepe ligging kan slechts een deel van het pakket gebruikt worden voor het plaatsen van het bronfilter. Hierdoor is de haalbare capaciteit per bron beperkt. Verwacht wordt dat de beoogde capaciteit van 45 m³/uur geleverd kan worden met één doublet (één koude en één warme bron).

Geohydrologie

In Tabel 4 zijn de relevante technische en juridische aspecten opgenomen die van invloed zijn op de werking van een bodemenergiesysteem in het eerste watervoerende pakket. In en onder de tabel zijn de aandachtspunten/risico's of belemmeringen nader toegelicht.

Tabel 4
 Technische en juridische aspecten
 bodemenergiesysteem voor de locatie
 Fabriekskwartier Tilburg.

Onderwerp		Toelichting
bodemopbouw		
doorlaatvermogen	✓	geschikt
dikte pakket	✓	voldoende dik
grondwater		
grondwaterstand	✓	dieper dan 0,8 m-mv
stijghoogte 1 ^e watervoerend pakket	✓	geen risico op artesisch grondwater
grondwaterstroming	✓	10 m/jaar in noordoostelijke richting
zoet/brak/zout-overgangen	✓	overgangen op circa 250 m-mv
gas	✓	geen afwijkende gasdruk
deeltjes	✓	geen verhoogd risico op deeltjes
redox	⚠ 1	redoxrisico door beperkte dikte deklaag en onzekerheid over samenstelling deklaag.
temperatuur	✓	12 °C
vergunbaarheid		
grondwatergebruikers	⚠ 2	open bodemenergiesysteem van St. Jozefzorg ten zuidwesten van locatie. Afstemming van bronlocaties is nodig om negatieve interferentie te voorkomen.
zettingen	✓	noemenswaardige zetting wordt niet verwacht
grondwaterbescherming	✓	niet gelegen in een grondwaterbeschermingsgebied
natuurbelangen	✓	niet gelegen in een restrictiegebied
archeologie	✓	hoge verwachting archeologische waarden, geen belemmering
verontreinigingen	⚠ 3	VOCI-verontreiniging ten noorden van Piushaven. Afstemming van bronlocaties is nodig om beïnvloeding van verontreinigingen te voorkomen.
bodemenergieplan	✓	niet gelegen in bodemenergieplan
inpassing bronnen en leidingen		
belangen	✓	aanwezige kabels en leidingen: overleg met gemeente noodzakelijk
toestemming bronnen op gemeenteground	✓	overleg met gemeente noodzakelijk



geschikt, geen belemmering of
aandachtspunt



aandachtspunt of risico



hoog risico of belemmering

1) Redox

De deklaag bestaat uit fijn zand met soms klei, veen of leem. Doordat het scheidende vermogen van de deklaag beperkt is, kan zuurstofrijk regenwater doorgedrongen zijn tot in het eerste watervoerende pakket. Hierdoor kan er een redoxgrens aanwezig zijn in het eerste watervoerende pakket. Op basis van beschikbare boorbeschrijvingen en waterkwaliteitsmetingen dient onderzocht te worden hoe groot dit risico is.

2) Grondwatergebruikers

Ten behoeve van het voormalige zorgcentrum St. Jozefzorg is een bodemenergiesysteem vergund van 108 m³/h en 362.000 m³/jaar. Gezien de geringe omvang van het beoogde bodemenergiesysteem (45 m³/h en ~50.000 m³/jaar) en de grootte van het terrein, wordt verwacht dat het bodemenergiesysteem van Jozefzorg geen belemmering vormt. Het werkelijke totaal debiet van het bodemenergiesysteem van St. Jozefzorg in 2013, 2014 en 2015 is 87.000, 140.000 en 92.000 m³/jaar, respectievelijk. Dit is significant minder dan de vergunde capaciteit. Dit maakt de mogelijke interferentie tussen de beide bodemenergiesystemen nog kleiner.

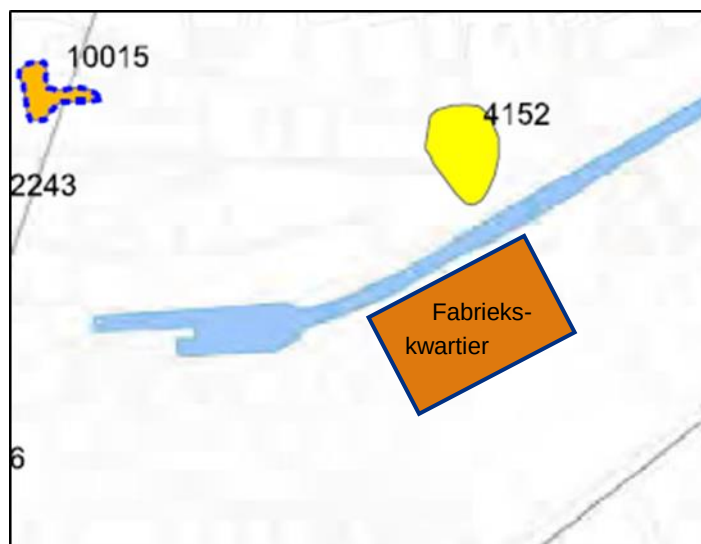
3) Verontreinigingen

Binnen de stad Tilburg zijn meerdere grondwaterverontreinigingen aanwezig. Ten noorden van de Piushaven is een VOCI-verontreiniging aanwezig (zie Figuur 9). Dit betekent dat er vluchtige chloorkoolwaterstoffen in de bodem zitten. Ze zijn en werden vaak toegepast als oplosmiddel en/of ontvettingsmiddel in de metaal- en galvanische-, de elektronische- en de grafische industrie. Daarnaast als reinigingsmiddel bij chemische wasserijen. Het wordt verwacht dat de verontreiniging geen belemmering vormt, maar dat bij de positionering van de bronnen met deze verontreiniging rekening gehouden dient te worden. Tevens moet er rekening worden gehouden met het Gebiedsgericht grondwaterbeheer die geldt in Tilburg.

Echter de exacte status, omvang en diepte van de verontreiniging is in de huidige studie niet bekend. Hiervoor dient nadere informatie ingewonnen te worden bij de gemeente. In dit stadium wordt er nog niet gerekend aan de verplaatsing van de verontreiniging. Om een gefundeerde uitspraak te kunnen doen wat het risico op verontreiniging van het oppervlaktewater is, dient ook meer informatie over het oppervlaktewater ingewonnen te worden. Hierbij zijn onder andere zaken zoals drainerende of infiltrerende effecten, en de weerstand van de bodem en de kade belangrijk. Een eerste inschatting is dat de invloed (aanzuigende werking) van de WKO het oppervlaktewater niet zal verontreinigen, maar dat het oppervlaktewater er juist voor zorgt dat de verplaatsing door het oppervlaktewater gedempt wordt.

Andere verontreinigingen in de buurt van het Fabriekskwartier vormen geen belemmering voor een WKO + TEO systeem.

*Figuur 9
VOCl verontreiniging
in Tilburg nabij
Piushaven en
Fabriekskwartier.*



Concept

Het beoogde debiet is ca. 30 m³/uur. Dit debiet kan met een doublet gerealiseerd worden. Een (goedkopere) monobron is in het huidige geval geen optie, vanwege de relatief kleine dikte van het eerste wervoerende pakket. Een overzicht van de bijbehorende eigenschappen van een doublet zijn weergegeven in Tabel 5. Het theoretische principe van deze concepten is beschreven in Bijlage 1.

*Tabel 5
Eigenschappen WKO
bron(nen) voor het
Fabriekskwartier in
Tilburg.*

Eigenschap	Eenheid	Doublet
Maximale boordiepte	m-mv	45
Boordiameter	mm	500 – 600
Bronafstand	m	125

In Figuur 10 is een indicatie van de bronlocaties (rondjes) gegeven. Hierbij is rekening gehouden met de VOCl verontreiniging en het bodemenergiesysteem van St. Jozefzorg. De exacte bronlocaties van St. Jozefzorg zijn bekend, daarom moet de warme bron ten westen van de koude bron geplaatst worden.

*Figuur 10
Locaties potentiële
WKO (rondjes) in het
Fabriekskwartier
Tilburg. Locatie
gerealiseerde WKO
St. Jozefzorg
(vierkantjes). Blauw
is koud, rood is
warm.
Bron: Google Earth.*



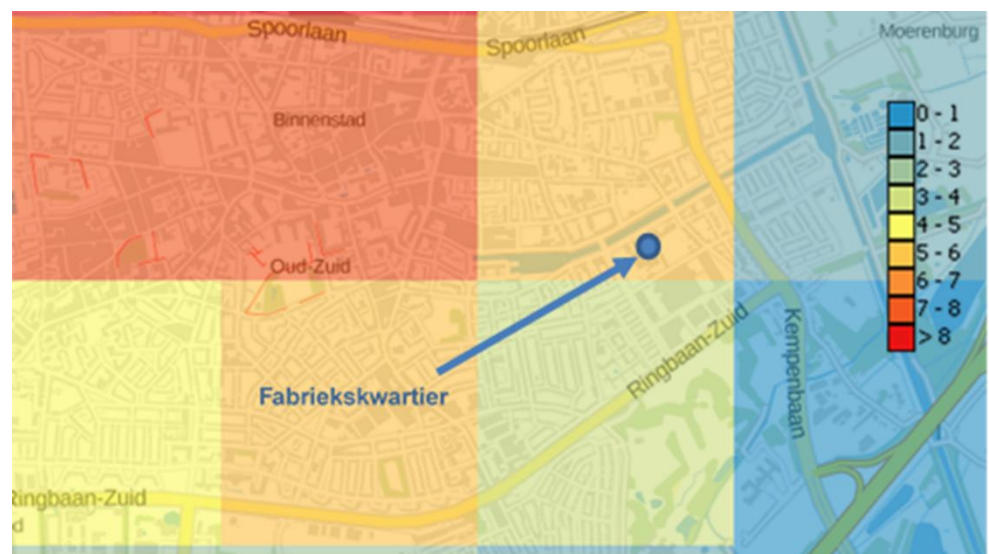
3.5 Klimaatadaptie

Het klimaat warmt op en veel van de sinds de jaren vijftig waargenomen veranderingen in het klimaatsysteem zijn in de afgelopen honderden tot duizenden jaren niet eerder voorgekomen. De concentratie van broeikasgassen is toegenomen, de atmosfeer en de oceanen zijn opgewarmd, de hoeveelheid sneeuw en ijs is afgenomen en de zeespiegel is gestegen. Nederland en omliggende landen zijn tweemaal zo snel opgewarmd als gemiddeld op aarde en ook is het hier meer en extremer gaan regenen. Zowel mondiaal als voor Nederland was er in het jaar 2016 een warmte record. Het KNMI heeft klimaatscenario's opgesteld voor de temperatuursverhoging in 2050. Door klimaatverandering zullen er meer warme zomers voorkomen. De zomer krijgt meer tropische nachten, met een minimumtemperatuur van 20°C of hoger, en meer zomerse dagen, met een maximumtemperatuur van 25°C of hoger. Hierdoor zal het aantal locaties met problematische blauwalgenbloei en de duur van blauwalgenbloei toenemen (bron: KNMI, 2015).

Door het verharde oppervlak en de gebouwen in steden in combinatie met eventueel stilstaand water wordt deze warmte extra vastgehouden en ontstaan hitte-eilanden. Deze hitte-eilanden hebben een negatief effect op de waterkwaliteit. In de Klimaateffectatlas zijn deze effecten te zien middels de hittekaart. In Figuur 11 is voor Tilburg te zien dat de temperatuur in stedelijk gebied tot wel 7-8 °C hoger kan zijn dan daarbuiten. In Figuur 8 is te zien dat de temperatuur van het oppervlaktewater soms boven de 25 °C komt. Dit zal invloed hebben in de ontwikkeling van blauwalgen en met de verwachte klimaatverandering in de toekomst erger worden.

Het onttrekken van warmte uit oppervlaktewater heeft een verkoelend effect op het lokale klimaat. Hiermee zal het oppervlaktewater minder of geen warmte uitstraling meer hebben naar de omgeving en wordt verslechtering van de waterkwaliteit door het stedelijk hitte-eiland effect beperkt. Daarnaast zorgt het aanbieden van duurzame koeling met grondwater voor een directe warmte emissiereductie van 1.050 GJ_{th} ten opzichte van traditionele koelers (compressiekoelmachine), waarmee extra hittestress wordt voorkomen.

Figuur 11
Hittekaart van
Tilburg,
Bron:
Klimaat-effectatlas.



3.6 Omgevingsbelangen

3.6.1 Juridische belangen

Voor het realiseren van de energievoorzieningen dienen diverse aspecten juridisch te worden geborgd.

Vergunningen

De benodigde vergunningen voor het onttrekken van bodemenergie (vergunning Waterwet, lozingsvergunning) en het onttrekken van water aan de Piushaven dienen te worden aangevraagd. Hierbij worden geen (significante) knelpunten voorzien.

4

Business case

Aan de hand van de geïnventariseerde data, die zijn beschreven in hoofdstuk 3, is de business case (BC) doorerekend. De BC is opgesplitst in drie onderdelen:

- energetisch concept;
- schets ontwerp van het systeem;
- financiële analyse.

Indien aannamen of kentallen gebruikt worden die niet afkomstig zijn uit hoofdstuk 3 zal dit expliciet vermeld worden.

