

Thermische Energie uit Oppervlaktewater

Business case "Genderdal" Eindhoven





Datum 12 maart 2018
Referentie 67149/LH/20180312
Betreft Thermische Energie uit Oppervlaktewater - Business case "Genderdal" Eindhoven
Behandeld door de heer F. Niewold
Gecontroleerd door de heer B. Scholten en de heer R. Dirx
Versienummer Definitief 1

OPDRACHTGEVER

Unie van Waterschappen
de heer R. Romijn
Postbus 93218
2509 AE Den Haag
T 070 - 456 1571
rromijn@uvw.nl

INHOUDSOPGAVE

1 Samenvatting	5
2 Inleiding	8
2.1 Algemeen	8
2.1.1 Achtergrond	8
2.1.2 Uitrol strategie TEO	8
2.1.3 Casus: Genderdal	9
2.2 Plan van Aanpak	9
2.2.1 Selecteren van kansrijke locaties	9
2.2.2 Inventarisatie gebiedskenmerken en belanghebbenden	9
2.2.3 Verkenning business case	10
2.2.4 Verdiepingsfase	10
2.2.5 Projectrealisatie en exploitatie	10
2.3 Doelstellingen casussen	10
2.3.1 Algemene doelstellingen	10
2.3.2 Doelstellingen casus: Genderdal in Eindhoven	10
2.4 Leeswijzer	11
3 Inventarisatie	12
3.1 Stakeholderanalyse	12
3.2 Kenmerken Gebied en gebouwen	12
3.3 Kenmerken watersysteem	15
3.4 Kenmerken bodem	19
3.4.1 Bodemopbouw	19
3.4.2 Geohydrologie	19
3.4.3 Concept	20
3.5 Klimaatadaptie	21
3.6 Omgevingsbelangen	23
3.6.1 Juridische belangen	23
4 Business case	24
4.1 Energieconcepten	24
4.2 Schetsontwerp	28
4.3 Impact leefomgeving	29
4.4 Financiële analyse	30
4.5 Duurzaamheid	33
5 Conclusies en aanbevelingen	36
5.1 Technische en energetische haalbaarheid	36
5.2 Ruimtelijke inpassing	36
5.3 Financiële haalbaarheid	37
5.4 Aanbevelingen	37
5.5 Spoorboekje	40
6 Referenties	42
7 Afkortingen	43
Bijlage 1 Conceptbeschrijvingen TEO/Smart polder	44
1.1 PRINCIPE SMART POLDER - TEO	44
1.2 Principe Warmte- en Koude Opslag (WKO)	48
1.3 Koude uit diepe plassen	49

Bijlage 2 Energieconceptvorming gebouwinstallatie 51

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 koudeopslag (WKO). De business case is toegepast op een gedeelte van de wijk “Genderdal” in Eindhoven. In Figuur 1.1 is de gehele wijk Genderdal te zien. Genderdal wordt gekenmerkt door bestaande bouw die gerealiseerd is in de tweede helft van de jaren 50 van de 20^e eeuw. De woningen beschouwd in deze studie bestaan uit een mix van 90 grondgebonden woningen en 138 appartementen verdeeld over 7 losse appartementsgebouwen. De inschatting van de warmtevraag is $\sim 1.570 \text{ MWh}_{\text{th}}$ ($\sim 5.630 \text{ GJ}_{\text{th}}$) per jaar. Er is geen rekening gehouden met een eventuele koudevraag. In de resterende tekst in dit rapport wordt met “Genderdal” alleen de 228 woningen die in deze studie beschouwd zijn bedoeld.

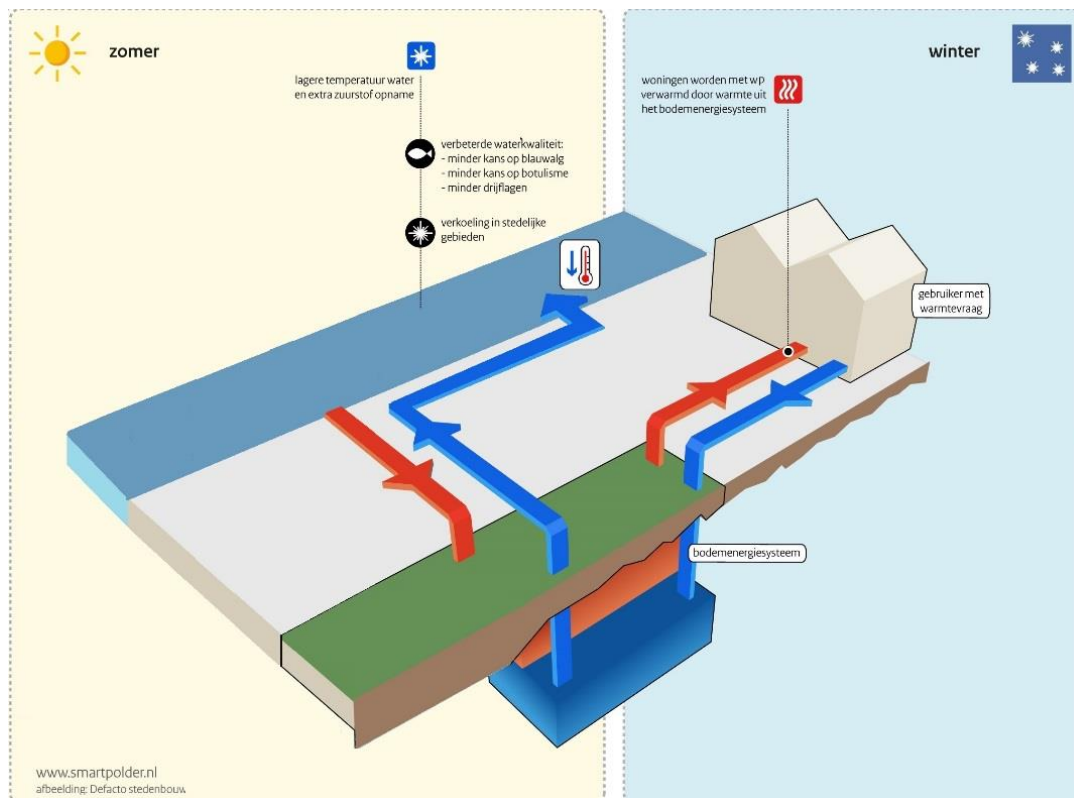
Het oppervlaktewater wordt verkregen uit het Afwateringskanaal aan de westkant van het gebied. Het oppervlaktewater nabij de locatie is ~ 2 meter diep en toereikend om de 228 woningen van warmte te kunnen voorzien.



Figuur 1.1 | De wijk Genderdal in Eindhoven. 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 in Genderdal het geval is, en wordt 100% elektrisch opgewekt (aardgasvrij). TEO kan worden aangevuld met een warmte en koudeopslagsysteem in de bodem (WKO) (zie Figuur 1.2)



Figuur 1.2 | Concept TEO: Smart polder, WKO met warmtewinning uit oppervlaktewater.

Als TEO in combinatie met een WKO systeem wordt toegepast, wordt gebruik gemaakt van het natuurlijke temperatuurverschil tussen het oppervlaktewater in de zomer ($-18 - 25\text{ }^{\circ}\text{C}$) en de stabiele grondwatertemperatuur ($-12\text{ }^{\circ}\text{C}$). In de zomer wordt warmte gewonnen uit het oppervlaktewater en opgeslagen in het bodenergiesysteem (WKO). Deze warmte kan in de winter uit de bodem worden opgepompt om te dienen als warmtebron voor de warmtepomp.

Voor Genderdal wordt er geen koudevraag verwacht. Hiermee biedt de toepassing van de combinatie van warmtewinning uit oppervlaktewater met een seizoensopslag in een bodenergiesysteem een zeer interessante en duurzame kans om de wijk te voorzien van de benodigde warmte. 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 een doublet (één warme en één koude bron) met een maximaal debiet van $85\text{ m}^3/\text{h}$ toereikend om de 228 woningen in Genderdal van voldoende warmte te voorzien. Om de bronnen in de zomer voldoende te kunnen laden is een oppervlaktewatersysteem van maximaal $54\text{ m}^3/\text{h}$ nodig. Er zijn verschillende systeemconcepten mogelijk. In de huidige business case is een concept met een centrale warmtepomp voor ruimteverwarming en warm tapwater doorgerekend. Omdat het bestaande bouw is en de energie besparingsmaatregelen waarschijnlijk niet voldoende zijn voor een lage temperatuur verwarming is voor een aanvoertemperatuur van $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ gekozen. Verder worden er juridisch gezien geen knelpunten voorzien voor de realisatie van TEO en WKO.

De belangrijkste aandachtspunten voor het bodemenergiesysteem zijn de stijghoogten in het 1^e watervoerende pakket en een tweetal open bodemenergiesystemen in de omgeving.

Duurzaamheid

De toepassing van TEO met een oppervlaktewaterdebiet van 54 m³/h kan bijdragen aan de vermindering van hittestress in een stedelijk gebied in de zomer door water met een temperatuurverschil van 6 °C te lozen. In totaal wordt er 3.900 GJ_{th} aan energie onttrokken aan het oppervlaktewater in de zomer. De CO₂-emissiereductie kan in het meest optimale geval (volledig groen opgewekte stroom) 320 ton/jaar bedragen ten opzichte van een referentie systeem met aardgas waarbij elk gebouw zijn eigen gasketel heeft. In dat geval moet de elektriciteit ook duurzaam opgewekt zijn.

Financiële haalbaarheid

De financiële haalbaarheid van het WKO + TEO systeem met een centrale warmtepomp is getoetst door een vergelijking te maken met een referentiesysteem (individuele gasketels). In deze verkennende business case is het uitgangspunt dat de gasketels de technische levensduur hebben bereikt en volledig moeten worden vervangen. De verwachte terugverdientijd van het WKO + TEO systeem is -11 jaar ten opzichte van het referentiesysteem.

Vervolg

De plannen voor de ontwikkeling van Genderdal zijn gestart. Hierbij is het duurzaam ontwikkelen van het gebied een belangrijk aandachtspunt. De integratie van TEO in combinatie met een WKO systeem heeft een significante meerwaarde in het geval er een thermische onbalans heerst. 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.

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 ten opzichte van 1990. 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: Genderdal

De wijk Genderdal in Eindhoven is als één van de kansrijke locaties naar voren gekomen. Dit gebied wordt gekenmerkt door bestaande bouw met een mix van grondgebonden woningen en appartement complexen. Het gebied grenst in het westen aan een Afwateringskanaal (oppervlaktewater). De ambitie is om de woningen in Genderdal duurzaam van energie te voorzien. Voor de energievraag zullen de gebouwen worden getypeerd als een mix grondgebonden rijwoningen en appartementen. In dit rapport wordt de technische en financiële haalbaarheid van thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) voor een aantal woningen in Genderdal in Eindhoven 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 vertegenwoordigers 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 zullen plaatsvinden (nieuwbouw, renovatie of hoog energieverbruik). In de workshop is aan de hand van de kanskaart gekeken of er een match te maken is tussen deze gebieden/gebouwen/wijken waar ontwikkelingen gepland zijn en het aanwezige technische potentieel vanuit 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 deze 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 energiegebied (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 een verkennende 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 energieconcept 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 juridische 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 energieconcepten 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: Genderdal in Eindhoven

De doelstelling van deze specifieke casus is om de technische en financiële haalbaarheid inzichtelijk te maken voor de belanghebbenden. Dit zijn in directe zin de gemeente en de projectontwikkelaar(s). Anderzijds is dit de UvW die in dit specifieke geval de haalbaarheid van een WKO + TEO systeem in combinatie met renoveren en verduurzamen van een bestaande wijk 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

Gebouweigenaren

Het is belangrijk dat de manier en inpassing van warmtelevering overeenkomt met de wensen en eisen van de gebouweigenaren. In Genderdal zijn een aantal woningen verkocht aan particulieren via Slimmer Kopen. Daarnaast beheert woningcorporatie Stichting Sint Trudo een aantal woningen en verhuurt deze aan particulieren.

Vereniging van Eigenaars (VvE)

De VvE zorgt voor de gemeenschappelijke belangen van de eigenaren van de appartementen.

Waterschap De Dommel

Waterschap De Dommel is verantwoordelijk voor het kwalitatieve en kwantitatieve beheer van het regionale oppervlaktewater waar het Afwateringskanaal langs Genderdal onder valt. Voor het brengen van water in of het onttrekken van water uit een oppervlaktewaterlichaam is het waterschap bevoegd gezag voor eventuele 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 Eindhoven

De gemeente Eindhoven is eigenaar 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 aardgasloze duurzame oplossing.

3.2 KENMERKEN GEBIED EN GEBOUWEN

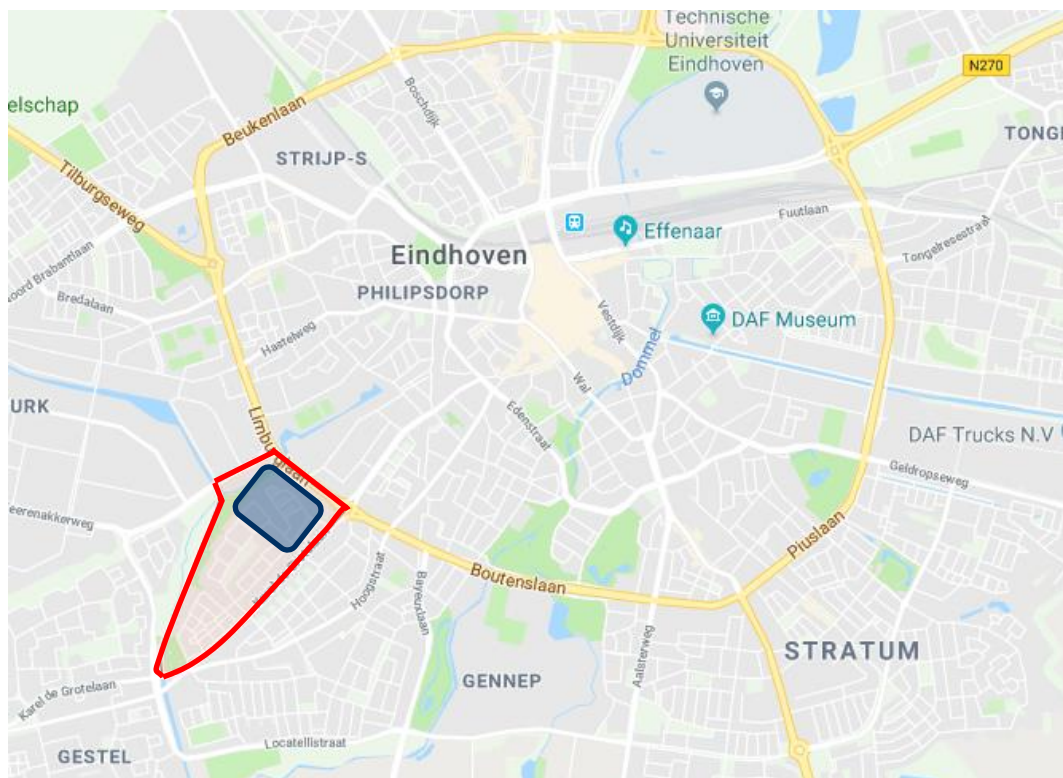
Gebied

De ambitie van de gemeente Eindhoven is om Eindhoven aardgasloos te maken. Genderdal is een buurt in Eindhoven, gelegen in het stadsdeel Gestel (zie Figuur 3.1). In het westen wordt Genderdal begrensd door een Afwateringskanaal.

Gebouwen

De mix van gebouwen die bestudeerd zijn in deze casus kunnen allen worden getypeerd als bestaande bouw. De gebouwen zijn een mix van huur- en koopwoningen. Een verdeling van de type woningen en de eigenschappen is weergegeven in Tabel 3.1 (Stichting Sint Trudo, persoonlijke communicatie, 11 december 2017). De verdeling en de locatie van de woningen in Genderdal zijn weergegeven in Figuur 3.2.

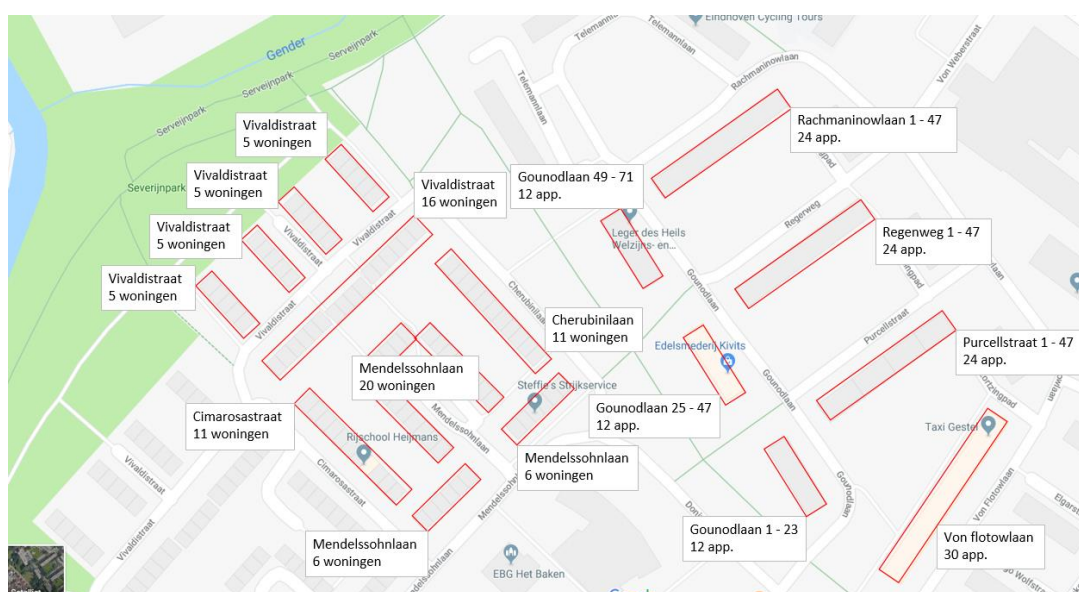
De gebouwen worden naar verwachting op dit moment op hoge temperatuur (-80-90 °C) verwarmd met ketels en aardgas. De warmtevraag voor de gebouwen is onbekend, daarom is een inschatting van de warmtevraag (ruimteverwarming en warm tapwater) per woning op basis van de Uniforme Maatlat Gebouwde Omgeving (UMGO) gedaan. Hierbij is als uitgangspunt het rapport “Energetisch verbeterplan Vivaldistraat 2017” genomen (Stichting Sint Trudo, persoonlijke communicatie, 11 december 2017). Daarin staat geschreven dat de doelstelling is om alle afzonderlijke woningen naar een Energie-Index van 1,40 of lager te brengen door middel van energiebesparende maatregelen. Dit zou betekenen dat ook met een lagere CV temperatuur van 70 °C het comfort kan worden gehandhaafd. Het overgrote deel heeft een Energie-Index van 0,81 - 1,20. Dit komt overeen met energielabel A. Op basis van de EPC 0,8 norm uit de Uniforme Maatlat Gebouwde Omgeving (UMGO) voor de warmtevoorziening in de woning- en utiliteitsbouw (RVO, 2016) is een verdeling van de warmtevraag voor de verschillende gebouwen gemaakt (zie Tabel 3.2). Daarbij is een uitsplitsing gemaakt in warmtelevering en warm tapwater voor de warmtevoorziening. Voor de toekomstige situatie met inachtneming van de energiebesparende maatregelen wordt niet verwacht dat comfortkoeling of koudelevering vereist is, deze wordt daarom niet meegenomen in de huidige studie.



Figuur 3.1 | Plattegrond Eindhoven met rood omlijnd Genderdal. De woningen beschouwd in deze studie zitten in het noordelijk deel van Genderdal (blauw polygoon) Bron: Google Maps

Tabel 3.1 | Type woningen Genderdal beschouwd in de huidige business case (bron: Stichting Sint Trudo, persoonlijke communicatie, 11 december 2017).

Type woning	BVO [m ²]	Bouwjaar	Aantal woningen
Rijwoning	99	1958/1959	66
Hoekwoning	99	1958/1959	24
Appartement	74	1958/1959	138
Totaal			228



Figuur 3.2 | Locatie en verdeling woningen en appartementen beschouwd in deze studie.

Tabel 3.2 | Warmtevraag woningen Genderdal in Eindhoven.

Energiestromen				
Type woning	EPC	Ruimteverwarming [kWh/jaar]	Warm tapwater [kWh/jaar]	Warmte totaal [kWh/jaar]
Rijwoning	0,8	375.705	152.896	528.601
Hoekwoning	0,8	167.746	54.886	222.631
Appartement	0,8	590.254	223.643	813.896
Totaal		1.133.704	431.424	1.565.128

Systeemconcept energielevering gebouwen

Voor de opwekking van warmte wordt gebruik gemaakt van een elektrische warmtepomp. De warmtepomp is aangesloten op een WKO + TEO systeem. Het werkingsprincipe van een WKO systeem is beschreven in Bijlage 1.

In de huidige studie zijn twee concepten doorgerekend:

- 1 **WKO + TEO centraal:** De warmte vanuit het oppervlaktewater of warmte vanuit het WKO systeem wordt via een 2-pijps leiding gedistribueerd over het gebied. De warmteoverdracht

vindt plaats via een warmtewisselaar, zodat het oppervlaktewater, het WKO grondwater en het water in het distributienetwerk niet met elkaar kunnen mengen. Dit gebeurt in een centrale technische ruimte, waar ook een warmtepomp staat om de warmte op te waarderen. De aanvoerleiding voor warmte is een geïsoleerde leiding. Er wordt uitgegaan in de huidige studie van een aanvoertemperatuur voor warmte van 70 °C en retourtemperatuur van 40 °C. Dit heeft als voordeel dat er in de woningen geen individuele boosterwarmtepompen nodig zijn om warm tapwater van minimaal 65 °C te bereiden. Daarnaast is de verwachting dat een lagere aanvoertemperatuur niet voldoende is om deze woningen in koude dagen van genoeg warmte te kunnen voorzien.

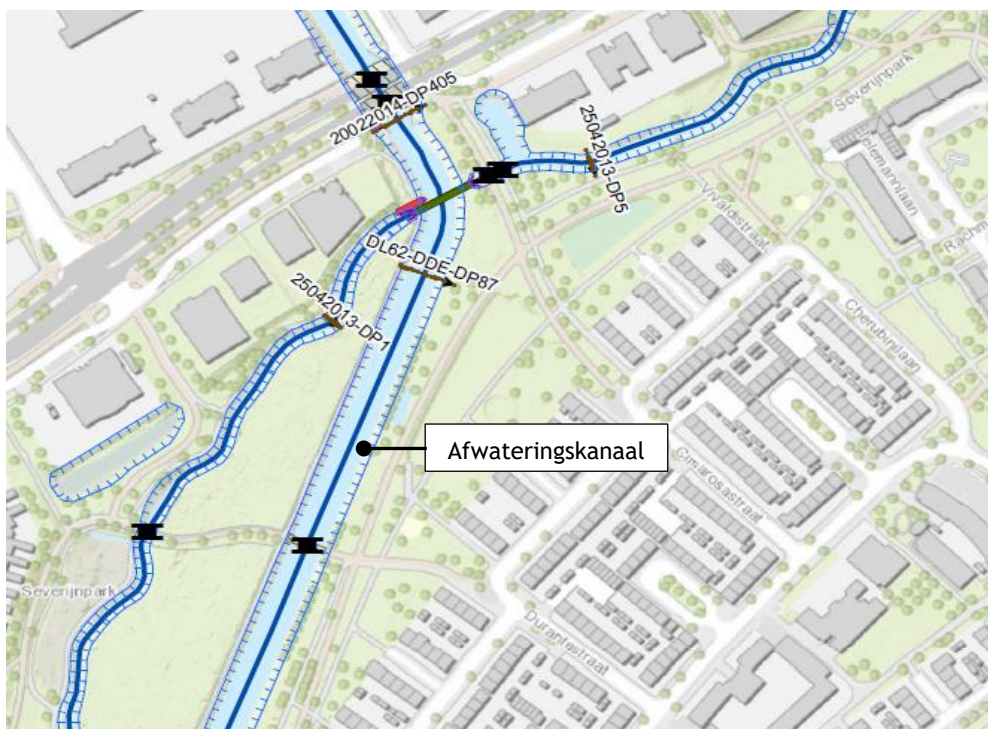
- 2 **Referentie decentraal:** de woningen zijn individueel aangesloten op een gasketel (warmtevoorziening) voor ruimteverwarming en warm tapwater. Dit komt overeen met de huidige situatie (Stichting Sint Trudo, persoonlijke communicatie, 11 december 2017).

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 en debieten oppervlaktewater

Het oppervlaktewater dat gebruikt kan worden voor het TEO systeem is het water in het Afwateringskanaal dat ten westen van de wijk Genderdal ligt (zie Figuur 3.3).



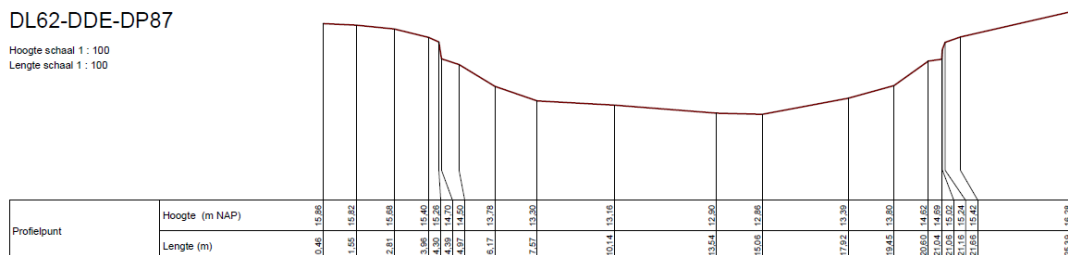
Figuur 3.3 | Plattegrond Afwateringskanaal (bron: Waterschap De Dommel, persoonlijke communicatie, 9 januari 2017).

De dwarsprofielen DL62-DDE-DP87 en 20022014-DP405 uit Figuur 3.3 zijn weergegeven in Figuur 3.4 en Figuur 3.5, respectievelijk. De aangenomen gemiddelde breedte en diepte van het Afwateringskanaal in de verkennende business case is:

- Breedte: ~16 m
- Diepte: ~2 m

DL62-DDE-DP87

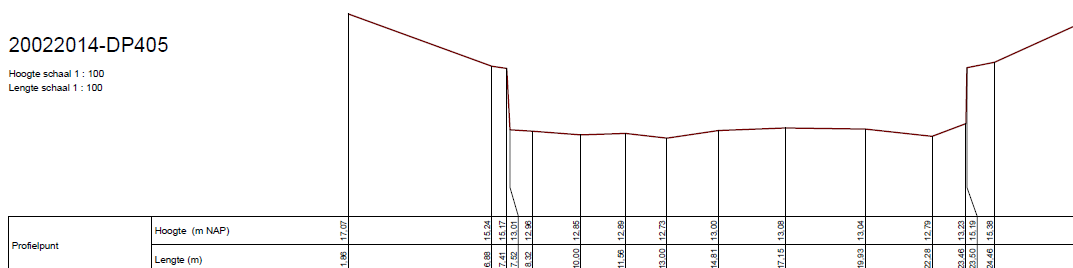
Hoogte schaal 1 : 100
 Lengte schaal 1 : 100



Figuur 3.4 | Dwarsprofiel Afwateringskanaal bij DL62-DDE-DP87 (bron: Waterschap De Dommel, persoonlijke communicatie, 9 januari 2017).

20022014-DP405

Hoogte schaal 1 : 100
 Lengte schaal 1 : 100

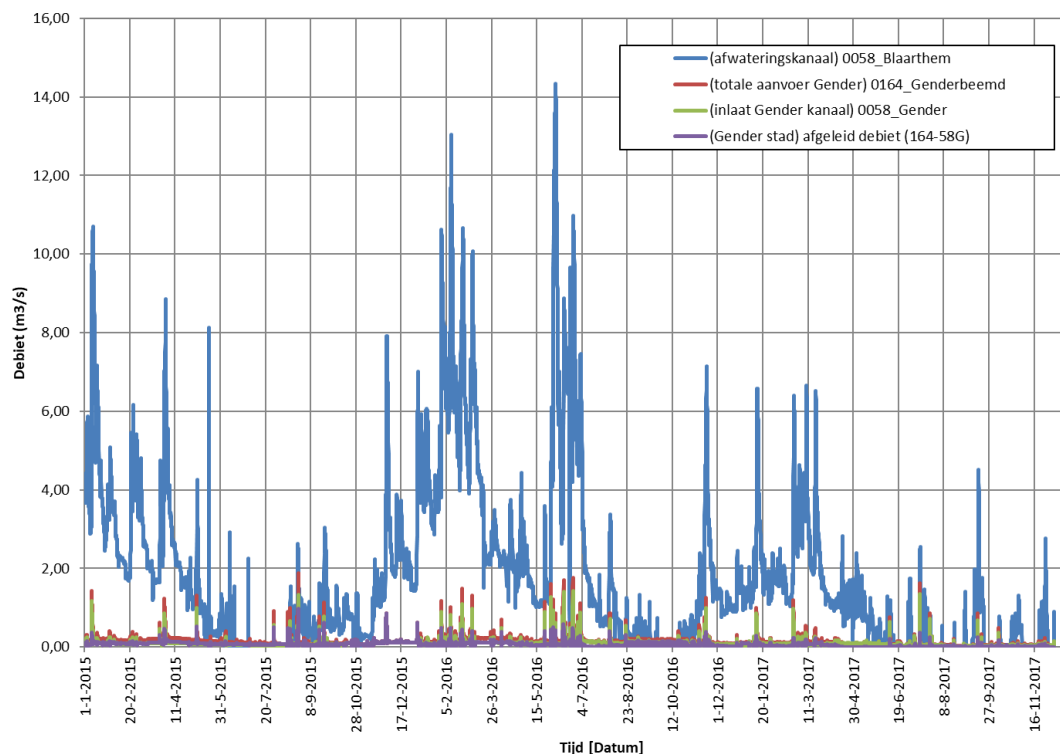


Figuur 3.5 | Dwarsprofiel Afwateringskanaal bij 20022014-DP405 (bron: Waterschap De Dommel, persoonlijke communicatie, 9 januari 2017).

In Figuur 3.6 zijn de stuwen weergegeven in de omgeving van het Afwateringskanaal. In Figuur 3.7 is de debietverdeling over de stuwen van 1 januari 2015 t/m 8 december 2017 weergegeven. Het is te zien dat in periodes van warmte onttrekking (zomer) het debiet richting het nulpunt gaat.



Figuur 3.6 | Plattegrond met stuwen in de omgeving van het Afwateringskanaal (bron: Waterschap De Dommel, persoonlijke communicatie, 9 januari 2017).



Figuur 3.7 | Debietverdeling Afwateringskanaal - Gender (bron: Waterschap De Dommel, persoonlijke communicatie, 9 januari 2017).

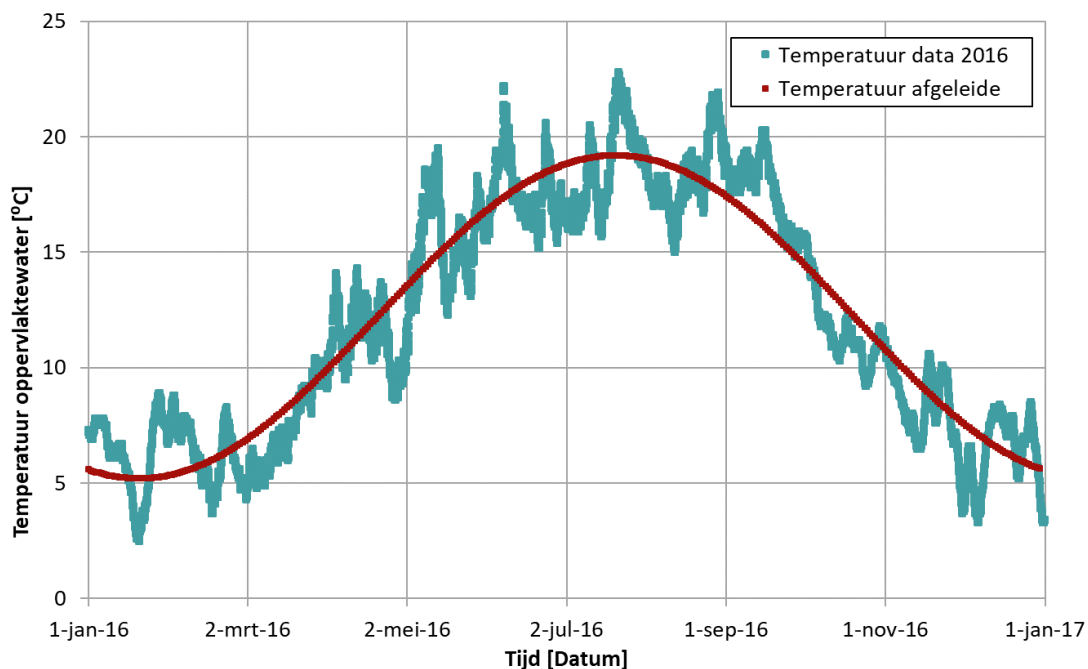
Het is belangrijk dat het TEO systeem dusdanig wordt ontworpen dat thermische interferentie tussen het onttrekkings- en lozingspunt wordt geminimaliseerd. Ervan uitgaande dat het water stil kan komen te vallen in de zomer wordt uitgegaan van stilstaand water. Dit betekent dat het onttrekkings- en lozingspunt van het TEO systeem zo ver mogelijk uit elkaar wordt geplaatst, zodat interferentie geminimaliseerd wordt. In een verdiepingfase zal moeten worden uitgezocht of het mogelijk is dat onttrekking juist op momenten van stroming gebeurt en dat het systeem stil staat wanneer er geen stroming is. Het effect kan zijn dat het benodigd ontwerpdebiet van het onttrekkingsysteem groter wordt, maar dat het onttrekkings- en lozingspunt dicht bij elkaar geplaatst kunnen worden.

Temperatuur oppervlaktewater

De temperatuur van het oppervlaktewater in het Afwateringskanaal is niet bekend. De temperatuur van de Dommel en de Gender op de meetpunten aangegeven in Figuur 3.8 zijn bekend. In Figuur 3.9 is de temperatuur van het oppervlaktewater uitgezet als functie van de tijd over het kalenderjaar 2016 van de Dommel. De temperatuur afgeleide wordt gebruikt in de energetische analyse om het moment van laden (oppervlaktewater onttrekken) en de hoeveelheid energie die geladen kan worden te bepalen.



Figuur 3.8 | Plattegrond meetpunten oppervlaktewatertemperatuur. De temperatuur van de Dommel wordt gemeten bij Frater Simon Deltour Heempark (bron: Waterschap De Dommel, persoonlijke communicatie, 9 januari 2017).



Figuur 3.9 | Aanname temperatuur oppervlaktewater nabij TEO onttrekkingspunt van het Afwateringskanaal nabij Genderdal (bron: Waterschap De Dommel, persoonlijke communicatie, 9 januari 2017).

Juridisch

Het gebruik van oppervlaktewater voor de levering van energie, het onttrekken en lozen van oppervlaktewater maakt de energieleverancier vergunningplichtig bij het waterschap in het kader van de Waterwet. De oever is in eigendom van de gemeente. Doorvoeren en de aanleg van leidingen in de oever zal 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

3.4.1 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 Eindhoven is geschematiseerd in een aantal watervoerende pakketten en scheidende lagen. De verwachte bodemopbouw op de locatie is weergegeven in Tabel 3.3.

Tabel 3.3 | Bodemopbouw op de projectlocatie Genderdal in Eindhoven.

diepte [m-mv]	lithologie	geohydrologie
0 - 10	matig grof zand	freatisch watervoerend pakket
10 - 20	klei en matig grof zand	deklaag
20 - 85	matig tot uiterst grof zand	1 ^e watervoerend pakket
> 85	klei en zand	1 ^e scheidende laag

Conform provinciaal beleid is het realiseren van bronfilters van een open bodemenergiesysteem alleen toegestaan tot een maximale diepte van 80 m-mv. Daarom is de bodem dieper dan de eerste scheidende laag niet beschouwd. Het beoogde bodemenergiesysteem kan toegepast worden in het eerste watervoerende pakket.

3.4.2 Geohydrologie

In Tabel 3.4 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.

1 Stijghoogte 1^e watervoerend pakket

Op basis van gemeten stijghoogten in het eerste watervoerende pakket varieert de stijghoogte rond de maaiveldhoogte en kan sprake zijn van artesisch grondwater. Om opbarsting van de bronnen tijdens realisatie en het overlopen van water bij onderhoud te voorkomen, dient hiermee rekening gehouden te worden. De relatief hoge stijghoogte vormt geen belemmering voor het toepassen van een bodemenergiesysteem.