4.1 Energieconcepten

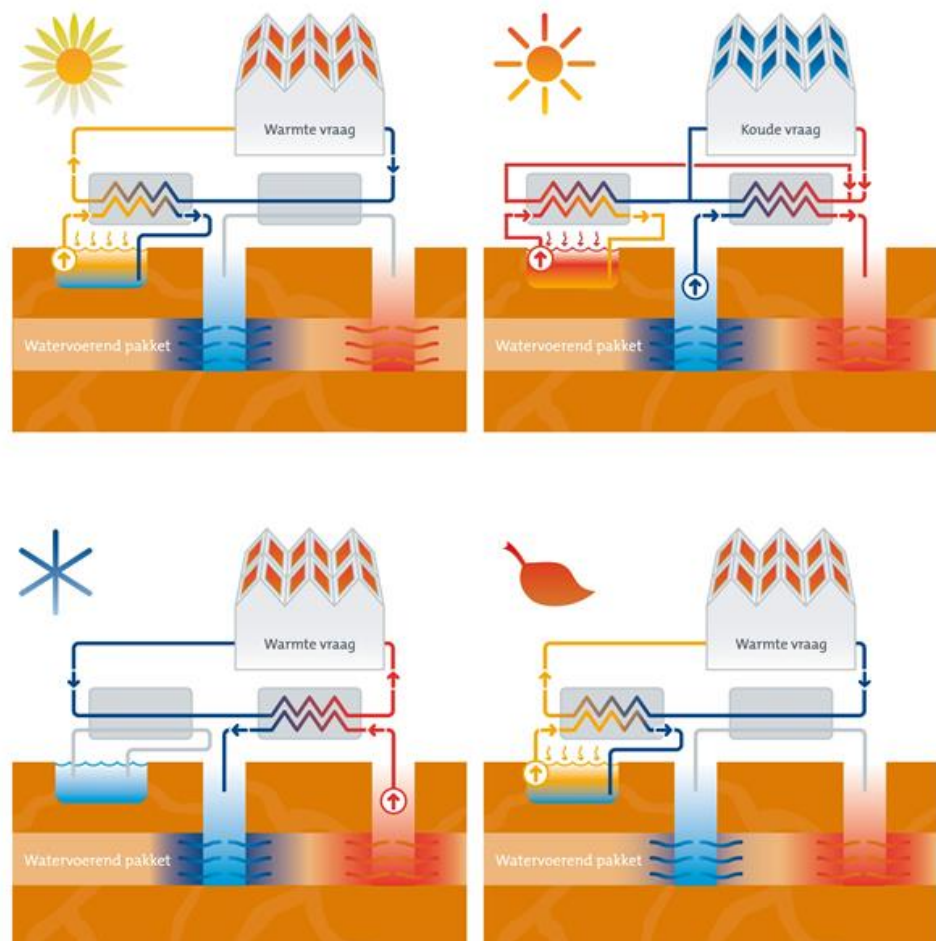
Bij de toepassing van TEO zijn er globaal twee concepten mogelijk: warmte uit oppervlaktewater of koude uit oppervlaktewater (zie Bijlage 1). Afhankelijk van de randvoorwaarden binnen een project bepaald het concept voor een groot deel de financiële, technische en juridische haalbaarheid. Belangrijke aspecten binnen een concept zijn:

- energievraag (warmte en koude);
- afgiftesysteem;
- distributienet;
- tapwaterbereiding;
- geschiktheid bodem voor WKO;
- aanwezigheid van oppervlaktewater en/of kunstwerken;
- ruimtegebruik inpandig.

Systeemkeuze energievraag

Het Fabriekskwartier in Tilburg kenmerkt zich door een overwegende warmtevraag en een significante koelbehoefte met een verhouding van 4:1. Hierbij is het toepassen van warmte uit oppervlaktewater in combinatie met WKO een voor de hand liggende oplossing (zie Bijlage 1, Figuur 22). Zeker als het afkoelen van het oppervlaktewater een bijdrage kan leveren in de bestrijding van het hitte-eiland effect. Bij de selectie van de locatie is aangenomen dat de Piushaven voldoende potentie biedt voor het winnen van warmte voor de locatie. De bodemcapaciteit is voldoende voor het toepassen van WKO (zie paragraaf 3.4). In Figuur 12 is het globale principe van de energiestromen in de verschillende seizoenen weergegeven.

*Figuur 12
Inzet TEO voor de
energievoorziening in
de vier seizoenen.
Met de klok mee:
lente, zomer, herfst,
winter.*



Door in het voorjaar en najaar ook direct warmte te winnen kan optimaal gebruik gemaakt worden van het potentieel van het oppervlaktewater. Door de combinatie met WKO kan ook duurzame koeling worden geleverd voor het gebouw. De koeling kan rechtstreeks worden geleverd door middel van vloerkoeling of via een luchtbehandelingskast (LBK).

Vanwege de relatief kleine dikte van het eerste watervoerende pakket is een doublet noodzakelijk. Er dient ruimte vrijgemaakt te worden voor een technische ruimte (TR).

Tevens dient de technische ruimte op een strategische plek t.o.v. van het TEO systeem en WKO systeem geplaatst te worden om de kosten van het distributienet zoveel mogelijk te verlagen.

Systeemkeuze gebouwinstallatie: monovalent

Een andere belangrijke keuze is het type gebouwinstallatie waarmee de hoogwaardige warmte wordt geproduceerd. De belangrijkste twee installaties zijn:

- monovalent (warmtelevering 100% met warmtepompen, all-electric);
- bivalent (warmtelevering met warmtepompen en piekketels op aardgas).

In Bijlage 2 wordt een overzicht gegeven van de overwegingen die spelen bij het maken van deze keuze.

Het gaat hierbij om overwegingen op het gebied van:

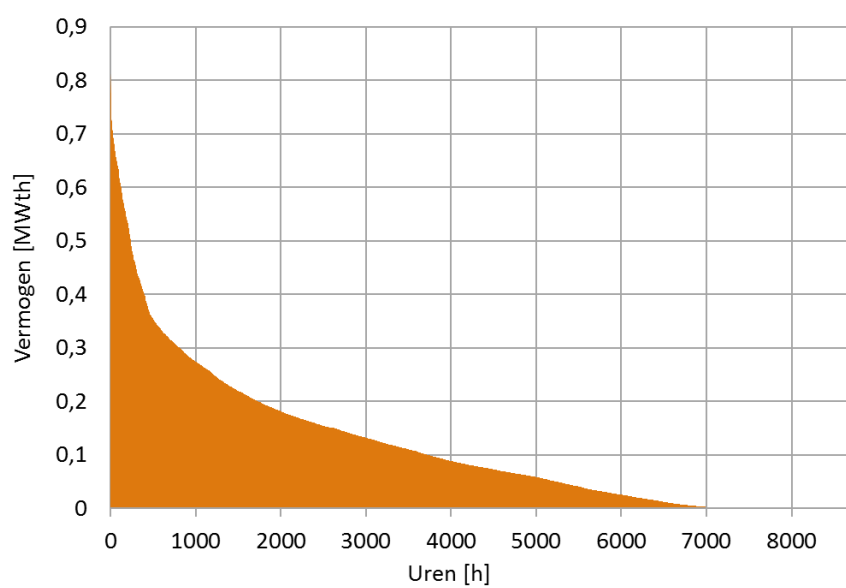
- duurzaamheid;
- financiën;
- leveringszekerheid;
- inpassing.

Bij het Fabriekskwartier is het de wens om een aardgasloze klimatisering te realiseren. Om die reden wordt als systeemconcept gekozen voor een monovalent opwekkingssysteem. Vanuit duurzaamheidsoverwegingen heeft dit systeem ook de voorkeur. De CO₂-emissiereductie is bij een monovalent systeem maximaal als er gebruik wordt gemaakt van groene stroom. De opgave is om vervolgens een systeem te ontwerpen dat voor de overige parameters voldoet aan de haalbaarheidsnormen.

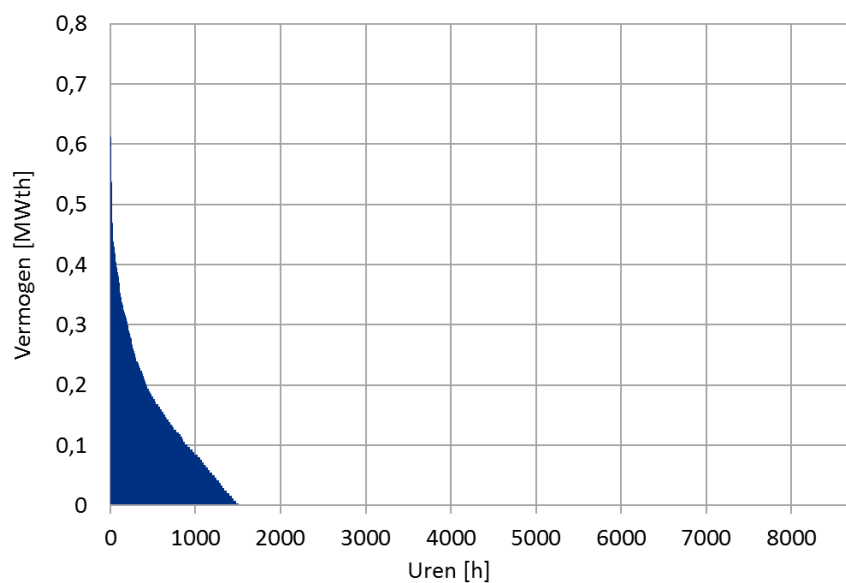
Uitwerking en resultaten energieconcept

In paragraaf 3.2 is een inventarisatie gemaakt van de energievraag voor warmte en koude van De Beurs. Om een nauwkeurige analyse te kunnen maken van het totale energieconcept zijn de uitgangspunten voor warmte geschaald naar een bestaande warmtevraag voor een soortgelijke wijk met een vergelijkbare functie. Op deze manier kan een bepaalde warmtevraag gedurende het jaar gekoppeld worden aan de data van het oppervlaktewater. De koudevraag en het moment van koude levering gedurende het jaar is gekoppeld aan de gemiddelde buitenluchttemperatuur van de afgelopen vijf jaar. Dit houdt in dat er pas boven een bepaalde temperatuur wordt gekoeld en het maximale vermogen wordt geleverd op de warmste dag. De koudevraag tussen minimale en maximale temperatuur wordt geschaald. De jaarbelastingduurcurve die hieruit voortvloeit voor de warmte- en koudevraag is gepresenteerd in Figuur 13 en Figuur 14, respectievelijk.

*Figuur 13
Jaarbelastingduurcurve
verwachte warmtevraag
van het
Fabriekskwartier in
Tilburg.*



*Figuur 14
Jaarbelastingduurcurve
verwachte koudevraag
van het
Fabriekskwartier in
Tilburg.*



Door TEO toe te passen kan er een energiebalans gecreëerd worden voor het WKO systeem. Dit betekent dat er nagenoeg evenveel warmte geleverd wordt door de warme bron in de winter als dat er warmte geladen wordt in de warme bron tijdens de zomer. Om deze balans te creëren zijn het oppervlaktewater debiet en de minimale oppervlaktewater temperatuur waarbij TEO in werking treedt op elkaar afgestemd.

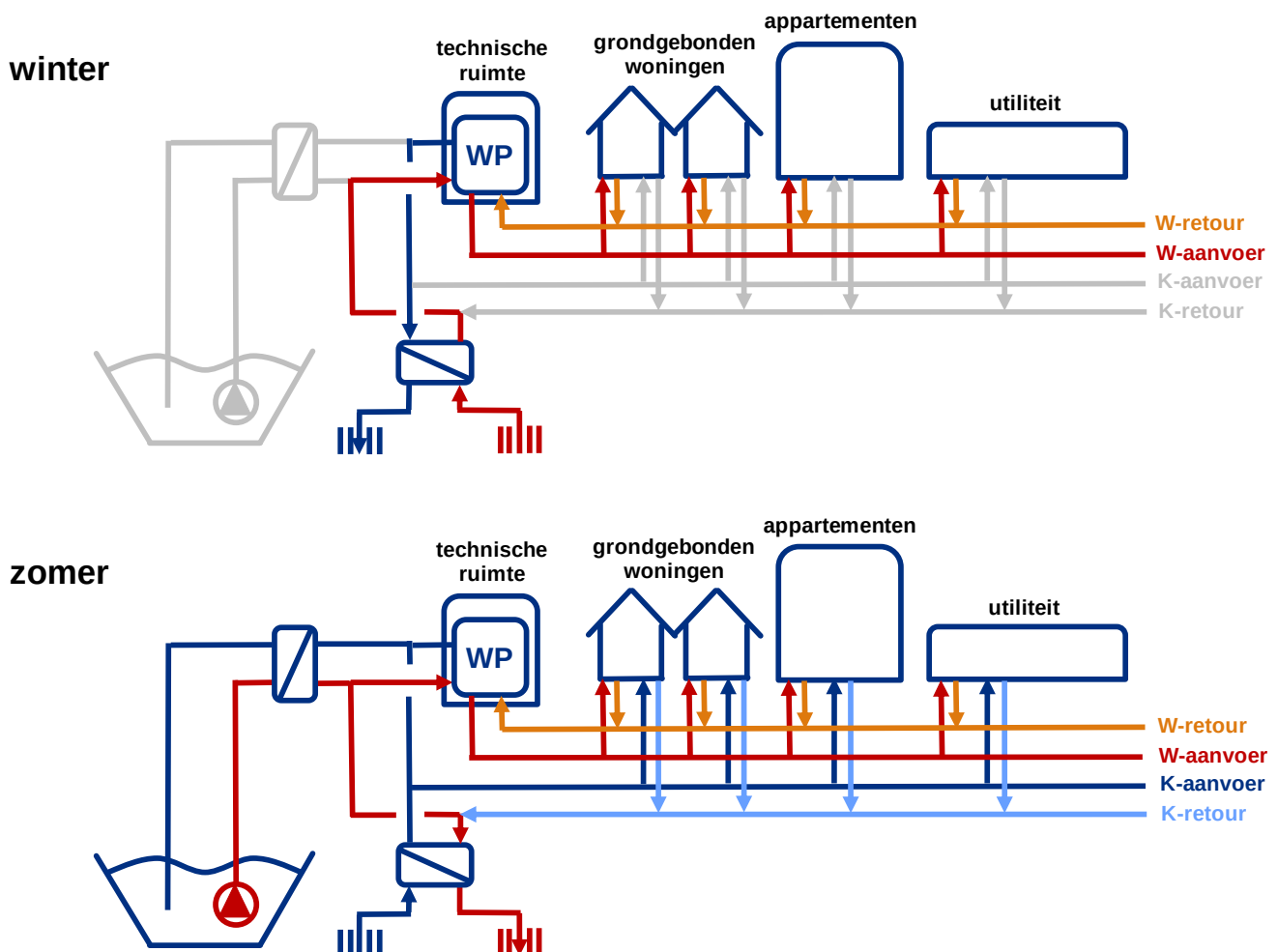
Een aantal belangrijke input en output gegevens van het energieconcept zijn te zien in Tabel 6. De maximaal benodigde debieten zijn belangrijk om het systeem te dimensioneren en om zo de investeringskosten te kunnen ramen. In Figuur 15 is het TEO systeem in een principeschema gepresenteerd gedurende de winter, zomer en lente/herfst. In de lente en de herfst wordt aangenomen dat de koeling niet in werking is, maar dat het TEO systeem wel warmte levert. Er moet expliciet vermeld worden dat de aangegeven jaargetijden niet overeen hoeven te komen met de meteorologische seizoenen. In dit geval zijn de seizoenen indicatief en afhankelijk van de oppervlaktewater temperatuur. In de volgende twee paragrafen worden deze gegevens gebruikt voor het schetsontwerp en de financiële analyse. In Figuur 16 is een standaard gebouwzijdig concept uitgelicht. Er zijn meerdere concepten mogelijk.

*Tabel 6
Input en output
parameters van het
energetische concept
voor het
Fabriekskwartier in
Tilburg.*

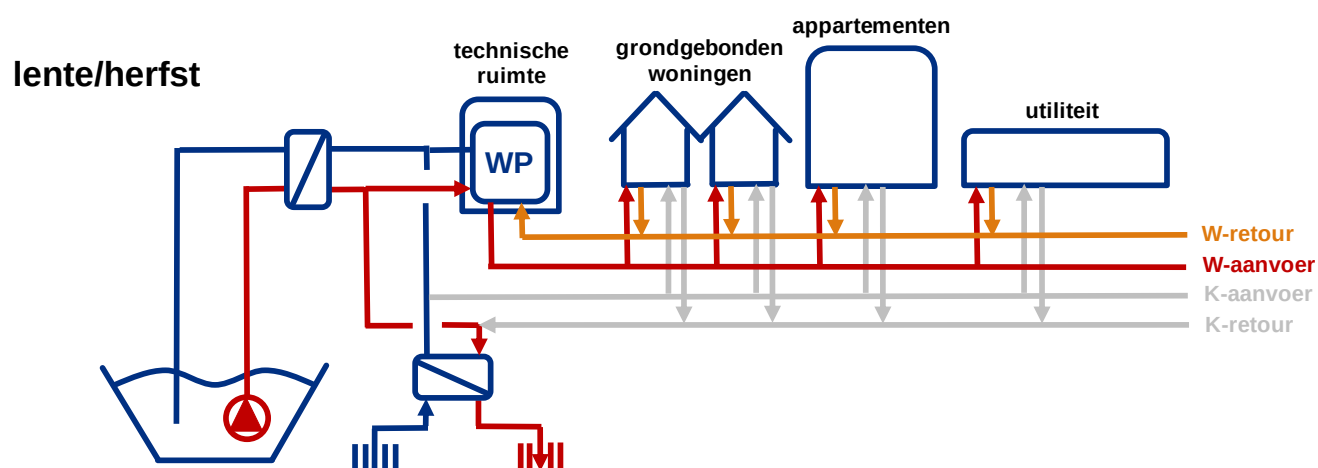
Input parameters	Eenheid	Waarde
Minimale uitkoeling oppervlaktewater	°C	3,0
Maximale uitkoeling oppervlaktewater	°C	6,0
Minimale lozingstemperatuur	°C	15,8
Minimale onttrekkingstemperatuur	°C	18,8
Infiltratietemperatuur koude	°C	7,0
Aanvoer temperatuur gebouwzijdig	°C	65,0
Output parameters	Eenheid	Waarde
Maximale COP	-	4,1
Seasonal Performance Factor (SPF)	-	3,6
Maximaal debiet oppervlaktewater	m ³ /h	27,9
Maximaal debiet WKO	m ³ /h	44,0
Gemiddelde infiltratietemperatuur warmte	°C	19,9

Figuur 15

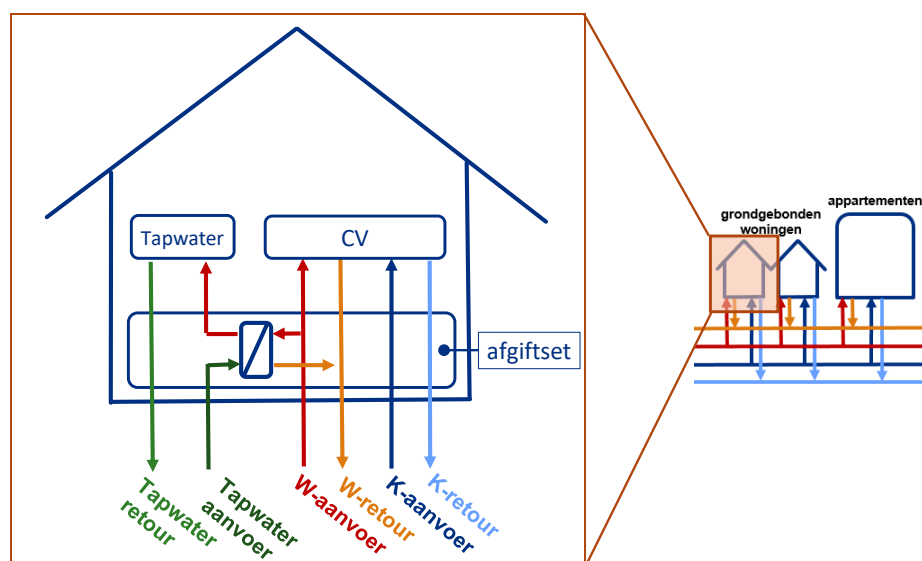
Principeschema TEO systeem in de winter, zomer en lente/herfst (Grijs = niet in bedrijf). **Winter:** het TEO systeem is uitgeschakeld in dit concept (grijs), omdat er een overwegende warmtevraag is. Er wordt geen koude geleverd aan de gebouwen (grijs). Het WKO systeem levert de warmte uit de warme bron, die opgewaardeerd wordt in een warmtepomp (WP) alvorens deze naar de gebouwen wordt gedistribueerd. **Zomer:** het TEO systeem is ingeschakeld, warm water wordt aan de WP gevoed (rood) om warmte (rood) en warmtapwater (rood) te leveren. Daarnaast wordt de WKO bron geladen met warmte (rood) van het TEO systeem. De WKO levert koude aan de gebouwen (donkerblauw). De opgewarmde koude (lichtblauw), K-retour, wordt gebruikt om de WKO te laden. **Lente/herfst:** het TEO systeem en WKO systeem zijn werkzaam, maar er wordt geen koude geleverd.



Figuur 15 vervolg



Figuur 16
Uitlichting mogelijk
gebouwzijdig
concept/afgifteset.
Warmte en koude
aanvoer en retour
kan direct worden
gebruikt in de CV.
Tapwater bereiding
via warmtewisselaar.



4.2 Schetsontwerp

Voor realisatie van het systeem moeten onder meer de volgende onderdelen worden ingepast:

- in- en uitlaat oppervlaktewatersysteem (30 m³/h);
- 1 WKO doublet (45 m³/h);
- technische ruimte (warmtepomp en warmtewisselaars);
- distributieleidingen warmte en koude naar gebouwen;
- distributieleidingen WKO systeem;
- distributieleidingen TEO systeem;
- aansluitleidingen ten behoeve van de aan te sluiten panden.

Locatie en invoeging

Ter verduidelijking is het schetsontwerp, die hieronder is beschreven, in Figuur 17 te zien:

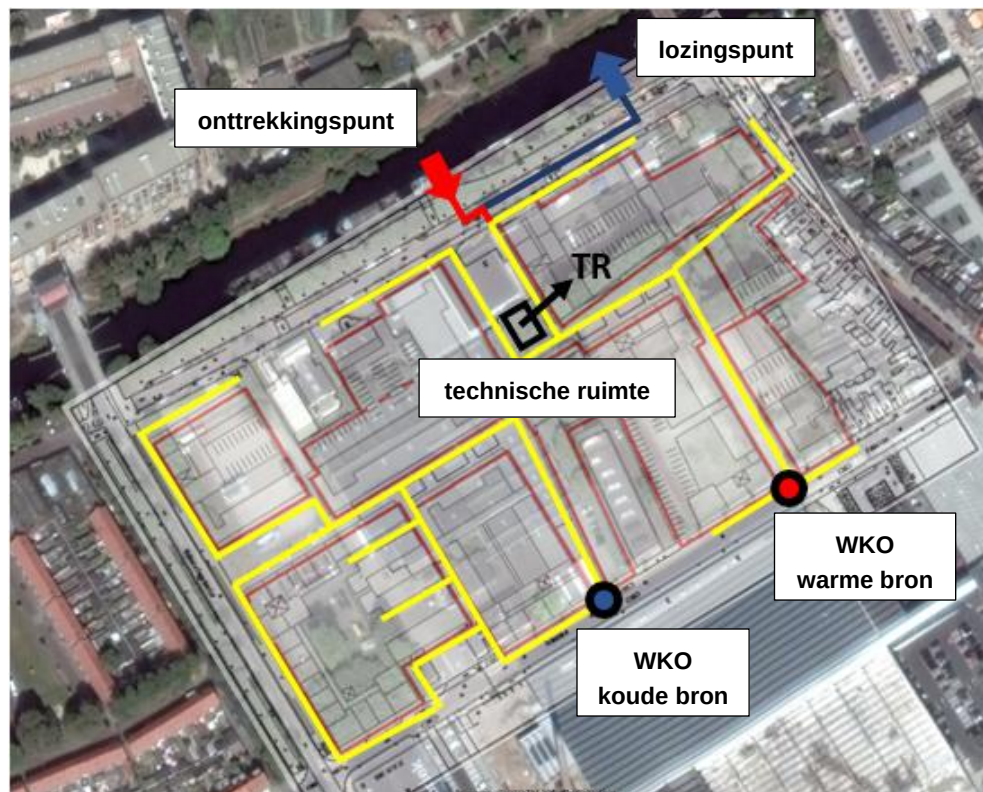
- **In- en uitlaat oppervlaktewatersysteem:** deze komen bij voorkeur centraal in het gebied te liggen, zodat de kortste route naar de technische ruimte kan worden gerealiseerd. De afstand tussen in- en uitlaat is afhankelijk van de stroomsnelheid en stroomrichting in de Piushaven en de wensen met betrekking tot uitkoeling van de waterloop. In paragraaf 3.3 is aangenomen dat de Piushaven stilstaand water is. Met het verwachte onttrekkingsdebiet, de afmetingen van het kanaal, de stroming en het temperatuurverschil tussen onttrekkings- en lozingspunt is een minimale afstand van 90 m berekend tussen onttrekkings- en lozingspunt. Het wordt verwacht dat het water ten westen sneller opwarmt dan het water ten oosten van het Fabriekskwartier, mede door invloed van het Wilhelminakanaal. Daarom is het onttrekkingspunt in het westen en het lozingspunt in het oosten geplaatst. In Figuur 24 en Figuur 25 van Bijlage 2 zijn twee typen inlaatsystemen van een gerealiseerd TEO systeem te zien. De uitlaat bij het lozingspunt kan onzichtbaar worden afgewerkt in de kademuur. Er worden speciale filters geplaatst om fauna te beschermen. Het onttrekkingsdebiet is dusdanig laag, dat stroming rondom de zuigmond laag is.

Het leidingnet van het onttrekkingspunt naar de technische ruimte en van de technische ruimte naar het lozingspunt wordt gezien als onderdeel van het oppervlaktewatersysteem. De verkeersroute aan de kade impliceert de aanwezigheid van openbare grond. De juridische en civieltechnische mogelijkheden en knelpunten voor plaatsen van de distributieleidingen dienen in detail te worden uitgezocht. Een leiding door een kade kan wellicht lastig zijn.