2 Grondwatergebruikers

In de omgeving van Genderdal zijn een tweetal open bodemenergiesystemen aanwezig. In Tabel 3.5 zijn deze bodemenergiesystemen weergegeven.

Tabel 3.4 | Technische en juridische aspecten bodemenergiesysteem voor projectlocatie Genderdal in Eindhoven.

onderwerp			toelichting
bodemopbouw			
doorlaatvermogen	✓		geschikt
dikte pakket	✓		voldoende dik
grondwater			
grondwaterstand	✓		circa 0,8 m-mv
stijghoogte 1 ^e watervoerend pakket	⚠	1	0 m-mv, risico op artesisch grondwater
grondwaterstroming	✓		20 - 25 m/jaar in noordoostelijke richting
zoet/brak/zout-overgangen	✓		zoet-/brakgrensvlak en brak-/zoutgrensvlak >300 m-mv
gas	✓		geen afwijkende gasdruk
deeltjes	✓		geen verhoogd risico op deeltjes
redox	✓		geen redoxovergang in opslagpakket
temperatuur opslagpakket	✓		11,5 °C
vergunbaarheid			
bodemenergieplan	✓		niet gelegen in bodemenergieplan of interferentiegebied
grondwatergebruikers	⚠	2	enkele open bodemenergiesysteem in de omgeving
zettingen	✓		noemenswaardige zetting wordt niet verwacht
grondwaterbescherming	✓		niet gelegen in een boringsvrije zone of waterwingebied
natuurbelangen	✓		Beatrixkanaal is onderdeel van de ecologische hoofdstructuur. Geen belemmering voor open bodemenergie.
archeologie / aardkundige waarden	✓		niet gelegen in archeologisch of aardkundig waardevol gebied
verontreinigingen	✓		geen grondwaterverontreinigingen aanwezig die aandachtspunt vormen voor een open bodemenergiesysteem in het 1 ^e watervoerende pakket (bron: Atlas van de ondergrond van Eindhoven)
waterkering	✓		niet gelegen in of nabij een waterkering
aanwezigheid spoor of begraafplaats	✓		geen spoor of begraafplaats aanwezig binnen circa 250 m
✓ geschikt, geen belemmering of aandachtspunt	⚠	⚠	⊗
		aandachtspunt of risico	hoog risico of belemmering

Tabel 3.5 | Open bodemenergiesystemen in de omgeving van de projectlocatie Genderdal in Eindhoven.

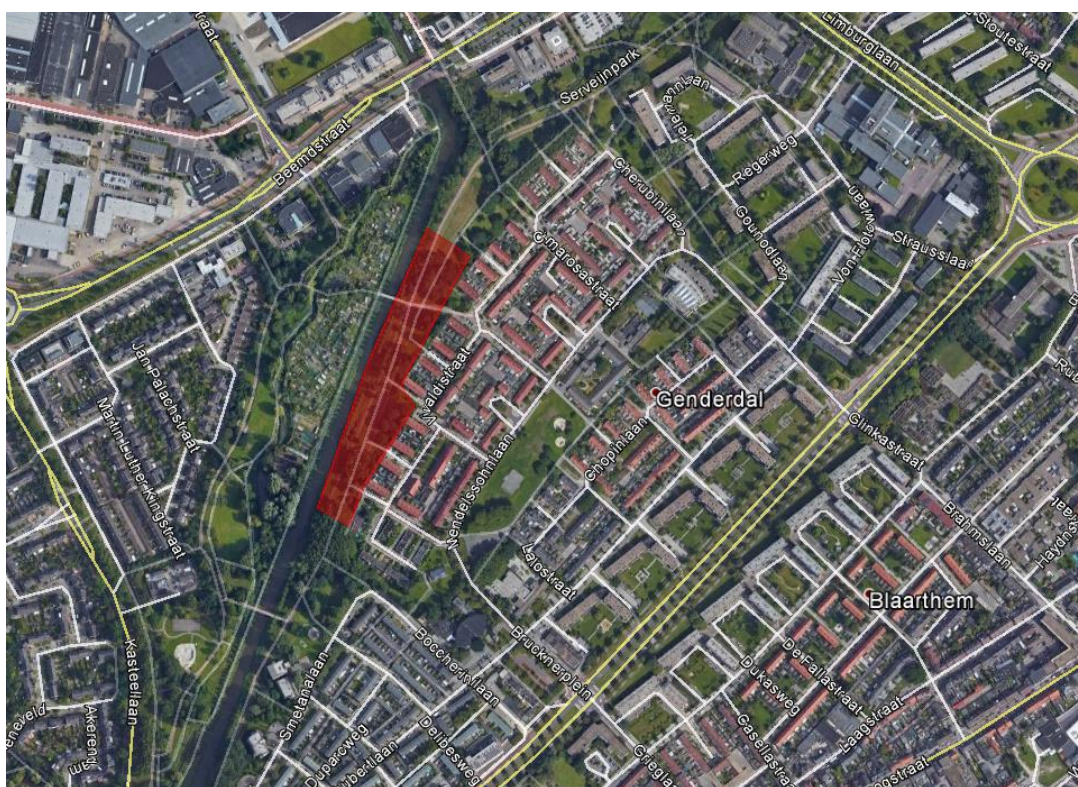
bedrijfsnaam	afstand en richting t.o.v. project	watervoerend pakket	maximaal debiet	waterhoeveelheid
	[m]		[m ³ /h]	[m ³ /jaar]
Silverpoint (recirculatiesysteem)	100 m ten noorden	1	25	186.000
Zorginstelling Gagelbosch (opslag)	100 m ten zuiden	1	61	205.500

3.4.3

Concept

Het beoogde debiet is circa 85 m³/uur. Dit debiet kan met een doublet gerealiseerd worden. De bronnen zullen ~150 m uit elkaar moeten liggen om thermische interferentie te voorkomen. In Figuur 3.10 is een indicatie van het zoekgebied voor de bronlocaties weergegeven.

Om de exacte locatie van de bronnen te bepalen dient er rekening gehouden te worden met de aandachtspunten (zie paragraaf 3.4.2), ruimtelijke inpassing en gedetailleerd bronontwerp. Dit dient verder uitgezocht te worden in een verdiepfingsfase.



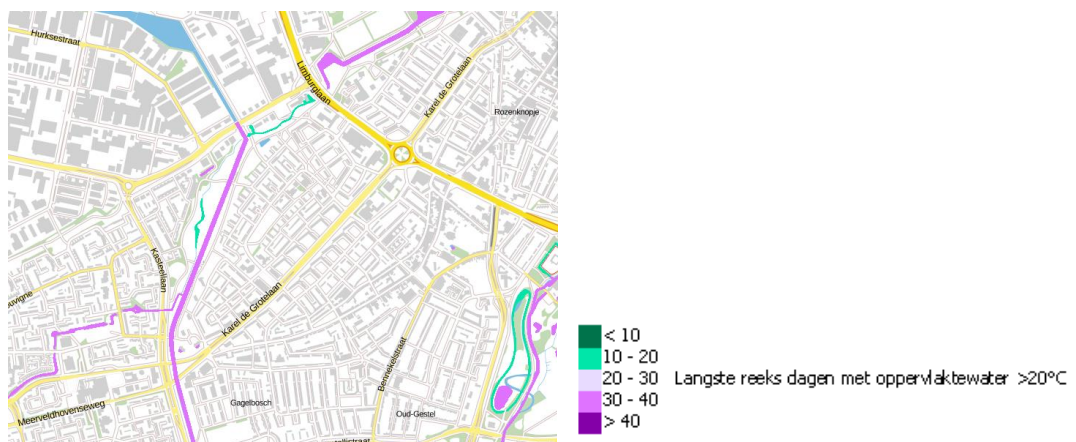
Figuur 3.10 | Indicatie zoekgebied bronlocaties nabij Genderdal in Eindhoven.

3.5 KLIMAATADAPTIE

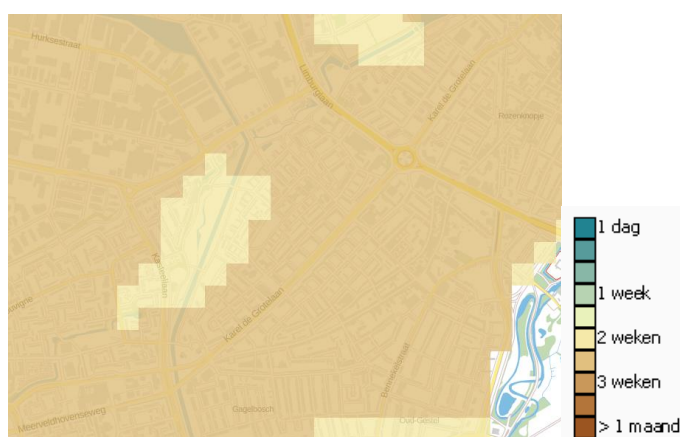
Het klimaat warmt op en veel van de sinds de jaren vijftig waargenomen veranderingen in het klimaatsysteem zijn in de afgelopen honderden tot duizenden jaren niet eerder voorgekomen. De concentratie van broeikasgassen is toegenomen, de atmosfeer en de oceanen zijn opgewarmd, de hoeveelheid sneeuw en ijs is afgenomen en de zeespiegel is gestegen. Nederland en omringende 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). Ook gedijen ongewenste exotische planten en dieren, ziekteverwekkers- en verspreiders beter.

Door het verharde oppervlak en de gebouwen in stedelijk gebied 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 Klimateffectatlas zijn deze effecten te zien middels de hittekaart. Momenteel zijn er in de Klimateffectatlas effecten te zien

voor het gebied rondom Genderdal (zie Figuur 3.11, Figuur 3.12 en Figuur 3.13). Het Afwateringskanaal kleurt paars (risico opwarming oppervlaktewater) in Figuur 3.11, dit geeft aan dat tussen de 30 - 40 aaneengesloten dagen de temperatuur boven de 20 °C uitkomt in 2050. In Figuur 3.12 geven de kleuren een indicatie van de hittestress (aantal tropische nachten per jaar > 20 °C), waarbij de minimumtemperatuur in de nacht in het geval van Genderdal tot ~3 weken per jaar boven de 20 °C is. In Figuur 3.13 is het risico opwarming oppervlaktewater en hittestress door warme nachten gecombineerd. In deze figuren is een duidelijke afhankelijkheid van bebouwing en hittestress te zien. Hittestress kan bij kwetsbare groepen leiden tot meer arbeidsuitval, een toename van ziektes en vervroegde sterfte (bron: Klimateffectatlas).



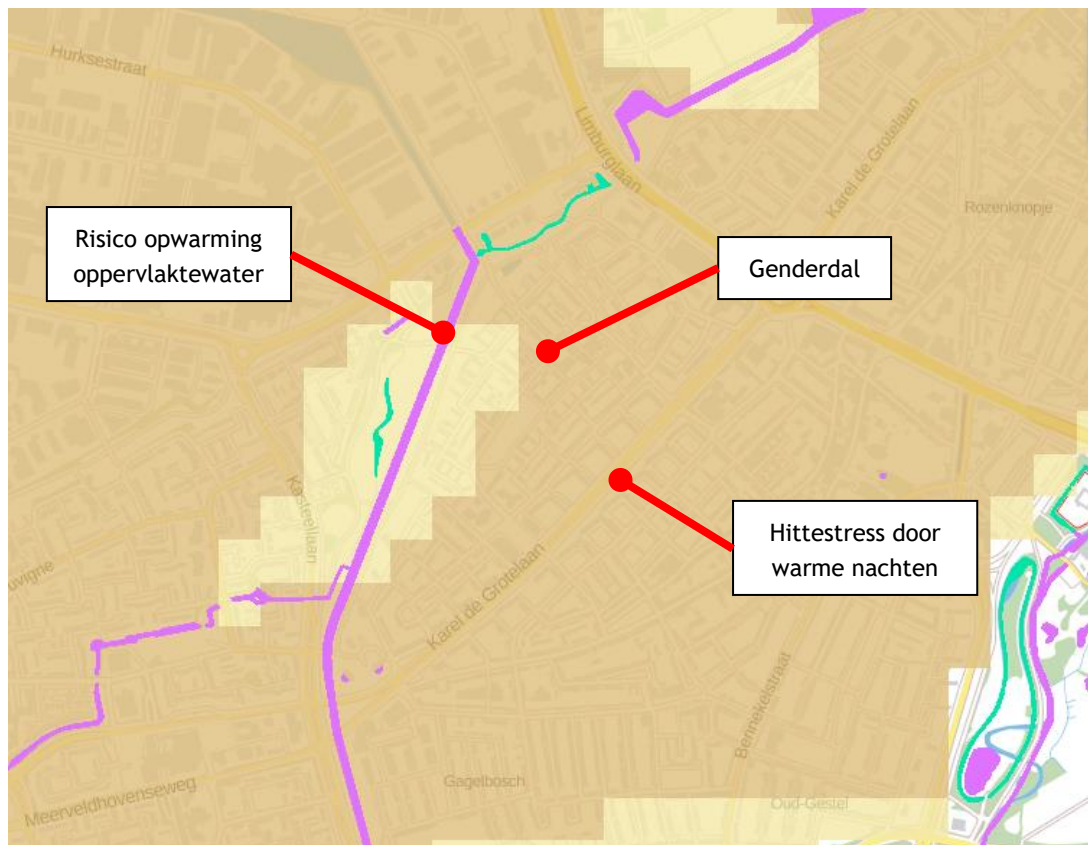
Figuur 3.11 | Hittekaart van het gebied rondom Genderdal met risico opwarming oppervlaktewater in de zomer. Het is te zien dat het Afwateringskanaal een verhoogd risico heeft. De kaart toont een inschatting van de langste aaneengesloten periode van dagen per jaar waarin de watertemperatuur hoger is dan 20 °C in 2050. De klimaatverandering is gebaseerd op het WH-scenario voor 2050. Bron: Klimateffectatlas. Verkregen op 19 januari, 2018 van <http://www.klimateffectatlas.nl>.



Figuur 3.12 | Hittekaart van het gebied rondom Genderdal met hittestress door warme nachten. Tijdens een warme nacht daalt de temperatuur niet onder de 20 °C. De kaart toont een inschatting van het aantal dagen per jaar waarin de nachttemperatuur hoger is dan 20 °C in 2050. De klimaatverandering is gebaseerd op het WH-scenario voor 2050. Bron: Klimateffectatlas. Verkregen op 19 januari, 2018 van <http://www.klimateffectatlas.nl>.

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 kan het aanbieden van duurzame koeling met grondwater voor een directe warmte emissiereductie zorgen ten opzichte van traditionele koelers (compressiekoelmachine), waarmee extra hittestress wordt voorkomen.



Figuur 3.13 | Hittekaart van gebied rondom Genderdal met risico opwarming oppervlaktewater en hittestress door warme nachten in 2050. De klimaatverandering is gebaseerd op het WH-scenario voor 2050. Bron: Klimateffectatlas. Verkregen op 4 januari, 2018 van <http://www.klimateffectatlas.nl>.

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 het Afwateringskanaal in Eindhoven dienen te worden aangevraagd. Hierbij worden geen (significante) knelpunten voorzien.

4 Business case

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

- energetisch concept;
- schetsontwerp 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 bepaalt het concept voor een groot deel de financiële, technische en juridische haalbaarheid. Belangrijke aspecten binnen een concept zijn:

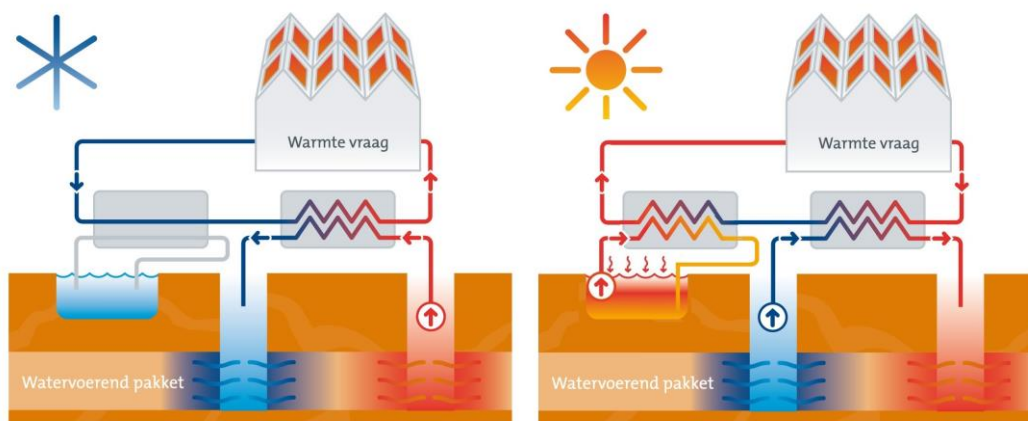
- energievraag (warmte en koude);
- afgiftesysteem;
- distributienet;
- tapwaterbereiding;
- geschiktheid bodem voor WKO;
- aanwezigheid van oppervlaktewater en/of kunstwerken;
- ruimtegebruik inpandig.

Systeemkeuze energievraag

De energievraag van de woningen in Genderdal kenmerkt zich door alleen een warmtevraag. Hierbij is het toepassen van warmte uit oppervlaktewater in combinatie met WKO een voor de hand liggende oplossing (zie Bijlage 1, Figuur 7.1). 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 het oppervlaktewater bij Genderdal 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 4.1 is het globale principe van de energiestromen in de verschillende seizoenen weergegeven.

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 de gebouwen indien dat nodig is. De koeling kan rechtstreeks worden geleverd door middel van vloerkoeling of via een luchtbehandelingskast (LBK). Dit is echter niet van toepassing op de huidige studie.

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



Figuur 4.1 | Inzet TEO voor de energievoorziening in het koude (links) en warme (rechts) seizoen.

Systemkeuze 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).

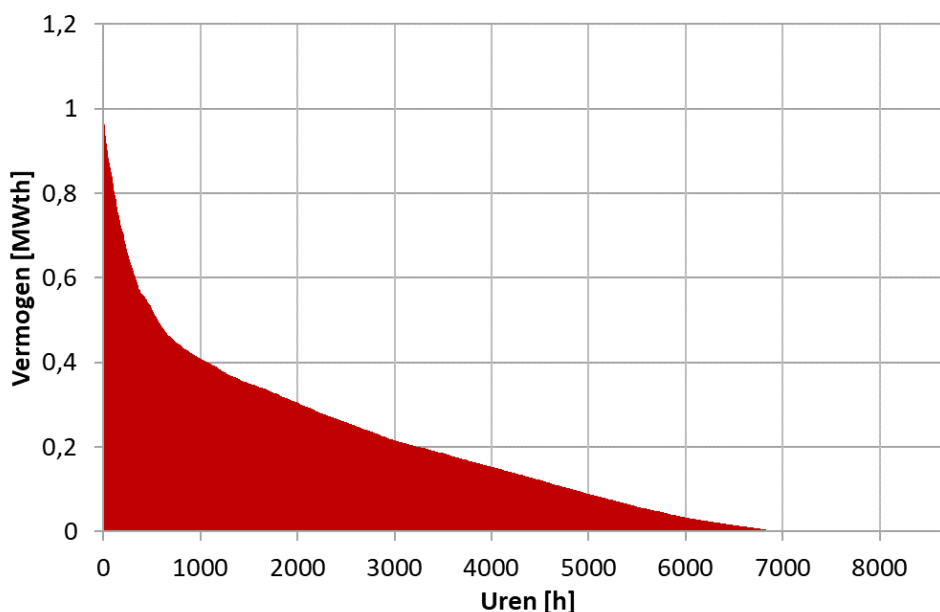
In Bijlage 1 wordt een overzicht gegeven van de overwegingen die spelen bij het maken van deze keuze. Het gaat hierbij om overwegingen op het gebied van:

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

Bij de woningen in Genderdal is het de wens om een aardgasloze klimatisering te realiseren. Om die reden wordt als systeemconcept gekozen voor een monovalent opwekkingsstelsel. 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 voor Genderdal. Om een nauwkeurige analyse te kunnen maken van het totale energieconcept zijn de uitgangspunten voor warmte geschaald naar een bestaande warmtevraag voor een soortgelijke mix van gebouwen met een vergelijkbare functie (bron: IF Technology (2017), niet publiekelijk toegankelijk). Op deze manier kan een bepaalde warmtevraag gedurende het jaar gekoppeld worden aan de data van het oppervlaktewater. De jaarbelastingduurcurve die hieruit voortvloeit voor de warmtevraag is gepresenteerd in Figuur 4.2.



Figuur 4.2 | Jaarbelastingduurcurve verwachte warmtevraag voor Genderdal in Eindhoven.

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 4.1.

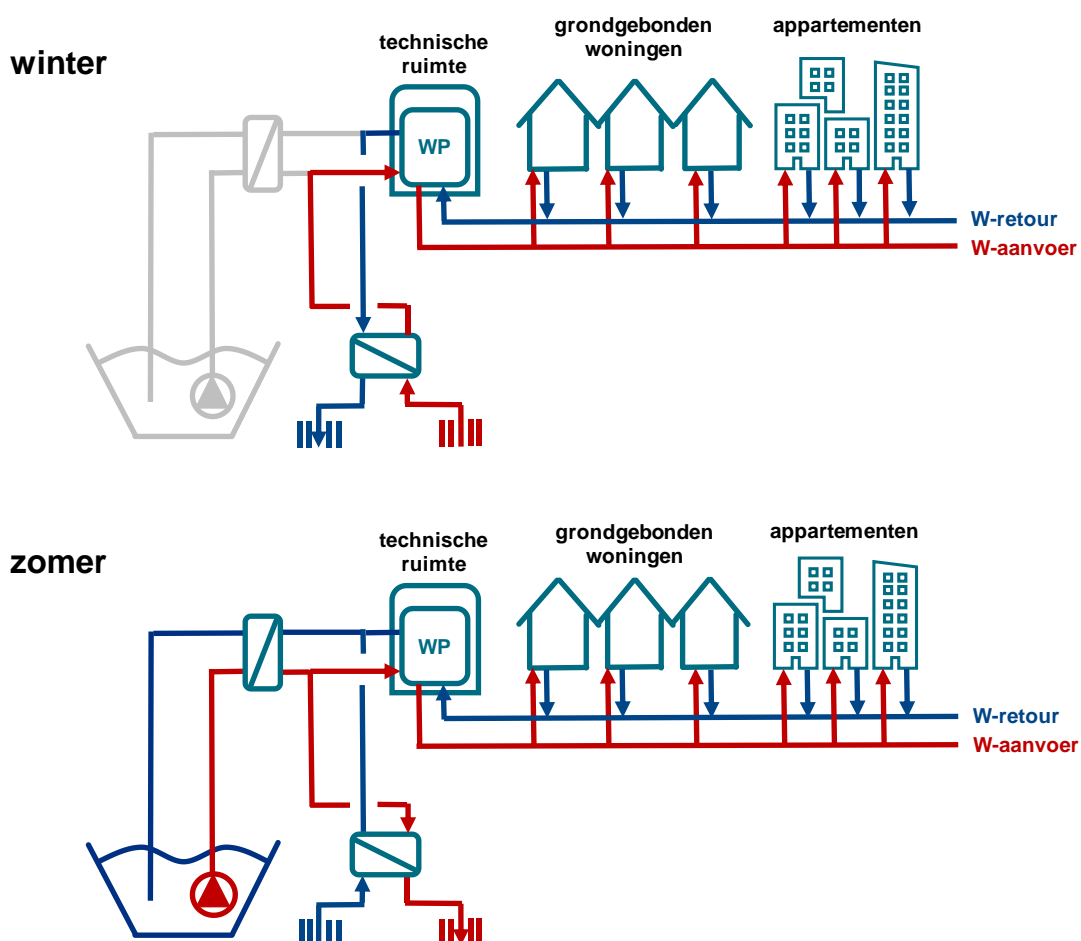
Tabel 4.1 | Input en output parameters van het energetische concept voor Genderdal.

Input parameters	Eenheid	Waarde
Minimale uitkoeling oppervlaktewater	°C	3,0
Maximale uitkoeling oppervlaktewater	°C	6,0
Minimale lozingstemperatuur	°C	12,0
Minimale onttrekkingstemperatuur	°C	15,0
Infiltratietemperatuur koude	°C	7,0
Aanvoertemperatuur gebouwszijdig	°C	70,0
Output parameters	Eenheid	Waarde
Maximale COP	-	3,6
Seasonal Performance Factor (SPF)	-	3,3
Maximaal debiet oppervlaktewater	m ³ /h	54
Maximaal debiet WKO	m ³ /h	85
Gemiddelde infiltratietemperatuur warmte	°C	15,8

De maximaal benodigde debieten zijn belangrijk om het systeem te dimensioneren en om zo de investeringskosten te kunnen ramen. In Figuur 4.3 is het TEO systeem in een schematisch principeschema gepresenteerd gedurende de winter en zomer. De overgang van winter naar zomer en van zomer naar winter configuratie is afhankelijk van de warmtevraag en de temperatuur van

het oppervlaktewater. 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.

Elke woning zal een afgifteset voor ruimteverwarming en warm tapwater bereiding in de woning hebben. Er wordt aangenomen in de huidige studie dat warm tapwater op minimaal 65 °C geleverd wordt, de temperatuur is afhankelijk van legionella preventie en de geschiktheid van het water voor huishoudelijke apparaten.



Figuur 4.3 | Principeschema TEO systeem in de winter en zomer (Grijs = niet in bedrijf). Winter: het TEO systeem is uitgeschakeld in dit concept (grijs), omdat er een overwegende warmtevraag is. Het WKO systeem levert de warmte uit de warme bron, die opgewaardeerd wordt in een centrale warmtepomp (WP) in de technische ruimte. 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.

4.2 SCHETSONTWERP

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

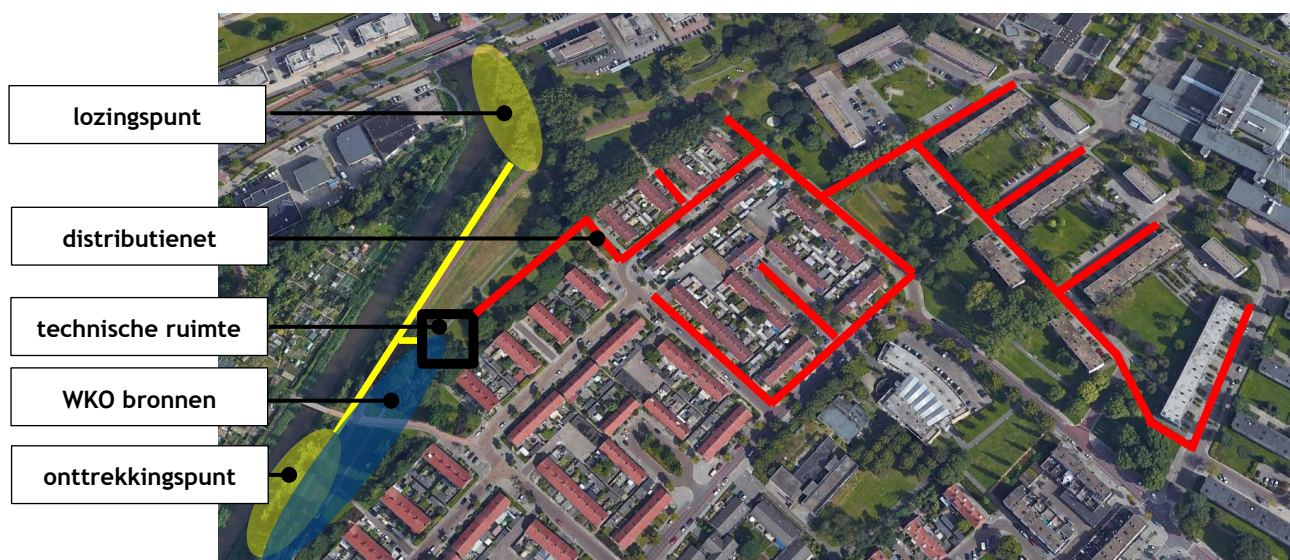
- in- en uitlaat oppervlaktewatersysteem (54 m³/h);
- WKO doublet (85 m³/h);
- technische ruimte (warmtepomp en warmtewisselaars);
- 2-pijps distributieleidingen met warmte aanvoer en retour woningen;
- distributieleidingen WKO systeem;
- distributieleidingen TEO systeem;
- aansluitleidingen ten behoeve van de aan te sluiten panden.

Locatie en invoeging

Ter verduidelijking is het schetsontwerp, dat hieronder is beschreven, in Figuur 4.4 te zien. Het moet expliciet vermeld worden dat het schetsontwerp puur indicatief is om een inschatting van afstanden en kosten te kunnen maken. Het schetsontwerp is geenszins een definitief ontwerp:

- **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 het Afwateringskanaal en de wensen met betrekking tot uitkoeling van de waterloop. In paragraaf 3.3 is aangenomen dat het water in het Afwateringskanaal stilstaand kan zijn. Met het verwachte onttrekkingsdebiet, de afmetingen van het water, de stroming en het temperatuurverschil tussen onttrekkings- en lozingspunt is een minimale afstand van 350 m berekend tussen onttrekkings- en lozingspunt. In Figuur 7.3 en Figuur 7.4 van Bijlage 1 zijn twee typen inlaatsystemen van een gerealiseerd TEO systeem te zien. De uitlaat bij het lozingspunt kan onzichtbaar worden afgewerkt in de kademuur of oever. Er worden speciale filters geplaatst om fauna te beschermen. 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 juridische en civieltechnische mogelijkheden en knelpunten voor plaatsen van de distributieleidingen dienen in detail te worden uitgezocht. Uit het oppervlaktewater wordt ongeveer 1.100 MWh_{th}/jaar onttrokken.
- **WKO doubletten:** het WKO doublet dient afgestemd te worden op de warmtevraag in het gebied. Daarnaast is de afstand tussen de WKO en de technische ruimte geminimaliseerd om de kosten van het leidingwerk te kunnen reduceren. De warme- en koudebron dienen minimaal 150 m uit elkaar te liggen. De warmte die uit de WKO wordt geleverd is ~1.000 MWh_{th}/jaar, en de waterverplaatsing is ~220.000 m³/jaar.
- **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 tussen de woonwijk en het oppervlaktewater geplaatst. De locatie heeft effect op de business case, omdat het leidingwerk van en naar de technische ruimte een significante investeringspost is. De technische ruimte bevat in dit geval onder andere de warmtewisselaars en warmtepomp(en). Echter kan de locatie van de warmtewisselaar om warmte tussen het water in het distributienet en oppervlaktewater uit te wisselen 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 naar gebouwen:** (zie Figuur 4.4, rode leidingen) omdat er in het gebied meerdere afnemers van warmte zijn is er een distributienet nodig. Elke rode lijn bestaat uit 2 leidingen, warmte aanvoer en warmte retour. Dit is nodig omdat de gebouwen een verschillende warmtevraag kunnen hebben.
- **Distributieleidingen WKO systeem:** het distributienetwerk van het WKO systeem loopt tussen de warme-, koudebron en de TR op de kortst mogelijke manier. De capaciteit van deze leidingen moet minimaal overeenkomen met de capaciteit van het WKO doublet, namelijk 85 m³/h.
- **Distributieleidingen TEO systeem:** (zie Figuur 4.4, gele leiding) het distributienetwerk van het TEO systeem loopt tussen het onttrekkingspunt en het lozingspunt en de TR op de kortst mogelijke manier. De capaciteit van deze leidingen moet overeenkomen met de capaciteit van het TEO systeem, namelijk 54 m³/h.
- **Aansluitleidingen ten behoeve van de aan te sluiten gebouwen:** deze lopen van het gebouw naar het distributienetwerk.



Figuur 4.4 | Schetsontwerp WKO + TEO systeem voor Genderdal in Eindhoven met het 2 pijps-distributienet (rode leidingen), WKO bronnen (blauw), TEO systeem (geel), technische ruimte (zwart, niet op ware grootte). De leidingen naar de technische ruimte zijn niet getekend, evenals de aansluitleidingen naar de gebouwen. Het leidingwerk en locatie TEO en WKO systeem zijn indicatief om een inschatting van de totale lengte en kosten te kunnen doen. In een verdiepfingsfase is een detailontwerp van de verschillende systemen noodzakelijk. Daarnaast dienen eventuele obstakels en technische en juridische knelpunten tot meer in detail uitgezocht te worden.

4.3 IMPACT LEEFOMGEVING

De voorzieningen worden deels ondergronds aangelegd (bronnen en leidingen) of inpandig (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 met een centrale warmtepomp vergeleken met een referentiesysteem. Het referentiesysteem bestaat uit:

- Individuele gasketel voor de warmtevoorziening;
- decentrale oplossing, elke woning heeft een eigen aansluiting.

Het verschil met het WKO + TEO systeem is dat er geen distributienet tussen WKO, TEO, TR en gebouwen nodig is. Daarentegen zijn er wel voorzieningen in de openbare ruimte en gebouwen nodig voor de distributie van gas. Het is belangrijk om te vermelden dat gebouwzijdige aanpassingen in verband met deze concepten niet zijn meegerekend in de financiële analyse. Er wordt aangenomen dat de warmte binnen de gebouwen op eenzelfde manier wordt verzorgd. 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.

Uitgangspunten financiële analyse

Voor de financiële berekeningen is rekening gehouden met de uitgangspunten gegeven in Tabel 4.2. In navolgende tabellen zijn de te verwachten kosten inzichtelijk gemaakt. Alle genoemde bedragen zijn exclusief BTW en gebaseerd op prijspeil 2018.

Tabel 4.2 | Uitgangspunten financiële analyse.

Parameter	Eenheid	Waarde
CAPEX		
Indexering investeringskosten	%	1,8
Project looptijd	jaar	30
Herinvestering gasketel	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 4.3 zijn de eenmalige investeringskosten voor het WKO + TEO systeem in beeld gebracht. De investeringskosten van het referentiesysteem zijn gegeven in Tabel 4.4. De kosten voor het vervangen van het gasnet zijn niet meegenomen in de investeringskosten van het referentiesysteem. Deze kosten vallen niet binnen de kaders van de huidige business case. Daarbij moet vermeld worden dat de kosten voor het gasnet indirect zijn verwerkt in de gasprijs bij de exploitatiekosten (zie Tabel 4.7). Bij Enexis betaalt de consument een periodieke aansluitvergoeding voor instandhouding van de aansluiting, een transport vergoeding (bestaande uit vastrecht en transport) en vergoeding voor de meetdienst. Het wordt verwacht dat de ontwerp en advieskosten en de onvoorziene kosten van het referentiesysteem niet hetzelfde percentage van de totale investeringskosten zullen zijn, omdat dit om een vervanging van een bestaand systeem gaat.

Daarom zijn de investeringsposten ontwerp, advies en vergunningen en onvoorzien aangepast naar 5% van de andere investeringskosten (persoonlijke communicatie, 27 februari 2018).

De maatschappelijke kosten van de vervanging van een gasnet zijn hierin niet meegenomen. Om een juiste afweging te maken, dienen deze kosten wel meegenomen te worden.

Tabel 4.3 | Investeringskosten realisatie WKO + TEO centraal.

Investeringskosten WKO + TEO	Eenheid	Kosten
Bodemenergievoorzieningen	€	270.000
Oppervlaktewater voorzieningen	€	110.000
Distributie voorzieningen	€	660.000
Warmtepomp	€	320.000
Afgifteset	€	340.000
Ontwerp, advies en vergunningen (8%)	€	140.000
Onvoorzien (15%)	€	260.000
Totaal	€	2.100.000

Tabel 4.4 | Investeringskosten realisatie referentiesysteem: decentrale gasketel.

Investeringskosten referentiesysteem	Eenheid	Kosten
Gasketel ¹	€	680.000
Ontwerp, advies en vergunningen (5%)	€	34.000
Onvoorzien (5%)	€	34.000
Totaal	€	750.000

¹ Einde technische levensduur gasketels, volledige vervanging bij start projectlooptijd.

Eenmalige inkomsten

In Tabel 4.5 zijn de eenmalige inkomsten in beeld gebracht voor een WKO + TEO systeem met een centrale warmtepomp. 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 € 1037,78 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 € 1.500 excl. BTW per woning.

Tabel 4.5 | Eenmalige inkomsten realisatie WKO + TEO.

Inkomsten WKO + TEO	Eenheid	Waarde
Energie-investeringsaftrek (EIA) 13,5%	€	95.000
Bijdrage aansluitkosten (BAK)	€	345.000
Investeringsubsidie duurzame energie (ISDE)	€	0
Totaal	€	440.000

De investeringssubsidie duurzame energie (ISDE) is in dit geval niet van toepassing. De ISDE is van toepassing op warmtepompen tot 70 kW.