-
- **WKO doublet:** deze is zo ver mogelijk van VOCl verontreiniging geplaatst binnen het gebied van het Fabriekskwartier. De exacte locatie dient door middel van een effectenstudie te worden vastgelegd. Hierbij dient nauw afgestemd te worden met de gebiedscoördinator, om de bronlocatie op toekomstige ontwikkelingen te kunnen afstemmen. Toegankelijkheid tot de bronput dient niet alleen in realisatie, maar ook in exploitatiefase geborgd te worden. Als blijkt uit additioneel onderzoek dat de WKO dichterbij de TR en het oppervlaktewater geplaatst kan worden zal dit de kosten van het totale systeem verlagen. En dus is de huidige aanname voor de WKO een worst case scenario.
 - **Technische ruimte:** deze ruimte kan worden ondergebracht in een eigen ruimte of openbare ruimte. De technische ruimte kan bovengronds of ondergronds geplaatst worden. In dit specifieke geval is het wenselijk om de locatie van de technische ruimte, het TEO systeem en het WKO systeem afhankelijk van elkaar te maken om de kosten zoveel mogelijk te kunnen beperken. In de huidige business case is de locatie van de technische ruimte in het midden van het TEO en WKO systeem geplaatst. In deze fase zal de locatie geen grote effecten op de business case hebben. De technische ruimte bevat in dit geval de warmtepomp en de warmtewisselaars. De locatie van de warmtewisselaar om warmte tussen het water in het distributienet en oppervlaktewater uit te wisselen kan op verschillende plaatsen gerealiseerd worden. Dit zou eventueel ook direct bij het onttrekkingspunt en de WKO kunnen. Het wordt verwacht dat dit minimale invloed heeft op de kosten van het distributienet. Daarom is die keuze in deze business case achterwege gelaten.
 - **Distributieleidingen warmte en koude naar gebouwen:** omdat er in een wijk meerdere afnemers van warmte en koude is én het systeemconcept van centrale opwekking uitgaat, is er een centraal distributienet nodig. De leidingen die getekend zijn in het geel stellen het distributienetwerk voor warmte en koude voor. Elke gele lijn bestaat uit 4 leidingen, warmte aanvoer, warmte retour, koude aanvoer en koude retour. Dit is nodig omdat de gebouwen een verschillende warmte- en koudevraag kunnen hebben.
 - **Distributieleidingen WKO systeem:** het distributienetwerk van het TEO systeem loopt tussen het onttrekkingspunt en het lozingspunt en de TR in de kortst mogelijke manier. De leidingen vallen in Figuur 17 samen met het distributienetwerk voor de gebouwen. De capaciteit van deze leidingen moet overeenkomen met de capaciteit van het WKO systeem, namelijk 45 m³/h.

- **Distributieleidingen TEO systeem:** het distributienetwerk van het WKO systeem loopt tussen de warme en koude bron en de TR in de kortst mogelijke manier. De capaciteit van deze leidingen moet overeenkomen met de capaciteit van het TEO systeem, namelijk 30 m³/h.
- **Aansluitleidingen ten behoeve van de aan te sluiten panden:** deze lopen van het gebouw naar het distributienetwerk.

Figuur 17
Schetsontwerp WKO
+ TEO systeem van
het Fabriekskwartier
in Tilburg. In geel is
het distributienetwerk
weergegeven.



4.3 Impact leefomgeving

De voorzieningen worden deels ondergronds aangelegd (bronnen en leidingen) of in pandig (warmtepomp en warmtewisselaars). Deze hebben, na aanleg, nagenoeg geen visuele impact op de omgeving. Van de bronnen zijn de putten zichtbaar. Deze kunnen

desgewenst op maaiveld afgewerkt worden of, indien gewenst, juist uit het landschap worden getild om het duurzame karakter te benadrukken.

Het ontwerp en de constructie in de kadeafwerking zal afgestemd dienen te worden met het bevoegd gezag (de gemeente en het waterschap).

4.4 Financiële analyse

Methode

Voor de financiële analyse is het concept WKO + TEO vergeleken met 2 referentiesysteem. De referentiesystemen hebben beiden:

- een gasketel ten behoeve van de warmtevraag;
- een compressiekoelmachine ten behoeve van de koudevraag.

Referentiesysteem 1 heeft een centrale gasketel en decentrale compressiekoelmachine. In systeem 1 wordt de warmte geproduceerd in een technische ruimte vergelijkbaar als bij het systeem concept in de huidige studie met WKO en TEO. Vervolgens wordt deze warmte op een zelfde manier gedistribueerd naar de gebouwen. Het verschil is dat er geen leidingen van WKO en TEO naar de TR nodig zijn. En dat er alleen een distributienet voor warmte nodig is.

Referentiesysteem 2 heeft een decentrale gasketel en compressiekoelmachine. Decentraal betekent in deze context dat elke woning (grondgebonden of appartement) een eigen aansluiting heeft. Dit is vergelijkbaar met een conventioneel systeem. In dit geval is er geen distributienet voor warmte en koude nodig. Aan de andere kant is er wel een gasleidingnet vereist.

Het is belangrijk om te vermelden dat gebouwzijdige aanpassingen in verband met deze concepten niet zijn meegerekend in de financiële analyse. De investeringskosten (CAPEX), operationele kosten (OPEX) en eventuele subsidies zijn met elkaar vergeleken. Vervolgens is de terugverdientijd van WKO + TEO berekend ten opzichte van het referentiesysteem. Daarnaast is er het projectrendement berekend in het geval de warmte- en koudelevering geëxploiteerd wordt.

Uitgangspunten financiële analyse

Voor de financiële berekeningen is rekening gehouden met de uitgangspunten gegeven in Tabel 7.

Tabel 7
Uitgangspunten
financiële analyse.

Parameter	Eenheid	Waarde
CAPEX		
Indexering investeringskosten	%	1,8
Project looptijd	jaar	30
Herinvestering gasketel	jaar	16 (100%)
Herinvestering compressiekoelmachine	jaar	16 (100%)
Herinvestering warmtepomp	jaar	16 (100%)
Herinvestering warmtewisselaar	jaar	16 (100%)
Herinvestering afgifteset	jaar	16 (100%)
Herinvestering leidingnet	jaar	16 (34%)
OPEX		
Indexering operationele kosten	%	1,8
Netbeheerder	-	Enexis

Investeringskosten

In Tabel 8 zijn de eenmalige investeringskosten voor WKO + TEO in beeld gebracht. De investeringskosten van het referentiesysteem zijn gegeven in Tabel 9.

Tabel 8
Investeringskosten
realisatie WKO +
TEO.

Investeringskosten WKO + TEO	Eenheid	Kosten
Bodemenergie voorzieningen	€	188.000
Oppervlaktewater voorzieningen	€	113.000
Distributie voorzieningen	€	564.000
Warmtepomp	€	213.000
Afgifteset	€	1.019.000
Ontwerp, advies en vergunningen (10%)	€	210.000
Onvoorzien (20%)	€	419.000
Totaal	€	2.726.000

Tabel 9
Investeringskosten
realisatie
referentiesysteem 1.
Centrale gasketel en
compressiekoelmach
ine.

Investeringskosten referentiesysteem 1	Eenheid	Kosten
Gasketel	€	55.000
Koelmachine	€	372.000
Distributie voorzieningen	€	302.000
Afgifteset	€	1.019.000
Ontwerp, advies en vergunningen (10%)	€	175.000
Onvoorzien (20%)	€	303.000
Totaal	€	2.224.000

Tabel 10
Investeringskosten
realisatie
referentiesysteem 2.
Decentrale gasketel
en
compressiekoelmach
ine.

Investeringskosten referentiesysteem 2	Eenheid	Kosten
Gasketel	€	988.000
Koelmachine	€	371.000
Ontwerp, advies en vergunningen (10%)	€	47.000
Onvoorzien (20%)	€	95.000
Totaal	€	1.656.000

Eenmalige inkomsten

In Tabel 11 zijn de eenmalige inkomsten in beeld gebracht voor een WKO + TEO systeem. De Energie-investeringsaftrek (EIA) is vanuit het ministerie van Economische Zaken bedoeld om duurzaam ondernemen te stimuleren. Met deze regeling kan 55% van de investeringskosten afgetrokken worden van de fiscale winst. Dit levert een gemiddeld voordeel op van 13,5%. Een belangrijke voorwaarde om in aanmerking te komen voor de EIA is dat de energiezuinige investering als "bedrijfsmiddel" op de Energielijst van RVO staat.

Voor de aansluiting op een warmtenet kan een eenmalige aansluitbijdrage gevraagd worden. Bij een bestaand warmtenet is deze aansluitbijdrage gereguleerd door de Autoriteit Consumenten Markt. De eenmalige aansluitbijdrage in 2017 is € 1011,73 incl. BTW. Bij een nieuw aan te leggen warmtenet wordt er geen vaste prijs gesteld. In de huidige business case is uitgegaan van een eenmalige aansluitbijdrage van € 1500 excl. BTW.

De investeringssubsidie duurzame energie (ISDE) is in dit geval niet van toepassing. De ISDE is van toepassing op warmtepompen tot 70 kW. De warmtepomp in de huidige studie is groter dan 700 kW.

Tabel 11
Eenmalige inkomsten
realisatie WKO +
TEO.

Inkomsten WKO + TEO	Eenheid	Opbrengst
Energie-investeringsaftrek (EIA) 13,5%	€	68.000
Bijdrage aansluitkosten (BAK)	€	480.000
Investeringssubsidie duurzame energie (ISDE)	€	n.v.t.

In Tabel 12 zijn de eenmalige inkomsten in beeld gebracht voor een referentiesysteem 1, met een centrale gasketel en compressiekoelmachine. Dit systeem komt niet in aanmerking voor EIA, omdat er geen energiezuinige investering plaatsvindt. Dit geldt ook voor de ISDE.

Voor de aansluiting op een warmtenet kan daarentegen wel dezelfde eenmalige aansluitbijdrage gevraagd worden als bij het WKO + TEO systeem.

Tabel 12
Eenmalige inkomsten
realisatie
referentiesysteem 1.
Centrale gasketel en
compressiekoelmachine.

Inkomsten referentiesysteem 1	Eenheid	Opbrengst
Energie-investeringsaftrek (EIA) 13,5%	€	n.v.t.
Bijdrage aansluitkosten (BAK)	€	480.000
Investeringssubsidie duurzame energie (ISDE)	€	n.v.t.

Het conventionele systeem met een decentrale gasketel en een decentrale compressiekoelmachine komt niet in aanmerking voor subsidies.

Tarieven

In Tabel 13 zijn de tarieven voor elektra en gas weergegeven die gebruikt zijn in de huidige business case. Het tarief voor elektra bestaat uit vaste kosten en variabele kosten. De vaste kosten voor elektriciteit en gas zijn gebaseerd op de tarieven van netbeheerder Enexis. De vaste kosten voor elektriciteit bestaan uit een aansluittarief, vastrecht transport, kW contract en kW max tarief. De vaste kosten voor gas bestaan uit een aansluittarief, transport afhankelijk tarief en een transport onafhankelijk tarief. De variabele kosten voor elektriciteit en gas zijn gebaseerd op een landelijk gemiddelde voor zakelijk of particulier gebruik. Het tarief voor gas wordt alleen toegepast op het referentiesysteem. WKO + TEO systeem is all-electric. De variabele kosten bestaan uit de energieprij, energiebelasting en opslag duurzame energie.

Tabel 13
Tarieven elektra en gas.

Tarieven	Eenheid	Tarief
Elektra		
Vaste + variabele kosten zakelijk	€/kWh	0,08
Vaste + variabele kosten particulier	€/kWh	0,165
Gas		
Vaste kosten + variabele kosten zakelijk	€/Nm ³	0,55
Vaste kosten + variabele kosten particulier	€/Nm ³	0,61

Jaarlijkse exploitatiekosten

In Tabel 14 zijn de jaarlijkse exploitatiekosten weergegeven voor het WKO + TEO systeem.

De jaarlijkse exploitatiekosten voor het referentiesysteem zijn weergegeven in Tabel 15.

Tabel 14
Jaarlijkse exploitatiekosten WKO + TEO systeem.

Exploitatiekosten WKO + TEO	Eenheid	Kosten
Inkoop		
Elektriciteit (vast en variabel)	€/jaar	39.000
Onderhoud en beheer		
Opwekking (WKO en EOW)	€/jaar	12.000
Distributienet	€/jaar	11.000
Warmtepompen	€/jaar	9.000
Afgifteset	€/jaar	41.000
Totaal	€/jaar	111.000

Tabel 15
Jaarlijkse exploitatiekosten referentiesysteem 1. Centrale gasketel en compressiekoelmachine.

Exploitatiekosten referentiesysteem 1	Eenheid	Kosten
Inkoop		
Elektriciteit (vast en variabel)	€/jaar	7.800
Gas (vast en variabel)	€/jaar	66.000
Onderhoud en beheer		
Gasketels	€/jaar	19.000
Koelmachine	€/jaar	15.000
Afgifteset	€/jaar	41.000
Distributienet	€/jaar	6.000
Totaal	€/jaar	138.000

Tabel 16
Jaarlijkse
exploitatiekosten
referentiesysteem 2.
Decentrale gasketel
en
compressiekoelmachine.

Exploitatiekosten referentiesysteem 2	Eenheid	Kosten
Inkoop		
Elektriciteit (vast en variabel)	€/jaar	7.800
Gas (vast en variabel)	€/jaar	147.000
Onderhoud en beheer		
Gasketels	€/jaar	40.000
Koelmachine	€/jaar	15.000
Totaal	€/jaar	209.000

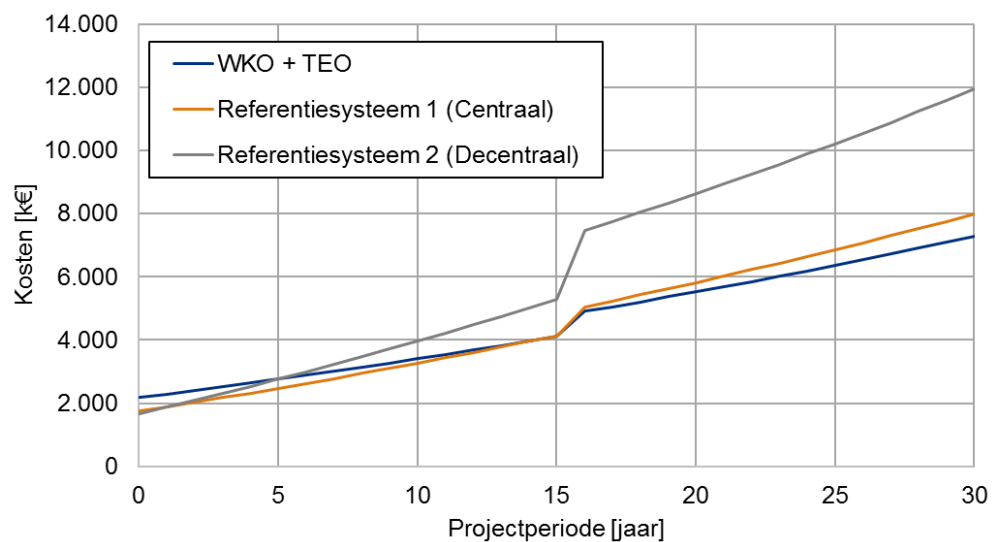
Terugverdientijd

In Figuur 18 zijn de kosten en baten van het WKO + TEO systeem (blauw) uitgezet tegen het referentiesysteem 1 met een centrale gasketel (oranje) en tegen referentiesysteem 2 met een decentrale gasketel (grijs) over een projectperiode van 30 jaar. De trend van de kosten voor beide systemen wordt onder andere veroorzaakt door de eenmalige investeringskosten en eventuele inkomsten (subsidies) in jaar 0. Daarbij zorgen de exploitatiekosten voor de stijgende lijn. Opvallend is de toename van kosten in het jaar 16, deze wordt veroorzaakt door de herinvesteringen die gegeven zijn in Tabel 7. De herinvestering van het WKO + TEO systeem zijn lager dan voor de referentiesystemen.

De terugverdientijd van een WKO + TEO systeem is ongeveer 13 jaar ten opzichte van referentiesysteem 1 met een centrale gasketel. Terwijl de terugverdientijd ten opzichte van het conventionele systeem met een decentrale gasketel 5 jaar is.

Aanvullend is een situatie doorgerekend die rekening houdt met een CO₂ emissie belasting. Hierbij wordt aangenomen dat het referentiesysteem een CO₂ emissie van 255 ton/jaar heeft. Het Planbureau voor de Leefomgeving heeft verwachte toekomstige CO₂-prijzen gepubliceerd met betrekking tot de CO₂ emissiehandel (Brink, 2015). De aangenomen CO₂ prijs voor CO₂ uitstoot in de huidige studie is 30 €/ton. Hoewel de huidige (1 augustus 2017) CO₂ prijs op 5,83 €/ton is, wordt verwacht dat de CO₂-prijs moet stijgen om verduurzaming te stimuleren. Het is te uitgerekend dat een CO₂ belasting de terugverdientijd van een WKO + TEO systeem die groene stroom gebruikt kan worden verminderd tot ongeveer 11 tot 12

Figuur 18
Kosten-batenanalyse
WKO + TEO
systeem (blauw),
referentiesysteem 1
(oranje),
referentiesysteem 2.



Projectrendement

In Tabel 17 en Tabel 18 is de jaarlijkse omzet van het WKO + TEO systeem en referentiesysteem 1 met centrale gasketel te zien. Opvallend is het verschil in koude. Bij referentiesysteem 1 wordt de koude geleverd door een compressiekoelmachine van de gebouweigenaar. In die zin betaalt de gebouweigenaar de elektriciteit direct aan zijn energieleverancier. Bij het WKO + TEO systeem wordt de koude, net als de warmte, centraal opgewekt en gedistribueerd. Dat betekent dat de exploitant van het warmte- en koudenet de koude in rekening kan brengen bij de gebruiker. Dit levert extra omzet op, waardoor WKO + TEO een interessanter karakter voor een exploitant krijgt.

Tabel 17
Jaarlijkse omzet
WKO + TEO
systeem.

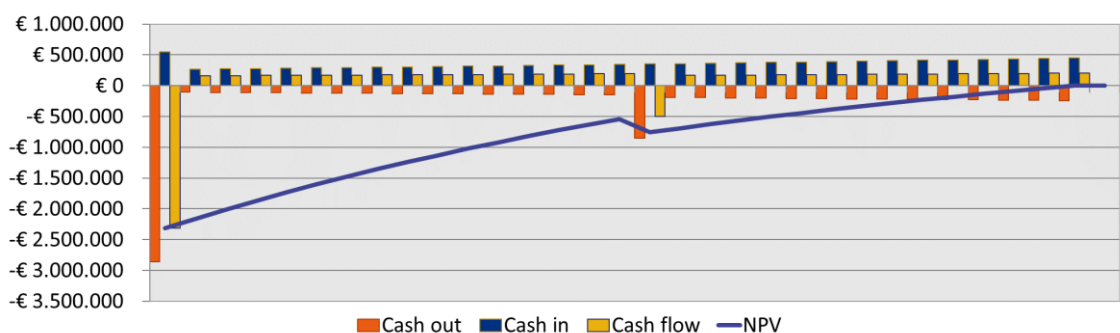
Omzet WKO + TEO	Eenheid	Kosten
Warmte	€/jaar	69.000
Vastrecht	€/jaar	79.000
Meetskosten	€/jaar	6.600
Afgifteset	€/jaar	57.000
Koude	€/jaar	52.000
Totaal	€/jaar	264.000

Tabel 18
Jaarlijkse omzet
referentiesysteem 1.
Centrale gasketel en
compressiekoelmach
ine.

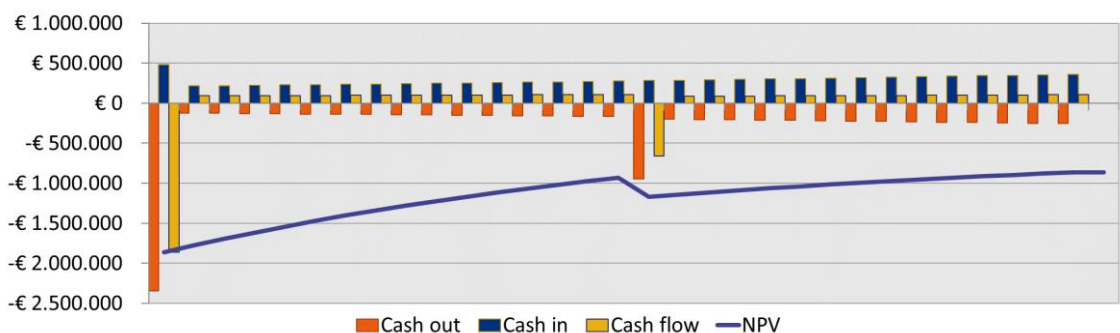
Omzet referentiesysteem 1	Eenheid	Kosten
Warmte	€/jaar	69.000
Vastrecht	€/jaar	79.000
Meetskosten	€/jaar	6.600
Afgifteset	€/jaar	57.000
Koude	€/jaar	-
Totaal	€/jaar	211.000

In Figuur 19 en Figuur 20 zijn de kasstromen en netto contante waarde (NPV) geplot van het WKO + TEO systeem en referentiesysteem 1 met centrale gasketel, respectievelijk. De disconteringsvoet om de NPV te berekenen is in beide gevallen op 5,4% gezet. Dit is gelijk aan het projectrendement voor WKO + TEO systeem. Daardoor is de NPV gelijk aan 0 na 30 jaar. Het is te zien in Figuur 20 dat het NPV negatief is na 30 jaar, wat overeenkomt met een projectrendement van 1,1%. Het verschil wordt overwegend veroorzaakt door de inkomsten van koude bij het WKO + TEO systeem.

Figuur 19
Kasstromen en
netto contante
waarde WKO +
TEO.



Figuur 20
Kasstroom en
netto contante
referentiesysteem
1. Centrale
gasketel en
compressiekoelma-
chine.



Conclusie

Op basis van de berekende resultaten kan geconcludeerd worden dat met het WKO + TEO systeem een positief financieel resultaat behaald kan worden ten opzichte van het referentiesysteem na 13 jaar voor een systeem met centrale gasketel en 5 jaar voor een systeem met decentrale gasketel. Bij het referentiesysteem wordt warmte geleverd door middel van een gasketel en koude door middel van een compressiekoelmachine. Zoals aangegeven in paragraaf 3.1 zijn de energetische uitgangspunten geschaald naar een vergelijkbaar bestaande wijk om de business case te kunnen doorrekenen. De daadwerkelijke warmte-/koudevraag voor ruimteverwarming en -koeling kan hierdoor afwijken van de gehanteerde waarden. Verder hebben de vaste en variabele kosten van elektriciteit en gas invloed op de exploitatiekosten. Dit zou de terugverdientijd van het WKO + TEO systeem kunnen beïnvloeden. Daarnaast kan het moment van herinvesteren ook een effect op de terugverdientijd hebben. Bij inachtneming van een CO₂-prijs voor CO₂ uitstoot kan de terugverdientijd worden teruggebracht met nog 1-2 jaar ten opzichte van de referentiesystemen.

Als er naast de terugverdientijd ook rekening wordt gehouden met het projectrendement, dan is het WKO + TEO systeem aantrekkelijk voor een exploitant van warmte en koude. Het projectrendement voor een WKO + TEO systeem is 5,4%, terwijl dat bij het referentiesysteem 1 met een centrale gasketel 1,1% is. Het verschil wordt veroorzaakt door de omzet die wordt verkregen door de verkoop van koude in het WKO + TEO systeem.

4.5 Duurzaamheid

Rendement en emissie

In Tabel 19 is een overzicht gegeven van enkele prestatiefactoren op het gebied van duurzaamheid. Het equivalent opwekkingsrendement (EOR) is het rendement op primaire energie van de warmte- of koudelevering tot aan de meters voor warmte- en koudelevering. Bij de EOR is rekening gehouden met een opwekkingsrendement in elektriciteitscentrales van 50% (CBS, 2013). De warmte emissie van het referentiesysteem is in dit geval volledig afhankelijk van de warmte emissie van de compressiekoelmachine. De CO₂ emissie van WKO + TEO ligt tussen de 0 – 161 ton/jaar. Dit is gebaseerd op de emissiefactoren in de Uniforme Maatlat voor 2020. De minimale uitstoot van 0 kan bereikt worden door volledige groene (duurzame) elektriciteitsopwekking. De maximale uitstoot gaat uit van grijze elektriciteitsopwekking (RVO, 2016). De referentie gaat uit van grijs gas. De CO₂ emissies zijn grafisch weergegeven in Figuur 21. Tot slot zijn de NO_x en de SO₂ emissies gegeven (CE Delft, 2015). Ook bij deze emissies is het bereik weergegeven tussen volledig groen opgewekte stroom en volledig grijs opgewekte stroom. Het is opvallend dat bij het referentiesysteem de SO₂ uitstoot significant lager is dan bij het WKO + TEO systeem. Dit komt omdat de uitstoot van SO₂ die gepaard gaat met elektriciteitsopwekking significant hoger ligt dan bij de verbranding van gas.

Tabel 19

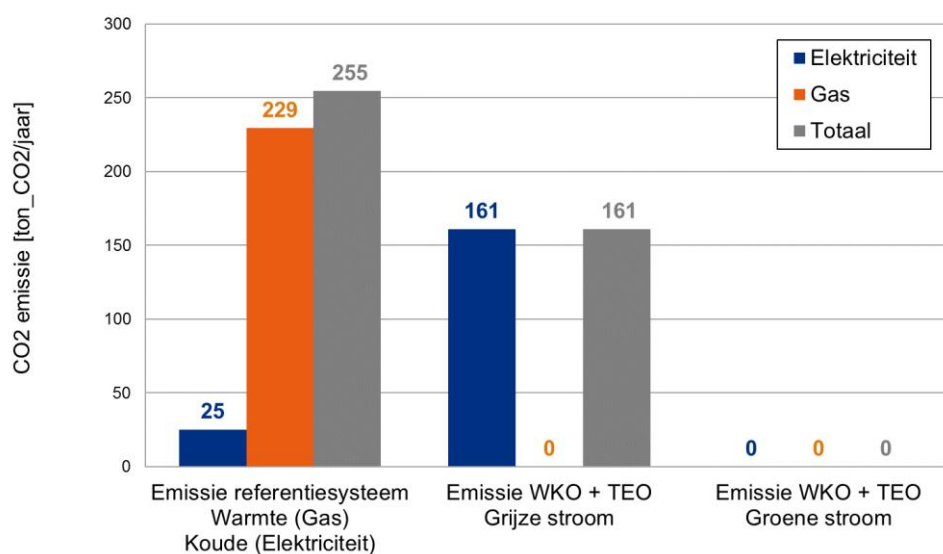
Prestatiefactoren WKO + TEO systeem en referentiesysteem 1 en 2.

Prestatiefactor	WKO + TEO ¹ (groen)	WKO + TEO ¹ (grijs)	Referentie ²	Besparing/reductie
Equivalent opwekkingsrendement (EOR)	1,68	1,68	0,91	-
Warmte emissie (hittestress) [GJ _{th}]	0	0	1056	1056
CO ₂ emissie [ton _{CO2} /jaar]	0	161	255	94 – 255
NO _x emissie [kg/jaar]	0	56	269	213 – 269
SO ₂ emissie [kg/jaar]	0	190	26	-164 – 26

¹ De spreiding in de emissie waarden worden veroorzaakt door de aanname van groen- en grijs opgewekte elektriciteit.