Het referentiesysteem, met een gasketel, komt niet in aanmerking voor BAK, omdat de gebouwen niet op een warmtenet worden aangesloten. De EIA geldt ook niet, omdat er geen energiezuinige investering plaatsvindt. Ook de ISDE is niet van toepassing.

Tarieven

Het tarief voor elektriciteit en gas bestaat uit vaste kosten en variabele kosten. De vaste kosten voor elektriciteit en gas zijn gebaseerd op de tarieven van netbeheerder Liander. De vaste kosten bestaan uit een aansluitdienst, transportdienst en meetdienst. De variabele kosten voor elektriciteit en gas zijn gebaseerd op een landelijk gemiddelde voor huishoudelijk verbruik. De variabele kosten bestaan uit de energieprij, energiebelasting en opslag duurzame energie. De elektriciteitskosten voor de collectieve faciliteiten zijn gebaseerd op de zakelijke tarieven van Enexis.

Jaarlijkse exploitatiekosten

In Tabel 4.6 en Tabel 4.7 zijn de jaarlijkse exploitatiekosten weergegeven voor het WKO + TEO systeem en het referentiesysteem, respectievelijk.

Tabel 4.6 | Jaarlijkse exploitatiekosten WKO + TEO centraal.

Exploitatiekosten WKO + TEO	Eenheid	Kosten
Inkoop		
Elektriciteit (vast en variabel)	€/jaar	54.000
Onderhoud en beheer		
Opwekking (WKO en TEO)	€/jaar	8.000
Distributienet	€/jaar	7.000
Warmtepompen	€/jaar	10.000
Afgifteset	€/jaar	7.000
Totaal	€/jaar	85.000

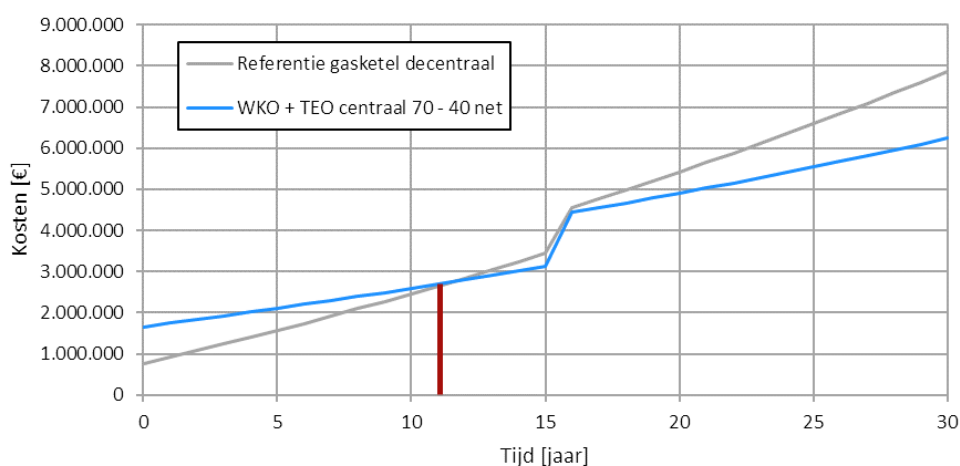
Tabel 4.7 | Jaarlijkse exploitatiekosten referentiesysteem: decentrale gasketel.

Exploitatiekosten WKO + TEO	Eenheid	Kosten
Inkoop		
Elektriciteit (vast en variabel)	€/jaar	-
Gas (vast en variabel)	€/jaar	128.000
Onderhoud en beheer		
Gasketel	€/jaar	27.000
Totaal	€/jaar	155.000

Terugverdientijd

In Figuur 4.5 zijn de kosten en baten van het WKO + TEO systeem (blauw) uitgezet tegen het referentiesysteem (grijs) met individuele gasketels 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 4.2.

De terugverdientijd van het WKO + TEO systeem is ~11 jaar ten opzichte van het referentiesysteem. Echter zijn de herinvesteringskosten hoger dan voor het referentiesysteem, daarentegen blijven de totale kosten lager dan de kosten van het referentiesysteem na de herinvesteringskosten. Over een projectlooptijd van 30 jaar wordt een positief financieel resultaat ten opzichte van de referentie verwacht van -€ 1.700.000,-.



Figuur 4.5 | Kosten-batenanalyse van het WKO + TEO systeem (blauw) en het referentiesysteem (grijs).

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 met decentrale warmte opwekking na ~11 jaar. Bij het referentiesysteem wordt warmte geleverd door middel van individuele gasketels (uitgangspunt is vervangen huidige ketels door nieuwe).

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 warmtevraag voor ruimteverwarming en warm tapwater 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 heeft het moment van herinvesteren ook een effect op de terugverdientijd.

4.5

DUURZAAMHEID

Rendement en emissie

In Tabel 4.8 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 3.900 GJ_{th}. Dit is gelijk aan de warmte onttrekking aan oppervlaktewater in het warme seizoen. De CO₂-emissie van WKO + TEO ligt tussen de 0 - 260 ton/jaar. De CO₂-emissie van het referentiesysteem is ~320 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 voor WKO

+ TEO gaat uit van grijze elektriciteitsopwekking (RVO, 2016). Tot slot zijn de NO_x en de SO₂ emissies gegeven (CE Delft, 2015).

Tabel 4.8 | Prestatiefactoren WKO + TEO systeem en referentiesysteem (decentrale gasketels).

Prestatiefactor	WKO + TEO (groen)	WKO + TEO (grijs)	referentie
Equivalent opwekkingsrendement (EOR)	1,3	1,3	0,9
Warmte emissie (hittestress) [GJ _{th}]	0	0	3.900*
CO ₂ -emissie [ton _{CO2} /jaar]	0	260	320
NO _x emissie [kg/jaar]	0	90	360
SO ₂ emissie [kg/jaar]	0	260	3

*Dit is gelijk aan de warmte onttrekking aan oppervlaktewater in het warme seizoen.

Energieverbruik

In Tabel 4.9 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 te produceren. Bij een elektriciteitsopwekkingsrendement van 50% wordt het primair energieverbruik van een WKO + TEO systeem 4.340 GJ_{th}, terwijl het referentiesysteem een primair energieverbruik van 6.300 heeft. Deze verhouding van primair energieverbruik is ook terug te vinden in de verhouding van de EOR in Tabel 4.8. Dit betekent een besparing van primair energieverbruik van 1.960 GJ (-31%) voor WKO + TEO ten opzichte van de referentie (gasketels).

Tabel 4.9 | Energieverbruik van WKO + TEO systeem en referentiesysteem.

Energieverbruik	WKO + TEO	Referentie
Elektriciteit		
Warmtepomp [GJ _e]	1.720	-
Bronpomp [GJ _e]	190	-
Oppervlaktewaterpomp [GJ _e]	70	-
Distributiepomp [GJ _e]	190	-
Gas		
Gasketel	-	6.300
Totaal systeem[GJ]	2.170	6.300

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.

De stratificatie kan in diepe plassen door een lozing veranderen of verdwijnen. Bij een koudelozing zal het hypolimnion (onderste koude laag) groter worden en meer zuurstof gaan bevatten. Als het water wordt ingenomen in het epilimnion (bovenste warme laag) zal dit het proces versterken.

- Het proces van denitrificatie zal afnemen bij een lagere temperatuur.

Vanuit de waterkwaliteit zijn de meeste effecten positief te noemen. Wel kan de stikstofconcentratie verhoogd worden (afname denitrificatie). In diepe wateren moet bij grootschalige lozingen goed gekeken worden naar de effecten op de stratificatie.

Verder is het uitgangspunt dat de ecologie niet nadelig wordt beïnvloed. Er zijn positieve en negatieve effecten te verwachten op de ecologie. De positieve effecten zullen in veel gevallen opwegen tegen de negatieve effecten. Toch zijn een aantal effecten die kritisch bekeken moeten worden.

In totaal kan er in het warme seizoen ~160.000 m³/jaar aan oppervlaktewater gekoeld worden met ~6 °C.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 TECHNISCHE EN ENERGETISCHE HAALBAARHEID

Uitgangspunten en opwekkingspotentieel

Voor een aantal woningen in de wijk Genderdal in Eindhoven 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 5.1.

Tabel 5.1 | Kern uitgangspunten, technische haalbaarheid en thermisch potentieel voor Genderdal in Eindhoven.

Parameter	Waarde
Kern uitgangspunten	
Gebouwen	Mix van bestaande grondgebonden woningen en appartementen
Warmtevraag	1.570 MWh _{th} (5.630 GJ _{th}) per jaar
Doelstellingen	Duurzaam en aardgasloos
Technische haalbaarheid	
Capaciteit bodem: benodigd	1.000 MWh _{th} /jaar, 220.000 m ³ /jaar, 85 m ³ /h
Type bron	doublet
Capaciteit oppervlaktewater: benodigd	1.100 MWh _{th} /jaar, 54 m ³ /h

Er kan worden geconcludeerd dat op de onderzochte locatie (Genderdal en het oppervlaktewater in het Afwateringskanaal) 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 uitgewerkt. Warmtelevering voor ruimteverwarming en warm tapwater wordt geleverd via het distributienet. Regeneratie van warmte vindt plaats vanuit het Afwateringskanaal ten westen van Genderdal. De overwegingen bij de concepten zijn toegelicht in paragraaf 4.1.

Er is sprake van een 100% elektrisch aangedreven warmtevoorziening. Het concept is dus aardgasloos. Naast het leveren van duurzame warmte 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 realisatie van het systeem moeten onder meer de volgende onderdelen worden ingepast:

- in- en uitlaat oppervlaktewatersysteem (54 m³/h);
- WKO doublet (85 m³/h);
- technische ruimte (warmtepomp(en) en warmtewisselaars);
- 2-pijps distributieleidingen met warmte aanvoer (70 °C) en retour woningen (40 °C);
- distributieleidingen WKO systeem;
- distributieleidingen TEO systeem;
- aansluitleidingen ten behoeve van de aan te sluiten panden.

In paragraaf 4.2 staan de onderdelen en inpassingsmogelijkheden benoemd. In Figuur 4.4 is de inpassing van de onderdelen grafisch weergegeven. Aandachtspunten zijn onder meer de inpassing van de technische ruimte, WKO, TEO systeem en het distributienet. Voor de 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 ruimte gereserveerd te worden voor de technische ruimte.

Juridische knelpunten

Op juridisch gebied worden vooralsnog geen knelpunten voorzien voor de realisatie van de energievoorziening. In de verdiepingsfase dient er meer aandacht te worden besteed aan juridische en organisatorische zaken.

Impact directe leefomgeving

De voorzieningen kunnen grotendeels uit het zicht van de omgeving worden gerealiseerd (ondergronds of in pandig). 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 in het Afwateringskanaal.

Energierendement en uitstoot

Voor het geheel van de energielevering (opwekking, distributie en afgifte tot aan afgiftesets) aan de afnemers wordt voor WKO + TEO een equivalent opwekkingsrendement (EOR) van 1,3 verwacht. De vergelijking is gemaakt met een referentiesysteem (individuele gasketels) die voor een vergelijkbare warmtevraag een EOR van 0,90 heeft. Door duurzaam te koelen kan er 3.900 GJ_{th} warmte emissie aan de atmosfeer voorkomen worden.

Het uitgewerkte WKO + TEO concept 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-emissie tot 0 gereduceerd worden. In het slechtste geval (100% grijze stroom) is de CO₂-emissie met 260 ton/jaar alsnog significant lager dan het referentiesysteem (individuele gasketel) met 320 ton/jaar.

5.3 FINANCIËLE HAALBAARHEID

De investeringskosten, inkomsten en jaarlijkse exploitatiekosten van het WKO + TEO systeem is vergeleken met een referentiesysteem (individuele gasketels). De terugverdientijd van het WKO + TEO systeem is ~11 jaar ten opzichte van het referentiesysteem. De terugverdientijd is afhankelijk van meerdere factoren. Belangrijke parameters die het resultaat kunnen beïnvloeden zijn de energiekosten voor elektriciteit en gas, en herinvesteringskosten en de bijdrage aansluitkosten (BAK).

5.4 AANBEVELINGEN

In deze paragraaf zijn een aantal aanbevelingen geschreven die belangrijk kunnen zijn om in overweging te nemen in een eventuele vervolgfase.

Alternatief individuele lucht/water warmtepomp

Tijdens het overleg van 27 maart 2018 is gevraagd naar een vergelijking met individuele lucht-/waterwarmtepompen. In dat energieconcept heeft elke woning zijn eigen lucht-/waterwarmtepomp. Bij de appartementencomplexen zou er eventueel nog voor gekozen kunnen worden om daar een collectieve lucht-/waterwarmtepomp te plaatsen per gebouw. Hieronder zijn de belangrijkste voor- en nadelen van de 2 concepten opgesomd.

Voor- en nadelen WKO + TEO ten opzichte van all-electric lucht-/waterwarmtepomp:

- + lagere investeringskosten;
- + hoger rendement;
- + tussen 10-20% energiebesparing op primair energieverbruik;
- + koeling oppervlaktewater in zomer klimaatadaptief, reductie hittestress;
- + positieve invloed op waterkwaliteit oppervlaktewater;
- + reductie CO₂ emissie;
- + positief effect op langere termijn investering/project rendement;
- + minimale techniek in woningen (beperkte impact bewoners voor onderhoud en storingen);
- + zeer beperkt ruimte beslag in woningen;
- + afschrijving en vervanging installatie onderdelen beperkt (duurzaam en circulair);
- collectieve oplossing vereist een energie exploitant;
- afstemming werken in openbare ruimte nodig (WKO, distributienet);
- minder subsidie.

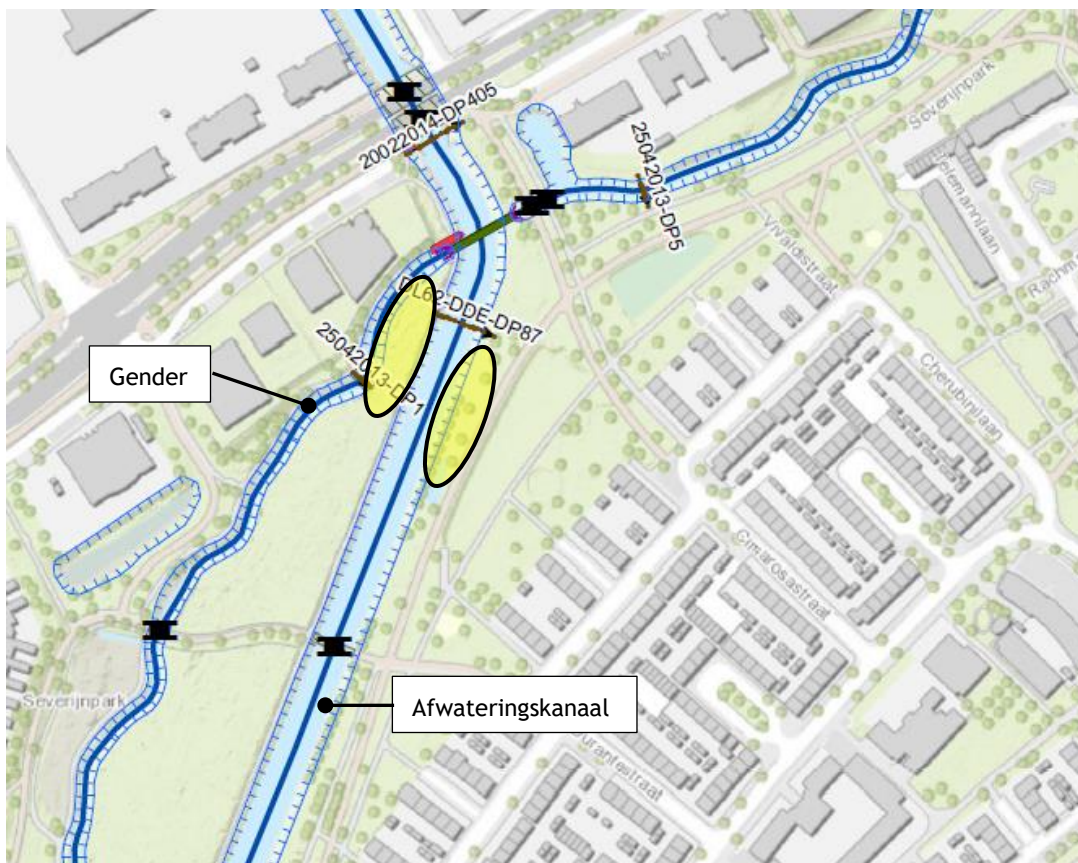
Voor- en nadelen all-electric lucht-/waterwarmtepomp ten opzichte van WKO + TEO:

- +/- onderhoud en beheer voor bewoner;
- + geen afstemming werken in openbare ruimte;
- + individuele oplossing per woning, zonder energie exploitant;
- buitenunit nodig (plaatsingsruimte en zichtbaarheid op gevel/dak);
- geluid warmtepomp in woning (binnen- en buitenunit);
- actieve koeling met warmtepomp (kost extra energie);
- bevrozing van buitenunit bij buitenlucht temperatuur rond het vriespunt (kost extra energie om buitenunit te ontdooien);
- lagere en minder constante COP door afhankelijkheid buitenlucht temperatuur;
- opgesteld vermogen groter in verband met gelijktijdigheid warmte- en koude levering;
- hogere energiekosten;
- grote afschrijving installatie onderdelen, 100% vervanging na 15 jaar (duurzaam en circulair).

Ontwerp OVW systeem

Het benodigde oppervlaktewater debiet om de WKO te regenereren is significant ten opzichte van het oppervlaktewaterlichaam. Dit zorgt ervoor dat de afstand tussen het onttrekkings- en lozingspunt minimaal 325 m moet zijn als het water zowel wordt onttrokken als geloosd op hetzelfde oppervlaktewater om thermische interferentie te voorkomen. Er is een mogelijkheid om het onttrekkings- en lozingspunt dicht bij elkaar te plaatsen door een ander oppervlaktewaterlichaam te gebruiken. Parallel aan het Afwateringskanaal stroomt de Gender. Technisch lijkt het mogelijk om een onttrekkingspunt te realiseren aan het Afwateringskanaal en een lozingspunt aan de Gender. Juridisch zal moeten worden geverifieerd bij het waterschap welke vergunningen en/of verplichtingen benodigd zijn. Vooralsnog lijken er geen belemmeringen te zijn voor dit concept.

Een voordeel van een dergelijk concept zou kunnen zijn dat er een 2^e oppervlaktewaterstelsel van een naburige wijk stroomopwaarts of -afwaarts gerealiseerd kan worden zonder dat dit voor thermische interferentie zorgt mits het onttrekkings- en lozingspunt op hetzelfde water plaatsvinden.



Figuur 5.1 | Plattegrond met het Afwateringskanaal en de Gender en indicatief het onttrekkings- en lozingspunt in deze oppervlaktewaterlichamen.

Opschaling/fasering systeem

In de huidige studie is een gedeelte van het Genderdal in overweging genomen. Er bestaat een mogelijkheid tot opschaling van het systeem WKO + TEO, de aansluitingen en het warmtenet voor meerdere woningen/gebouwen in Genderdal. In dit geval levert een opschaling zeer waarschijnlijk een financieel voordeel op omdat de rest van de wijk op het eerste gezicht een vergelijkbaar karakter (bebouwingsdichtheid/energievraagdichtheid) heeft. De toepasbaarheid van WKO + TEO zal technisch, financieel en juridisch verder uitgezocht moeten worden in een verdiepende fase.

Daarnaast kan er ook aan een gefaseerde aansluiting gedacht worden. In het geval dat er een plan is om een ander gedeelte van de wijk in de toekomst aan te sluiten op dit systeem, zal hier van te voren rekening mee gehouden moeten worden i.v.m. de dimensionering van het systeem.

Thermische energie uit afvalwater (TEA)

De gemiddelde temperatuur van afvalwater in Nederland is ~23 °C. Dit kan een potentiële warmtebron voor regeneratie van de WKO zijn. Dit concept wordt ook wel thermische energie uit afvalwater (TEA) genoemd. De haalbaarheid van een dergelijk concept ligt voornamelijk aan de inpassingsmogelijkheden bij het rioolgemaal en de beschikbare energie in het afvalwater. In een eventuele verdiepingsfase wordt aanbevolen om thermische energie uit afvalwater mee te nemen in een variantenstudie.

Gevoeligheidsanalyse/variantenstudie

Een gevoeligheidsanalyse geeft inzicht op de effecten en gevoeligheden van andere uitgangspunten. Hierbij kan gedacht worden aan e.g. prijsstijgingen voor elektriciteit en gas die effect hebben op de exploitatiekosten.

Daarnaast kan een variantenstudie veel inzicht bieden in het meest optimale concept. Voorbeelden van varianten zijn: individuele lucht/water warmtepompen, regeneratie met droge koelers, aansluiting op stadswarmtenet, geothermie.

5.5 SPOORBOEKJE

In Figuur 5.2 zijn de afgeronde stappen en toekomstige stappen overzichtelijk weergegeven (STOWA, 2017). Na het definitief maken van de huidige business case bevindt het proces zich aan het einde van fase 1: verkenning. Zoals ook geschetst in het plan van aanpak (paragraaf 2.2) zou de vervolgstap op deze business case het creëren van draagvlak bij de stakeholders zijn om het project verder te brengen. Het betrekken van stakeholders in de verkenningsfase kan ervoor zorgen dat problemen snel kunnen worden doorgrond die een haalbare case in de weg staan. Ook is het belangrijk om gezamenlijk standpunten en belangen te verkennen en tot een gemeenschappelijk beeld te komen en een rolverdeling vast te stellen. In de verkenning is het ook raadzaam om een financiële vergelijking te maken met andere aardgasloze opties (all-electric).

Voor het vervolg (fase 2: verdieping) is het van belang dat de technische, financiële, juridische en organisatorische kaders in meer detail worden uitgewerkt en dat er afstemming plaatsvindt met de belanghebbenden. Hierbij is het raadzaam om voorwaarden voor het vervolg vast te leggen in een intentieovereenkomst tussen de belanghebbenden (waterschap, gemeenten en eventueel anderen) en daarmee fase 1 af te ronden. Tijdens de verdiepingsfase zal moeten worden bepaald op welke wijze het project in de markt zal worden gezet. De ervaring uit eerdere TEO-projecten leert dat een bijeenkomst voor de presentatie van de eindresultaten van dit onderzoek ook efficiënt kan worden gebruikt om een gezamenlijk vervolg te formuleren.

Opbouw handreiking thermische energie uit oppervlaktewater
 Proces, stappen en tools

	Fase 0. Omgevingscan	Fase 1. Verkenning	Fase 2. Verdieping	Fase 3. Uitwerking
<i>Technisch</i>	<ul style="list-style-type: none"> Karakteristieken bepalen ✓ Schatting potentie ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> Uitwerken grof technisch ontwerp ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> Uitwerken voorlopig technisch ontwerp 	<ul style="list-style-type: none"> Uitwerken definitief technisch ontwerp Aanbesteding voorbereiden
<i>Organisatorisch</i>	<ul style="list-style-type: none"> Identificeren stakeholders (potentiële partners en indirecte stakeholders) ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> Stakeholderanalyse ✓ Benaderen partijen Vaststellen rollen 	<ul style="list-style-type: none"> Rolinvulling uitwerken Warmte/koudeleveringsvoorwaarden uitwerken 	<ul style="list-style-type: none"> Onderlinge afspraken vastleggen in overeenkomsten
<i>Financieel</i>	<ul style="list-style-type: none"> 'achterkant van sigarendoosje' berekening financiële haalbaarheid ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> Scan financiële haalbaarheid ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> Uitwerking businesscase Investeringsbereidheid partners vastleggen Risico's uitwerken 	<ul style="list-style-type: none"> Definitieve businesscase per partner Uitwerken financieringsconstructie
<i>Juridisch</i>		<ul style="list-style-type: none"> Scan juridische voorwaarden (vergunningen, overeenkomsten, ...) ✓ Opstellen intentieovk 	<ul style="list-style-type: none"> Juridisch kader opstellen Opstellen samenwerkingsovk 	<ul style="list-style-type: none"> Overeenkomsten opstellen Vergunningen aanvragen
Resultaat fase	<ul style="list-style-type: none"> Lijst te benaderen potentiële partners Inzicht in type project en grove potentie 	<ul style="list-style-type: none"> Gezamenlijk inzicht in belangen / wensen Inschatting technische, juridische, financiële haalbaarheid Inzicht in meekoppelkansen 	<ul style="list-style-type: none"> Voorlopig ontwerp Rolinvulling Leveringsvoorwaarden Businesscase Juridisch kader 	<ul style="list-style-type: none"> Definitief ontwerp Overeenkomsten tussen deelnemende partijen Financieringsvoorstel Vergunningen
Vastgelegd in...		Intentieovereenkomst	Samenwerkingsovereenkomst	Investeringsbesluit

Figuur 5.2 | Opbouw handreiking thermische energie uit oppervlaktewater (bron: STOWA, 2017).

6 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.klimaatscenario's.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-%202017%20september%202016.pdf>.

STOWA (2017). Thermische energie uit oppervlaktewater - Handreiking voor ontwikkeling TEO-projecten. Verkregen op 20 december, 2017 van <http://stowa.nl/upload/Publicaties%202017/STOWA%202017%2035%20WEB%20LR%202.pdf>.

7 Afkortingen

BC	business case
BVO	bruto-vloeroppervlakte
CAPEX	capital expenditures
EOR	equivalent opwekkingsrendement
ISDE	investeringssubsidie 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

Bijlage 1

Conceptbeschrijvingen

TEO/Smart polder

1.1 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>

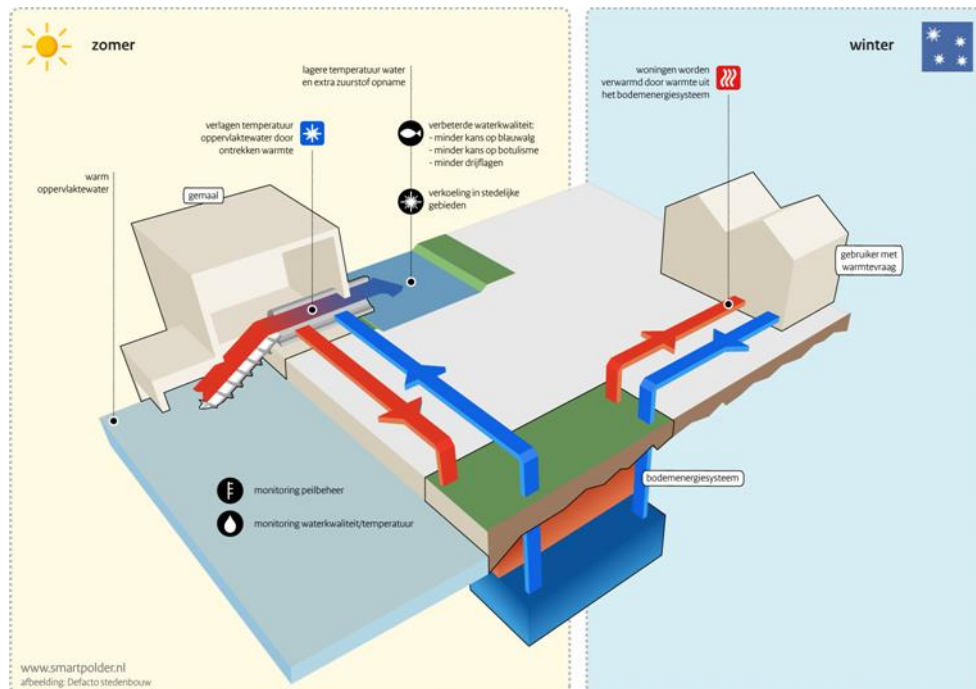
Daar waar energievraag en oppervlaktewater samenkomen is een economische rendabel project te maken. Op basis van de huidige energievraag is het economisch winbare potentieel 12% van de landelijke warmtevraag (42 PJ) en 54% van de landelijke koudevraag (3,8 PJ).

Het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden en Utrechtse gemeenten hebben deze landelijke verkenning uitgewerkt in een meer gedetailleerde regionale kanskaart (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.



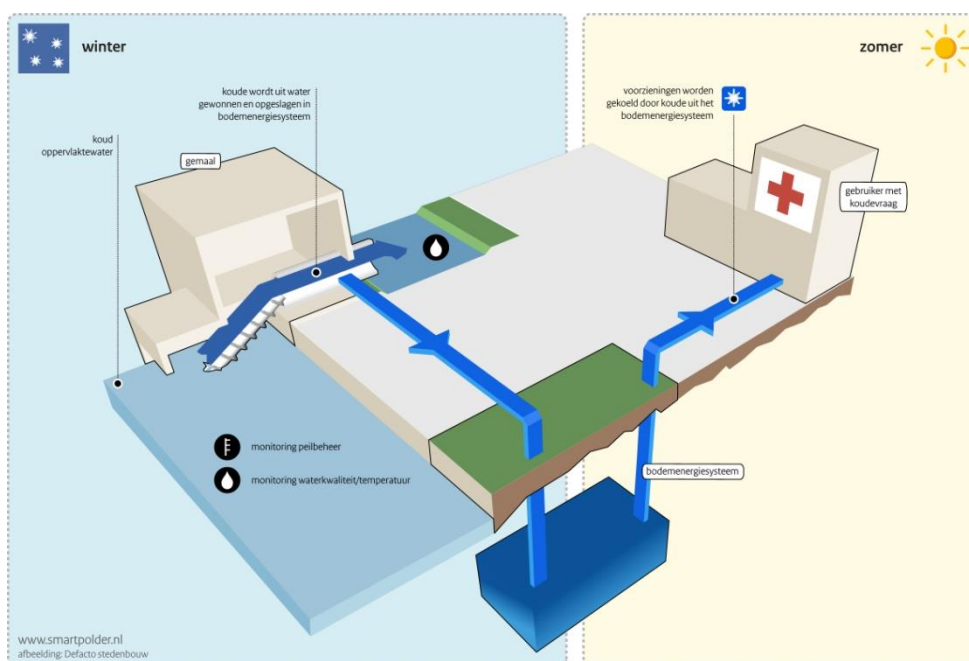
Figuur 7.1 | Gemaal als warmtecentrale in combinatie met WKO.

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 7.2). 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 7.2 | Gemaal als koudecentrale in combinatie met WKO.

Inlaat en uitlaat bij onttrekkingspunt TEO systeem

In Figuur 7.3 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 7.4 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 7.3 | Inlaat van een TEO systeem. De inlaat is boven water geplaatst onder een steiger.

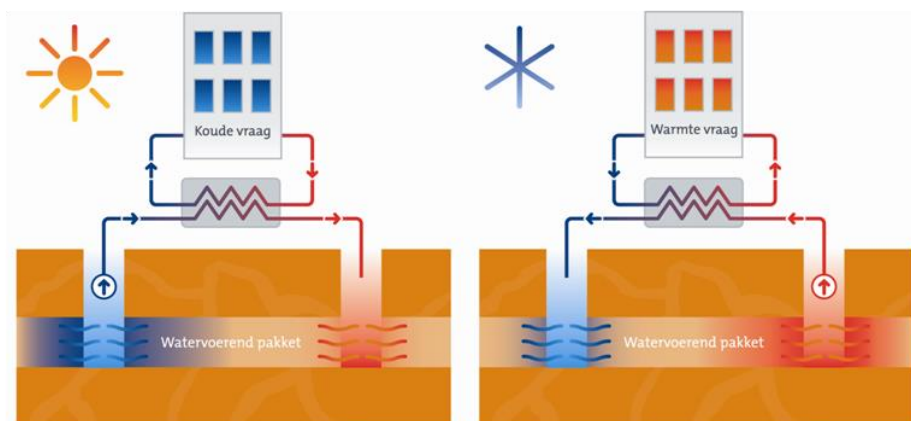


Figuur 7.4 | Inlaat van een TEO systeem. De inlaat is onder water geplaatst onder een steiger.

1.2 PRINCIPE WARMTE- EN KOUDE OPSLAG (WKO)

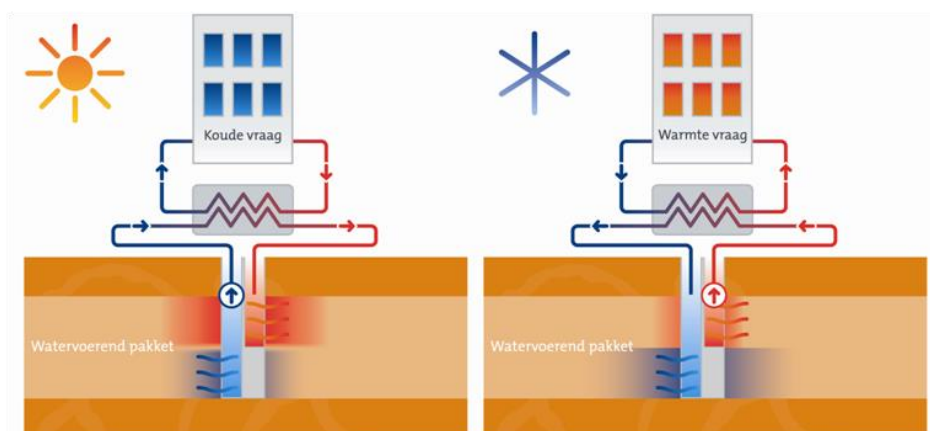
Het principe van een WKO met een open grondwatersysteem is dat in de winter het gebouw of proces wordt verwarmd met zomerwarmte en in de zomer wordt gekoeld met winterkoude. De warmte en koude worden door middel van open bronnen in een ondergrondse watervoerende laag opgeslagen en onttrokken.

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 7.5.



Figuur 7.5 | 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 7.6.



Figuur 7.6 | Principe van energieopslag met een monobron.

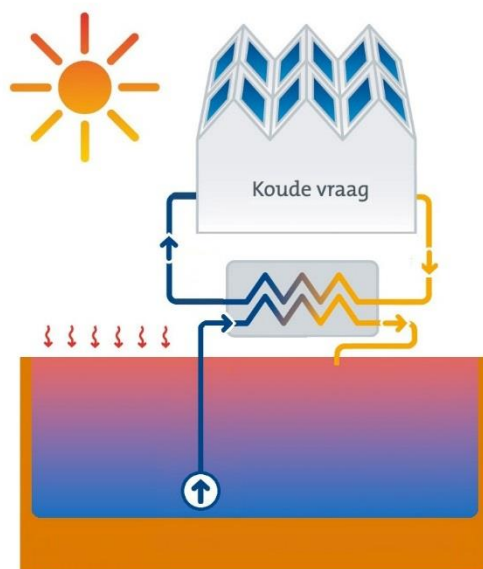
Een WKO dient in energiebalans te zijn, de hoeveelheid gewonnen koude dient doorgaans gelijk te zijn aan de gewonnen warmte. Indien er bij een afnemer een energieonbalans is (overwegende warmtevraag bij woningen en overwegende koudevraag bij datacenters en industrie) kan deze worden aangevuld met warmte of koude uit oppervlaktewater.

1.3 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 7.7 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 7.7 | 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 terugstroomt 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-watergang 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 bepaalt 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

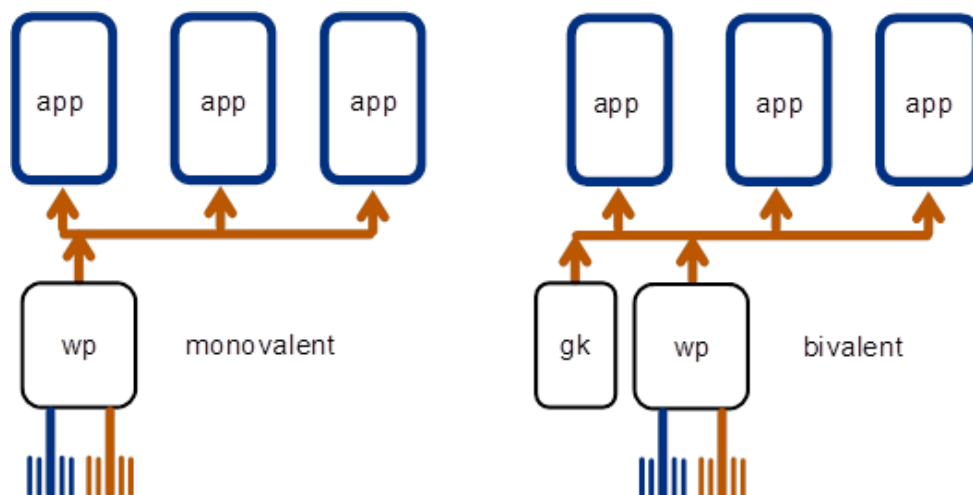
Voor de gebouwsystemen kan gekozen worden voor monovalente of bivalente systemen. Beide systemen zijn schematisch weergegeven in Figuur 7.8. Een korte toelichting aan de hand van warmtelevering volgt hieronder:

Monovalent: Appartementen (app) hebben een warmtevraag (ruimteverwarming en tapwaterbereiding). Bij een monovalent systeem wordt één omzetter gebruikt die alle warmte levert. In het voorbeeld (zie Figuur 7.8) is dit een warmtepomp (wp) in combinatie met energieopslagsysteem.