² De referentie situatie gaat uit van grijs gas.

Figuur 21
CO₂ emissies van
referentiesysteem (1
en 2) en WKO + TEO
systeem.



Energieverbruik

In Tabel 20 is het energieverbruik (exclusief het opwekkingsrendement van elektriciteit) gepresenteerd. Het is te zien dat het WKO + TEO systeem significant minder energie verbruikt dan het referentiesysteem om dezelfde warmte en koude te produceren. Bij een elektriciteitsopwekkingsrendement van 50% wordt het primair energieverbruik van een WKO + TEO systeem 2.700 GJ, terwijl het referentiesysteem een primair energieverbruik van 4.920 GJ heeft. Deze verhouding van primair energieverbruik is ook terug te vinden in de verhouding van de EOR in Tabel 19.

Tabel 20
Energieverbruik van
WKO + TEO
systeem en
referentiesysteem 1.

Energieverbruik	WKO + TEO	Referentie
Elektriciteit		
Warmtepomp [GJ _e]	1.060	-
Bronpomp [GJ _e]	130	-
Oppervlaktewaterpomp [GJ _e]	30	-
Distributiepomp [GJ _e]	130	-
Compressiekoelmachine [GJ _e]	-	210
Gas		
Gasketel [GJ]	-	4.500
Totaal systeem[GJ]	1.350	4.710

Flora en fauna

Het resultaat van dit concept is ook dat het oppervlaktewater dat wordt verpompt in de zomer enkele graden afkoelt, wat een positief effect heeft op de oppervlaktewaterkwaliteit. Met name in de stedelijke omgeving waar de oppervlaktewatertemperatuur negatief wordt beïnvloed door het stedelijk hitte eiland effect, ontstaan lokale knelpunten met de waterkwaliteit zoals blauwalgen, drijflagen en botulisme als gevolg van vissterfte. Vaak is dat het gevolg van een overmaat aan voedingsstoffen (eutrofiëring) in combinatie met een te hoge oppervlaktewatertemperatuur waardoor de natuurlijke processen worden versneld. Door het water in beweging te brengen kan het water meer zuurstof opnemen. Dit wordt versterkt door het water enkele graden af te koelen wat de zuurstofopname bevordert. Ook zal kouder water enkele negatieve processen remmen zoals blauwalgenbloei. Hiermee kan de Smart polder bijdragen aan klimaat adaptatie en een toekomst bestendig waterbeheer.

Dit zal niet alle problemen direct wegnemen, maar er zijn wel veel positieve effecten te benoemen te weten:

- De watertemperatuur zal afnemen, wat sturend is voor veel fysische, chemische en biologische processen.
- In koud water kan meer zuurstof opgelost worden.
- Met name in kleine wateren zal door de lozing het water in beweging gebracht worden waardoor meer zuurstof in het water wordt opgenomen (reaeratie).
- De lozing kan de vorming van het giftige waterstofsulfide verminderen, als door de lozing zuurstofarm water zuurstofrijk wordt.
- Verbeterde zuurstofcondities bevordert de binding van fosfaat aan ijzer, waardoor deze minder beschikbaar komt.
- Het koudere water zal afbraak van organisch materiaal remmen en daarmee ook het zuurstof verbruik.
- Het proces van denitrificatie zal afnemen bij een lagere temperatuur.

In 2016 kampte de Piushaven met overlast van waterpest, waardoor boten aangetast werden. Waterpest is een onderwaterplant die harder groeit bij hogere temperaturen. Door het water zomers enkele graden af te koelen kan de groei van waterpest geremd worden.

5

Conclusies en aanbevelingen

5.1 Technische en energetische haalbaarheid



Uitgangspunten en opwekkingspotentieel

Voor het Fabriekskwartier in Tilburg zijn de energetische uitgangspunten bepaald (zie paragraaf 3.2 en 4.1). Daarnaast zijn de bodem- en oppervlaktewaterkenmerken uitgewerkt om het thermisch potentieel en de technische haalbaarheid te bepalen (paragrafen 3.3 en 3.4). De resultaten zijn kort samengevat in Tabel 21.

Tabel 21
Kern uitgangspunten,
technische
haalbaarheid en
thermisch potentieel
voor het
Fabriekskwartier in
Tilburg.

Parameter	Waarde
Kern uitgangspunten	
Gebouwen	Mix van woningen en utiliteit
Warmtevraag	1.020 MWh _{th} (3.670 GJ _{th}) per jaar
Koudevraag	240 MWh _{th} (860 GJ _{th}) per jaar
Doelstellingen	Duurzaam (aardgasloos)
Technische haalbaarheid	
Capaciteit bodem: benodigd	720 MWh _{th} , 44 m ³ /h 1 doublet
Capaciteit kanaal: benodigd	490 MWh _{th} , 28 m ³ /h, 90 meter kanaal

Er kan worden geconcludeerd dat op de onderzochte locatie (het Fabriekskwartier en de Piushaven) duurzame energieopwekking uit het oppervlaktewater in combinatie met energieopslag, technisch en energetisch haalbaar is.



Systeemconcept

Voor de levering van de opgewekte energie aan de afnemers is een systeemconcept geselecteerd en uitgewerkt. De overwegingen bij het concept zijn toegelicht in paragraaf 4.1. In grote lijnen betreft het een monovalent systeem met warmte uit oppervlaktewater in combinatie met een WKO systeem. De warmte wordt opgewaardeerd met een warmtepomp. In de zomer wordt direct koude geleverd vanuit de koude bron. Regeneratie van warmte vindt plaats vanuit de Piushaven.

Er is sprake van een 100% elektrisch aangedreven warmte- en koude voorziening. Het concept is dus aardgasloos. Naast het leveren van duurzame warmte en koude levert dit

TEO concept ook een positieve bijdrage aan de doelstellingen op het gebied van klimaatadaptatie en water.

5.2 Ruimtelijke inpassing



Inpassen voorzieningen

Voor de realisatie van het systeem dienen onder meer de volgende onderdelen te worden ingepast:

- in- en uitlaat oppervlaktewatersysteem (30 m³/h);
- 1 WKO doublet (45 m³/h);
- technische ruimte (warmtepomp en warmtewisselaars);
- distributieleidingen warmte en koude naar gebouwen;
- distributieleidingen WKO systeem;
- distributieleidingen TEO systeem;
- aansluitleidingen ten behoeve van de aan te sluiten panden.

In paragraaf 0 staan de onderdelen en inpassingsmogelijkheden benoemd. In Figuur 17 is de inpassing van de onderdelen grafisch weergegeven. Aandachtspunt is onder meer de inpassing van de technische ruimte, doublet en distributienet. Voor beide voorzieningen geldt dat er nauw dient te worden afgestemd met de gebiedscoördinator. Locatie en toegankelijkheid (zowel in realisatie als exploitatiefase) dienen geborgd te worden. Er dient een ruimte gereserveerd te worden voor de technische ruimte.



Juridische knelpunten

Op juridisch gebied worden vooralsnog geen knelpunten voorzien voor de realisatie van de energievoorziening.



Impact directe leefomgeving

De voorzieningen kunnen grotendeels uit het zicht van de omgeving worden gerealiseerd (ondergronds of inpandig). De bronputten kunnen, desgewenst, juist uit het landschap worden getild en gebruikt worden om de aandacht te vestigen op de duurzame energievoorziening. De voorziening veroorzaakt geen lokaal merkbare uitstoot of geluidsoverlast. Koud water uit de retour van het oppervlaktewater systeem kan geloosd worden op de Piushaven. Dit zorgt voor stroming en temperatuurverlaging in de haven, wat de waterkwaliteit ten goede komt.



Energierendement en uitstoot

Voor het geheel van de energielevering opwekking, distributie en afgifte tot aan afgiftesets bij de afnemers wordt voor WKO + TEO een equivalent opwekkingsrendement (EOR) van 1,68 verwacht. De vergelijking is gemaakt met een conventioneel systeem (gasketel en compressiekoelmachine) die voor een vergelijkbare warmte- en koudevraag een EOR van 0,91 heeft. Door duurzaam te koelen kan er 1.050 GJ_{th} warmte emissie aan de atmosfeer voorkomen worden.



Het uitgewerkte concept WKO + TEO maakt gebruik van duurzame bronnen en is 100% elektrisch aangedreven. De complete voorziening kan energieneutraal gemaakt worden door aan te sluiten op groene (duurzame) stroom. In dat geval kan de CO₂ uitstoot tot 0 gereduceerd worden. In het slechtste geval (100% grijze stroom) is de CO₂ uitstoot met 161 ton/jaar alsnog significant lager dan een conventioneel systeem (gasketel en compressiekoelmachine) met 255 ton/jaar.

5.3 Financiële haalbaarheid



De investeringskosten, inkomsten en jaarlijkse exploitatiekosten van een WKO + TEO systeem zijn vergeleken met 2 conventioneel systeem (gasketel (centraal en decentraal) en compressiekoelmachine (decentraal)). De terugverdientijd van een WKO + TEO systeem is ongeveer 13 jaar ten opzichte van een systeem met een centrale gasketel en 5 jaar ten opzichte van een systeem met een decentrale gasketel. De terugverdientijd is afhankelijk van meerdere factoren. Belangrijke parameters die het resultaat kunnen beïnvloeden zijn de energiekosten voor gas en elektriciteit en herinvesteringskosten. Daarnaast kan een toekomstige prijs voor CO₂ uitstoot de terugverdientijd ook significant beïnvloeden. Bij een prijs van 30 €/ton CO₂ uitstoot kan de terugverdientijd verkleind worden tot 11 jaar.

Als wordt gekeken naar de kasstromen van het WKO + TEO systeem in vergelijking met het referentiesysteem met een centrale gasketel en decentrale koeling in het geval de warmte en koude geëxploiteerd zouden worden. Dan kan het WKO + TEO systeem met de aannamen gemaakt in deze studie een projectrendement van 5,4% opleveren over 30 jaar, terwijl het referentiesysteem slechts 1,1% oplevert.

5.4 Spoorboekje

Zoals geschetst in het plan van aanpak (paragraaf 2.2) zou de vervolgstap op deze business case het creëren van draagvlak bij de stakeholders kunnen zijn om het project verder te brengen. De plannen voor de ontwikkeling van het Fabriekskwartier zijn al in een

gevorderd stadium. Hierbij ligt de nadruk op een duurzame energiehuishouding. Uit de huidige studie is gebleken dat integratie van WKO + TEO in dit ontwerp een significante meerwaarde kan hebben gezien de thermische onbalans. Hierbij is het wel belangrijk dat TEO op een juiste wijze wordt geïntegreerd in het installatie concept. Voor het vervolg is het van belang dat dit wordt afgestemd met de belanghebbenden. Hierbij is het raadzaam om voorwaarden voor het vervolg vast te leggen in een intentieovereenkomst tussen de belanghebbenden. Vervolgens kan de verdiepingsfase plaats vinden waarin de kaders voor het project scherper worden uitgewerkt.

Referenties

Brink (2015). CO₂-PRIJS EN VEILINGOPBRENGSTEN IN DE NATIONALE ENERGIEVERKENNING 2015. Achtergronden bij de projecties. PBL-notitie 1900, PBL Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag. Verkregen op 4 september, 2017 van http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl_2015_co2-prijs-en-veilingopbrengsten-in-de-nationale-energieverkenning-2015_1900.pdf

CBS (2013). Rendementen en CO₂-emissie van elektriciteitsproductie in Nederland, update 2013. Verkregen op 4 juli, 2017 van <https://www.cbs.nl/nl-nl/achtergrond/2015/04/rendementen-en-co2-emissie-van-elektriciteitsproductie-in-nederland-update-2013>

CE Delft (2015). Emissiekentallen elektriciteit: Kentallen voor grijze en 'niet-geormerkte stroom' inclusief upstream-emissies. Verkregen op 4 juli, 2017 van http://www.ce.nl/publicatie/emissiekentallen_elektriciteit/1599.

EZ (2016). Energierapport – Transitie naar duurzaam. Verkregen op 20 juli, 2017 van <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2016/01/18/energierapport-transitie-naar-duurzaam>.

IF Technology (2016a). Landelijke verkenning warmte en koude uit Rijkswateren en kunstwerken. Eindrapportage 7 oktober 2016. Verkregen op 20 juli, 2017 van <https://www.uvw.nl/wp-content/uploads/2016/10/IF-Technology-Onderzoek-potentieel-warmte-koudeopslag-Waterschappen-2016.pdf>.

IF Technology (2016b). Landelijke verkenning warmte en koude uit het watersysteem. Eindrapportage 31 juli 2016. Verkregen op 20 juli, 2017 van <https://www.uvw.nl/wp-content/uploads/2016/10/IF-Technology-Onderzoek-potentieel-warmte-koudeopslag-Rijkswaterstaat-2016.pdf>.

KNMI (2015). KNMI klimaatscenario's voor Nederland '14. Verkregen op 29 juni, 2017 van http://www.klimaatsscenarios.nl/brochures/images/KNMI14_Klimaatscenarios_folder_2015.pdf.

PBL (2017). Toekomstbeeld klimaatneutrale warmtenetten in Nederland. Verkregen op 20 juli, 2017 van <http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl-2017-toekomstbeeld-klimaatneutrale-warmtenetten-in-nederland-1926.pdf>.

RVO (2016). Uniforme Maatlat Gebouwde Omgeving (UMGO) voor de warmtevoorziening in de woning- en utiliteitsbouw. Verkregen op 12 mei, 2017 van <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2016/09/Uniforme%20Maatlat%20Gebouwde%20Omgeving%20UMGO%204.0%20-%2021%20september%202016.pdf>.