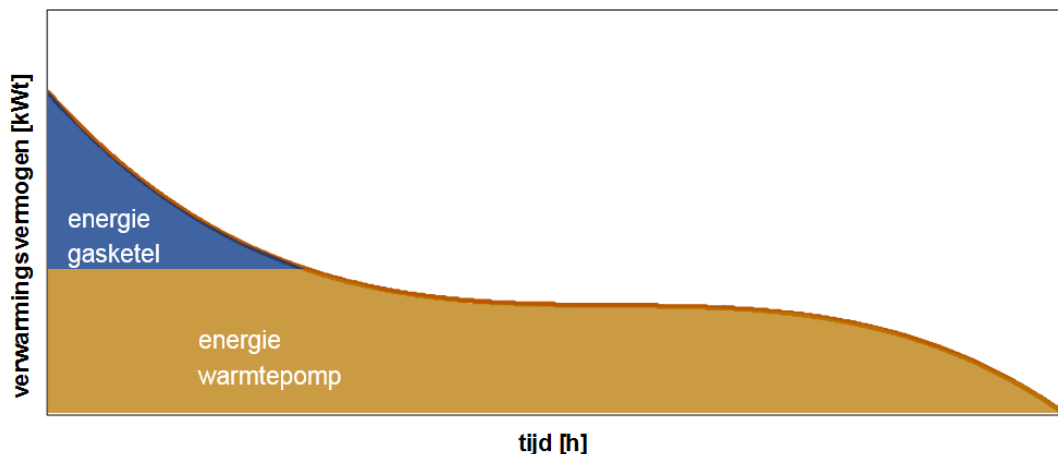
Bivalent: Bij een bivalent systeem wordt gebruik gemaakt van twee omzeters voor de warmtelevering. In het voorbeeld levert een warmtepomp in combinatie met een energieopslagsysteem een deel van de warmte. Het andere deel van de warmte wordt geleverd door bijvoorbeeld een gasketel (gk).

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 7.9 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 7.8 | Monovalent vs. Bivalent systeem (schematisch)



Figuur 7.9 | Jaarbelastingduurcurve.

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.

IF Technology **Creating energy**



Velperweg 37
6824 BE Arnhem
Postbus 605
6800 AP Arnhem

T 026 35 35 555
E info@iftechnology.nl
I www.iftechnology.nl

NL60 RABO 0383 9420 47
KvK Arnhem 09065422
BTW nr. NL801045599B01

IF Technology **Creating energy**

Thermische Energie uit Oppervlaktewater

Business case “Baronie Haven” Alphen aan den Rijn





Datum 24 januari 2018
Referentie 67149/LH/20182401
Betreft Thermische Energie uit Oppervlaktewater - Business case “Baronie Haven” Alphen aan den Rijn
Behandeld door de heer F. Niewold
Gecontroleerd door de heer B. Scholten
mevrouw L. van Hilten
Versienummer Definitief 1.1

OPDRACHTGEVER

Unie van Waterschappen
de heer R. Romijn
Postbus 93218
2509 AE Den Haag
T 070 - 456 1571
rromijn@uvw.nl

INHOUDSOPGAVE

1	Samenvatting	4
2	Inleiding	7
2.1	Algemeen	7
2.1.1	Achtergrond	7
2.1.2	Uitrol strategie TEO	7
2.1.3	Casus: Baronie Haven	8
2.2	Plan van Aanpak	8
2.2.1	Selecteren van kansrijke locaties	8
2.2.2	Inventarisatie gebiedskenmerken en belanghebbenden	8
2.2.3	Verkenning business case	9
2.2.4	Verdiepingsfase	9
2.2.5	Projectrealisatie en exploitatie	9
2.3	Doelstellingen casussen	9
2.3.1	Algemene doelstellingen	9
2.3.2	Doelstellingen casus: Baronie Haven Alphen a/d Rijn	9
2.4	Leeswijzer	10
3	Inventarisatie	11
3.1	Stakeholderanalyse	11
3.2	Kenmerken Gebied en gebouwen	11
3.3	Kenmerken watersysteem	14
3.4	Kenmerken bodem	18
3.4.1	Bodemopbouw	18
3.4.2	Geohydrologie	18
3.4.3	Concept	21
3.5	Klimaatadaptie	21
3.6	Omgevingsbelangen	24
3.6.1	Juridische belangen	24
4	Business case	25
4.1	Energieconcepten	25
4.2	Schetsontwerp	30
4.3	Impact leefomgeving	32
4.4	Financiële analyse	32
4.5	Duurzaamheid	35
5	Conclusies en aanbevelingen	39
5.1	Technische en energetische haalbaarheid	39
5.2	Ruimtelijke inpassing	39
5.3	Financiële haalbaarheid	40
5.4	Spoorboekje	40
6	Referenties	43
7	Afkortingen	44
Bijlage 1	Conceptbeschrijvingen TEO/Smart polder	45
7.1	PRINCIPE SMART POLDER - TEO	45
7.2	Principe Warmte- en Koude Opslag (WKO)	49
7.3	Koude uit diepe plassen	50
Bijlage 2	Energieconceptvorming gebouwinstallatie	52

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 koudeopslag (WKO). De business case is toegepast op de “Baronie Haven” in Alphen a/d Rijn (zie Figuur 1.1). De Baronie Haven wordt gekenmerkt door een nieuw te ontwikkelen duurzame wijk met woningen, appartementen en utiliteit met een aantrekkelijk vestigingsklimaat. Voor deze ontwikkeling is een bouwscenario met een mix van woningen en appartementen aangenomen bestaande uit 127 woningen. Vervolgens is een inschatting gemaakt van het energieverbruik voor de warmtevraag van $\sim 380 \text{ MWh}_{\text{th}}$ ($\sim 1.360 \text{ GJ}_{\text{th}}$) per jaar en de koudevraag van $\sim 125 \text{ MWh}_{\text{th}}$ ($\sim 450 \text{ GJ}_{\text{th}}$) per jaar.

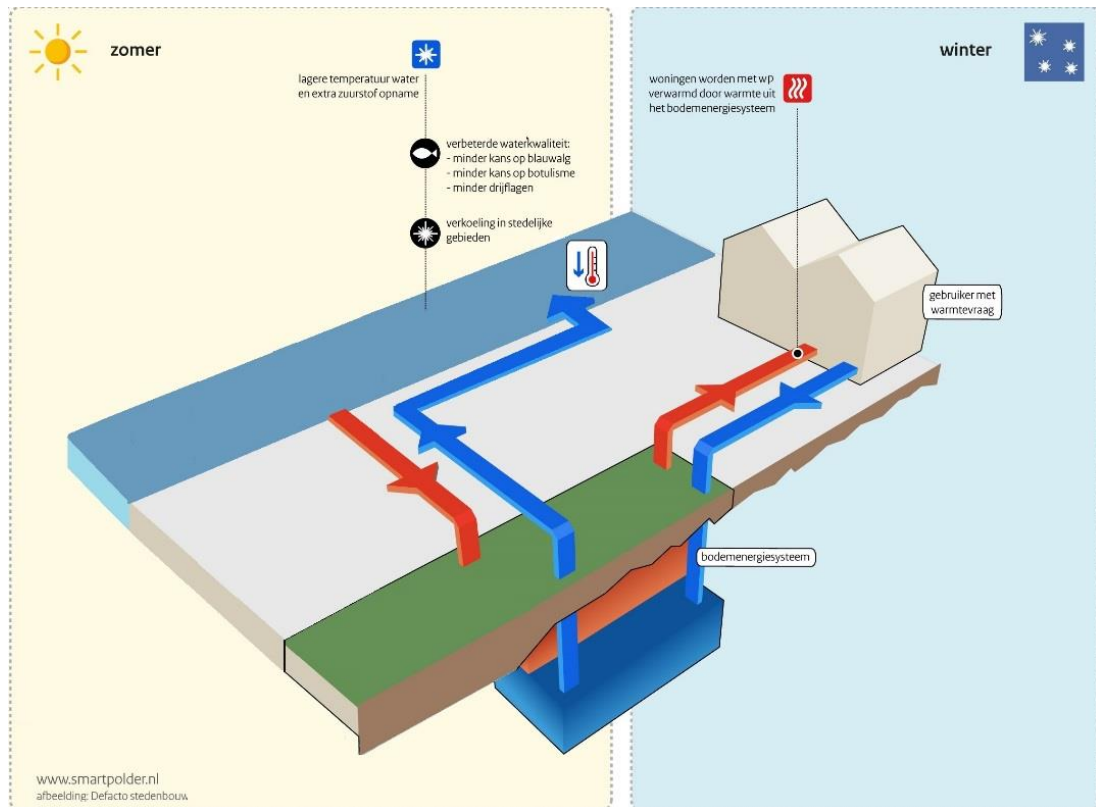
Het oppervlaktewater wordt verkregen uit de Rijnhaven. Het oppervlaktewater nabij de locatie is ~ 100 meter breed en $\sim 4,5$ - $7,5$ meter diep. De haven is aangesloten aan de Oude Rijn.



Figuur 1.1 | Baronie Haven in Alphen a/d Rijn. 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 in de Baronie Haven het geval is, en wordt 100% elektrisch opgewekt (aardgasvrij). TEO kan worden aangevuld met een warmte en koudeopslagsysteem in de bodem (WKO) (zie Figuur 1.2).



Figuur 1.2 | Concept TEO: Smart polder, WKO met warmtewinning uit oppervlaktewater.

Als TEO in combinatie met een WKO systeem wordt toegepast, wordt gebruik gemaakt van het natuurlijke temperatuurverschil tussen het oppervlaktewater in de zomer ($-18\text{ }^{\circ}\text{C}$) en de stabiele grondwatertemperatuur ($-12\text{ }^{\circ}\text{C}$). 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 de Baronie Haven is de koudevraag significant lager ten opzichte van de warmtevraag met een verhouding van 1:3. 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 een doublet (één warme en één koude bron) of een monobron met een maximaal debiet van $20\text{ m}^3/\text{h}$ toereikend om de woningen van de Baronie Haven van voldoende warmte en koude te voorzien. Om de bronnen in de zomer voldoende te kunnen laden is een oppervlaktewatersysteem van maximaal $10\text{ m}^3/\text{h}$ nodig. Er zijn verschillende systeemconcepten mogelijk. In de huidige business case is een concept met centrale warmtepomp voor ruimte verwarming en individuele booster warmtepompen voor warm tapwater, en passieve koeling vanuit de WKO koude bron doorgerekend. Verder worden er juridisch gezien geen knelpunten voorzien voor de realisatie van TEO en WKO.

De belangrijkste aandachtspunten voor het bodemenergiesysteem zijn de zoet-/zoutovergangen in het opslagpakket, grondwatergebruikers ten oosten van de Baronie Haven, bodemverontreiniging ten westen van de Baronie Haven.

Duurzaamheid

Door de toepassing van TEO met een oppervlaktewaterdebiet van 10 m³/h kan TEO bijdrage aan de vermindering van 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 560 GJ_{th} ten opzichte van de warmte uitstoot van traditionele koelers (compressiekoelmachine), waarmee extra hittestress wordt voorkomen. De CO₂ emissiereductie kan in het meest optimale geval (volledig groen opgewekte stroom) 102 ton/jaar bedragen ten opzichte van een referentie systeem met aardgas en actieve koeling waarbij elk gebouw zijn eigen gasketel en compressiekoelmachine heeft. In dat geval moet de elektriciteit ook duurzaam opgewekt zijn.

Financiële haalbaarheid

De financiële haalbaarheid van het WKO + TEO systeem bij de Baronie Haven is getoetst door een vergelijking te maken met een referentiesysteem (individuele gasketels en koelmachines). De verwachte terugverdientijd van het WKO + TEO systeem is 6 jaar ten opzichte van het referentiesysteem.

Vervolg

De plannen voor de ontwikkeling van de Baronie Haven zijn al in een gevorderd stadium. Hierbij is de toepassing om het te ontwikkelen gebied duurzaam te ontwikkelen een belangrijk aandachtspunt. De integratie van TEO in combinatie met een WKO systeem heeft een significante meerwaarde in het geval er een thermische onbalans heerst. 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.

De verwachting is dat de omgeving Rijnhaven (oostkant), waar de Baronie Haven ook toebehoort, de komende jaren zal worden ontwikkeld tot een woon- en werkgebied. De voorgestelde oplossing (WKO + TEO) biedt een mogelijkheid tot uitbreiding, waarbij het WKO en TEO systeem een grotere capaciteit krijgt en er gebruik wordt gemaakt van een lokaal warmtenet. De Baronie Haven zou hierbij als startpunt van deze warmtevoorziening kunnen worden gebruikt, waar in de toekomst nieuwbouwwoningen en utiliteitsgebouwen op aan kunnen sluiten. Het is belangrijk om daar in een beginstadium rekening mee te houden, zodat de inpassing technisch, organisatorisch en financieel geoptimaliseerd kan worden.

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: Baronie Haven

De Baronie Haven in Alphen a/d Rijn is als één van de kansrijke locaties naar voren gekomen. Dit gebied wordt gekenmerkt door een nieuw te ontwikkelen duurzame wijk. Het gebied grenst in het westen aan de Rijnhaven (oppervlaktewater). Dat is een haven die is verbonden aan de Oude Rijn. De ambitie is om de gebouwen in de Baronie Haven volledig energie neutraal te maken. Voor de energievraag zullen de gebouwen worden getypeerd als een mix van grondgebonden woningen en appartementen. In dit rapport wordt de technische en financiële haalbaarheid van thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) bij de Baronie Haven in Alphen a/d Rijn 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: Baronie Haven Alphen a/d Rijn

De doelstelling van deze specifieke casus is om de technische en financiële haalbaarheid inzichtelijk te maken voor de belanghebbenden. Dit zijn in directe zin de gemeente en de projectontwikkelaars. Anderzijds is dit de UvW die in dit specifieke geval de haalbaarheid van een WKO + TEO systeem in combinatie een nieuw te ontwikkelen duurzame wijk 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

Toekomstige eigenaren en ontwikkelaar(s) gebouwen

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 gebouweigenaren. De energievoorziening moet passen in het bestemmingsplan, waaraan de ontwikkelaar(s) moeten voldoen.

Hoogheemraadschap van Rijnland

Hoogheemraadschap van Rijnland is verantwoordelijk voor het kwalitatieve en kwantitatieve beheer van het regionale oppervlaktewater waar de Rijnhaven in Alphen a/d Rijn onder valt. Voor het brengen van water in of het onttrekken van water uit een oppervlaktewaterlichaam is het waterschap bevoegd gezag voor vergunningverlening.

Provincie Zuid-Holland

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

Gemeente Alphen a/d Rijn

De gemeente Alphen a/d Rijn is eigenaar 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.

3.2 KENMERKEN GEBIED EN GEBOUWEN

Gebied

Gemeente Alphen a/d Rijn wil de Baronie Haven ontwikkelen tot een duurzaam woongebied met een aantrekkelijk vestigingsklimaat. In Figuur 3.1 is het gebied geel omlijnd. In het westen wordt de Baronie Haven begrensd door de Rijnhaven.

Gebouwen

De mix van gebouwen die bestudeerd zijn in deze casus kunnen allen worden getypeerd als nieuwbouw. De gebouwen zijn een mix van stadswoningen, atelierwoningen en appartementen en zullen uitsluitend een woonfunctie hebben. De aannamen voor de gebouwen komt uit het “structuurontwerp Baronie Haven” van 9 februari 2016.

Het bouwprogramma bestaat uit 4 fasen met verschillende type gebouwen. In de huidige business case is de fasering buiten beschouwing gelaten om een eerste inzicht in de haalbaarheid van thermische energie uit oppervlaktewater te bepalen. In een eventuele verdiepingfase wordt wel geadviseerd om faseringen mee te nemen. In Tabel 3.1 is het bouwprogramma van de Baronie

Haven te zien (bron: Structuurontwerp Baronie Haven, 9 februari 2016). Fase 1 is gerealiseerd (Peter Klompen, persoonlijke communicatie, 27 november 2017). Fase 4 is in Tabel 3.1 niet weergegeven. Deze fase zal over ongeveer 10 jaar worden gerealiseerd en bevat ~140 woningen. Gezien de looptijd en onzekerheid is voor de huidige business case alleen fase 2 en 3 met uitzondering van horeca en detailhandel in acht genomen.



Figuur 3.1 | Plangebied Baronie Haven (rechthoek geel) met in het westen de Rijnhaven. Bron: Google Earth.

Tabel 3.1 | Programma Baronie Haven in Alphen a/d Rijn (bron: Structuurontwerp Baronie Haven, 9 februari 2016).

Functie		wie	fase	aantal
Detailhandel			fase 1	4500 m2 BVO
			fase 3	400 m2 BVO
Horeca			fase 3	196 m2 BVO
Leisure			fase 1	2785 m2 BVO
Wonen	stadswoningen	bewoners	fase 2	8 woningen
		bezoekers	fase 2	8 woningen
	appartementen	bewoners	fase 2	24 appartementen
		bezoekers	fase 2	24 appartementen
	appartementen	bewoners	fase 3	88 appartementen
		bezoekers	fase 3	88 appartementen
	atelierwoningen	bewoners	fase 3	7 woningen
		bezoekers	fase 3	7 woningen
Totaal aantal woningen				127 woningen
Totaal aantal parkeerplaatsen benodigd				

De warmte- en koudevraag voor de gebouwen is onbekend, daarom is deze gebaseerd op de BENG norm uit de Uniforme Maatlat Gebouwde Omgeving (UMGO) voor de warmtevoorziening in de woning- en utiliteitsbouw (RVO, 2016). In Tabel 3.2 zijn de type en aantallen woningen weergegeven met de bijbehorende BVO's (bron: Structuurontwerp Baronie Haven, 9 februari 2016). De bijbehorende warmte- en koudevraag is te zien in Tabel 3.3. Daarbij is een uitsplitsing gemaakt in warmtelevering en warm tapwater voor de warmtevoorziening. De benamingen van de type gebouwen komen overéén met de benamingen in Figuur 3.2, waarin een plattegrond van de Baronie Haven te zien is.

Tabel 3.2 | Type, aantallen en bruto vloer oppervlakttes woningen (bron: Structuurontwerp Baronie Haven, 9 februari 2016).

Fase	Type gebouw	Aantal woningen	BVO gebouw [m ²]	BVO totaal [m ²]	Aandeel BVO [%]
Fase 2	Stadswoningen A	8	152	1.219	7%
	Appartementen A	24	125	3.003	18%
Fase 3	Atelierwoningen B2	7	165	1.156	7%
	Appartementen B1	41	135	5.522	33%
	Appartementen B2	7	136	950	6%
	Appartementen B3	40	124	4.942	29%
Totaal		127		16.792	100%

Tabel 3.3 | Warmte- en koudevraag woningen fase 2 en fase 3 Baronie Haven in Alphen a/d Rijn.

Energiestromen						
Fase	Type gebouw	EPC	Warmtelevering [kWh/jaar]	Warm tapwater [kWh/jaar]	Warmte totaal [kWh/jaar]	Koude totaal [kWh/jaar]
Fase 2	Stadswoningen A	BENG	13.133	19.014	32.147	4.845
	Appartementen A	BENG	28.530	36.939	65.469	24.025
Fase 3	Atelierwoningen B2	BENG	12.719	17.989	30.708	4.543
	Appartementen B1	BENG	52.459	67.921	120.380	44.176
	Appartementen B2	BENG	9.022	11.681	20.703	7.598
	Appartementen B3	BENG	46.949	60.787	107.736	39.536
Totaal			162.812	214.330	377.142	124.722

Systeem concept energielevering gebouwen

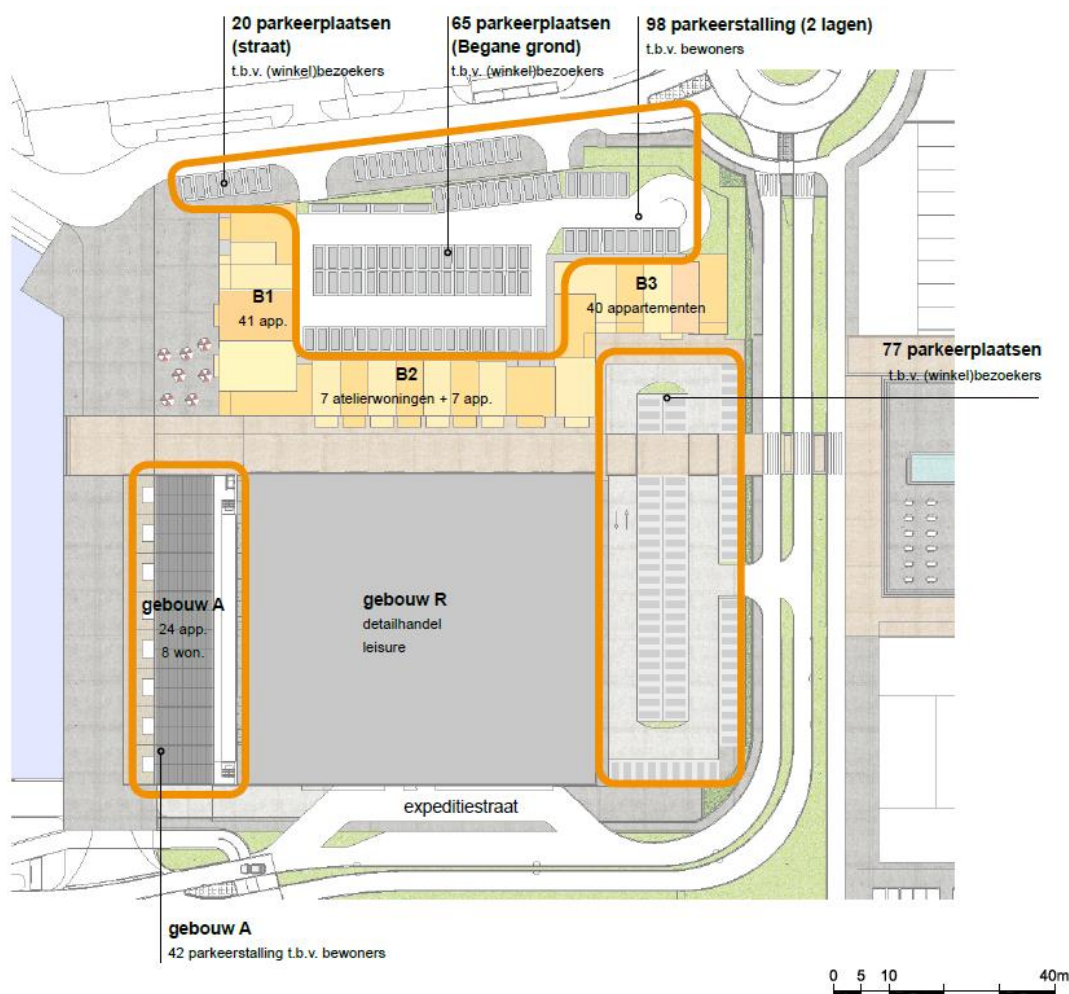
Voor de opwekking van warmte wordt gebruik gemaakt van een elektrische warmtepomp. De warmtepomp is aangesloten op een WKO + TEO systeem. De koude wordt direct geleverd vanuit het WKO systeem en met behulp van een warmtewisselaar afgegeven aan het distributienetwerk. Het distributienetwerk transporteert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

In de huidige studie zijn twee concepten doorgerekend:

- 1 **WKO + TEO centraal:** vanuit een centraal gelegen technische ruimte wordt de warmte en koude naar de gebouwen gedistribueerd. 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 een warmtewisselaar, zodat het oppervlaktewater, het WKO grondwater en het water in het distributienetwerk niet met elkaar kunnen mengen. Het distributienetwerk is een 4-pijps

systeem met een aanvoer- en retour leiding voor warmte en een aanvoer- en retour leiding voor koude. De aanvoerleiding voor warmte is een geïsoleerde leiding. De aanvoertemperatuur voor warmte is 40 °C. Elke individuele woning bevat een booster warmtepomp om de woning van warm tapwater van 65 °C te voorzien.

- 2 **Referentie decentraal:** de woningen zijn individueel aangesloten op een gasketel (warmte voorziening) en een koelmachine (koude voorziening).



Figuur 3.2 | Plattegrond Baronie Haven met gebouw A, B1, B2 en B3 (bron: Structuurontwerp Baronie Haven, 9 februari 2016).

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 het water in de Rijnhaven. De Rijnhaven is een watergang die in verbinding staat met de Oude Rijn, die van oost naar west stroomt (zie Figuur 3.4). De Zuidpoot van de Rijnhaven grenst aan de Baronie Haven. In Figuur 3.4 is ingezoomd op de Baronie Haven met daarbij in Figuur 3.5 het profiel van de diepte ter hoogte van de Baronie haven (Peter Klompen, persoonlijke communicatie, 27 november 2017). De afmetingen bij profiel 2 en profiel 3 zijn:

- Breedte: ~100 m
- Diepte: ~4,5 - 7,5 m



Figuur 3.3 | Plattegrond Alphen a/d Rijn met Oude Rijn (stromingsrichting gele pijlen) en Baronie Haven aan Rijnhaven (rode cirkel) (bron: Google Earth).

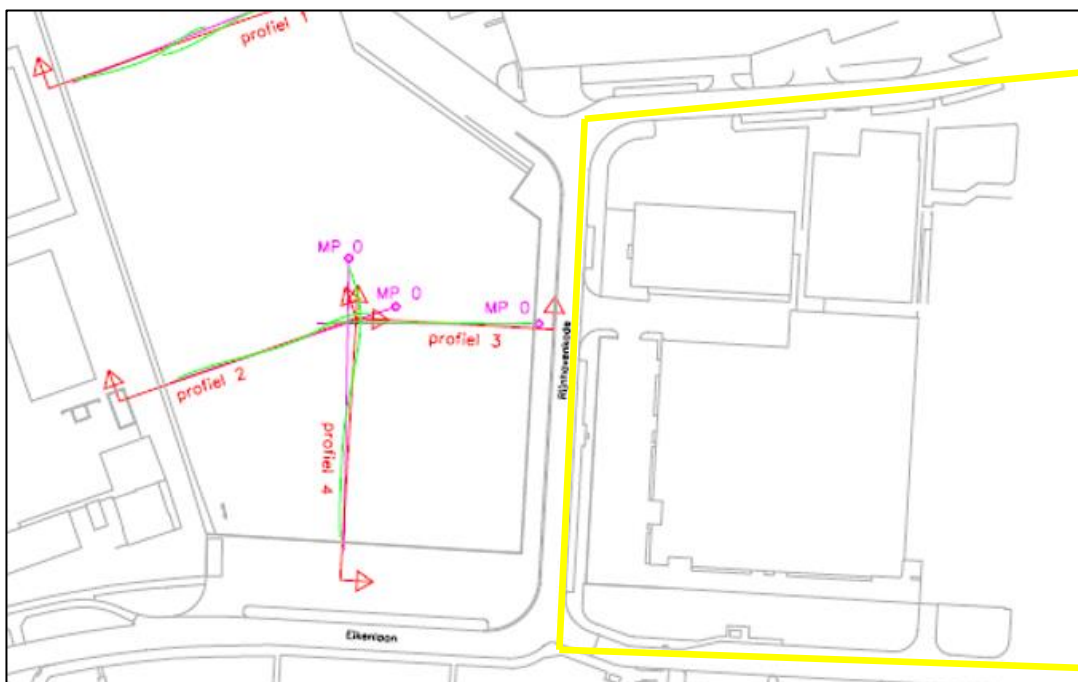
Debiet oppervlaktewater

Het debiet van het oppervlaktewater ter hoogte van de Baronie Haven is onbekend. Het debiet in de Oude Rijn ter hoogte van de Rijnhaven ligt gemiddeld tussen de $-2,2 - 4,0 \text{ m}^3/\text{s}$ westwaarts (Ina Elema, persoonlijke communicatie, 17 november 2017). Het is belangrijk dat het TEO systeem dusdanig wordt ontworpen dat thermische interferentie tussen het onttrekkingspunt en lozingspunt wordt geminimaliseerd. In de huidige studie wordt aangenomen dat de Rijnhaven stilstaand water is. Dit betekent dat het onttrekkings- en lozingspunt van het TEO systeem zo ver mogelijk uit elkaar wordt geplaatst, zodat interferentie geminimaliseerd wordt.

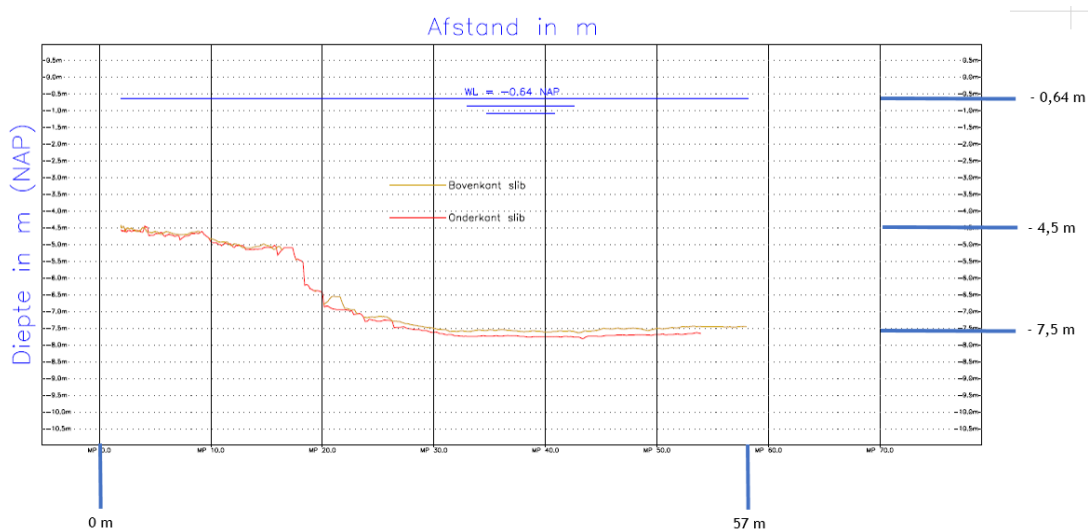
Temperatuur oppervlaktewater

De temperatuur van het oppervlaktewater in de Rijnhaven is niet bekend. Er is wel data beschikbaar van de temperatuur van het oppervlaktewater in de Oude Rijn. Tussen 2000 - 2007 is de temperatuur gemeten op de locaties aangegeven in Figuur 3.6. Hoewel de data meer dan 10 jaar oud is, wordt verwacht dat die geen significante invloed op de huidige temperatuur zal hebben. In Figuur 3.7 is de temperatuur van het oppervlaktewater uitgezet als functie van de tijd over een kalenderjaar. De oranje markering is de temperatuur tussen 2000 - 2007. De temperatuur

in de Rijnhaven is afgeleid van de temperatuur in de Oude Rijn. Gezien de diepte en breedte van de Rijnhaven wordt niet verwacht dat er een significant verschil in de temperatuur tussen de locaties zit. Deze temperatuur afgeleide wordt gebruikt in de energetische analyse om het moment van laden (oppervlaktewater onttrekken) en de hoeveelheid energie die geladen kan worden te bepalen.



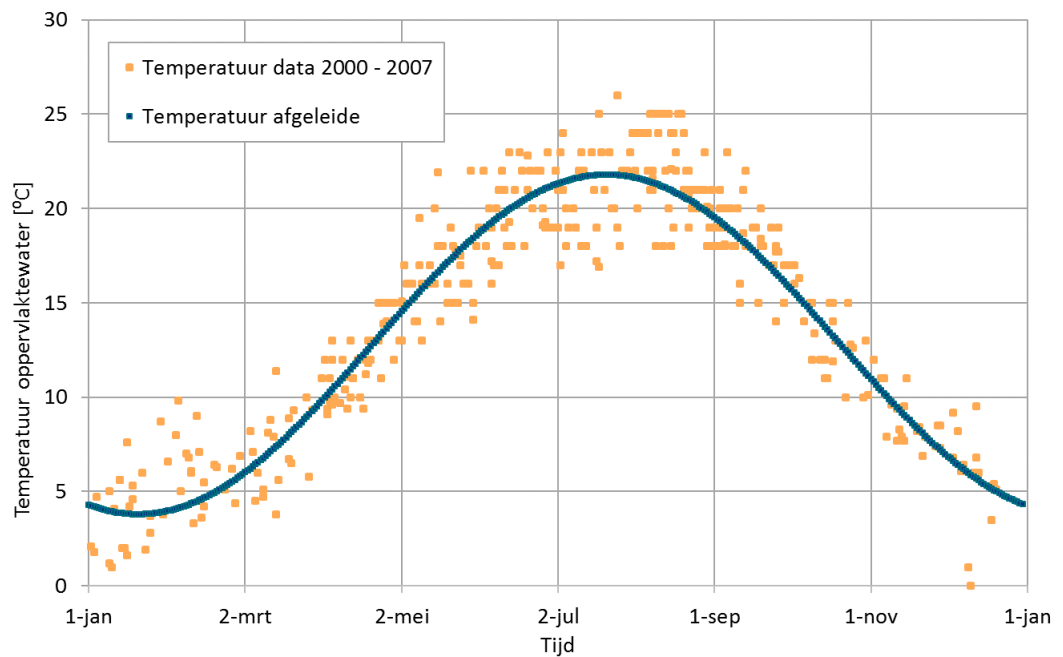
Figuur 3.4 | Plattegrond Rijnhaven ter hoogte van Baronie Haven. Profiel 2 en 3 zijn ~100 m (Peter Klompen, persoonlijke communicatie, 27 november 2017).



Figuur 3.5 | Diepte profiel van profiel 3 uit Figuur 3.4 van de Rijnhaven ter hoogte van Baronie Haven (Peter Klompen, persoonlijke communicatie, 27 november 2017).



Figuur 3.6 | Meetlocaties (geel gemarkeerd) temperatuur in de Oude Rijn (Ina Elema, persoonlijke communicatie, 17 november 2017).



Figuur 3.7 | Temperatuur oppervlaktewater in de Oude Rijn (oranje markeringen) (Ina Elema, persoonlijke communicatie, 17 november 2017). De water temperatuur in de Rijnhaven is afgeleid van de temperatuur in de Oude Rijn.

Juridisch

Het gebruik van oppervlaktewater voor de levering van energie, het onttrekken en lozen van oppervlaktewater maakt de energieleverancier vergunningplichtig bij het waterschap in het kader van de Waterwet. De kade is in eigendom van de gemeente. Doorvoeren en de aanleg van leidingen in de kade zal 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

3.4.1 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 Alphen a/d Rijn is geschematiseerd in een aantal watervoerende pakketten en scheidende lagen. De verwachte bodemopbouw op de locatie is weergegeven in Tabel 3.4.

Het bovenste deel van het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket (55 - 140 m-mv) is geschikt voor een open bodemenergiesysteem met de beoogde capaciteit van 20 m³/uur met één doublet.

Tabel 3.4 | Bodemopbouw op de projectlocatie Baronie Haven in Alphen a/d Rijn.

diepte [m-mv]	lithologie	geohydrologie
0 - 10	matig fijn tot grof siltig zand	deklaag
10 - 40	grof tot uiterst grof zand	1 ^e watervoerend pakket
40 - 55	klei met zeer fijn tot matig grof siltig zand	1 ^e scheidende laag
55 - 140	matig tot zeer grof zand, met kleilenzen	2 ^e /3 ^e watervoerend pakket
140 - 280	fijne tot matig grove zanden en kleilagen	2 ^e /3 ^e watervoerend pakket
> 280	klei en fijn zand	hydrologische basis

3.4.2 Geohydrologie




In Tabel 3.5 zijn de relevante technische en juridische aspecten opgenomen die van invloed zijn op de werking van een bodemenergiesysteem in het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket. De volgende aandachtspunten/risico's of belemmeringen zijn relevant voor de huidige locatie.

1 Zoet-/zoutovergangen

Het zoet-/brak- en het brak-/zoutgrensvlak bevinden zich in het opslagpakket. Verziltning van het grondwater is in principe niet toegestaan. Vanwege de diepteligging van de grensvlakken wordt verziltning wel verwacht. Aangezien het geen winbaar zoet grondwater bevat, vormt dit mogelijk geen belemmering. Ook omdat bij het naastgelegen Groot Baronie een vergunning is

verleend voor een open bodemenergiesysteem bovenin het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket.

Tabel 3.5 | Technische en juridische aspecten bodemenergiesysteem voor projectlocatie Baronie Haven in Alphen a/d Rijn.

onderwerp		toelichting
bodemopbouw		
doorlaatvermogen	✓	geschikt
dikte pakket	✓	voldoende dik
grondwater		
grondwaterstand	✓	dieper dan 1 m-mv
stijghoogte 2 ^e /3 ^e watervoerend pakket	✓	geen risico op artesisch grondwater
grondwaterstroming	✓	5 m/jaar in noordoostelijke richting
zoet/brak/zout-overgangen	⚠ 1	zoet-/brakgrensvlak: circa 60 m-mv, brak-/zoutgrensvlak: circa 75 m-mv, beïnvloeding grensvlakken verwacht
gas	✓	geen afwijkende gasdruk
deeltjes	✓	geen verhoogd risico op deeltjes
redox	✓	geen redoxovergang in opslagpakket
temperatuur opslagpakket	✓	12 °C
vergunbaarheid		
bodemenergieplan	✓	niet gelegen in bodemenergieplan of interferentiegebied
grondwatergebruikers	⚠ 2	open bodemenergiesysteem op naastgelegen kavel
zettingen	✓	noemenswaardige zetting wordt niet verwacht
grondwaterbescherming	✓	niet gelegen in een boringsvrije zone of nabij een waterwingebied
natuurbelangen	✓	geen beschermde natuur aanwezig
archeologie/aardkundig waardevol gebied	✓	niet gelegen in een archeologisch of aardkundig waardevol gebied
verontreinigingen	⚠ 3	grondwaterverontreiniging aanwezig nabij de locatie
waterkering	⚠ 4	locatie deels gelegen in buitenbeschermingszone en beschermingszone waterkering
aanwezigheid spoor of begraafplaats	✓	geen spoor of begraafplaats aanwezig binnen circa 250 m
 geschikt, geen belemmering of aandachtspunt	 aandachtspunt of risico	 hoog risico of belemmering

2 Grondwatergebruikers

Ten oosten van de locatie is een open bodemenergiesysteem gerealiseerd voor Groot Baronie. Er is een vergunning verleend voor een capaciteit van 120 m³/h en 640.000 m³/jaar. In Figuur 3.8 zijn de bronlocaties van dit systeem weergegeven. De bronnen van een nieuw systeem dienen op deze bronnen afgestemd te worden.

3 Verontreinigingen

Ten westen van de locatie is een grootschalige verontreiniging aanwezig. In Figuur 3.9 is de omvang van de grondwaterverontreiniging weergegeven. Het betreft een verontreiniging met VOCL, minerale olie en aromaten tot aan de eerste scheidende laag. Er heeft een sanering plaatsgevonden. Gezien de omvang van de verontreiniging wordt verwacht dat deze niet volledig is gesaneerd, maar dat er sprake is van een stabiele situatie. Nader onderzoek naar de omvang en diepte van de restverontreiniging geeft inzicht in de beperkingen voor een open bodemenergiesysteem.

4 Waterkering

De locatie ligt deels in een beschermingszone en buitenbeschermingszone van een waterkering. Voor werkzaamheden binnen de beschermingszone en kernzone is een watervergunning vereist. Voor werkzaamheden binnen de buitenbeschermingszone is geen watervergunning vereist. De waterkering vormt geen belemmering voor het in gebruik hebben van een open bodemenergiesysteem.



Figuur 3.8 | Locatie van de WKO bronnen voor Groot Baronie. Rood is de warme bron, blauw is de koude bron.



Figuur 3.9 | Grondwaterverontreiniging nabij Baronie Haven. Het betreft een verontreiniging met VOC's, minerale olie en aromaten tot aan de eerste scheidende laag. Er heeft een sanering plaatsgevonden.

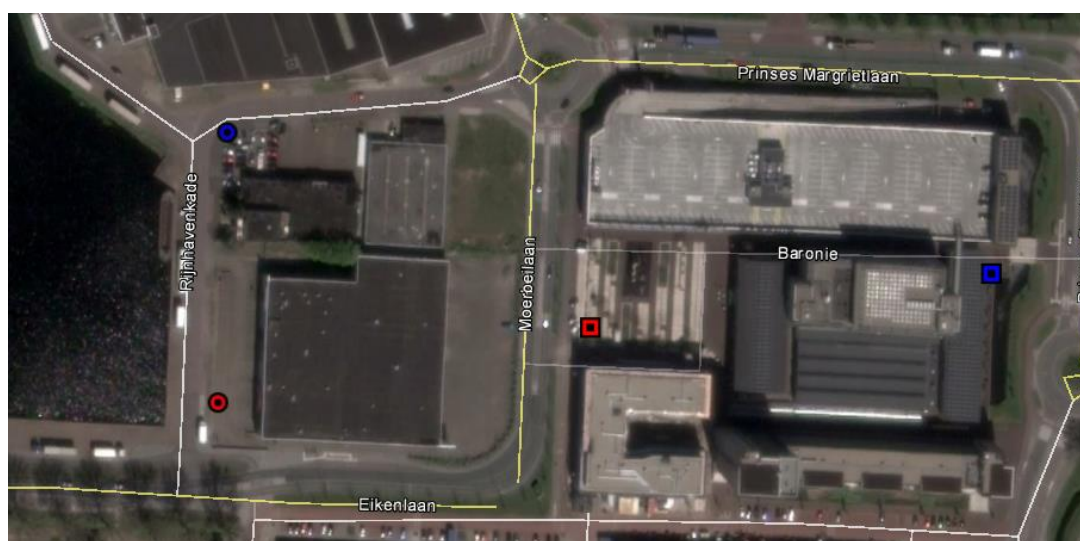
3.4.3 Concept

Het beoogde debiet is $\sim 20 \text{ m}^3/\text{h}$. Dit debiet kan met een doublet of een monobron gerealiseerd worden. De eigenschappen van het type WKO staan in Tabel 3.6.

Tabel 3.6 | Eigenschappen WKO voor Baronie Haven in Alphen a/d Rijn.

Eigenschappen WKO bron	
Doublet	
maximale boordiepte	100 m-mv
boordiameter	400 mm
bronaafstand	$\sim 100 \text{ m}$
Monobron	
maximale boordiepte	140 m-mv
boordiameter	400 mm
bronaafstand	n.v.t.

In Figuur 3.10 een indicatie van de bronlocaties (rondjes). Wanneer gekozen wordt voor een monobron zou deze op één van de onderstaande locaties of ertussen gerealiseerd kunnen worden. Op basis van hydrologische en thermische berekeningen dient nagegaan te worden welke invloed optreedt op het systeem van Groot Baronie.



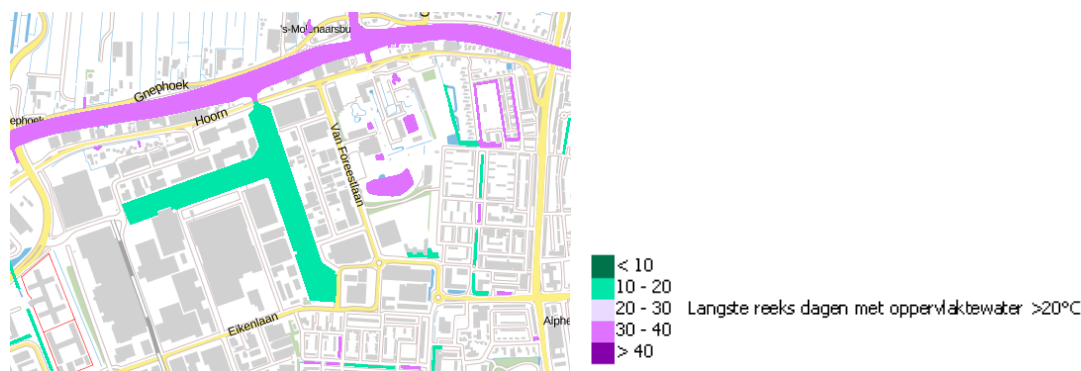
Figuur 3.10 | Indicatie bronlocaties (rondjes) Baronie Haven in Alphen a/d Rijn. Rood is warme bron, blauw is koude bron.

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 omringende 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). Ook gedijen ongewenste exotische planten en dieren, ziekteverwekkers- en verspreiders beter.

Door het verharde oppervlak en de gebouwen in stedelijk gebied 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. Momenteel zijn er in de Klimaateffectatlas effecten te zien voor de Rijnhaven en de Baronie Haven (zie Figuur 3.11, Figuur 3.12 en Figuur 3.13). De groene kleur (risico opwarming oppervlaktewater) in Figuur 3.11 geeft aan dat tussen de 10 - 20 aaneengesloten dagen de temperatuur boven de 20 °C uitkomt in 2050. De Oude Rijn heeft zelfs een aaneengesloten periode van 30 - 40 dagen een temperatuur van boven de 20 °C. In Figuur 3.12 geven de verschillende kleuren een indicatie van de hittestress (aantal tropische nachten per jaar > 20 °C), waarbij de minimumtemperatuur in de nacht in het geval van de Baronie Haven tot -21 dagen per jaar boven de 20 °C is. In Figuur 3.13 is het risico opwarming oppervlaktewater en hittestress door warme nachten gecombineerd. Hittestress kan bij kwetsbare groepen leiden tot meer arbeidsuitval, een toename van ziektes en vervroegde sterfte (bron: Klimaateffectatlas).

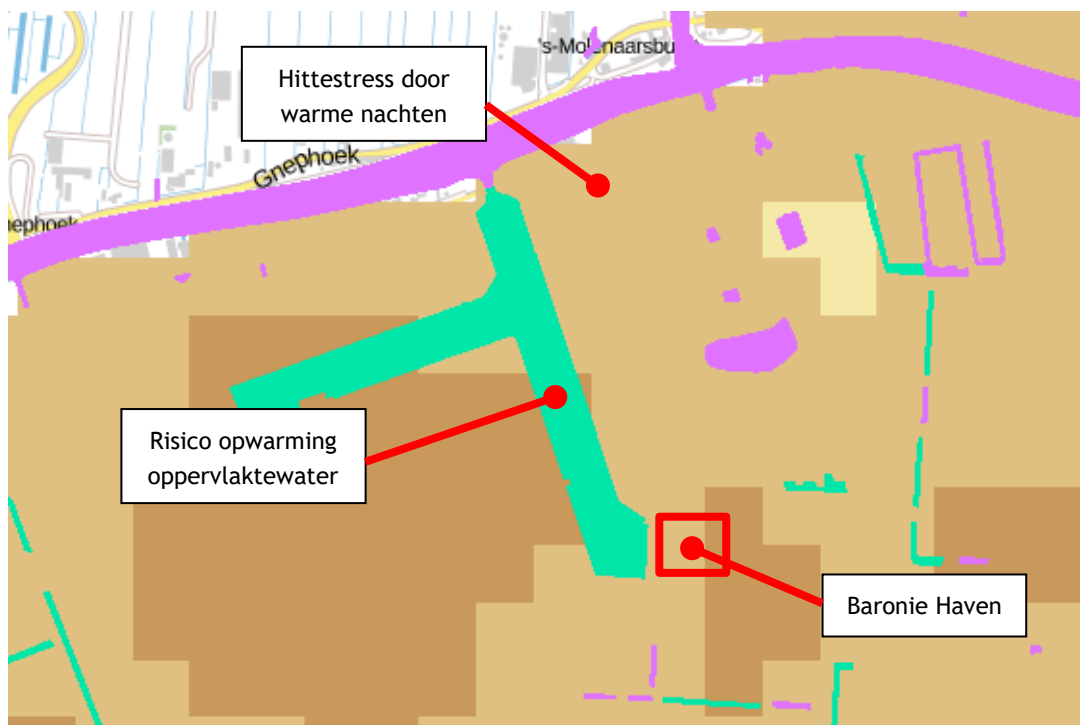


Figuur 3.11 | Hitteskaart van Alphen a/d Rijn met risico opwarming oppervlaktewater in de zomer. De kaart toont een inschatting van de langste aaneengesloten periode van dagen per jaar waarin de watertemperatuur hoger is dan 20 °C in 2050. De klimaatverandering is gebaseerd op het WH-scenario voor 2050. Bron: Klimaateffectatlas. Verkregen op 22 januari, 2018 van <http://www.klimaateffectatlas.nl>.

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 ten opzichte van traditionele koelers (compressiekoelmachine), waarmee extra hittestress wordt voorkomen.



Figuur 3.12 | Hittekaart van Alphen a/d Rijn met hittestress door warme nachten. Tijdens een warme nacht daalt de temperatuur niet onder de 20 °C. De kaart toont een inschatting van het aantal dagen per jaar waarin de nachttemperatuur hoger is dan 20 °C in 2050. De klimaatverandering is gebaseerd op het WH-scenario voor 2050. Bron: Klimateffectatlas. Verkregen op 22 januari, 2018 van <http://www.klimateffectatlas.nl>.



Figuur 3.13 | Hittekaart van Alphen a/d Rijn met risico opwarming oppervlaktewater en hittestress door warme nachten. De klimaatverandering is gebaseerd op het WH-scenario voor 2050. Bron: Klimateffectatlas. Verkregen op 22 januari, 2018 van <http://www.klimateffectatlas.nl>.

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 en koude lozingen aan de Rijnhaven dienen te worden aangevraagd bij de provincie Zuid-Holland en het Hoogheemraadschap van Rijnland. Hierbij worden geen (significante) knelpunten voorzien.

Daarnaast is er een watervergunning nodig voor het plaatsen van een TEO systeem in de beschermingszone waterkering bij het Hoogheemraadschap van Rijnland.

4 Business case

Aan de hand van de geïnventariseerde data, die zijn beschreven in hoofdstuk 3, is de business case (BC) doorgerekend. 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 bepaalt het concept voor een groot deel de financiële, technische en juridische haalbaarheid. Belangrijke aspecten binnen een concept zijn:

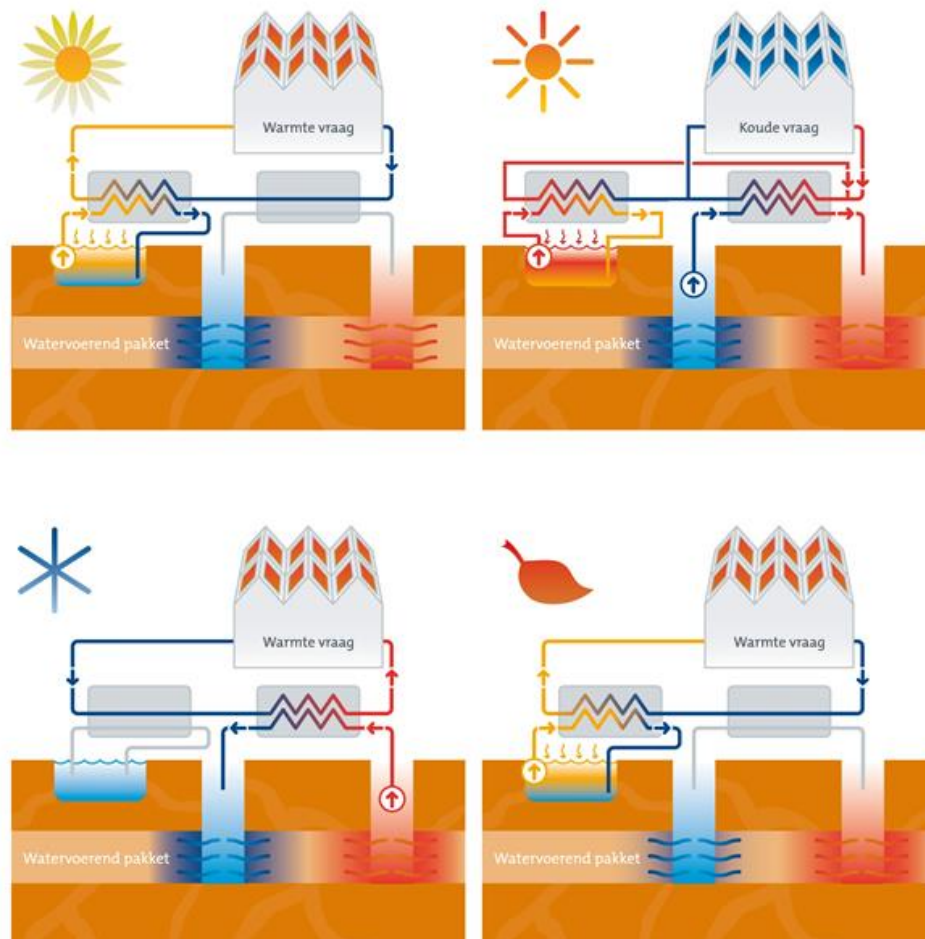
- energievraag (warmte en koude);
- afgiftesysteem;
- distributienet;
- tapwaterbereiding;
- geschiktheid bodem voor WKO;
- aanwezigheid van oppervlaktewater en/of kunstwerken;
- ruimtegebruik inpandig.

Systeemkeuze energievraag

De Baronie Haven in Alphen a/d Rijn kenmerkt zich door een warmtevraag en koudevraag in de verhouding 3:1. Hierbij is het toepassen van warmte uit oppervlaktewater in combinatie met WKO een voor de hand liggende oplossing (zie Bijlage 1, Figuur 7.1). 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 Rijnhaven 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 4.1 is het globale principe van de energiestromen in de verschillende seizoenen weergegeven.

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 de gebouwen. De koeling kan rechtstreeks worden geleverd door middel van vloerkoeling of via een luchtbehandelingskast (LBK).

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.



Figuur 4.1 | Inzet TEO voor de energievoorziening in de vier seizoenen. Met de klok mee: lente, zomer, herfst, winter.

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 1 wordt een overzicht gegeven van de overwegingen die spelen bij het maken van deze keuze. Het gaat hierbij om overwegingen op het gebied van:

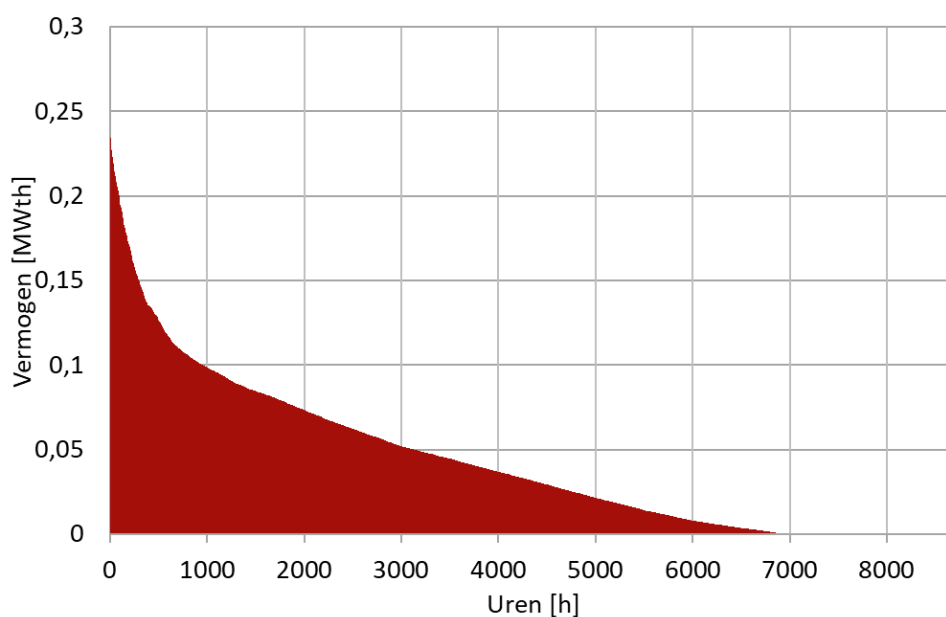
- duurzaamheid;
- financiën;
- leveringszekerheid;
- inpassing.

Bij de Baronie Haven is het de wens om een aardgasloze klimatisering te realiseren. Om die reden wordt als systeemconcept gekozen voor een monovalent opwekkingsstelsel. 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.

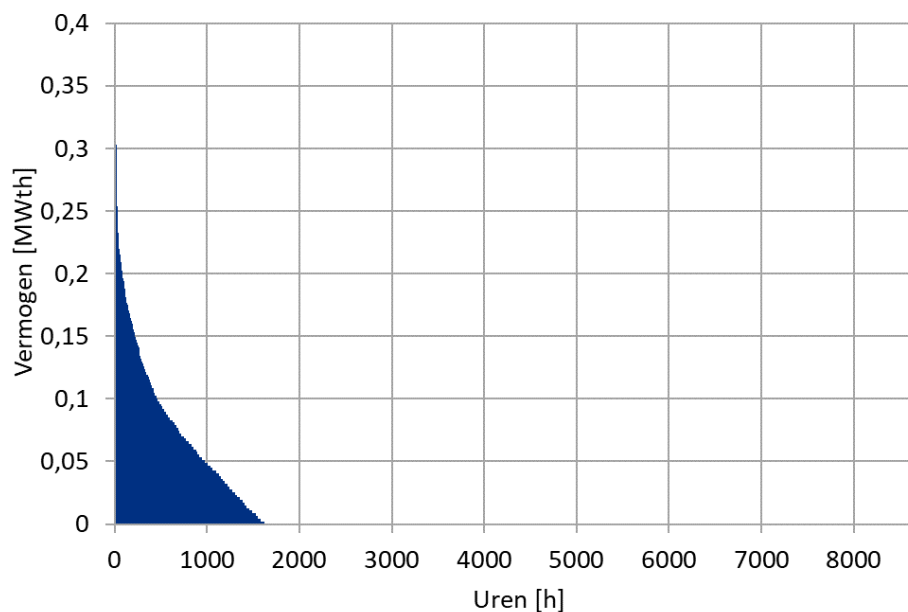
Uitwerking en resultaten energieconcept

In paragraaf 3.2 is een inventarisatie gemaakt van de energievraag voor warmte en koude van de Baronie Haven. Om een nauwkeurige analyse te kunnen maken van het totale energieconcept zijn de uitgangspunten voor warmte geschaald naar een bestaande warmtevraag voor een soortgelijke mix van gebouwen 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 4.2 en Figuur 4.3, respectievelijk.



Figuur 4.2 | Jaarbelastingduurcurve verwachte warmtevraag voor de Baronie Haven.

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.



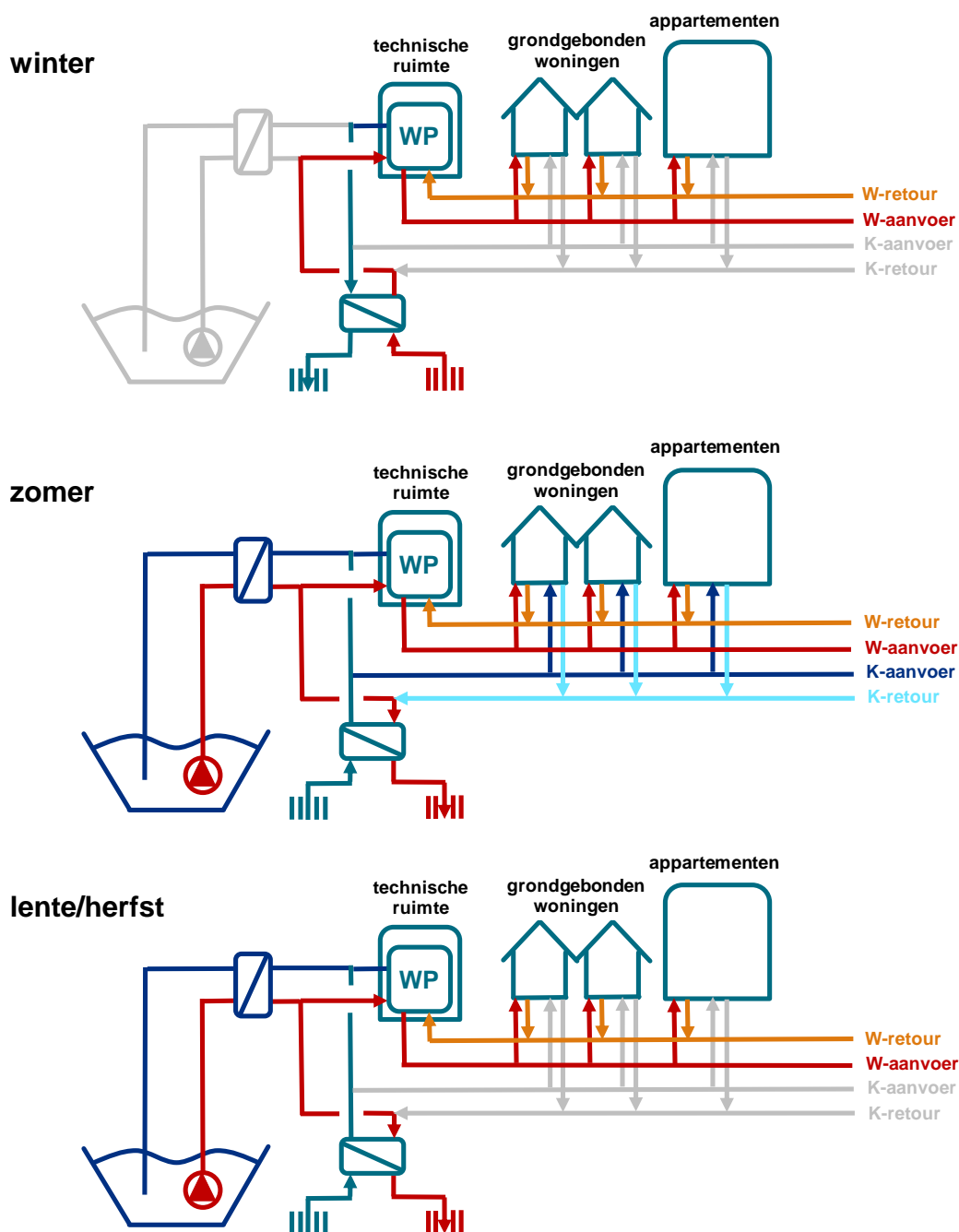
Figuur 4.3 | Jaarbelastingduurcurve verwachte koudevraag voor de Baronie Haven.

Een aantal belangrijke input en output gegevens van het energieconcept zijn te zien in Tabel 4.1.

Tabel 4.1 | Input en output parameters van het energetische concept voor de Baronie Haven.

Input parameters	Eenheid	Waarde
Minimale uitkoeling oppervlaktewater	°C	3,0
Maximale uitkoeling oppervlaktewater	°C	6,0
Minimale lozingstemperatuur	°C	14,0
Minimale onttrekkingstemperatuur	°C	17,0
Infiltratietemperatuur koude	°C	7,0
Aanvoer temperatuur gebouwzijdig	°C	40,0
Output parameters	Eenheid	Waarde
Maximale COP	-	6,8
Seasonal Performance Factor (SPF)	-	5,5
Maximaal debiet oppervlaktewater	m ³ /h	10
Maximaal debiet WKO	m ³ /h	20
Gemiddelde infiltratietemperatuur warmte	°C	18,7

De maximaal benodigde debieten zijn belangrijk om het systeem te dimensioneren en om zo de investeringskosten te kunnen ramen. In Figuur 4.4 is het TEO systeem in een schematisch 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.



Figuur 4.4 | 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.

Elke woning zal een kleine booster warmtepomp voor warm tapwater bereiding in de woning hebben. Er wordt aangenomen in de huidige studie dat warm tapwater op 65 °C geleverd wordt, de temperatuur is afhankelijk van legionella preventie en de geschiktheid van het water voor huishoudelijke apparaten.

4.2 SCHETSONTWERP

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

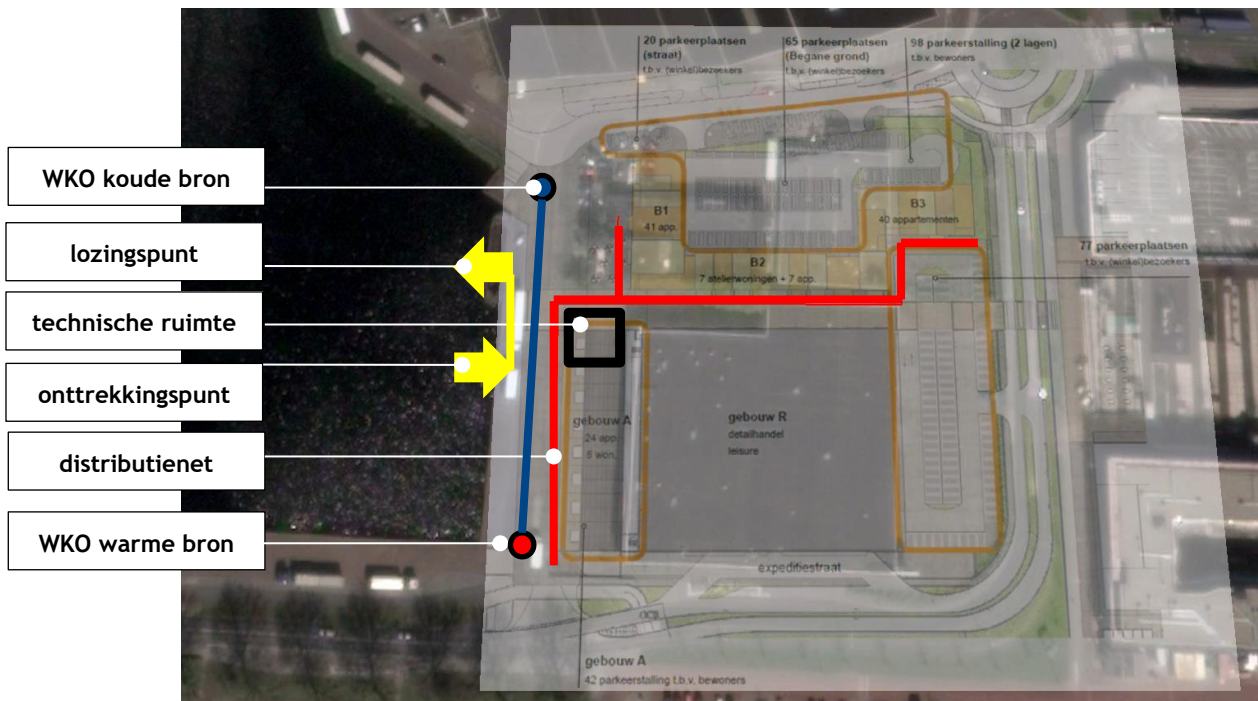
- in- en uitlaat oppervlaktewatersysteem (10 m³/h);
- WKO doublet (20 m³/h);
- technische ruimte (warmtepomp(en) en warmtewisselaars);
- 4-pijps distributieleidingen warmte en koude naar gebouwen;
- distributieleidingen WKO systeem;
- distributieleidingen TEO systeem;
- aansluitleidingen ten behoeve van de aan te sluiten panden.

Locatie en invoeging

Ter verduidelijking is het schetsontwerp, die hieronder is beschreven, in Figuur 4.5 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 Rijnhaven en de wensen met betrekking tot uitkoeling van de waterloop. In paragraaf 3.3 is aangenomen dat de Rijnhaven stilstaand water. Met het verwachte onttrekkingsdebiet, de afmetingen van het water, de stroming en het temperatuurverschil tussen onttrekkings- en lozingspunt is een minimale afstand van 25 m berekend tussen onttrekkings- en lozingspunt. Het onttrekkingspunt is aan de zuidkant en het lozingspunt aan de noordkant geplaatst. In Figuur 7.3 en Figuur 7.4 van Bijlage 1 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 leidingnet van het onttrekkingspunt naar de technische ruimte en van de technische ruimte naar het lozingspunt wordt gezien als onderdeel van het oppervlaktewatersysteem. 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:** de WKO doublet dient afgestemd te worden op de warmte- en koudevraag in het gebied. Daarnaast is de afstand tussen de WKO en de technische ruimte geminimaliseerd om de kosten van het leidingwerk te kunnen reduceren en dient er voldoende afstand aanwezig te zijn tussen de koude en de warme bron. Wanneer de verkaveling van het gebied definitief is vastgesteld, kunnen ook de zoekgebieden aangepast en/of vastgesteld en verankerd worden.
- **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 centraal in het gebied geplaatst. De locatie heeft effect op de business case, omdat het leidingwerk van en naar de technische ruimte een significante investeringspost is. De technische ruimte bevat in dit geval onder andere 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.



Figuur 4.5 | Schetsontwerp WKO + TEO systeem voor de Baronie Haven in Alphen a/d Rijn met het 4 pijps-distributienet (rode leidingen), WKO leiding (blauwe leiding), WKO warme (rood) en koude (blauw) bronnen, TEO systeem (geel), technische ruimte (zwart). De leidingen naar de technische ruimte zijn niet getekend, evenals de aansluitleidingen naar de gebouwen. Het structuurontwerp van de Baronie Haven is gebruikt als beeldoverlay in Google Earth.

- **Distributieleidingen warmte en koude naar gebouwen:** (zie Figuur 4.5. rode leidingen) omdat er in het gebied meerdere afnemers van warmte en koude zijn én het systeemconcept van centrale opwekking uitgaat, is er een centraal distributienet nodig. Elke rode 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:** (zie Figuur 4.5. blauwe leiding) het distributienet van het WKO systeem loopt tussen de warme- en koudebronnen de TR op de kortst mogelijke manier. De leidingen vallen in Figuur 4.5 deels samen met het distributienet voor de gebouwen. De capaciteit van deze leidingen moet minimaal overeenkomen met de capaciteit van het WKO doublet, namelijk $20 \text{ m}^3/\text{h}$.
- **Distributieleidingen TEO systeem:** (zie Figuur 4.5. gele leiding) het distributienet van het TEO systeem loopt tussen het onttrekkingspunt en het lozingspunt en de TR op de kortst mogelijke manier. De capaciteit van deze leidingen moet overeenkomen met de capaciteit van het TEO systeem, namelijk $10 \text{ m}^3/\text{h}$.
- **Aansluitleidingen ten behoeve van de aan te sluiten gebouwen:** deze lopen van het gebouw naar het distributienet.

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 een referentiesysteem. Het referentiesysteem bestaat uit:

- Individuele gasketel voor de warmte voorziening;
- Individuele koelmachine voor de koude voorziening;
- decentrale oplossing, elke woning heeft een eigen aansluiting.

Het verschil met het WKO + TEO systeem is dat er geen distributienet tussen WKO, TEO, TR en gebouwen nodig is. Daarentegen zijn er wel voorzieningen in de openbare ruimte en gebouwen nodig voor de distributie van gas. Het is belangrijk om te vermelden dat gebouwzijdige aanpassingen in verband met deze concepten niet zijn meegerekend in de financiële analyse. Er wordt aangenomen dat de warmte en koude binnen de gebouwen op eenzelfde manier wordt verzorgd. 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.

Uitgangspunten financiële analyse

Voor de financiële berekeningen is rekening gehouden met de uitgangspunten gegeven in Tabel 4.2. In navolgende tabellen zijn de te verwachten kosten inzichtelijk gemaakt. Alle genoemde bedragen zijn exclusief BTW en gebaseerd op prijspeil 2017.

Tabel 4.2 | Uitgangspunten financiële analyse.

Parameter	Eenheid	Waarde
CAPEX		
Indexering investeringskosten	%	1,8
Project looptijd	jaar	30
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	-	Liander

Investeringskosten

In Tabel 4.3 zijn de eenmalige investeringskosten voor het WKO + TEO systeem in beeld gebracht. De investeringskosten van het referentiesysteem zijn gegeven in Tabel 4.4.

Tabel 4.3 | Investeringskosten realisatie WKO + TEO.

Investeringskosten WKO + TEO	Eenheid	Kosten
Bodemenergie voorzieningen	€	136.000
Oppervlaktewater voorzieningen	€	95.000
Distributie voorzieningen	€	336.000
Warmtepomp	€	379.000
Afgifteset	€	204.000
Ontwerp, advies en vergunningen (10%)	€	115.000
Onvoorzien (20%)	€	230.000
Totaal	€	1.493.000

Tabel 4.4 | Investeringskosten realisatie referentiesysteem: decentrale gasketel en compressiekoelmachine.

Investeringskosten referentiesysteem	Eenheid	Kosten
Gasketel	€	381.000
Compressiekoelmachine	€	254.000
Ontwerp, advies en vergunningen (10%)	€	64.000
Onvoorzien (20%)	€	127.000
Distributie voorzieningen gas	€	150.000
Totaal	€	976.000

Eenmalige inkomsten

In Tabel 4.5 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 € 2.000 excl. BTW per gebouw.