Afkortingen

BC	business case
BVO	bruto-vloeroppervlakte
CAPEX	capital expenditures
EOR	equivalent opwekkingsrendement
ISDE	investeringsubsidie duurzame energie
LBK	luchtbehandelingskast
LSC	Lake Source Cooling
NCW	Netto Contante Waarde
OPEX	operating expenditures
SO	schetsontwerp
TEO	thermische energie uit oppervlaktewater
TR	technische ruimte
VOC	vluchtige chloorkoolwaterstoffen
WKO	warmte- en koudeopslag

Bijlage 1

Conceptbeschrijvingen TEO/Smart polder

6.1 Principe Smart polder – TEO

Potentie van energie uit oppervlaktewater

Voor de waterschappen en Rijkswaterstaat is in 2016 de potentie van TEO in kaart gebracht. Deze kaarten laten zien waar het economisch interessant is om warmte of koude uit oppervlaktewater te winnen. Om een economisch interessant project te kunnen maken moeten waterlopen en plassen in de nabijheid liggen van een warmte en/of koudevraag. Door de thermische vraag uit de warmteatlas te combineren met de kaart van Nederlandse oppervlaktewateren is een potentiekaart gemaakt (zie onderstaande link).

<http://www.nationaleenergieatlas.nl>

Daar waar energievraag en oppervlaktewater samenkomen is een economische rendabel project te maken. Op basis van de huidige energievraag is het economisch winbare potentieel 12% van de landelijke warmtevraag (42 PJ) en 54% van de landelijke koudevraag (3,8 PJ).

Het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden en Utrechtse gemeenten hebben deze landelijke verkenning uitgewerkt in een meer gedetailleerde regionale kansenkaart (zie onderstaande link) voor de identificatie van kansrijke locaties voor het toepassen van TEO.

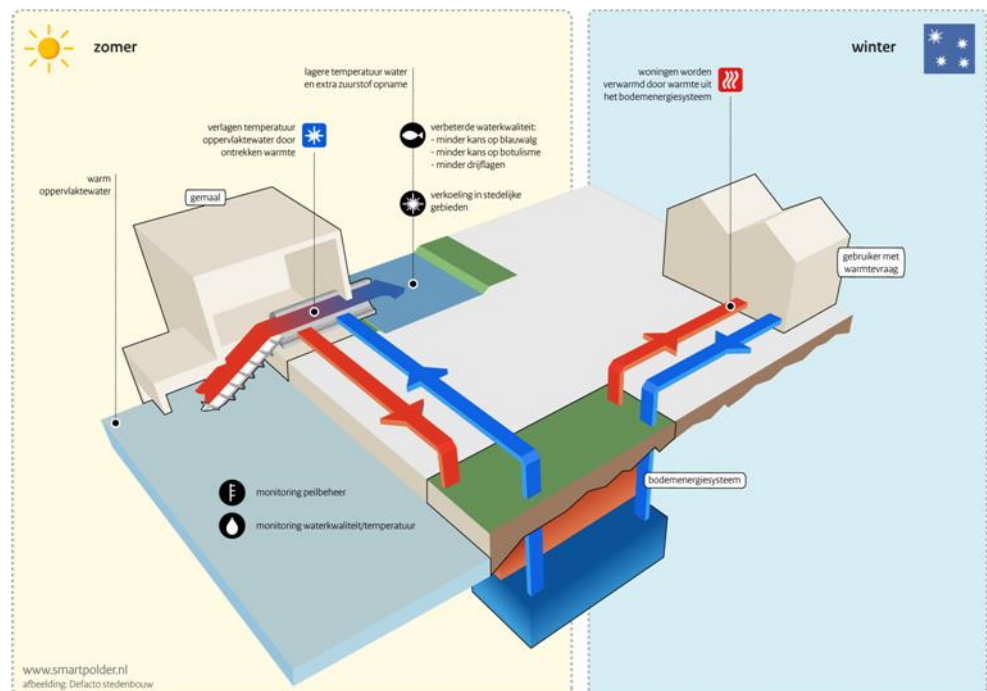
<https://www.hdsr.nl/werk/water-energiebron>

Warmte uit oppervlaktewater

Thermische energie in de vorm van warmte in oppervlaktewater in de zomer, kan worden omgezet in hoogwaardige warmte met een warmtepomp voor verwarming van gebouwen of de bereiding van warm tapwater. Dit is bijzonder goed toepasbaar bij afnemers met een overwegende warmtevraag zoals woningen. De grote potentie zit in de combinatie van warmtewinning uit oppervlaktewater met een seizoensopslag zoals een bodemenergiesysteem (= warmte-/koudeopslag = WKO). Hierbij wordt gebruik gemaakt van het natuurlijke temperatuurverschil van het oppervlaktewater in de zomer de temperatuur van grondwater (ca. 12 °C). In de zomer kan daarmee warmte uit het oppervlaktewater worden gewonnen en worden opgeslagen in een WKO (zie Figuur 22). Deze warmte kan in de winter vervolgens weer worden opgepompt om te dienen als warmtebron voor de warmtepomp. Hiermee kan op een zeer duurzame wijze warmte

worden geproduceerd. De warmte kan zeer efficiënt worden gewonnen op een gemaal of stuw aangezien daar al water stroomt.

*Figuur 22
Gemaal als warmte
centrale in
combinatie met
WKO.*



Het resultaat van dit concept is ook dat het oppervlaktewater dat wordt verpompt in de zomer enkele graden afkoelt, wat een positief effect heeft op de oppervlaktewaterkwaliteit. Met name in de stedelijke omgeving waar de oppervlaktewatertemperatuur negatief wordt beïnvloed door het stedelijk hitte eiland effect, ontstaan lokale knelpunten met de waterkwaliteit zoals blauwalgen, drijfslagen en botulisme als gevolg van vissterfte. Vaak is dat het gevolg van een overmaat aan voedingsstoffen (eutrofiëring) in combinatie met een te hoge oppervlaktewatertemperatuur waardoor de natuurlijke processen worden versneld. Door het water in beweging te brengen kan het water meer zuurstof opnemen. Dit wordt versterkt door het water enkele graden af te koelen wat de zuurstofopname bevordert. Ook zal kouder water enkele negatieve processen remmen zoals blauwalgenbloei. Hiermee kan de Smart polder bijdragen aan klimaat adaptatie en een toekomst bestendig waterbeheer.

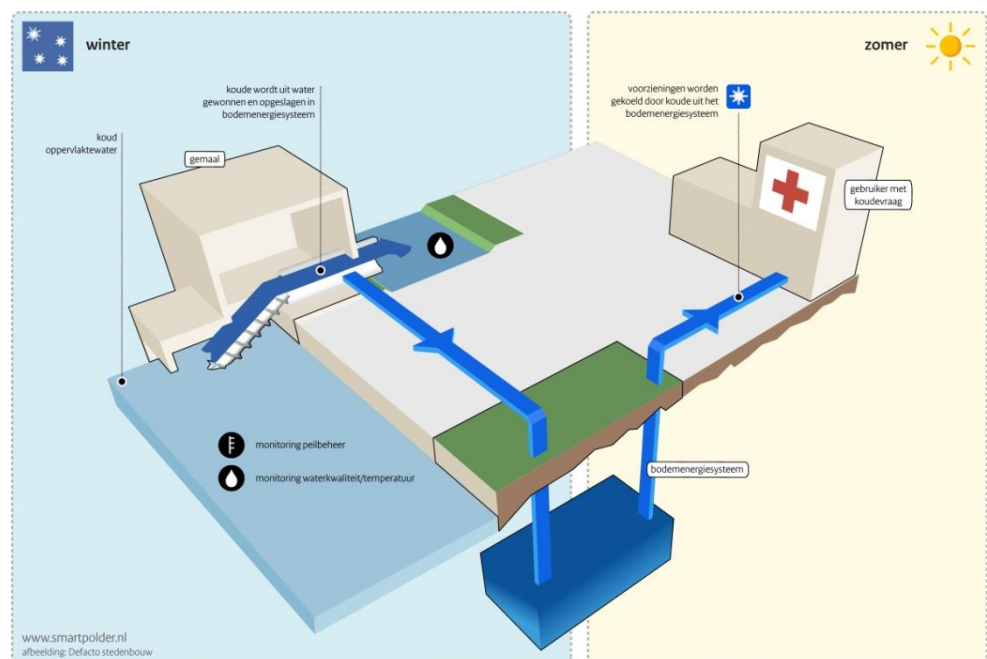
Dit zal niet alle problemen direct wegnemen, maar er zijn wel veel positieve effecten te benoemen te weten:

- De watertemperatuur zal afnemen, wat sturend is voor veel fysische, chemische en biologische processen.
- In koud water kan meer zuurstof opgelost worden.
- Met name in kleine wateren zal door de lozing het water in beweging gebracht worden waardoor meer zuurstof in het water wordt opgenomen (reaeratie).
- De lozing kan de vorming van het giftige waterstofsulfide verminderen, als door de lozing zuurstofarm water zuurstofrijk wordt.
- Verbeterde zuurstofcondities bevordert de binding van fosfaat aan ijzer, waardoor deze minder beschikbaar komt.
- Het koudere water zal afbraak van organisch materiaal remmen en daarmee ook het zuurstof verbruik.
- Het proces van denitrificatie zal afnemen bij een lagere temperatuur.

Koude uit oppervlaktewater

In de winter kan ook koude worden gewonnen uit oppervlaktewater en worden opgeslagen in een WKO voor gebruik in de zomerperiode (zie Figuur 23). Dit concept is interessant voor afnemers met een overwegende koudevraag zoals datacenters, ziekenhuizen en industrie. Hiermee kan zonder aanvullende technieken zeer duurzame koeling worden geleverd met lage temperaturen (7 à 9 °C). Ook hier kan rechtstreeks koude worden geleverd als de temperatuur van het oppervlaktewater laag genoeg is. Door grote capaciteiten van gemalen is bij een beperkte temperatuursverandering al een zeer groot koude vermogen beschikbaar en dat maakt thermische winning op gemalen erg interessant.

*Figuur 23
Gemaal als koude-
centrale in
combinatie met
WKO.*



Inlaat en uitlaat bij onttrekkingspunt TEO systeem

In Figuur 24 is de kadeafwerking bij een inlaat van een TEO systeem te zien. De inlaat in de kade is boven water geplaatst en afgewerkt onder een steiger. In Figuur 25 is een alternatief te zien, waarbij de inlaat van het TEO systeem onder water is geplaatst, volledig uit het zicht.

De inlaat kan ook als kade doorvoer worden gemaakt, daarmee is er geen object in de watergang.

De uitlaat kan onzichtbaar worden afgewerkt in de kademuur.

Figuur 24
Inlaat van een TEO
systeem. De inlaat is
boven water
geplaatst onder een
steiger.



Figuur 25
Inlaat van een TEO
systeem. De inlaat is
onder water
geplaatst onder een
steiger.

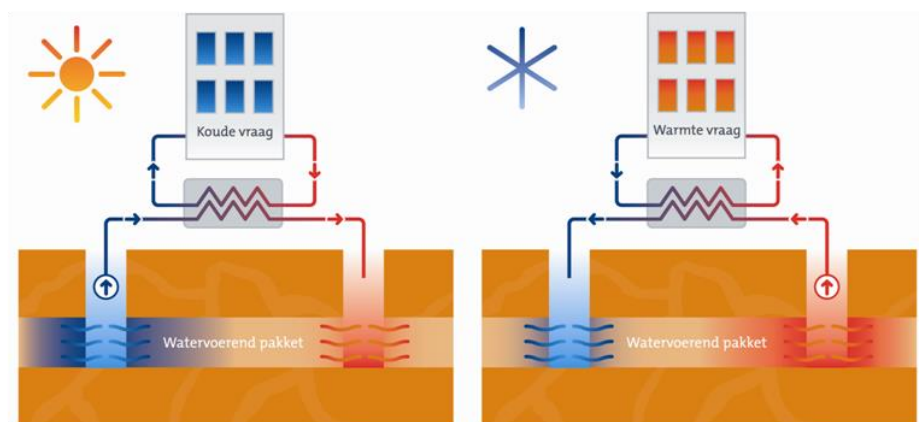


6.2 Principe Warmte- en Koude Opslag (WKO)

Het principe van een WKO met een open grondwatersysteem is dat in de winter het gebouw of proces wordt verwarmd met zomerwarmte en in de zomer wordt gekoeld met winterkoude. De warmte en koude worden door middel van open bronnen in een ondergrondse watervoerende laag opgeslagen en onttrokken.

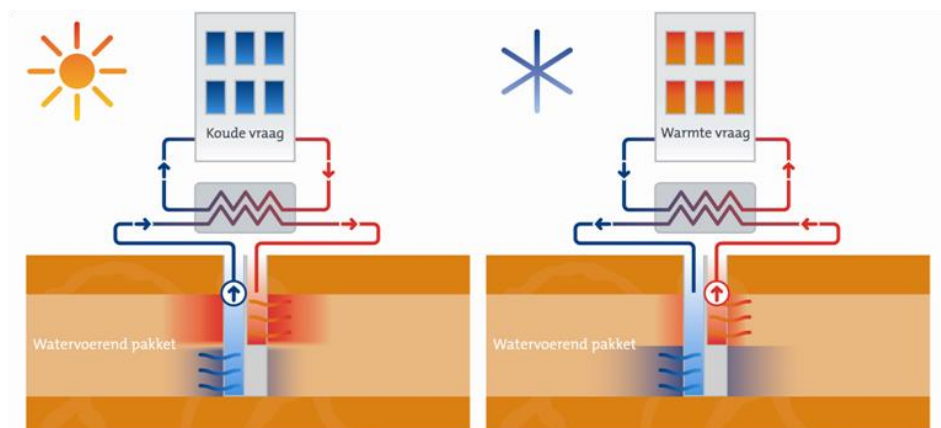
Toepassing van dit principe kan op meerdere manieren. Bijvoorbeeld met een aparte warme en koude bron (een doublet) in hetzelfde watervoerende pakket. Hierbij worden beide bronnen met voldoende onderlinge afstand gerealiseerd om negatieve invloed te beperken. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 26.