De investeringssubsidie duurzame energie (ISDE) is in dit geval van toepassing op de individuele booster warmtepompen voor warm tapwater bereiding. De ISDE is van toepassing op warmtepompen tot 70 kW. Voor de huidige situatie kan een ISDE subsidie van gemiddeld -€ 1100 per warmtepomp verwacht worden.

Tabel 4.5 | Eenmalige inkomsten realisatie WKO + TEO.

Inkomsten WKO + TEO	Eenheid	Waarde
Energie-investeringsaftrek (EIA) 13,5%	€	39.000
Bijdrage aansluitkosten (BAK)	€	191.000
Investeringssubsidie duurzame energie (ISDE)	€	140.000
Totaal	€	370.000

Het referentiesysteem, met een gasketel en compressiekoelmachine, komt niet in aanmerking voor BAK, omdat de gebouwen niet op een warmtenet worden aangesloten. De EIA geldt ook niet, omdat er geen energiezuinige investering plaatsvindt. Ook de ISDE is niet van toepassing.

Tarieven

Het tarief voor elektriciteit en gas bestaat uit vaste kosten en variabele kosten. De vaste kosten voor elektriciteit en gas zijn gebaseerd op de tarieven van netbeheerder Liander. De vaste kosten bestaan uit een aansluitdienst, transportdienst en meetdienst. De variabele kosten voor elektriciteit en gas zijn gebaseerd op een landelijk gemiddelde voor huishoudelijk verbruik. De variabele kosten bestaan uit de energieprijis, energiebelasting en opslag duurzame energie. De elektriciteitskosten voor de collectieve faciliteiten zijn gebaseerd op de zakelijke tarieven van Liander.

Jaarlijkse exploitatiekosten

In Tabel 4.6 en Tabel 4.7 zijn de jaarlijkse exploitatiekosten weergegeven voor het WKO + TEO systeem en het referentiesysteem, respectievelijk.

Tabel 4.6 | Jaarlijkse exploitatiekosten WKO + TEO concept 1 centraal.

Exploitatiekosten WKO + TEO concept 1 centraal	Eenheid	Kosten
Inkoop		
Elektriciteit (vast en variabel)	€/jaar	20.000
Onderhoud en beheer		
Opwekking (WKO en TEO)	€/jaar	5.000
Distributienet	€/jaar	3.000
Warmtepompen	€/jaar	15.000
Afgifteset	€/jaar	4.000
Totaal	€/jaar	47.000

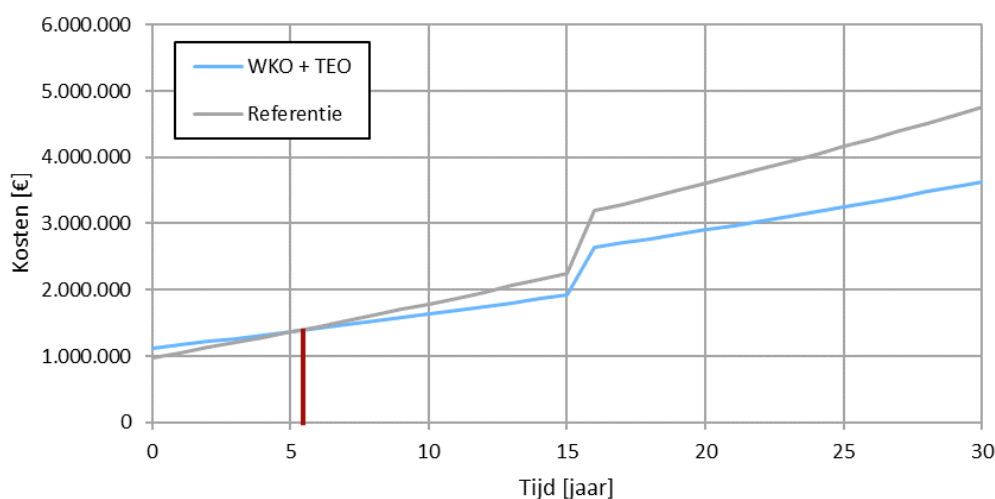
Tabel 4.7 | Jaarlijkse exploitatiekosten referentiesysteem: decentrale gasketel en compressiekoelmachine.

Exploitatiekosten referentiesysteem	Eenheid	Kosten
Inkoop		
Elektriciteit (vast en variabel)	€/jaar	7.000
Gas (vast en variabel)	€/jaar	40.000
Onderhoud en beheer		
Gasketel	€/jaar	15.000
Compressiekoelmachine	€/jaar	10.000
Gas aansluiting	€/jaar	2.000
Totaal	€/jaar	74.000

Terugverdientijd

In Figuur 4.6 zijn de kosten en baten van het WKO + TEO systeem (blauw) uitgezet tegen het referentiesysteem (grijs) met individuele gasketels en koelmachines 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 4.2.

De terugverdientijden van het WKO + TEO systeem is ongeveer 6 jaar ten opzichte van het referentiesysteem.



Figuur 4.6 | Kosten-batenanalyse van het WKO + TEO systeem (blauw) en het referentiesysteem (grijs).

Conclusie

Op basis van de uitgangspunten in dit rapport en de berekende resultaten kan geconcludeerd worden dat met het WKO + TEO systeem een positief financieel resultaat behaald kan worden ten opzichte van het referentiesysteem met decentrale warmte- en koude opwekking na 6 jaar. Bij het referentiesysteem wordt warmte geleverd door middel van een individuele gasketel en koude door middel van een individuele 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.

4.5

DUURZAAMHEID

Rendement en emissie

In Tabel 4.8 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 1.215 GJ_{th}. Deze is opgebouwd uit een component warmte emissie van de compressiekoelmachine in het warme seizoen en een component warmte onttrekking oppervlaktewater in het warme seizoen. De CO₂ emissie van WKO + TEO ligt tussen de 0 - 62 ton/jaar. De CO₂ emissie van het referentiesysteem is -98 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 voor WKO + TEO gaat uit van grijze elektriciteitsopwekking (RVO, 2016). Tot slot zijn de NO_x en de SO₂ emissies gegeven (CE Delft, 2015).

Tabel 4.8 | Prestatiefactoren WKO + TEO systeem en referentiesysteem (all-electric)

Prestatiefactor	WKO + TEO (groen)	WKO + TEO (grijs)	referentie
Equivalent opwekkingsrendement (EOR)	1,74	1,74	0,91
Warmte emissie (hittestress) [GJ _{th}]	0	0	1.215*
CO ₂ emissie [tonco ₂ /jaar]	0	62	102
NO _x emissie [kg/jaar]	0	22	102
SO ₂ emissie [kg/jaar]	0	62	18

*Deze is opgebouwd uit een component warmte emissie van de compressiekoelmachine in het warme seizoen en een component warmte onttrekking oppervlaktewater in het warme seizoen.

Energieverbruik

In Tabel 4.9 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 1.040 GJ, terwijl het referentiesysteem een primair energieverbruik van 1.980 GJ heeft. Deze verhouding van primair energieverbruik is ook terug te vinden in de verhouding van de EOR in Tabel 4.8.

Tabel 4.9 | Energieverbruik van WKO + TEO systeem en referentiesysteem.

Energieverbruik	WKO + TEO	Referentie
Elektriciteit		
Warmtepomp [GJ _e]	400	-
Bronpomp [GJ _e]	54	-
Oppervlaktewaterpomp [GJ _e]	11	-
Distributiepomp [GJ _e]	54	-
Compressiekoelmachine [GJ _e]	-	150
Gas		
Gasketel	-	1.680
Totaal systeem[GJ]	520	1.830

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.
- De stratificatie kan in diepe plassen door een lozing veranderen of verdwijnen. Bij een koude lozing zal het hypolimnion (onderste koude laag) groter worden en meer zuurstof gaan bevatten. Als het water wordt ingenomen in het epilimnion (bovenste warme laag) zal dit het proces versterken.
- Het proces van denitrificatie zal afnemen bij een lagere temperatuur.

Vanuit de waterkwaliteit zijn de meeste effecten positief te noemen. Wel kan de stikstofconcentratie verhoogd worden (afname denitrificatie). In diepe wateren moet bij grootschalige lozingen goed gekeken worden naar de effecten op de stratificatie.

Verder is het uitgangspunt dat de ecologie niet nadelig wordt beïnvloed. Er zijn positieve en negatieve effecten te verwachten op de ecologie. De positieve effecten zullen in veel gevallen opwegen tegen de negatieve effecten. Toch zijn een aantal effecten die kritisch bekeken moeten worden.

In totaal kan er in het warme seizoen $\sim 26.000 \text{ m}^3/\text{jaar}$ aan oppervlaktewater gekoeld worden met $\sim 6 \text{ }^\circ\text{C}$. Dat komt neer op een hoeveelheid oppervlaktewater gelijk aan het oppervlak in de rechthoek in Figuur 4.7, ervan uitgaande dat de diepte gemiddeld ~ 6 meter is.



Figuur 4.7 | In de rode rechthoek is de hoeveelheid (m³) aan oppervlaktewater weergegeven die met -6 °C wordt gekoeld per jaar, ervan uitgaande dat de diepte daar gemiddeld 6 meter is.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 TECHNISCHE EN ENERGETISCHE HAALBAARHEID

Uitgangspunten en opwekkingspotentieel

Voor de Baronie Haven in Alphen a/d Rijn 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 5.1.

Tabel 5.1 | Kern uitgangspunten, technische haalbaarheid en thermisch potentieel voor de Baronie Haven in Alphen a/d Rijn.

Parameter	Waarde
Kern uitgangspunten	
Gebouwen	Mix van grondgebonden woningen en appartementen
Warmtevraag	380 MWh _{th} (1.360 GJ _{th}) per jaar
Koudevraag	125 MWh _{th} (450 GJ _{th}) per jaar
Doelstellingen	Duurzaam en all-electric
Technische haalbaarheid	
Capaciteit bodem: benodigd	300 MWh _{th} , 24.000 m ³ /jaar, 20 m ³ /h
Type bron	doublet of monobron
Capaciteit oppervlaktewater: benodigd	182 MWh _{th} , 10 m ³ /h

Er kan worden geconcludeerd dat op de onderzochte locatie (Baronie Haven en het oppervlaktewater in de Rijnhaven) 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 uitgewerkt. Warmtelevering voor ruimteverwarming gaat via een centrale warmtepomp. Warm tapwater wordt geleverd via de centrale warmtepomp en een individuele booster warmtepomp. Koudelevering gebeurt passief met koude uit de WKO bron. Regeneratie van warmte vindt plaats vanuit de Rijnhaven. De overwegingen bij de concepten zijn toegelicht in paragraaf 4.1.

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

- in- en uitlaat oppervlaktewatersysteem (10 m³/h);
- WKO doublet (20 m³/h);
- technische ruimte (warmtepomp(en) en warmtewisselaars);
- 4-pijps distributieleidingen warmte en koude naar gebouwen;
- distributieleidingen WKO systeem;

- distributieleidingen TEO systeem;
- aansluitleidingen ten behoeve van de aan te sluiten panden.

In paragraaf 4.2 staan de onderdelen en inpassingsmogelijkheden benoemd. In Figuur 4.5 is de inpassing van de onderdelen grafisch weergegeven. Aandachtspunt is onder meer de inpassing van de technische ruimte en locatie WKO. 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. Bij de locatie van de WKO moet rekening gehouden worden met een verontreiniging ten westen van de locatie en een bestaande WKO ten oosten van de locatie.

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 in pandig). 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 Rijnhaven.

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 1,74 verwacht. De vergelijking is gemaakt met een referentiesysteem (gasketel en compressiekoelmachine) die voor een vergelijkbare warmte- en koudevraag een EOR van 0,91 heeft. Door duurzaam te koelen kan er 1.215 GJ_{th} warmte emissie aan de atmosfeer voorkomen worden.

Het uitgewerkte WKO + TEO concept 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 62 ton/jaar alsnog significant lager dan een referentiesysteem (gasketel en compressiekoelmachine) met 92 ton/jaar.

5.3 FINANCIËLE HAALBAARHEID

De investeringskosten, inkomsten en jaarlijkse exploitatiekosten van het WKO + TEO systeem is vergeleken met een referentiesysteem (gasketel en compressiekoelmachine). De terugverdientijden van het WKO + TEO systeem is ongeveer 6 jaar ten opzichte van het referentiesysteem. De terugverdientijd is afhankelijk van meerdere factoren. Belangrijke parameters die het resultaat kunnen beïnvloeden zijn de energiekosten voor elektriciteit en gas, en herinvesteringskosten.

5.4 SPOORBOEKJE

In Figuur 5.1 zijn de afgeronde stappen en mogelijk toekomstige stappen overzichtelijk weergegeven (STOWA, 2017). Na het definitief maken van de huidige business case bevindt het

proces zich aan het einde van fase 1: verkenning. Zoals ook geschetst in het plan van aanpak (paragraaf 2.2) zou de vervolgstap op deze business case het creëren van draagvlak bij de stakeholders zijn om het project verder te brengen. De plannen voor de ontwikkeling van de Baronie Haven zijn al in een gevorderd stadium, hierbij is het belangrijk om dit alternatief op korte termijn voor te leggen aan de ontwikkelaar en/of gemeente. Het betrekken van stakeholders in de verkenningfase kan er voor zorgen dat problemen snel kunnen worden doorgrond die een haalbare case in de weg staan. Ook is het belangrijk om gezamenlijk standpunten en belangen te verkennen en tot een gemeenschappelijk beeld te komen en een rolverdeling vast te stellen. In de verkenning is het ook raadzaam om een financiële vergelijking te maken met andere aardgasloze opties (all-electric). Daarnaast kan een gevoeligheidsanalyse/risicoanalyse meer inzicht geven in de gevoeligheid van bepaalde parameters, zoals bijv. de ontwikkeling van de gasprijs, elektriciteitsprijs en/of projectfasering.

De verwachting is dat de omgeving Rijnhaven (oostkant), waar de Baronie Haven ook toebehoort, de komende jaren zal worden ontwikkeld tot een woon- en werkgebied. De voorgestelde oplossing (WKO + TEO) biedt een mogelijkheid tot uitbreiding, waarbij het WKO en TEO systeem een grotere capaciteit krijgt en er gebruik wordt gemaakt van een lokaal warmtenet. De Baronie Haven zou hierbij als startpunt van deze warmtevoorziening kunnen worden gebruikt, waar in de toekomst nieuwbouwwoningen en utiliteitsgebouwen op aan kunnen sluiten. Het is belangrijk om daar in een beginstadium rekening mee te houden, zodat de inpassing energetisch, technisch, organisatorisch en financieel geoptimaliseerd kan worden. Het kan betekenen dat de uitgangspunten van het huidige concept in het huidige rapport niet per definitie toepasbaar zijn bij opschaling van het systeem.

Voor het vervolg van de huidige case (fase 2: verdieping) is het van belang dat de technische, financiële, juridische en organisatorische kaders in meer detail worden uitgewerkt en dat er afstemming plaatsvindt met de belanghebbenden. Hierbij is het raadzaam om van tevoren voorwaarden voor het vervolg vast te leggen in een intentieovereenkomst tussen de belanghebbenden (waterschap, gemeenten en eventueel anderen) en daarmee fase 1 af te ronden. Tijdens de verdiepingfase zal moeten worden bepaald op welke wijze het project in de markt zal worden gezet. De ervaring uit eerdere TEO-projecten leert dat een bijeenkomst voor de presentatie van de eindresultaten van dit onderzoek ook efficiënt kan worden gebruikt om een gezamenlijk vervolg te formuleren.

Opbouw handreiking thermische energie uit oppervlaktewater
 Proces, stappen en tools

	Fase 0. Omgevingscan	Fase 1. Verkenning	Fase 2. Verdieping	Fase 3. Uitwerking
<i>Technisch</i>	<ul style="list-style-type: none"> Karakteristieken bepalen ✓ Schatting potentie ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> Uitwerken grof technisch ontwerp ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> Uitwerken voorlopig technisch ontwerp 	<ul style="list-style-type: none"> Uitwerken definitief technisch ontwerp Aanbesteding voorbereiden
<i>Organisatorisch</i>	<ul style="list-style-type: none"> Identificeren stakeholders (potentiële partners en indirecte stakeholders) ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> Stakeholderanalyse ✓ Benaderen partijen Vaststellen rollen 	<ul style="list-style-type: none"> Rolinvulling uitwerken Warmte/koudeleveringsvoorwaarden uitwerken 	<ul style="list-style-type: none"> Onderlinge afspraken vastleggen in overeenkomsten
<i>Financieel</i>	<ul style="list-style-type: none"> 'achterkant van sigarendoosje' berekening financiële haalbaarheid ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> Scan financiële haalbaarheid ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> Uitwerking businesscase Investeringsbereidheid partners vastleggen Risico's uitwerken 	<ul style="list-style-type: none"> Definitieve businesscase per partner Uitwerken financieringsconstructie
<i>Juridisch</i>		<ul style="list-style-type: none"> Scan juridische voorwaarden (vergunningen, overeenkomsten, ...) ✓ Opstellen intentieovk 	<ul style="list-style-type: none"> Juridisch kader opstellen Opstellen samenwerkingsovk 	<ul style="list-style-type: none"> Overeenkomsten opstellen Vergunningen aanvragen
Resultaat fase	<ul style="list-style-type: none"> Lijst te benaderen potentiële partners Inzicht in type project en grove potentie 	<ul style="list-style-type: none"> Gezamenlijk inzicht in belangen / wensen Inschatting technische, juridische, financiële haalbaarheid Inzicht in meekoppelkansen 	<ul style="list-style-type: none"> Voorlopig ontwerp Rolinvulling Leveringsvoorwaarden Businesscase Juridisch kader 	<ul style="list-style-type: none"> Definitief ontwerp Overeenkomsten tussen deelnemende partijen Financieringsvoorstel Vergunningen
Vastgelegd in...		Intentieovereenkomst	Samenwerkingsovereenkomst	Investeringsbesluit

Figuur 5.1 | Opbouw handreiking thermische energie uit oppervlaktewater (bron: STOWA, 2017).

6 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.klimaatscenario's.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-%202021%20september%202016.pdf>.

7 Afkortingen

BC	business case
BVO	bruto-vloeroppervlakte
CAPEX	capital expenditures
EOR	equivalent opwekkingsrendement
ISDE	investeringssubsidie 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

Bijlage 1

Conceptbeschrijvingen

TEO/Smart polder

7.1 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>

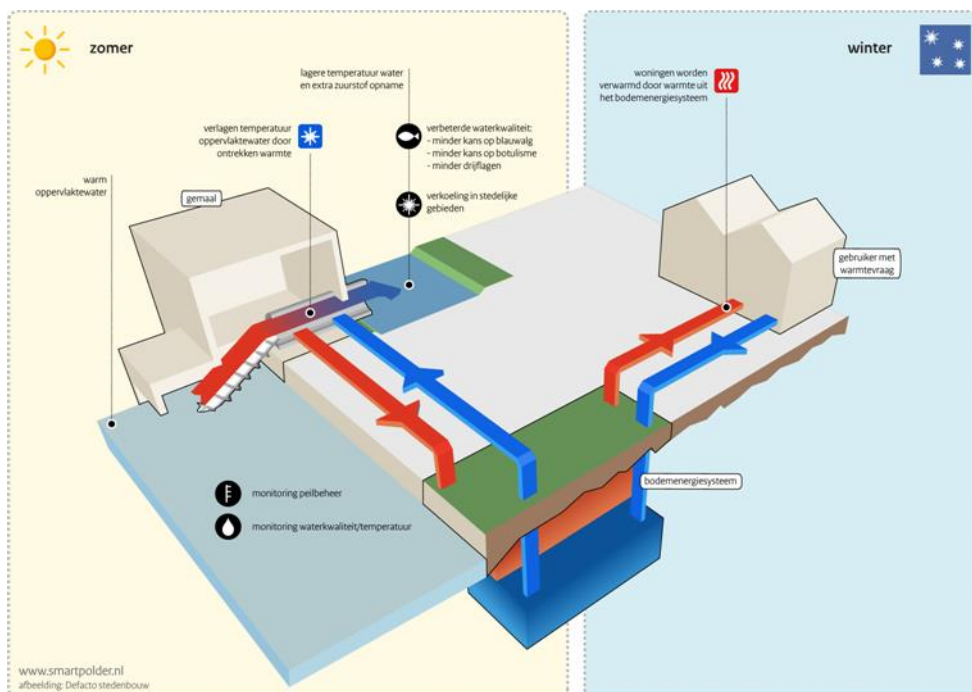
Daar waar energievraag en oppervlaktewater samenkomen is een economische rendabel project te maken. Op basis van de huidige energievraag is het economisch winbare potentieel 12% van de landelijke warmtevraag (42 PJ) en 54% van de landelijke koudevraag (3,8 PJ).

Het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden en Utrechtse gemeenten hebben deze landelijke verkenning uitgewerkt in een meer gedetailleerde regionale kanskaart (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.



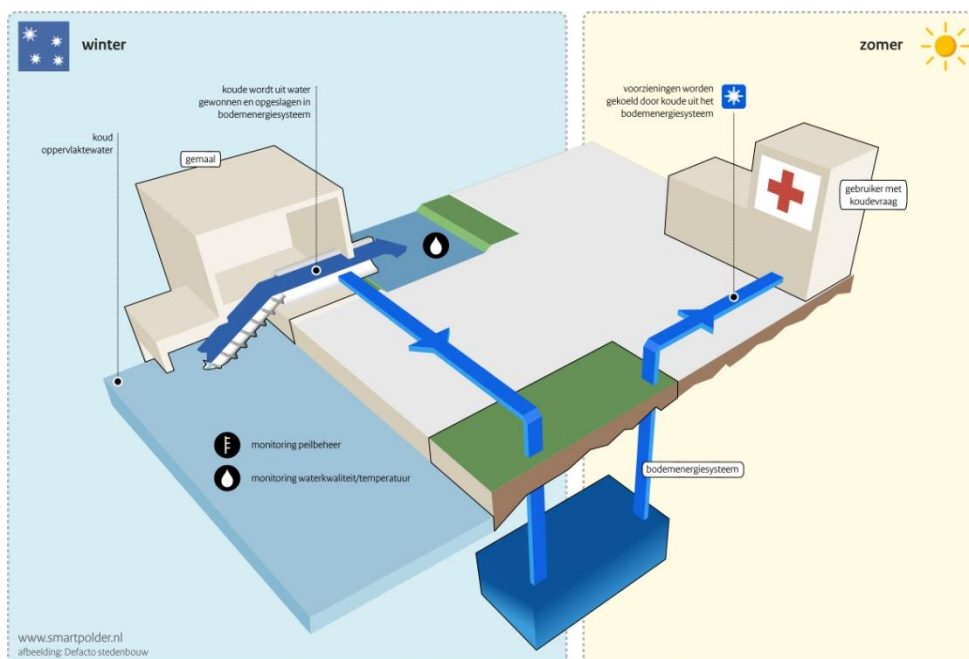
Figuur 7.1 | Gemaal als warmte centrale in combinatie met WKO.

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 7.2). 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 7.2 | Gemaal als koudecentrale in combinatie met WKO.

Inlaat en uitlaat bij onttrekkingspunt TEO systeem

In Figuur 7.3 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 7.4 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 7.3 | Inlaat van een TEO systeem. De inlaat is boven water geplaatst onder een steiger.

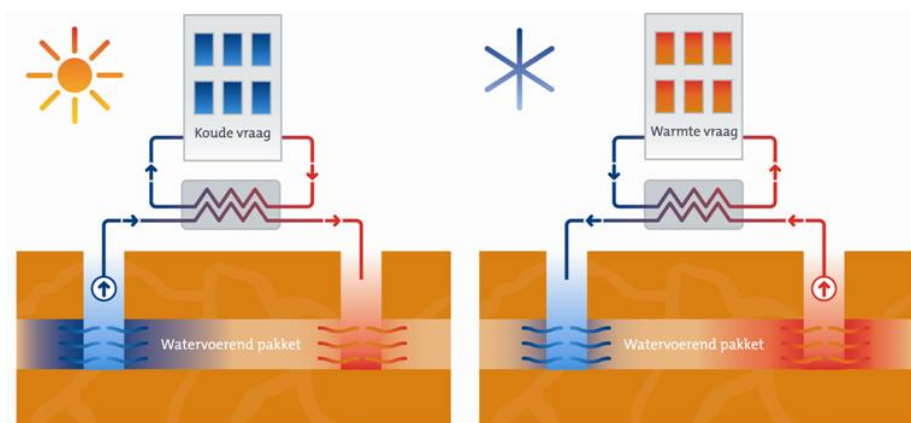


Figuur 7.4 | Inlaat van een TEO systeem. De inlaat is onder water geplaatst onder een steiger.

7.2 PRINCIPE WARMTE- EN KOUDE OPSLAG (WKO)

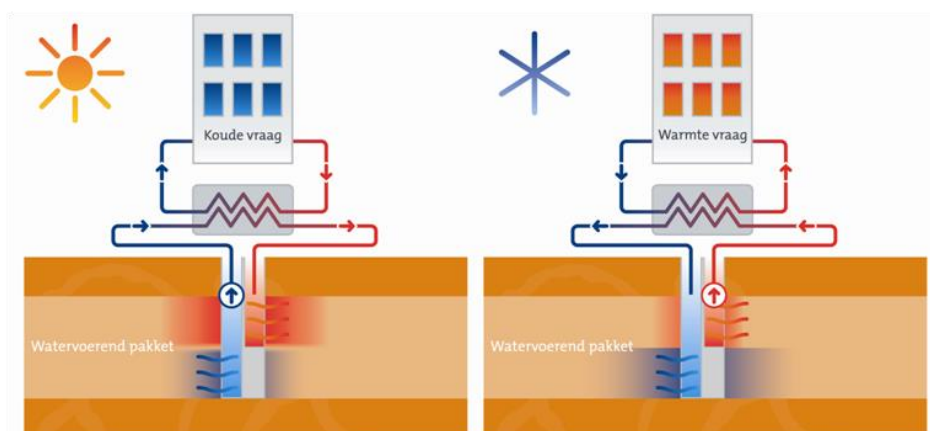
Het principe van een WKO met een open grondwatersysteem is dat in de winter het gebouw of proces wordt verwarmd met zomerwarmte en in de zomer wordt gekoeld met winterkoude. De warmte en koude worden door middel van open bronnen in een ondergrondse watervoerende laag opgeslagen en onttrokken.

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 7.5.



Figuur 7.5 | 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 7.6.



Figuur 7.6 | Principe van energieopslag met een monobron.

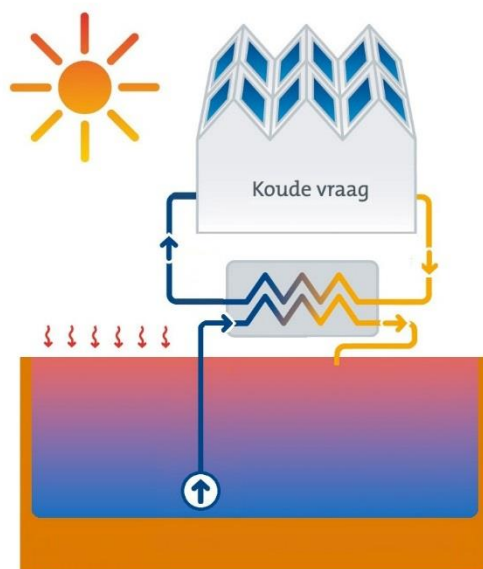
Een WKO dient in energiebalans te zijn, de hoeveelheid gewonnen koude dient doorgaans gelijk te zijn aan de gewonnen warmte. Indien er bij een afnemer een energieonbalans is (overwegende warmtevraag bij woningen en overwegende koudevraag bij datacenters en industrie) kan deze worden aangevuld met warmte of koude uit oppervlaktewater.

7.3 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 7.7 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 7.7 | 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-watergang 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 bepaalt 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.

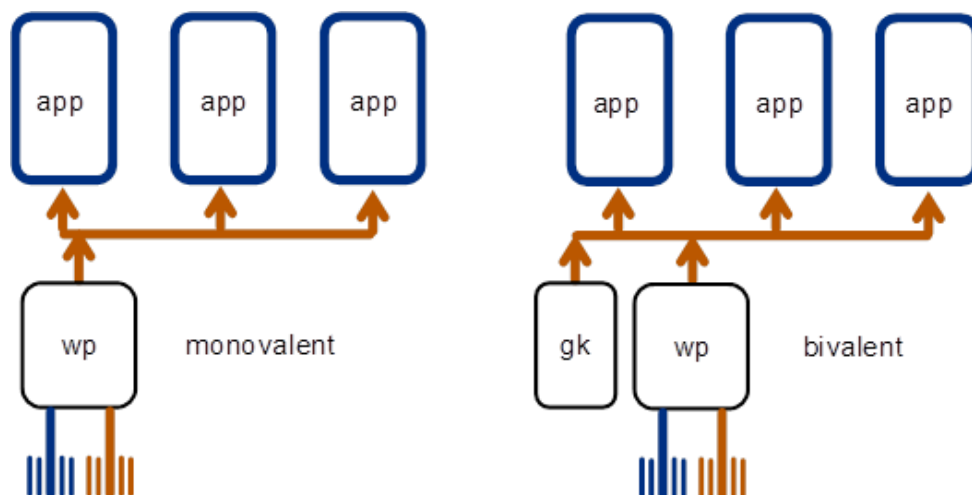
Gebouwinstallatie

Voor de gebouwsystemen kan gekozen worden voor monovalente of bivalente systemen. Beide systemen zijn schematisch weergegeven in Figuur 7.8. Een korte toelichting aan de hand van warmtelevering volgt hieronder:

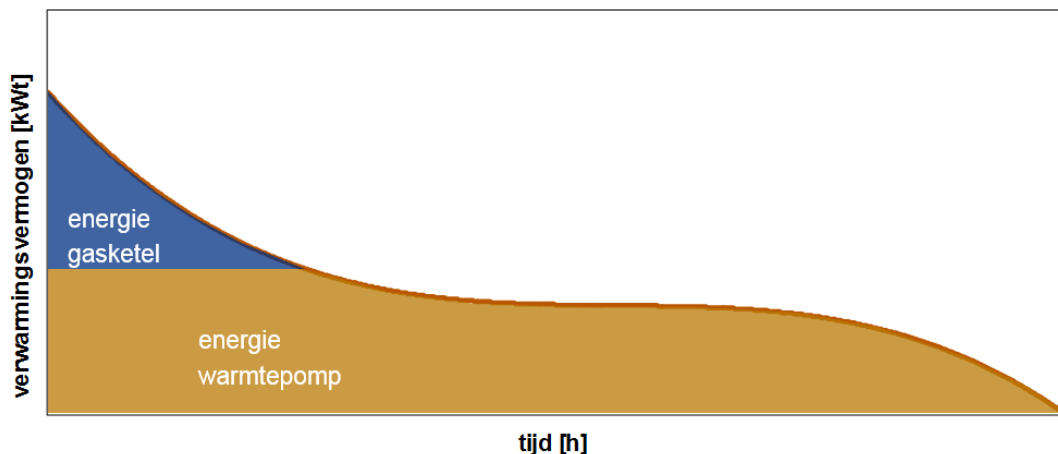
- Monovalent:** Appartementen (app) hebben een warmtevraag (ruimteverwarming en tapwaterbereiding). Bij een monovalent systeem wordt één omzetter gebruikt die alle warmte levert. In het voorbeeld (zie Figuur 7.8) is dit een warmtepomp (wp) in combinatie met energieopslagsysteem.
- Bivalent:** Bij een 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 7.9 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 7.8 | Monovalent vs. Bivalent systeem (schematisch)



Figuur 7.9 | Jaarbelastingduurcurve.

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.

IF Technology **Creating energy**



Velperweg 37
6824 BE Arnhem
Postbus 605
6800 AP Arnhem

T 026 35 35 555
E info@iftechnology.nl
I www.iftechnology.nl

NL60 RABO 0383 9420 47
KvK Arnhem 09065422
BTW nr. NL801045599B01

IF Technology **Creating energy**

Thermische Energie uit Oppervlaktewater

Business case “Harderweide” Harderwijk





Datum 28 februari 2018
Referentie 67149/LH/20180228
Betreft Thermische Energie uit Oppervlaktewater - Business case "Harderweide" Harderwijk
Behandeld door de heer F. Niewold
Gecontroleerd door de heer B. Scholten
mevrouw L. van Hilten
Versienummer Definitief 1

OPDRACHTGEVER

Unie van Waterschappen
de heer R. Romijn
Postbus 93218
2509 AE Den Haag
T 070 - 456 1571
rromijn@uvw.nl

INHOUDSOPGAVE

1 Samenvatting	5
2 Inleiding	8
2.1 Algemeen	8
2.1.1 Achtergrond	8
2.1.2 Uitrol strategie TEO	8
2.1.3 Casus: Harderweide	9
2.2 Plan van Aanpak	9
2.2.1 Selecteren van kansrijke locaties	9
2.2.2 Inventarisatie gebiedskenmerken en belanghebbenden	9
2.2.3 Verkenning business case	10
2.2.4 Verdiepingsfase	10
2.2.5 Projectrealisatie en exploitatie	10
2.3 Doelstellingen casussen	10
2.3.1 Algemene doelstellingen	10
2.3.2 Doelstellingen casus: Harderweide in Harderwijk	10
2.4 Leeswijzer	11
3 Inventarisatie	12
3.1 Stakeholderanalyse	12
3.2 Kenmerken Gebied en gebouwen	12
3.3 Kenmerken watersysteem	15
3.4 Kenmerken bodem	17
3.4.1 Bodemopbouw	17
3.4.2 Geohydrologie	17
3.4.3 Concept	19
3.5 Klimaatadaptie	20
3.6 Omgevingsbelangen	22
3.6.1 Juridische belangen	22
4 Business case	23
4.1 Energieconcepten	23
4.2 Schetsontwerp	27
4.3 Impact leefomgeving	29
4.4 Financiële analyse	29
4.5 Duurzaamheid	34
5 Conclusies en aanbevelingen	37
5.1 Technische en energetische haalbaarheid	37
5.2 Ruimtelijke inpassing	37
5.3 Financiële haalbaarheid	38
5.4 Aanbevelingen	39
5.5 Spoorboekje	41
6 Referenties	42
7 Afkortingen	43
Bijlage 1 Conceptbeschrijvingen TEO/Smart polder	44
1.1 PRINCIPE SMART POLDER - TEO	44
1.2 Principe Warmte- en Koude Opslag (WKO)	48
1.3 Koude uit diepe plassen	49

Bijlage 2 Energieconceptvorming gebouwinstallatie 51

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 een gedeelte van de wijk “Harderweide” in Harderwijk (zie Figuur 1.1). De Harderweide wordt gekenmerkt door een nieuw te ontwikkelen duurzame wijk met een aantrekkelijk vestigingsklimaat met verschillende type woningen. Voor deze ontwikkeling is een bouwscenario met een mix van 660 verschillende type woningen. Vervolgens is een inschatting gemaakt van het energieverbruik voor de warmtevraag van $\sim 3.700 \text{ MWh}_{\text{th}}$ ($\sim 13.200 \text{ GJ}_{\text{th}}$) per jaar. Er is geen rekening gehouden met een eventuele koudevraag.

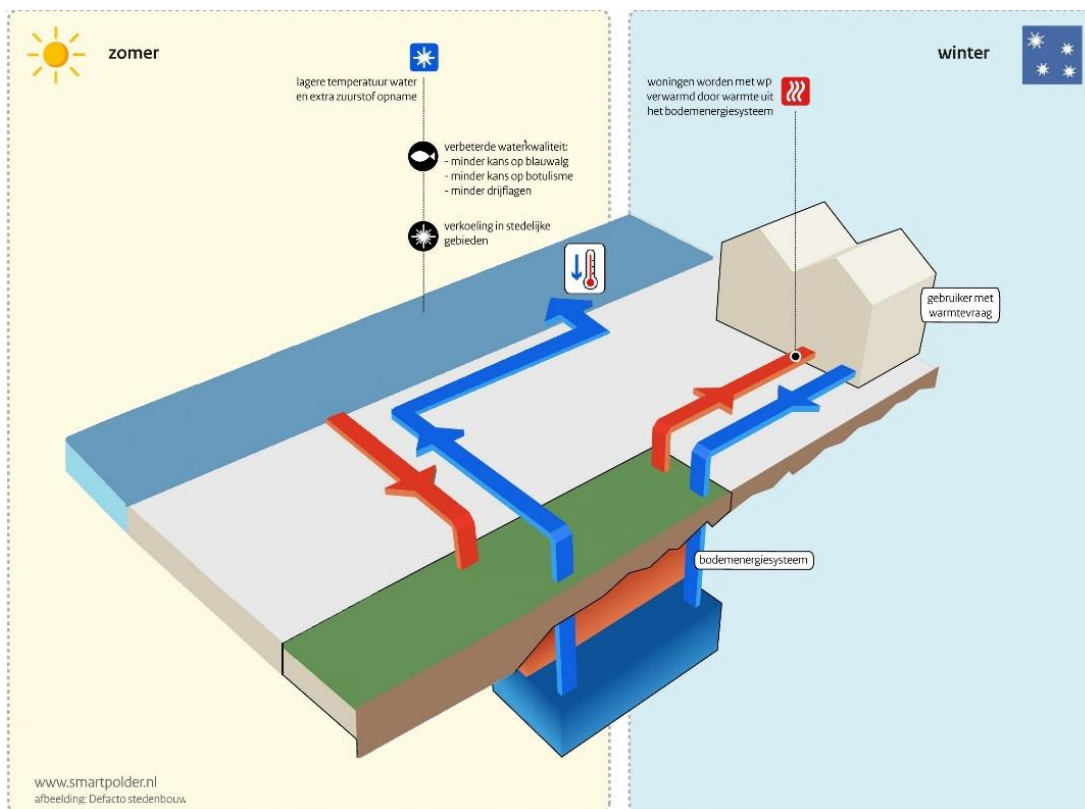
Het oppervlaktewater wordt verkregen uit een nieuw aan te leggen singel/vijver aan de noordkant van het gebied. Het oppervlaktewater nabij de locatie is ~ 1 meter diep en toereikend om de 660 woningen van warmte te kunnen voorzien.



Figuur 1.1 | Gedeelte wijk Harderweide in Harderwijk bestudeerd in de huidige business case. 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 in Harderweide het geval is, en wordt 100% elektrisch opgewekt (aardgasvrij). TEO kan worden aangevuld met een warmte en koudeopslagsysteem in de bodem (WKO) (zie Figuur 1.2).



Figuur 1.2 | Concept TEO: Smart polder, WKO met warmtewinning uit oppervlaktewater.

Als TEO in combinatie met een WKO systeem wordt toegepast, wordt gebruik gemaakt van het natuurlijke temperatuurverschil tussen het oppervlaktewater in de zomer (-18 - 25 °C) en de stabiele grondwatertemperatuur (-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 Harderweide is er geen 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. 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 een doublet (één warme en één koude bron) met een maximaal debiet van 180 m³/h toereikend om de 660 woningen van Harderweide van voldoende warmte te voorzien. Om de bronnen in de zomer voldoende te kunnen laden is een oppervlaktewatersysteem van maximaal 130 m³/h nodig. Er zijn verschillende systeemconcepten mogelijk. In de huidige business case is een concept met individuele warmtepompen voor ruimteverwarming en warm tapwater doorgerekend. Verder worden er juridisch gezien geen knelpunten voorzien voor de realisatie van TEO en WKO.

De belangrijkste aandachtspunten voor het bodemenergiesysteem zijn de stijghoogten in het 2^e watervoerende pakket, grondwaterstroming in het 2^e watervoerende pakket en de aanwezigheid van aardkundig waardevol gebied.

Duurzaamheid

Door de toepassing van TEO met een oppervlaktewaterdebiet van 130 m³/h kan TEO bijdrage aan de vermindering van hittestress in een stedelijk gebied in de zomer door water met een temperatuurverschil van 6 °C te lozen. In totaal wordt er 10.200 GJ_{th} aan energie onttrokken aan het oppervlaktewater in de zomer. De CO₂ emissiereductie kan in het meest optimale geval (volledig groen opgewekte stroom) 740 ton/jaar bedragen ten opzichte van een referentie systeem met aardgas waarbij elk gebouw zijn eigen gasketel heeft. In dat geval moet de elektriciteit ook duurzaam opgewekt zijn.

Financiële haalbaarheid

De financiële haalbaarheid van het WKO + TEO systeem met individuele warmtepompen voor de wijk Harderweide is getoetst door een vergelijking te maken met een referentiesysteem (individuele gasketels). De verwachte terugverdientijd van het WKO + TEO systeem is meer dan 30 jaar ten opzichte van het referentiesysteem ervan uitgaande dat de BAK € 1.500 is. Bij een BAK van € 5.000 is het systeem vergelijkbaar met het referentiesysteem qua kosten.

Hoewel het binnen de kaders van de huidige studie niet uitgebreid is onderzocht en gerapporteerd, lijkt een WKO + TEO systeem met een centrale warmtepomp financieel aantrekkelijker te zijn. Een eerste inschatting van de kosten levert een terugverdientijd van -11 jaar op ervan uitgaande dat de BAK € 1.500 is.

Vervolg

De plannen voor de ontwikkeling van Harderweide zijn al in een gevorderd stadium. Hierbij is het duurzaam ontwikkelen van het gebied een belangrijk aandachtspunt. De integratie van TEO in combinatie met een WKO systeem heeft een significante meerwaarde in het geval er een thermische onbalans heerst. 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.

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 ten opzichte van 1990. 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: Harderweide

De wijk Harderweide in Harderwijk is als één van de kansrijke locaties naar voren gekomen. Dit gebied wordt gekenmerkt door een nieuw te ontwikkelen duurzame woonwijk. Het gebied grenst in het noorden aan de Crescentvijver (oppervlaktewater). Tevens zal er een singel door de noordkant van de wijk lopen. Deze vijver en singel moeten nog gerealiseerd worden. De ambitie is om de woningen in Harderweide duurzaam van energie te voorzien. Voor de energievraag zullen de gebouwen worden getypeerd als een mix van verschillende type grondgebonden woningen. In dit rapport wordt de technische en financiële haalbaarheid van thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) voor Harderweide in Harderwijk 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 kanskaart 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 deze 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 juridische 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: Harderweide in Harderwijk

De doelstelling van deze specifieke casus is om de technische en financiële haalbaarheid inzichtelijk te maken voor de belanghebbenden. Dit zijn in directe zin de gemeente en de projectontwikkelaar(s). Anderzijds is dit de UvW die in dit specifieke geval de haalbaarheid van een WKO + TEO systeem in combinatie met een nieuw te ontwikkelen duurzame wijk 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

Toekomstige eigenaren en ontwikkelaar(s) gebouwen

Hoewel de eigenaren in deze fase onbekend zijn, is het belangrijk dat de manier en inpassing van warmtelevering overeenkomt met de wensen en eisen van de gebouweigenaren. De energievoorziening moet passen in het bestemmingsplan, waaraan de ontwikkelaar(s) moeten voldoen.

Waterschap Vallei en Veluwe

Waterschap Vallei en Veluwe is verantwoordelijk voor het kwalitatieve en kwantitatieve beheer van het regionale oppervlaktewater waar de singel en de Crescentvijver in Harderwijk onder gaan vallen. Voor het brengen van water in of het onttrekken van water uit een oppervlaktewaterlichaam is het waterschap bevoegd gezag voor vergunningverlening.

Provincie Gelderland

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

Gemeente Harderwijk

De gemeente Harderwijk is eigenaar 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.

3.2 KENMERKEN GEBIED EN GEBOUWEN

Gebied

Gemeente Harderwijk wil Harderweide ontwikkelen tot een duurzaam woongebied met een aantrekkelijk vestigingsklimaat. In Figuur 3.1 is de inrichtingsschets van Harderweide te zien. In de huidige studie zijn alleen de woningen in grijs (grijze blokjes) beschouwd. In het noorden wordt Harderweide begrensd door de Crescentvijver. Daarnaast loopt er een singel door het noorden van het gebied die uitkomt in de Crescentvijver.

Gebouwen

De mix van gebouwen die bestudeerd zijn in deze casus kunnen allen worden getypeerd als nieuwbouw. De gebouwen zijn een mix van huur- en koopwoningen. Een verdeling van de type woningen is weergegeven in Tabel 3.1 (Gemeente Harderwijk, persoonlijke communicatie, 14 november 2017). Op basis van deze informatie is een aanname gemaakt van relevante eigenschappen in

Tabel 3.2. In de huidige business case is de fasering buiten beschouwing gelaten om een eerste inzicht in de haalbaarheid van thermische energie uit oppervlaktewater te bepalen. In een eventuele verdiepfingsfase wordt wel geadviseerd om faseringen mee te nemen.



Figuur 3.1 | Inrichtingsschets Harderweide (rood omlijnd) met in het noorden de Crescentvijver. Bron: Gemeente Harderwijk, persoonlijke communicatie, 14 november 2017).

De warmtevraag voor de gebouwen is onbekend, daarom is een gemiddelde van 20 GJ_{th} per woning aangenomen (Gemeente Harderwijk, persoonlijke communicatie, 14 november 2017). Op basis van de EPC 0,4 norm uit de Uniforme Maatlat Gebouwde Omgeving (UMGO) voor de warmtevoorziening in de woning- en utiliteitsbouw (RVO, 2016) is een verdeling van de warmtevraag voor de verschillende gebouwen gemaakt (zie Tabel 3.3). Daarbij is een uitsplitsing gemaakt in warmtelevering en warm tapwater voor de warmtevoorziening.

Tabel 3.1 | Type woningen Harderweide beschouwd in de huidige business case (bron: Gemeente Harderwijk, persoonlijke communicatie, 14 november 2017).

Type woning	Percentage woningen [%]	Oppervlakte kavel [m ²]	Aantal woningen
Sociale huur	15%	140	
Vrije sector huur	15%	175	
Koopwoningen instap	10%	140	
Koopwoningen middelduur	15%	180	
2*1 kapwoningen instap	15%	250	
2*1 kapwoningen royaal	15%	325	
Vrijstaande woningen	5%	450	
Bouwkavels	10%	450	
Totaal	100%	-	660

Tabel 3.2 | Type, aantallen en bruto vloer oppervlaktes woningen Harderweide in Harderwijk.

Type woning	Aantal woningen	BVO gebouw [m ²]	BVO totaal [m ²]	Aandeel BVO [%]
Sociale huur	99	100	9900	11%
Vrije sector huur	99	125	12375	14%
Koopwoningen instap	66	125	8250	9%
Koopwoningen middelduur	99	135	13365	15%
2 [^] 1 kapwoningen instap	99	145	14355	16%
2 [^] 1 kapwoningen royaal	99	155	15345	17%
Vrijstaande woningen	33	170	5610	6%
Bouwkavels	66	170	11220	12%
Totaal	660		90420	100%

Tabel 3.3 | Warmtevraag woningen Harderweide in Harderwijk.

Energiestromen				
Type woning	EPC	Warmtelevering [kWh/jaar]	Warm tapwater [kWh/jaar]	Warmte totaal [kWh/jaar]
Sociale huur	0,4	140.690	203.690	344.379
Vrije sector huur	0,4	175.862	254.612	430.474
Koopwoningen instap	0,4	117.241	169.742	286.983
Koopwoningen middelduur	0,4	189.931	274.981	464.912
2 [^] 1 kapwoningen instap	0,4	395.694	255.592	651.285
2 [^] 1 kapwoningen royaal	0,4	422.983	273.219	696.201
Vrijstaande woningen	0,4	170.177	93.967	264.144
Bouwkavels	0,4	340.353	187.934	528.288
Totaal		1.952.930	1.713.736	3.666.667

Systeem concept energielevering gebouwen

Voor de opwekking van warmte wordt gebruik gemaakt van een elektrische warmtepomp. De warmtepomp is aangesloten op een WKO + TEO systeem. Het werkingsprincipe van een WKO systeem is beschreven in Bijlage 1.

In de huidige studie zijn twee concepten doorgerekend:

- 1 **WKO + TEO decentraal:** De warmte vanuit het oppervlaktewater of warmte vanuit het WKO systeem wordt via een 2-pijps leiding gedistribueerd over het gebied. De warmteoverdracht vindt plaats via een warmtewisselaar, zodat het oppervlaktewater, het WKO grondwater en het water in het distributienetwerk niet met elkaar kunnen mengen. De aanvoerleiding voor warmte is een ongeïsoleerde leiding. De aanvoertemperatuur voor warmte is afhankelijk van de temperatuur van het oppervlaktewater (-15 - 25 °C) of de temperatuur van de warme WKO bron (-17 - 19 °C). Elke individuele woning bevat een water/water warmtepomp om de woning van ruimteverwarming en warm tapwater te voorzien.
- 2 **Referentie decentraal:** de woningen zijn individueel aangesloten op een gasketel (warmte voorziening) voor ruimteverwarming en warm tapwater.

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 en debieten oppervlaktewater

Het oppervlaktewater dat gebruikt kan worden voor het TEO systeem is het water in de singel die door de wijk loopt (zie Figuur 3.2). De aangenomen afmetingen van de singel zijn:

- Breedte: ~10 m
- Diepte: ~1 m

In Figuur 3.2 is met rode pijltjes de preferente stroming aangegeven. De basisaanvoer komt via een bestaande singel uit bebouwd gebied uit het oosten (~150 ha). Deze aanvoer bestaat uit een mengsel van kwelwater en overtollig hemelwater en varieert over de seizoenen heen.



Figuur 3.2 | Plattegrond Harderweide in Harderwijk (stromingsrichting rode pijlen) (bron: gemeente Harderwijk, persoonlijke communicatie, 24 november 2017).

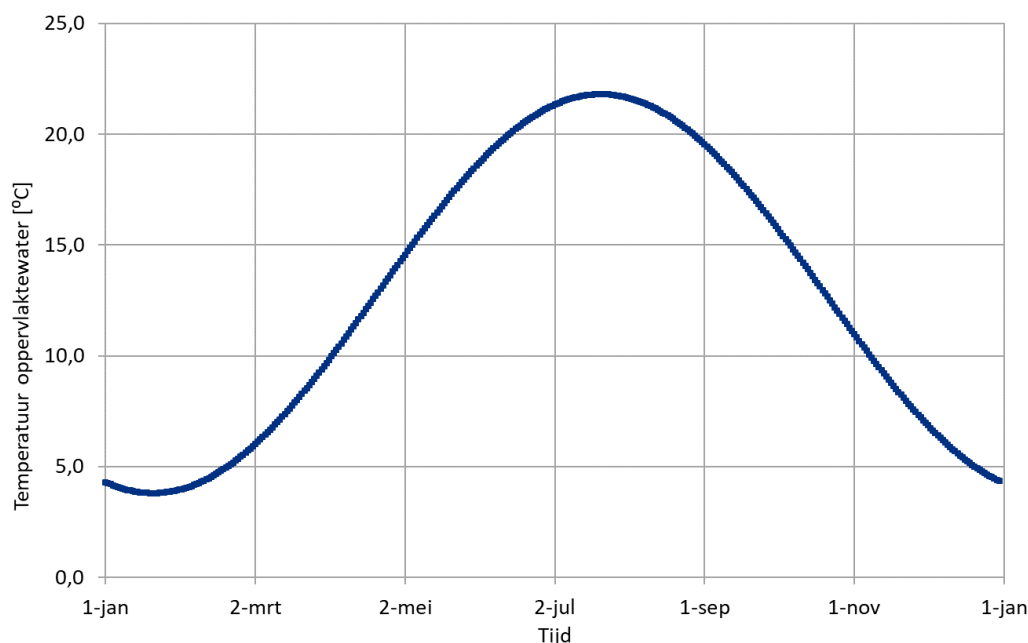
In de huidige business case wordt uitgegaan van een gemiddeld doorstroomdebiet van de vijver dat fluctueert tussen 1,5 m³/min in het zomerhalfjaar en 5 m³/min in het winterhalfjaar. In de praktijk kan het zo zijn dat er perioden in de zomermaanden zijn dat het afvoerdebiet ordegrrootte 0,5 m³/min is. Dit kan concreet betekenen dat de doorstroming van de vijver bij aanhoudende droogte

een aantal weken stil kan komen te vallen. (Gemeente Harderwijk, persoonlijke communicatie, 24 november 2017).

Het is belangrijk dat het TEO systeem dusdanig wordt ontworpen dat thermische interferentie tussen het onttrekkings- en lozingspunt wordt geminimaliseerd. Ervan uitgaande dat het water stil kan komen te vallen in de zomer wordt uitgegaan van stilstaand water. Dit betekent dat het onttrekkings- en lozingspunt van het TEO systeem zo ver mogelijk uit elkaar wordt geplaatst, zodat interferentie geminimaliseerd wordt.

Temperatuur oppervlaktewater

De temperatuur van het oppervlaktewater in de singel is niet bekend. Daarnaast is de temperatuur van vergelijkbaar oppervlaktewater in de buurt ook niet voorhanden. In de huidige studie is de oppervlaktewater temperatuur gebaseerd op de temperatuur van een vergelijkbare case. In Figuur 3.3 is de temperatuur van het oppervlaktewater uitgezet als functie van de tijd over een kalenderjaar. Deze temperatuur afgeleide wordt gebruikt in de energetische analyse om het moment van laden (oppervlaktewater onttrekken) en de hoeveelheid energie die geladen kan worden te bepalen.



Figuur 3.3 | Aanname temperatuur oppervlaktewater nabij TEO onttrekkingspunt van de singel in Harderweide.

Juridisch

Het gebruik van oppervlaktewater voor de levering van energie, het onttrekken en lozen van oppervlaktewater maakt de energieleverancier vergunningplichtig bij het waterschap in het kader van de Waterwet. De oever is in eigendom van de gemeente. Doorvoeren en de aanleg van leidingen in de oever zal 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

3.4.1 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 Harderwijk is geschematiseerd in een aantal watervoerende pakketten en scheidende lagen. De verwachte bodemopbouw op de locatie is weergegeven in Tabel 3.4.

Tabel 3.4 | Bodemopbouw op de projectlocatie Harderweide in Harderwijk.

diepte [m-mv]	lithologie	geohydrologie
0 - 100	matig tot zeer grof zand	1 ^e watervoerend pakket
100 - 110	klei	1 ^e scheidende laag
110 - 210	grof zand	2 ^e watervoerend pakket
> 210	klei en fijn zand	hydrologische basis

Het eerste watervoerende pakket is gestuwd en wordt niet aan de bovenzijde afgesloten door een afsluitende deklaag. Als gevolg hiervan kan er binnen dit pakket op grotere diepte een overgang aanwezig zijn van oxisch grondwater (zuurstof- en nitraatrijk en ijzerloos) naar gereduceerd grondwater (ijzerrijk en zuurstof- en nitraatloos). Menging van beide watertypen leidt tot redoxreacties die verstopping van bronnen veroorzaken. Daarom wordt geadviseerd gebruik te maken van het tweede watervoerende pakket voor een open bodemenergiesysteem.

3.4.2 Geohydrologie

In Tabel 3.5 zijn de relevante technische en juridische aspecten opgenomen die van invloed zijn op de werking van een bodemenergiesysteem in het tweede watervoerende pakket. In en onder de tabel zijn de aandachtspunten / risico's of belemmeringen nader toegelicht.

1 Stijghoogte 2^e watervoerend pakket

Op basis van gemeten stijghoogten in het tweede watervoerende pakket varieert de stijghoogte van net onder tot rond de maaiveldhoogte. Dit vormt geen belemmering, maar hier dient tijdens realisatie en bij onderhoud rekening mee gehouden te worden.




2 Grondwaterstroming

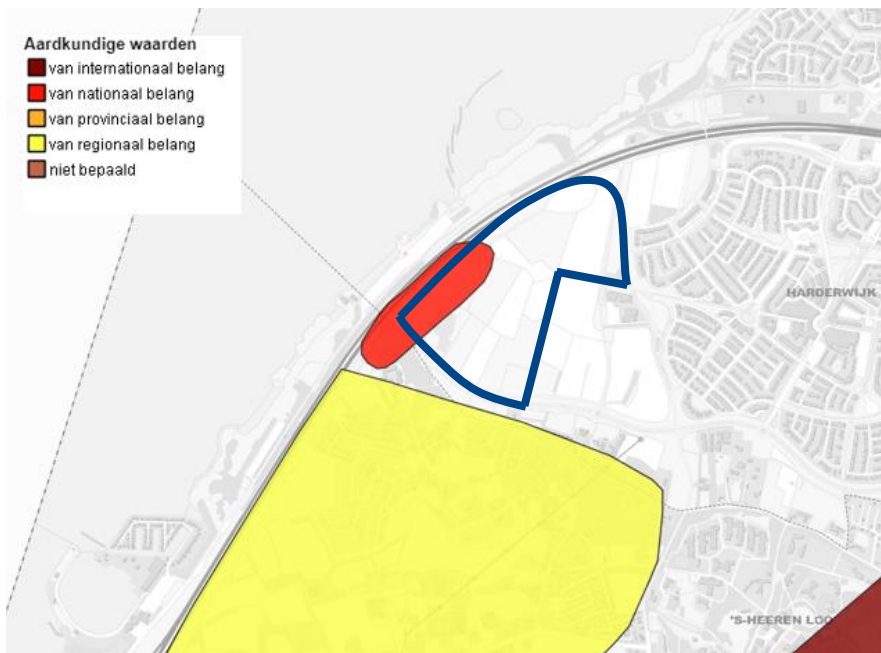
De grondwaterstroomsnelheid in het tweede watervoerende pakket is relatief hoog. Hierdoor zal opgeslagen warmte en koude afstromen. In het ontwerp moet rekening gehouden worden met extra afstroomverliezen. Ook moet bij de bronpositionering rekening gehouden worden met de stroomsnelheid door de bronnen haaks de grondwaterstromingsrichting te plaatsen.

3 Aardkundig waardevol gebied

Een deel van de locatie heeft een aardkundige waarde van nationaal belang (zie Figuur 3.4). Aardkundige waarden zijn die onderdelen van het landschap die iets vertellen over de natuurlijke ontstaanswijze van het gebied. Het betreft restanten van het Zuiderzeestrandsysteem. Binnen de Omgevingsvisie Gelderland is opgenomen dat het meenemen van aardkundige waarden bij ruimtelijke planontwikkeling de eigenheid van een gebied kan versterken. De benutting van aardkundige waarden ligt bij ontwikkelaars en initiatiefnemers. Ten aanzien van een open bodemenergiesysteem wordt geadviseerd in eerste instantie locaties voor bronnen buiten het aardkundig waardevolle gebied te zoeken.

Tabel 3.5 | Technische en juridische aspecten bodemenergiesysteem voor projectlocatie Harderweide in Harderwijk.

onderwerp			toelichting
bodemopbouw			
doorlaatvermogen	✓		geschikt
dikte pakket	✓		voldoende dik
grondwater			
grondwaterstand	✓		circa 1,5 m-mv
stijghoogte 2 ^e watervoerend pakket	⚠	1	0,5 - 0 m-mv, risico op artesisch grondwater
grondwaterstroming	⚠	2	50 - 75 m/jaar in noordwestelijke richting
zoet/brak/zout-overgangen	✓		zoet-/brakgrensvlak en brak-/zoutgrensvlak >300 m-mv
gas	✓		geen afwijkende gasdruk
deeltjes	✓		geen verhoogd risico op deeltjes
redox	✓		geen redoxovergang in opslagpakket
temperatuur opslagpakket	✓		10 - 11 °C
vergunbaarheid			
bodemenergieplan	✓		niet gelegen in bodemenergieplan of interferentiegebied
grondwatergebruikers	✓		geen grondwatergebruikers binnen 250 m van de locatie
zettingen	✓		noemenswaardige zetting wordt niet verwacht
grondwaterbescherming	✓		niet gelegen in een boringsvrije zone of nabij een waterwingebied
natuurbelangen	✓		het randmeer en delen van de kust vormen onderdeel van het Gelders Natuurnetwerk of groene ontwikkelzone, dit vormt geen belemmering
archeologie	✓		niet gelegen in archeologisch waardevol gebied
aardkundig waardevol gebied	⚠	3	een deel van de locatie is gelegen in een aardkundig waardevol gebied
verontreinigingen	✓		geen grondwaterverontreinigingen verwacht die aandachtspunt vormen voor een open bodemenergiesysteem in het 2 ^e watervoerende pakket
waterkering	✓		niet gelegen in of nabij een waterkering
aanwezigheid spoor of begraafplaats	✓		geen spoor of begraafplaats aanwezig binnen circa 250 m
 geschikt, geen belemmering of aandachtspunt			hoog risico of belemmering



Figuur 3.4 | Aardkundige waarden nabij projectlocatie Harderweide (blauw omlijnd) in Harderwijk.

3.4.3

Concept

Het beoogde debiet is circa 180 m³/uur. Dit debiet kan met een doublet gerealiseerd worden. De bronnen zullen ~175 m uit elkaar moeten liggen om thermische interferentie te voorkomen. In Figuur 3.5 is een indicatie van de bronlocaties weergegeven.



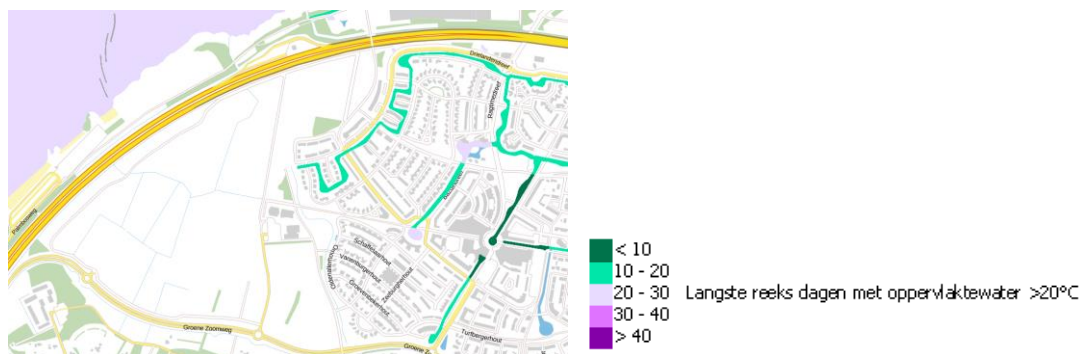
Figuur 3.5 | Indicatie bronlocaties (rondjes) Harderweide in Harderwijk. Rood is warme bron, blauw is koude bron.

Om de exacte locatie van de bronnen te bepalen dient er rekening gehouden te worden met de aandachtspunten (zie 3.4.2), de ruimtelijke inpassing en het gedetailleerd bronontwerp. Dit dient verder uitgezocht te worden in een verdiepingfase.

3.5 KLIMAATADAPTIE

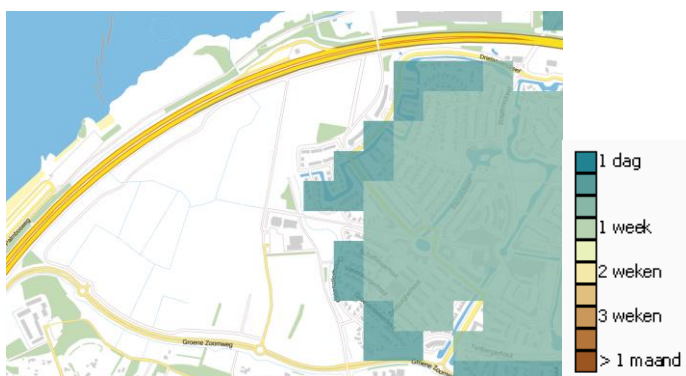
Het klimaat warmt op en veel van de sinds de jaren vijftig waargenomen veranderingen in het klimaatsysteem zijn in de afgelopen honderden tot duizenden jaren niet eerder voorgekomen. De concentratie van broeikasgassen is toegenomen, de atmosfeer en de oceanen zijn opgewarmd, de hoeveelheid sneeuw en 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). Ook gedijen ongewenste exotische planten en dieren, ziekteverwekkers- en verspreiders beter.

Door het verharde oppervlak en de gebouwen in stedelijk gebied 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 Klimateffectatlas zijn deze effecten te zien middels de hittekaart. Momenteel zijn er in de Klimateffectatlas effecten te zien voor het gebied rondom Harderweide (zie Figuur 3.6, Figuur 3.7 en Figuur 3.8). Deze figuren geven de huidige situatie weer. De lichtgroene kleur (risico opwarming oppervlaktewater) in Figuur 3.6 geeft aan dat tussen de 10 - 20 aaneengesloten dagen de temperatuur boven de 20 °C uitkomt. In Figuur 3.7 geven de verschillende tinten groen een indicatie van de hittestress (aantal tropische nachten per jaar > 20 °C), waarbij de minimumtemperatuur in de nacht in het geval van Harderweide tot -7 dagen per jaar boven de 20 °C is. In Figuur 3.8 is het risico opwarming oppervlaktewater en hittestress door warme nachten gecombineerd. In deze figuren is een duidelijke afhankelijkheid van bebouwing en hittestress te zien. Het wordt aangenomen dat het aangrenzende scenario in de toekomst ook kan gaan gelden voor Harderweide.

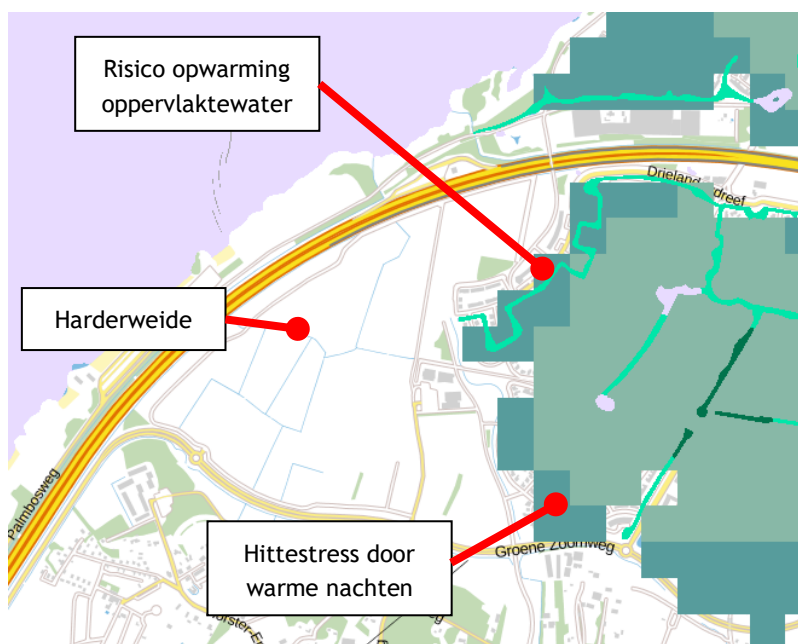


Figuur 3.6 | Hittekaart van het gebied rondom Harderweide met risico opwarming oppervlaktewater in de zomer voor de huidige situatie. De kaart toont de langste aaneengesloten periode van dagen per jaar waarin de watertemperatuur hoger is dan 20 °C. De klimaatverandering is gebaseerd op het WH-scenario voor 2050. Bron: Klimateffectatlas. Verkregen op 11 december, 2017 van <http://www.klimateffectatlas.nl>.

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 ten opzichte van traditionele koelers (compressiekoelmachine), waarmee extra hittestress wordt voorkomen.

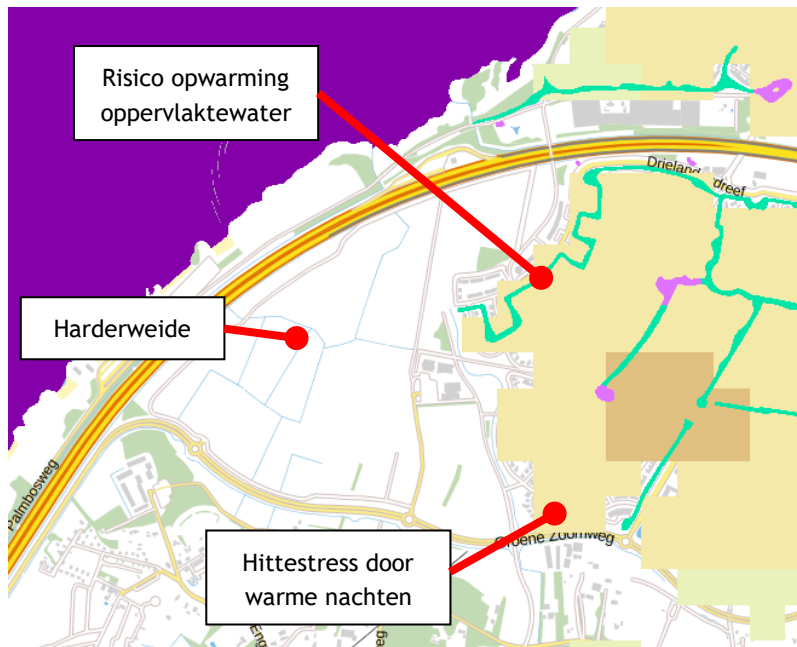


Figuur 3.7 | Hittekaart van het gebied rondom Harderweide met hittestress door warme nachten voor de huidige situatie. Tijdens een warme nacht daalt de temperatuur niet onder de 20 °C. De klimaatverandering is gebaseerd op het WH-scenario voor 2050. Bron: Klimateffectatlas. Verkregen op 11 december, 2017 van <http://www.klimateffectatlas.nl>.



Figuur 3.8 | Hittekaart van de huidige situatie van het gebied rondom Harderweide met risico opwarming oppervlaktewater en hittestress door warme nachten. De klimaatverandering is gebaseerd op het WH-scenario voor 2050. Het wordt verwacht dat risico opwarming oppervlaktewater en hittestress door warme nachten ook gaat gelden voor Harderweide nadat het gebied is bebouwd. Bron: Klimateffectatlas. Verkregen op 11 december, 2017 van <http://www.klimateffectatlas.nl>.

In Figuur 3.9 is het effect in 2050 van het WH scenario voor 2050 te zien. Het risico opwarming oppervlaktewater en de hittestress zal significant toenemen. Hittestress kan bij kwetsbare groepen leiden tot meer arbeidsuitval, een toename van ziektes en vervroegde sterfte (bron: Klimaateffectatlas).



Figuur 3.9 | Hittekaart van de situatie in 2050 van het gebied rondom Harderweide met risico opwarming oppervlaktewater en hittestress door warme nachten. De klimaatverandering is gebaseerd op het WH-scenario voor 2050. Het wordt verwacht dat risico opwarming oppervlaktewater en hittestress door warme nachten ook gaat gelden voor Harderweide nadat het gebied is bebouwd. Bron: Klimaateffectatlas. Verkregen op 11 december, 2017 van <http://www.klimaateffectatlas.nl>.

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 singel in Harderweide 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) doorgerekend. 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:

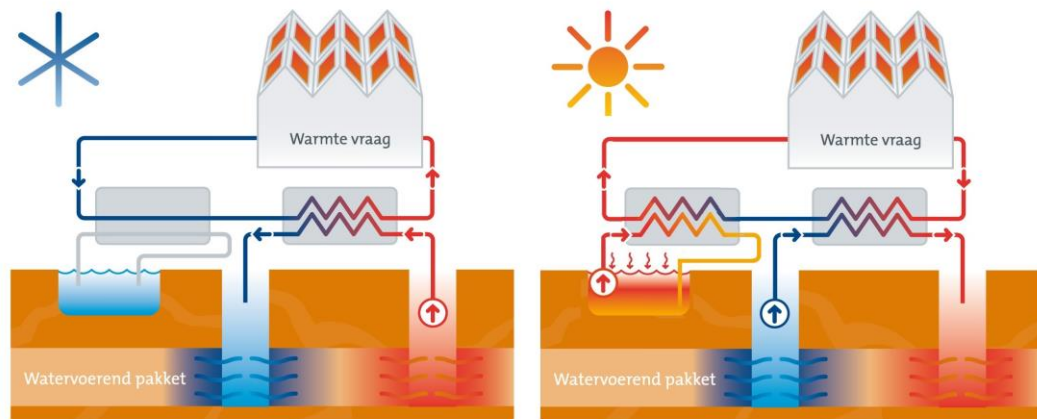
- energievraag (warmte en koude);
- afgiftesysteem;
- distributienet;
- tapwaterbereiding;
- geschiktheid bodem voor WKO;
- aanwezigheid van oppervlaktewater en/of kunstwerken;
- ruimtegebruik inpandig.

Systeemkeuze energievraag

De energievraag van Harderweide in Harderwijk kenmerkt zich door alleen een warmtevraag. Hierbij is het toepassen van warmte uit oppervlaktewater in combinatie met WKO een voor de hand liggende oplossing (zie Bijlage 1, Figuur 7.1). 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 het oppervlaktewater in Harderweide 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 4.1 is het globale principe van de energiestromen in de verschillende seizoenen weergegeven.

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 de gebouwen indien dat nodig is. De koeling kan rechtstreeks worden geleverd door middel van vloerkoeling of via een luchtbehandelingskast (LBK).