Figuur 26
Principe van
energieopslag met
een doublet.



Naast de toepassing van een doublet is het mogelijk een monobron te realiseren. Hierbij worden de warme en koude bron niet naast elkaar, maar onder elkaar in één boorgat in hetzelfde watervoerende pakket geplaatst. Hiervoor is het noodzakelijk dat op de projectlocatie een voldoende dik watervoerend pakket aanwezig is. Het principe van energieopslag met een monobron is weergegeven in Figuur 27.

Figuur 27
Principe van
energieopslag met
een monobron.



Een WKO dient in energiebalans te zijn, de hoeveelheid gewonnen koude dient doorgaans gelijk te zijn aan de gewonnen warmte. Indien er bij een afnemer een energieonbalans is

(overwegende warmtevraag bij woningen en overwegende koudevraag bij datacenters en industrie) kan deze worden aangevuld met warmte of koude uit oppervlaktewater.

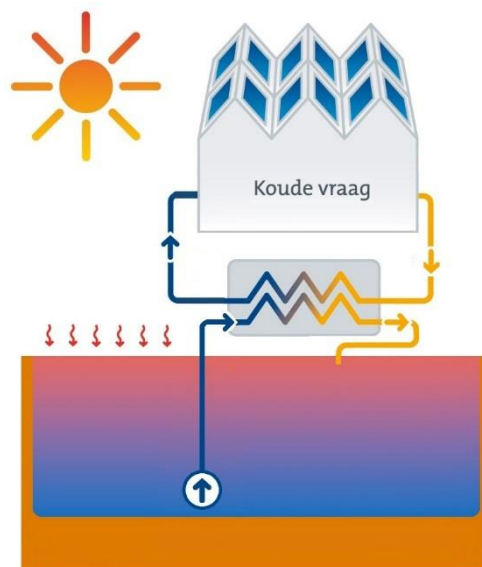
6.3 Koude uit diepe plassen

In diepe meren is van nature een voorraad koude aanwezig. Deze koude blijft door een natuurlijk fenomeen (stratificatie) voor een groot deel geïsoleerd van de zomerwarmte. Door de temperatuurverschillen van de seizoenen zal de koude in de winter weer worden aangevuld. Bij Lake Source Cooling (LSC) wordt deze koude opgepompt en benut voor bijvoorbeeld de koeling van gebouwen of processen. In Figuur 28 is een schematische voorstelling gemaakt van dit concept.

Gerealiseerde systemen in Nederland zijn:

- Ouderkerkerplas te Amsterdam NUON
- Nieuwe Meer te Amsterdam NUON
- Eeserwold te Steenwijk URcool (Unica/Roelofs)
- Strandpark Slijk- Ewijk Cobb Herveld

*Figuur 28
Diepe onttrekking
met LSC voor koude
levering.*



Het water dat uit de plas wordt onttrokken kan op diverse manieren worden geloosd/ingezet. Als de waterkwaliteit van de plas slecht is (hoge nutriëntenlast) kan de lozing gecombineerd worden met een helofytenfilter (biocascade). Hierdoor worden de nutriënten afgevangen voordat het water weer terug stroomt in de plas. Ook kan het water worden ingezet als watervoorziening van de omliggende polders. Deze variant wordt toegepast in Herveld waar de lozing op de naastliggende A-watgang gebeurt. Hierdoor wordt het relatief koele en schone water ingezet als watervoorziening tijdens de warme en droge dagen. De plas zal hiermee als alternatieve bron voor zoetwater gaan werken.

In de onderstaande links staan koppelingen naar relevante documenten over de ontwikkeling van TEO en de plaats van TEO (Smart polder/aquathermie) in het toekomstige energielandschap.

Rapport PBL toekomstbeeld klimaat neutrale warmtenetten:

<http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl-2017-toekomstbeeld-klimaatneutrale-warmtenetten-in-nederland-1926.pdf>

Green Deal Energie Waterschappen:

http://www.stowa.nl/publicaties/publicaties/slim_samenwerken_aan_groene_waterschappen_van_green_deal_naar_praktijkonderzoek

Rapport EEP 2017-2020 MJA:

<https://www.uvw.nl/wp-content/uploads/2017/03/Arcadis-Klimaatmonitor-waterschappen-2016.pdf>

Bijlage 2

Energieconceptvorming gebouwinstallatie

Afwegingen bij energieconceptvorming

Bij de toepassing van bodemenergiesystemen zijn verschillende concepten mogelijk. Afhankelijk van de randvoorwaarden binnen een project bepaald het concept voor een groot deel de financiële, technische en juridische haalbaarheid. Belangrijke aspecten binnen een concept zijn:

- gebouwinstallatie;
- wijze van warmte en koude laden;
- distributienet;
- tapwaterbereiding;
- inzet componenten;
- ruimtegebruik inpandig.

De keuze voor de gebouwinstallatie en de wijze van warmte en koude laden zijn vaak bepalende keuze voor de financiële, technische en juridische haalbaarheid. Binnen de kaders van de hierin gemaakte keuzes, zijn over het algemeen verschillende ontwerpvarianten mogelijk voor wat betreft de overige aspecten.

In navolgende alinea's wordt toelichting gegeven op de overwegingen bij het kiezen van een concept voor de gebouwinstallatie.

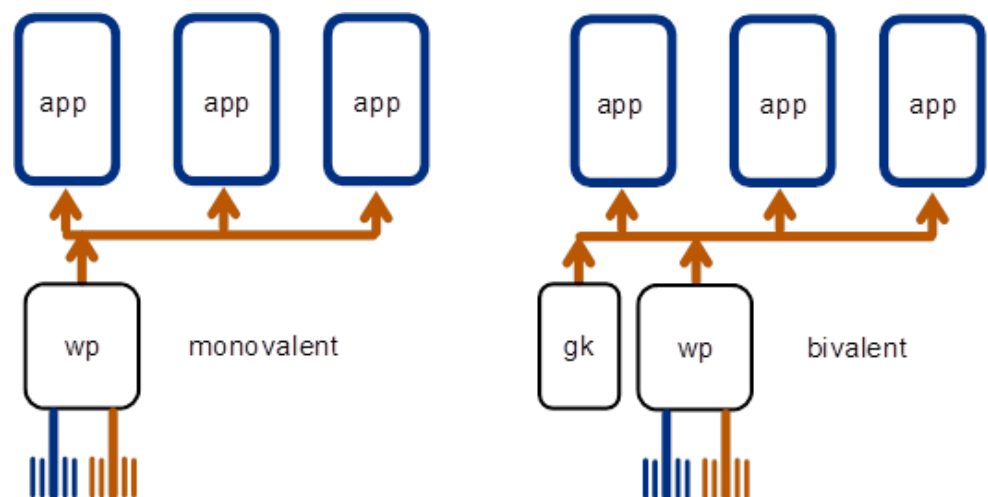
Gebouwinstallatie

Voor de gebouwssystemen kan gekozen worden voor monovalente of bivalente systemen. Beide systemen zijn schematisch weergegeven in Figuur 29. Een korte toelichting aan de hand van warmtelevering volgt hieronder:

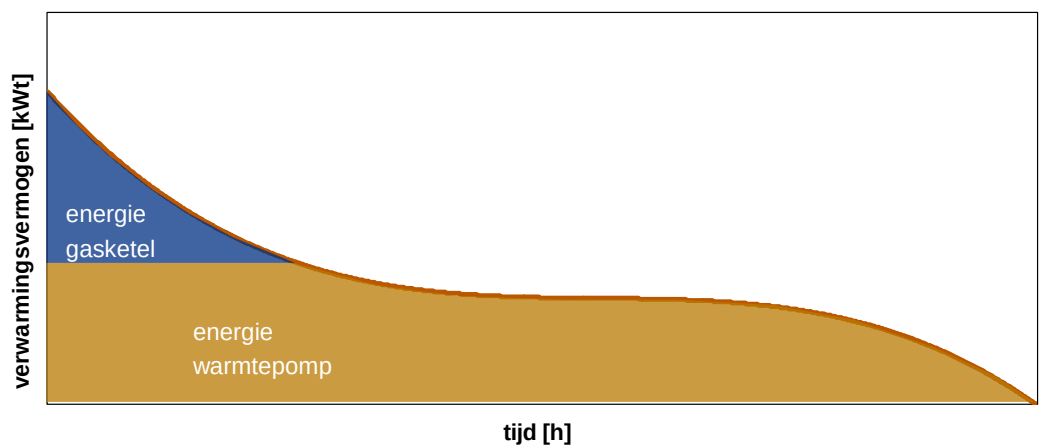
- | | |
|-------------|---|
| Monovalent: | Appartementen (app) hebben een warmtevraag (ruimteverwarming en tapwaterbereiding). Bij een monovalent systeem wordt één omzetter gebruikt die alle warmte levert. In het voorbeeld (Figuur 29) is dit een warmtepomp (wp) in combinatie met energieopslagsysteem. |
| Bivalent: | Bij een bivalent systeem wordt gebruik gemaakt van twee omzetters voor de warmtelevering. In het voorbeeld levert een warmtepomp in combinatie met een energieopslagsysteem een deel van de warmte. Het andere deel van de warmte wordt geleverd door bijvoorbeeld een gasketel (gk). |

Veelal draait één omzetter (bijvoorbeeld de warmtepomp) op een basislast en levert hiermee een groot deel van de warmte terwijl de andere omzetter ingezet wordt als piekdekking en slechts een klein deel van de warmte levert. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 30 aan de hand van een jaarbelastingduurcurve. Een jaarbelastingduurcurve is een rangschikking van het verwarmingsvermogen gedurende een heel jaar. Het is te zien dat het maximale verwarmingsvermogen slechts een paar uur per jaar nodig is. Doorgaans ligt het benodigd verwarmingsvermogen ver onder het maximale vermogen. Hierdoor kan met een beperkt vermogen nog steeds een groot deel van de totale warmtevraag geleverd worden.

Figuur 29
Monovalent vs.
Bivalent systeem
(schematisch).



Figuur 30
Jaarbelastingduur-
curve.



De afweging tussen beide systeemconcepten is afhankelijk van een aantal criteria zoals duurzaamheid, financieel, leveringszekerheid en inpassing. Deze zijn hieronder beschreven.

Duurzaamheid

Zowel bij directe koudelevering als bij warmtelevering door warmtepompen in combinatie met het bodemenergiesysteem wordt energiebesparing en CO₂-emissiereductie gerealiseerd ten opzichte van de referentievariant. Vanuit duurzaamheidoverwegingen heeft een monovalent systeem de voorkeur. De CO₂-emissiereductie is bij een monovalent systeem maximaal. Bij een bivalent systeem bedraagt de CO₂-emissiereductie circa 50-80% ten opzichte van de maximale CO₂-emissiereductie.

Financieel

Zowel koudelevering als warmtelevering kunnen monovalent of bivalent worden uitgevoerd. Van beide situaties wordt voorafgaand aan de uitwerking het optimale systeemconcept bepaald.

Warmtelevering

Warmtelevering met een bodemenergiesysteem vindt bijna altijd plaats in combinatie met een warmtepomp. Wanneer er voor warmtelevering gebruik wordt gemaakt van een bivalent systeem, draait een warmtepomp vaak op een lage basislast en levert hiermee een groot deel van de benodigde warmte. Een ketel wordt in dit geval ingezet voor piekdekking. De investeringskosten voor een warmtepomp liggen hoger dan voor een gasketel (ca.

factor 3). Door een bivalent systeem toe te passen in plaats van een monovalent systeem blijven de meer investeringen beperkt. De energiebesparing ligt bij een monovalent systeem hoger. Maar doordat de warmtepomp bij een basislast een groot deel van totale energievraag levert, zijn de besparingen voor energieverbruik beperkt. Ervaring leert dat vanuit financieel oogpunt de toepassing van een bivalent systeemconcept optimaal is.

Koudelevering

Eén van de grote voordelen van bodemenergiesystemen is dat direct gekoeld kan worden in combinatie met een hoge temperatuur koelsysteem. Koud grondwater wordt opgepompt uit de koude bron en in een warmtewisselaar wordt de koude overgedragen aan het gebouwzijdige circuit. Bij directe koeling wordt (veel) minder elektrische energie verbruikt dan bij conventionele compressiekoelmachines. Dit vertaalt zich naar primaire energiebesparing, CO₂-emissiereductie en lagere exploitatiekosten.

Leveringszekerheid

Een voordeel van de bivalente variant is dat de leveringszekerheid hoger ligt dan bij de monovalente variant. Doordat gebruik wordt gemaakt van een warmtepomp en een ketel, kan bij wegvallen van één van deze componenten de andere component (een deel) van de warmte blijven leveren.

Inpassing

Bij een monovalent systeem wordt alle energie en vermogen onttrokken aan de bodem. Hierdoor wordt de bodem zwaarder belast en wordt het grondwatersysteem groter (meer bronnen, grotere afstand tussen de bronnen). Bij beperkte oppervlak van het perceel kan dit problematisch zijn voor de inpassing.