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



Figuur 4.1 | Inzet TEQ voor de energievoorziening in het koude (links) en warme (rechts) seizoen.

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).

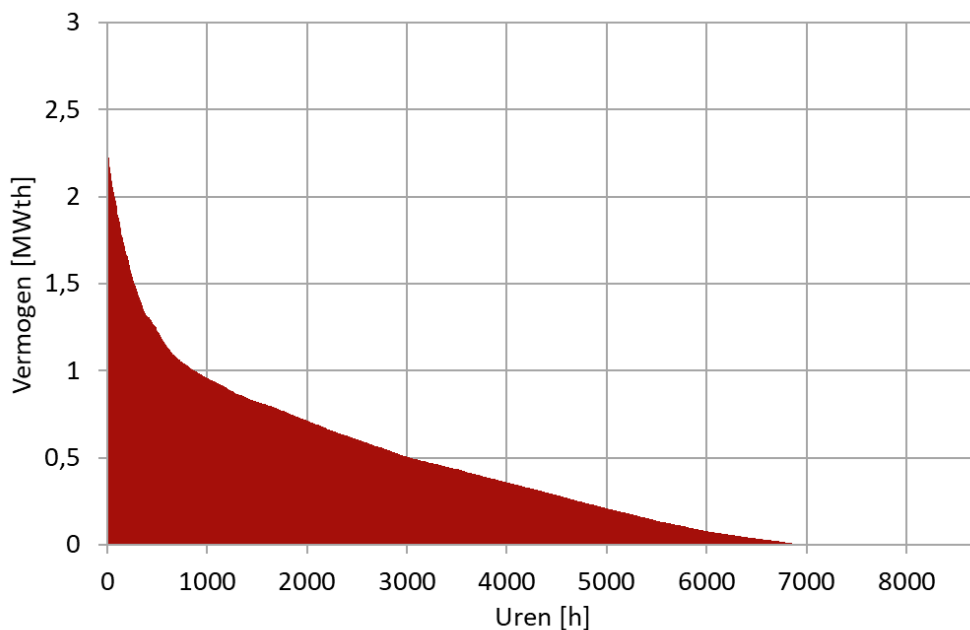
In Bijlage 1 wordt een overzicht gegeven van de overwegingen die spelen bij het maken van deze keuze. Het gaat hierbij om overwegingen op het gebied van:

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

Bij Harderweide is het de wens om een aardgasloze klimatisering te realiseren. Om die reden wordt als systeemconcept gekozen voor een monovalent opwekkingsstelsel. Vanuit duurzaamheidsoverwegingen heeft dit stelsel ook de voorkeur. De CO₂-emissiereductie is bij een monovalent stelsel maximaal als er gebruik wordt gemaakt van groene stroom. De opgave is om vervolgens een stelsel te ontwerpen dat voor de overige parameters voldoet aan de haalbaarheidsnormen. Daarmee wordt bedoeld dat het stelsel ook moet kunnen functioneren bij strenge vorst. Dit betekent dat het maximale vermogen van de warmtepomp berekend is op een piek warmtevraag gedurende een koude periode.

Uitwerking en resultaten energieconcept

In paragraaf 3.2 is een inventarisatie gemaakt van de energievraag voor warmte voor Harderweide. Om een nauwkeurige analyse te kunnen maken van het totale energieconcept zijn de uitgangspunten voor warmte geschaald naar een bestaande warmtevraag voor een soortgelijke mix van gebouwen met een vergelijkbare functie (bron: IF Technology (2017), niet publiekelijk toegankelijk). Op deze manier kan een bepaalde warmtevraag gedurende het jaar gekoppeld worden aan de data van het oppervlaktewater. De jaarbelastingduurcurve die hieruit voortvloeit voor de warmtevraag is gepresenteerd in Figuur 4.2.



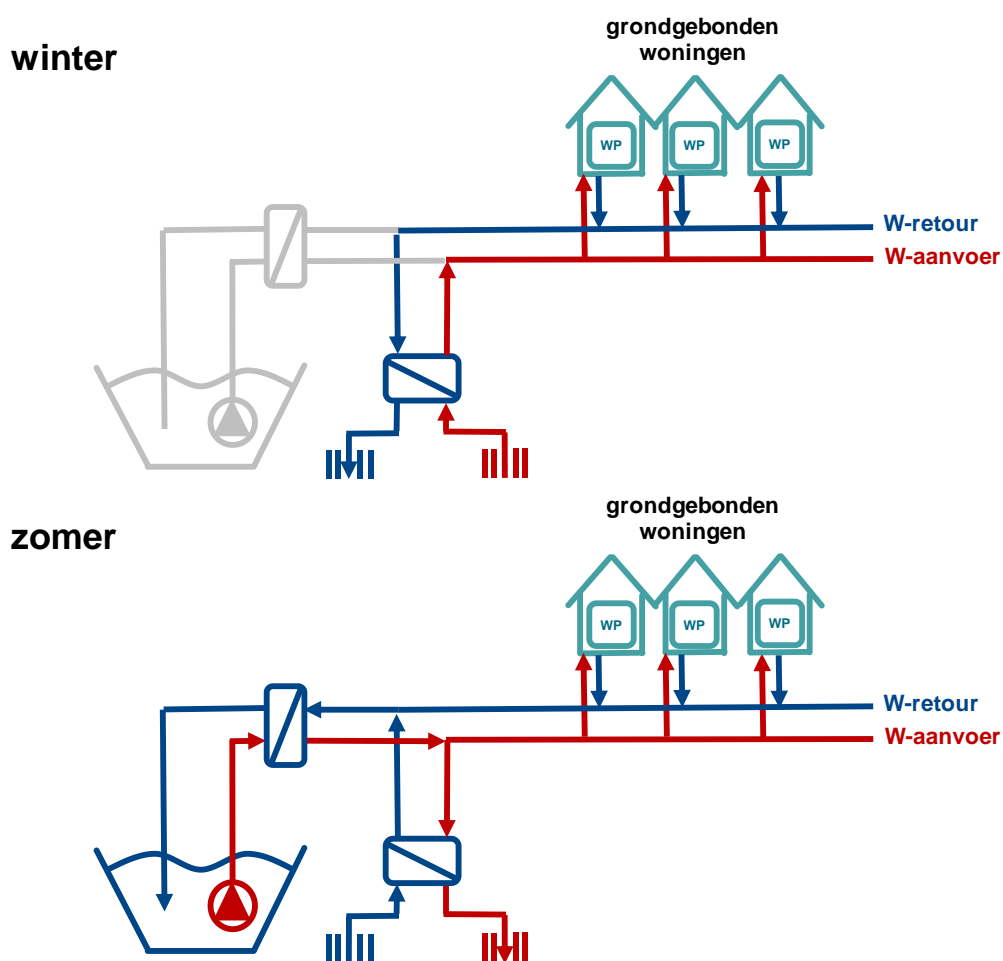
Figuur 4.2 | Jaarbelastingduurcurve verwachte warmtevraag voor Harderweide in Harderwijk.

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 4.1. De hoge SPF (gemiddelde COP over een jaar) van 4,5 wordt veroorzaakt door de relatief lage aanvoertemperatuur gebouwzijdig van 50 °C. De maximale COP van 5,3 treedt op bij een warmtevraag in de zomer, wanneer de warmte wordt geleverd vanuit het oppervlaktewater. In dat geval is de temperatuurstap relatief laag en de COP relatief hoog. Indien de warmtepomp een temperatuur van 65 °C maakt, zal dat overéénkomen met een COP van ~3,5.

Tabel 4.1 | Input en output parameters van het energetische concept voor Harderweide.

Input parameters	Eenheid	Waarde
Minimale uitkoeling oppervlaktewater	°C	3,0
Maximale uitkoeling oppervlaktewater	°C	6,0
Minimale lozingstemperatuur	°C	13,0
Minimale onttrekkingstemperatuur	°C	16,0
Infiltratietemperatuur koude	°C	7,0
Aanvoer temperatuur gebouwzijdig	°C	50,0
Output parameters	Eenheid	Waarde
Maximale COP	-	5,3
Seasonal Performance Factor (SPF)	-	4,5
Maximaal debiet oppervlaktewater	m ³ /h	130
Maximaal debiet WKO	m ³ /h	180
Gemiddelde infiltratietemperatuur warmte	°C	17,8

De maximaal benodigde debieten zijn belangrijk om het systeem te dimensioneren en om zo de investeringskosten te kunnen ramen. In Figuur 4.3 is het TEO systeem in een schematisch principeschema gepresenteerd gedurende de winter en zomer. De overgang van winter naar zomer en van zomer naar winter configuratie is afhankelijk van de warmtevraag en de temperatuur van het oppervlaktewater. 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.



Figuur 4.3 | Principeschema TEO systeem in de winter en zomer (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 individuele warmtepomp (WP) in de woningen. 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.

4.2 SCHETSONTWERP

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

- in- en uitlaat oppervlaktewatersysteem (130 m³/h);
- WKO doublet (180 m³/h);
- technische ruimte (warmtewisselaars);
- 2-pijps distributieleidingen met warmte aanvoer en retour woningen;
- distributieleidingen WKO systeem;
- distributieleidingen TEO systeem;
- aansluitleidingen ten behoeve van de aan te sluiten panden.

Locatie en invoeging

Ter verduidelijking is het schetsontwerp, dat hieronder is beschreven, in Figuur 4.4 en Figuur 4.5 te zien. Het moet expliciet vermeld worden dat het schetsontwerp puur indicatief is om een inschatting van afstanden en kosten te kunnen maken:

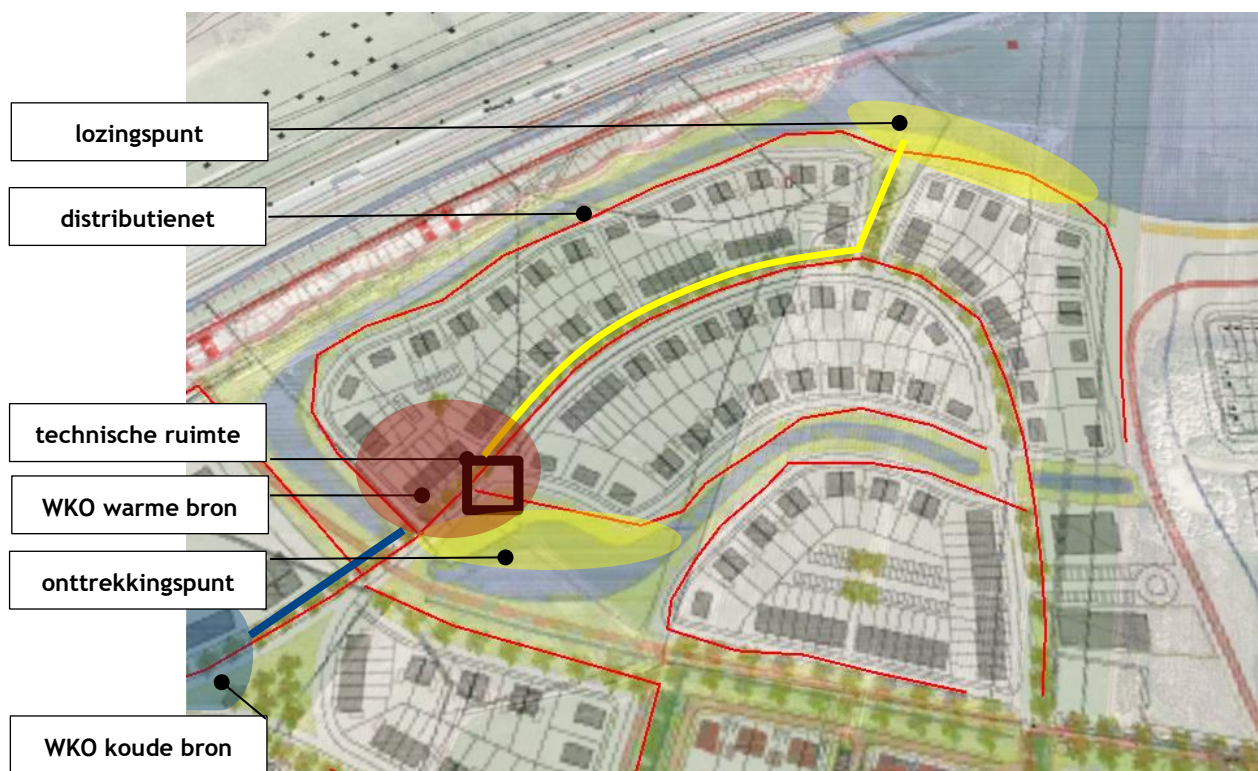
- **In- en uitlaat oppervlaktewatersysteem:** deze komen bij voorkeur centraal in het gebied te liggen, zodat de kortste route naar de technische ruimte kan worden gerealiseerd. De afstand tussen in- en uitlaat is afhankelijk van de stroomsnelheid en stroomrichting in de singel en de Crescentvijver en de wensen met betrekking tot uitkoeling van de waterloop. In paragraaf 3.3 is aangenomen dat het water in de singel met 1,5 m³/min stroomt. Met het verwachte onttrekkingsdebiet, de afmetingen van het water, de stroming en het temperatuurverschil tussen onttrekkings- en lozingspunt is een minimale afstand van 500 m berekend tussen onttrekkings- en lozingspunt. Het onttrekkingspunt is centraal aan de singel en het lozingspunt aan de kant van de Crescentvijver geplaatst. In Figuur 7.3 en Figuur 7.4 van Bijlage 1 zijn twee typen inlaatsystemen van een gerealiseerd TEO systeem te zien. De uitlaat bij het lozingspunt kan onzichtbaar worden afgewerkt in de kademuur of oever. Er worden speciale filters geplaatst om fauna te beschermen. 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 juridische en civieltechnische mogelijkheden en knelpunten voor plaatsen van de distributieleidingen dienen in detail te worden uitgezocht. Uit het oppervlaktewater wordt ongeveer 2.800 MWh_{th}/jaar onttrokken. Onder de huidige omstandigheden is het TEO systeem ~128 dagen in bedrijf.
- **WKO doubletten:** het WKO doublet dient afgestemd te worden op de warmtevraag in het gebied. Daarnaast is de afstand tussen de WKO en de technische ruimte geminimaliseerd om de kosten van het leidingwerk te kunnen reduceren. De warme- en koudebron dienen minimaal 175 m uit elkaar te liggen. Wanneer de verkaveling van het gebied definitief is vastgesteld, kunnen ook de zoekgebieden aangepast en/of vastgesteld en verankerd worden. De warmte die uit de WKO wordt geleverd is ~2.700 MWh_{th}/jaar, en de waterverplaatsing is ~240.000 m³/jaar. Onder de huidige omstandigheden is het WKO systeem 227 dagen aan het leveren en 128 dagen aan het laden.
- **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 centraal in het gebied geplaatst. De locatie heeft effect op de business case, omdat het leidingwerk van en naar de technische ruimte een significante investeringspost is. De technische ruimte bevat in dit geval onder andere de warmtewisselaars. Echter kan de locatie van de warmtewisselaar om warmte tussen het water in het distributienet en oppervlaktewater uit te wisselen 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 naar gebouwen:** (zie Figuur 4.4, rode leidingen) omdat er in het gebied meerdere afnemers van warmte zijn is er een distributienet nodig. Elke rode lijn bestaat uit 2 leidingen, warmte aanvoer en warmte retour. Dit is nodig omdat de gebouwen een verschillende warmtevraag kunnen hebben. Er wordt uitgegaan van een ongeïsoleerd 2-pijps systeem. Distributieverliezen zijn relatief laag en niet meegenomen in de berekening.
- **Distributieleidingen WKO systeem:** (zie Figuur 4.5, blauwe leiding) het distributienetwerk van het WKO systeem loopt tussen de warme-, koudebron en de TR op de kortst mogelijke manier. De leidingen vallen in Figuur 4.5 deels samen met het distributienetwerk voor de gebouwen. De capaciteit van deze leidingen moet minimaal overeenkomen met de capaciteit van het WKO doublet, namelijk $180 \text{ m}^3/\text{h}$.
- **Distributieleidingen TEO systeem:** (zie Figuur 4.5, gele leiding) het distributienetwerk van het TEO systeem loopt tussen het onttrekkingspunt en het lozingspunt en de TR op de kortst mogelijke manier. De capaciteit van deze leidingen moet overeenkomen met de capaciteit van het TEO systeem, namelijk $130 \text{ m}^3/\text{h}$.
- **Aansluitleidingen ten behoeve van de aan te sluiten gebouwen:** deze lopen van het gebouw naar het distributienetwerk.



Figuur 4.4 | Schetsontwerp WKO + TEO systeem voor Harderweide in Harderwijk met het 2 pijps-distributienet (rode leidingen). Het leidingwerk is indicatief om een inschatting van de totale lengte te kunnen doen. De inrichtingsschets van Harderweide is gebruikt als beeldoverlay in Google Earth.



Figuur 4.5 | Schetsontwerp WKO + TEO systeem voor Harderweide in Harderwijk met het 2 pijps-distributienet (rode leidingen). WKO leiding (blauwe leiding), WKO warme (rood) en koude (blauw) bronnen, TEO systeem (geel), technische ruimte (zwart, niet op ware grootte). De leidingen naar de technische ruimte zijn niet getekend, evenals de aansluitleidingen naar de gebouwen. Het leidingwerk en locatie TEO en WKO systeem zijn indicatief om een inschatting van de totale lengte en kosten te kunnen doen. De inrichtingsschets van Harderweide is gebruikt als beeldoverlay in Google Earth.

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 met individuele warmtepompen vergeleken met een referentiesysteem. Het referentiesysteem bestaat uit:

- Individuele gasketel voor de warmte voorziening;
- decentrale oplossing, elke woning heeft een eigen aansluiting.

Het verschil met het WKO + TEO systeem is dat er geen distributienet tussen WKO, TEO, TR en gebouwen nodig is. Daarentegen zijn er wel voorzieningen in de openbare ruimte en gebouwen nodig voor de distributie van gas. Het is belangrijk om te vermelden dat gebouwzijdige aanpassingen in verband met deze concepten niet zijn meegerekend in de financiële analyse. Er wordt aangenomen dat de warmte binnen de gebouwen op eenzelfde manier wordt verzorgd met lage temperatuur verwarming. 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.

Uitgangspunten financiële analyse

Voor de financiële berekeningen is rekening gehouden met de uitgangspunten gegeven in Tabel 4.2. In navolgende tabellen zijn de te verwachten kosten inzichtelijk gemaakt. Alle genoemde bedragen zijn exclusief BTW en gebaseerd op prijspeil 2017.

Investeringskosten

In Tabel 4.3 zijn de eenmalige investeringskosten voor het WKO + TEO systeem in beeld gebracht. De investeringskosten van het referentiesysteem zijn gegeven in Tabel 4.4. Het leidingnet wordt in de huidige business case in drie termijn geherinvesteerd, omdat de totale technische levensduur van ~50 jaar anders buiten de projectperiode valt. Het distributienetwerk bestaat uit het WKO leidingnet (~200 m), TEO leidingnet (~400 m), warmtenet (inclusief aansluiting tot aan de voordeur, ~8.500 m).

Tabel 4.2 | Uitgangspunten financiële analyse.

Parameter	Eenheid	Waarde
CAPEX		
Indexering investeringskosten	%	1,8
Project looptijd	jaar	30
Herinvestering gasketel	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	-	Liander

Tabel 4.3 | Investeringskosten realisatie WKO + TEO.

Investeringskosten WKO + TEO	Eenheid	Kosten
Bodemenergie voorzieningen	€	457.000
Oppervlaktewater voorzieningen	€	147.000
Distributie voorzieningen	€	1.750.000
Warmtepomp	€	4.300.000
Afgifteset	€	990.000
Ontwerp, advies en vergunningen (8%)	€	611.000
Onvoorzien (15%)	€	1.150.000
Totaal	€	9.400.000

Tabel 4.4 | Investeringskosten realisatie referentiesysteem: decentrale gasketel.

Investeringskosten referentiesysteem	Eenheid	Kosten
Gasketel	€	2.180.000
Ontwerp, advies en vergunningen (8%)	€	241.000
Onvoorzien (15%)	€	453.000
Distributie voorzieningen gas	€	840.000
Totaal	€	3.710.000

Eenmalige inkomsten

In Tabel 4.5 zijn de eenmalige inkomsten in beeld gebracht voor een WKO + TEO systeem met individuele warmtepompen. 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 € 1.500 excl. BTW per woning.

Tabel 4.5 | Eenmalige inkomsten realisatie WKO + TEO.

Inkomsten WKO + TEO	Eenheid	Waarde
Energie-investeringsaftrek (EIA) 13,5%	€	318.000
Bijdrage aansluitkosten (BAK) - 1.500 €/aansluiting excl. BTW	€	990.000
Investeringssubsidie duurzame energie (ISDE)	€	1.850.000
Totaal	€	3.160.000

De investeringssubsidie duurzame energie (ISDE) is in dit geval van toepassing op de individuele warmtepompen. De ISDE is van toepassing op warmtepompen tot 70 kW. Voor de huidige situatie kan een ISDE subsidie van gemiddeld -€ 2.800 per warmtepomp verwacht worden.

Het referentiesysteem, met een gasketel, komt niet in aanmerking voor BAK, omdat de gebouwen niet op een warmtenet worden aangesloten. De EIA geldt ook niet, omdat er geen energiezuinige investering plaatsvindt. Ook de ISDE is niet van toepassing.

Tarieven

Het tarief voor elektriciteit en gas bestaat uit vaste kosten en variabele kosten. De vaste kosten voor elektriciteit en gas zijn gebaseerd op de tarieven van netbeheerder Liander. De vaste kosten bestaan uit een aansluitdienst, transportdienst en meetdienst. De variabele kosten voor elektriciteit en gas zijn gebaseerd op een landelijk gemiddelde voor huishoudelijk verbruik. De variabele kosten bestaan uit de energieprijis, energiebelasting en opslag duurzame energie. De elektriciteitskosten voor de collectieve faciliteiten zijn gebaseerd op de zakelijke tarieven van Liander. De gehanteerde tarieven zijn opgenomen in Tabel 4.6.

Tabel 4.6 | Tarieven energieprijzen om de jaarlijkse exploitatiekosten te berekenen. De tarieven zijn inclusief energiebelasting en opslag duurzame energie en exclusief btw. De tarieven zijn ingeschat conform marktprijzen in december 2017.

Tarieven energieprijzen (excl. btw)	Eenheid	Waarde
Particulier		
Elektriciteit leveringskosten	€/kWh	0,165
Elektriciteit netbeheerkosten	€/jaar	210
Gas leveringskosten	€/m ³	0,52
Gas netbeheerkosten	€/jaar	160
Zakelijk		
Elektriciteit leveringskosten	€/kWh	0,07
Elektriciteit netbeheerkosten	€/jaar	5.000

Jaarlijkse exploitatiekosten

In Tabel 4.7 en Tabel 4.8 zijn de jaarlijkse exploitatiekosten weergegeven voor het WKO + TEO systeem en het referentiesysteem, respectievelijk. De jaarlijkse rapportagekosten voor een WKO systeem zitten geïntegreerd in onderhoud en beheer. Eventuele perceptiekosten van een mogelijk warmtebedrijf zijn in deze fase nog niet meegenomen. In een verdiepende fase zullen deze kosten zeker overwogen moeten worden.

Elektrische hulpenergie voor e.g. gebouwzijdige circulatiepompen/cv pomp zijn niet meegenomen in de business case berekeningen.

Tabel 4.7 | Jaarlijkse exploitatiekosten WKO + TEO.

Exploitatiekosten WKO + TEO	Eenheid	Kosten
Inkoop		
Elektriciteit (vast en variabel)	€/jaar	167.000
Onderhoud en beheer		
Opwekking (WKO en TEO)	€/jaar	12.000
Distributienet	€/jaar	18.000
Warmtepompen	€/jaar	129.000
Afgifteset	€/jaar	20.000
Totaal	€/jaar	345.000

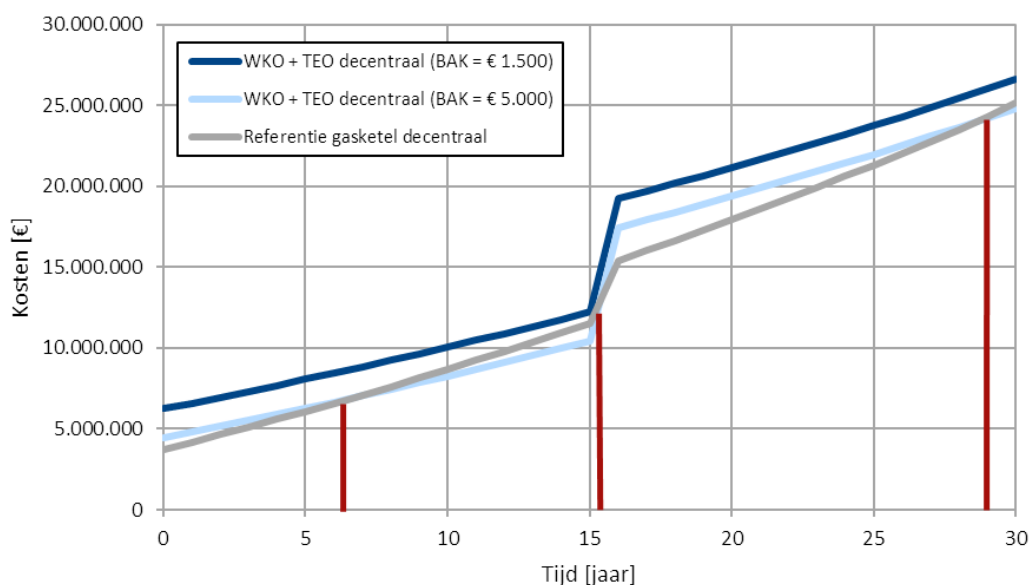
Tabel 4.8 | Jaarlijkse exploitatiekosten referentiesysteem: decentrale gasketel.

Exploitatiekosten referentiesysteem	Eenheid	Kosten
Inkoop		
Elektriciteit (vast en variabel)	€/jaar	-
Gas (vast en variabel)	€/jaar	347.000
Onderhoud en beheer		
Gasketel	€/jaar	87.000
Gasleidingnet	€/jaar	17.000
Totaal	€/jaar	450.000

Terugverdientijd

In Figuur 4.6 zijn de kosten en baten van het WKO + TEO systeem (blauw) uitgezet tegen het referentiesysteem (grijs) met individuele gasketels 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 4.2.

De terugverdientijd van het WKO + TEO systeem met een BAK van € 1.500 per woning is meer dan 30 jaar ten opzichte van het referentiesysteem. Indien er wordt uitgegaan van een BAK van € 5.000 per woning zijn de kosten en baten over een projectlooptijd van 30 jaar onder de gestelde aannamen in deze studie vergelijkbaar. Het is te zien dat de kosten-baten lijn voor dat systeem en de referentie elkaar 3 maal kruisen gedurende de looptijd. Dit wordt veroorzaakt door enerzijds de hogere initiële investeringskosten en de exploitatiekosten en anderzijds de herinvesteringkosten.



Figuur 4.6 | Kosten-batenanalyse van het WKO + TEO systeem met decentrale warmtepompen met een BAK van € 1.500 (blauw) en BAK van € 5.000 (lichtblauw) en het referentiesysteem (grijs).

Conclusie

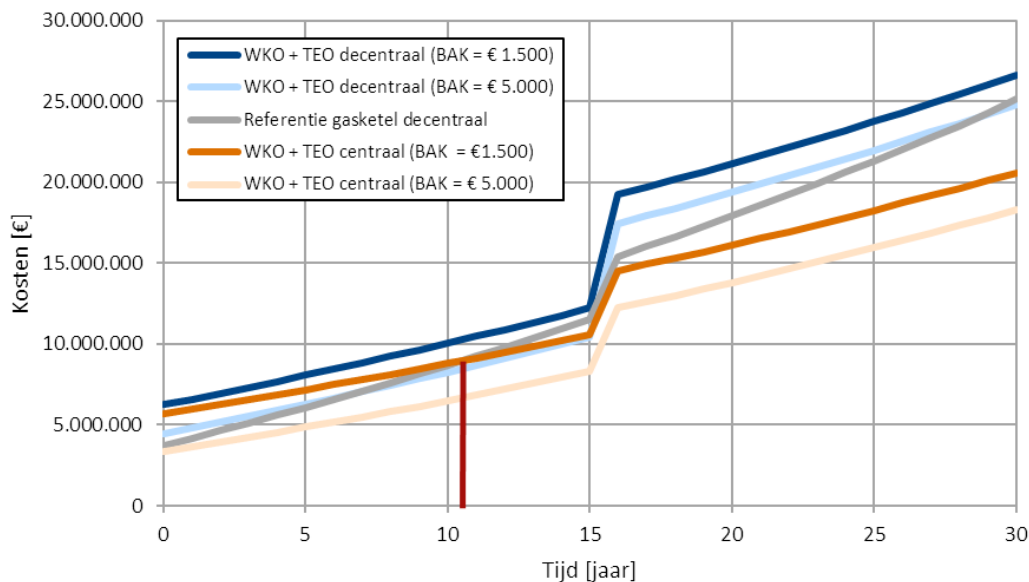
Op basis van de berekende resultaten kan geconcludeerd worden dat de kosten van het WKO + TEO systeem hoger uitvallen ten opzichte van het referentiesysteem met decentrale warmte opwekking. Bij het referentiesysteem wordt warmte geleverd door middel van een individuele gasketel. De BAK is een belangrijke variabele in de berekening van de terugverdientijd. Als er wordt uitgegaan van een hogere BAK, kan de terugverdientijd significant lager uitvallen.

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 warmtevraag voor ruimteverwarming en warm tapwater 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 heeft het moment van herinvesteren ook een effect op de terugverdientijd.

Financiële optimalisatie

De terugverdientijd van het WKO + TEO systeem met individuele warmtepompen is meer dan 30 jaar ervan uitgaande dat de BAK € 1.500 is. Een voordeel van een dergelijk individueel systeem kan zijn dat er bij een storing of tijdens onderhoud en beheer dit alleen bij de bewoner merkbaar is. Een andere oplossing zou kunnen zijn om een collectieve warmtepomp in een centrale ruimte te plaatsen in combinatie met een lage temperatuur net voor ruimteverwarming en deels warm tapwater. En dat aanvullend elke woning een kleine goedkopere booster warmtepomp bevat om de woning van warm tapwater van $-65\text{ }^{\circ}\text{C}$ te voorzien. In Figuur 4.7 is te zien dat door middel van een eerste inschatting de terugverdientijd aanzienlijk verlaagd kan worden naar ~ 11 jaar ten opzichte van het referentiesysteem met gasketels ervan uitgaande dat de BAK € 1.500 is. Dit wordt vooral veroorzaakt door het verschil in investeringskosten van de warmtepompen. Binnen de huidige studie is er geen ruimte om dit concept in meer detail uit te werken. Maar vanwege de potentie van deze oplossing wordt aanbevolen om deze oplossing in de toekomst zeker in overweging te nemen.



Figuur 4.7 | | Kosten-batenanalyse van het WKO + TEO systeem met decentrale warmtepompen met een BAK van € 1.500 (blauw) en BAK van € 5.000 (lichtblauw), referentiesysteem (grijs), WKO + TEO systeem met een centrale warmtepomp met een BAK van € 1.500 (oranje) en BAK van € 5.000 (lichtoranje).

4.5

DUURZAAMHEID

Rendement en emissie

In Tabel 4.9 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 $10.200\text{ GJ}_{\text{th}}$. Dit is gelijk aan de

warmte onttrekking aan oppervlaktewater in het warme seizoen. De CO₂ emissie van WKO + TEO ligt tussen de 0 - 500 ton/jaar. De CO₂ emissie van het referentiesysteem is ~740 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 voor WKO + TEO gaat uit van grijze elektriciteitsopwekking (RVO, 2016). Tot slot zijn de NO_x en de SO₂ emissies gegeven (CE Delft, 2015).

Energieverbruik

In Tabel 4.10 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 te produceren. Bij een elektriciteitsopwekkingsrendement van 50% wordt het primair energieverbruik van een WKO + TEO systeem 8.400 GJ, terwijl het referentiesysteem een primair energieverbruik van 14.700 heeft. Deze verhouding van primair energieverbruik is ook terug te vinden in de verhouding van de EOR in Tabel 4.9. Dit betekent een besparing van primair energieverbruik van 6.300 GJ (43%) voor WKO + TEO ten opzichte van de referentie (gasketels).

Tabel 4.9 | Prestatiefactoren WKO + TEO systeem en referentiesysteem (decentrale gasketels).

Prestatiefactor	WKO + TEO (groen)	WKO + TEO (grijs)	referentie
Equivalent opwekkingsrendement (EOR)	1,57	1,57	0,9
Warmte emissie (hittestress) [GJ _{th}]	0	0	10.200*
CO ₂ emissie [ton _{CO2} /jaar]	0	500	740
NO _x emissie [kg/jaar]	0	175	834
SO ₂ emissie [kg/jaar]	0	495	7

*Dit is gelijk aan de warmte onttrekking aan oppervlaktewater in het warme seizoen.

Tabel 4.10 | Energieverbruik van WKO + TEO systeem en referentiesysteem.

Energieverbruik	WKO + TEO	Referentie
Elektriciteit		
Warmtepomp [GJ _e]	3.040	-
Bronpomp [GJ _e]	490	-
Oppervlaktewaterpomp [GJ _e]	170	-
Distributiepomp [GJ _e]	500	-
Gas		
Gasketel	-	14.700
Totaal systeem[GJ]	4.200	14.700

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, 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.

In totaal kan er in het warme seizoen ~400.000 m³/jaar aan oppervlaktewater gekoeld worden met ~6 °C.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 TECHNISCHE EN ENERGETISCHE HAALBAARHEID

Uitgangspunten en opwekkingspotentieel

Voor de wijk Harderweide in Harderwijk 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 5.1.

Tabel 5.1 | Kern uitgangspunten, technische haalbaarheid en thermisch potentieel voor Harderweide in Harderwijk.

Parameter	Waarde
Kern uitgangspunten	
Gebouwen	Mix van grondgebonden woningen
Warmtevraag	3.700 MWh _{th} (13.200 GJ _{th}) per jaar
Doelstellingen	Duurzaam en aardgasloos
Technische haalbaarheid	
Capaciteit bodem: benodigd	2.700 MWh _{th} /jaar, 240.000 m ³ /jaar, 180 m ³ /h
Type bron	doublet
Capaciteit oppervlaktewater: benodigd	2.800 MWh _{th} /jaar, 130 m ³ /h

Er kan worden geconcludeerd dat op de onderzochte locatie (Harderweide en het oppervlaktewater in de singel en de Crescentvijver) 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 uitgewerkt. Warmtelevering voor ruimteverwarming en warm tapwater wordt geleverd via het distributienet. Regeneratie van warmte vindt plaats vanuit de singel door Harderweide. De overwegingen bij de concepten zijn toegelicht in paragraaf 4.1.

Er is sprake van een 100% elektrisch aangedreven warmtevoorziening. Het concept is dus aardgasloos. Naast het leveren van duurzame warmte 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 realisatie van het systeem moeten onder meer de volgende onderdelen worden ingepast:

- in- en uitlaat oppervlaktewatersysteem (130 m³/h);
- WKO doublet (180 m³/h);
- technische ruimte (warmtewisselaars);
- 2-pijps distributieleidingen met warmte aanvoer en retour woningen;
- distributieleidingen WKO systeem;
- distributieleidingen TEO systeem;
- aansluitleidingen ten behoeve van de aan te sluiten panden.

In paragraaf 4.2 staan de onderdelen en inpassingsmogelijkheden benoemd. In Figuur 4.4 en Figuur 4.5 is de inpassing van de onderdelen grafisch weergegeven. Aandachtspunten zijn onder meer de inpassing van de technische ruimte, WKO, TEO systeem en het distributienet. Voor de 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 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 in pandig). 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 in de Crescentvijver.

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 1,57 verwacht. De vergelijking is gemaakt met een referentiesysteem (gasketel en compressiekoelmachine) die voor een vergelijkbare warmtevraag een EOR van 0,90 heeft. Door duurzaam te koelen kan er 10.200 GJ_{th} warmte emissie aan de atmosfeer voorkomen worden.

Het uitgewerkte WKO + TEO concept 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 500 ton/jaar alsnog significant lager dan het referentiesysteem (individuele gasketel) met 740 ton/jaar.

5.3 FINANCIËLE HAALBAARHEID

De investeringskosten, inkomsten en jaarlijkse exploitatiekosten van het WKO + TEO systeem is vergeleken met een referentiesysteem (individuele gasketel). De terugverdientijden van het WKO + TEO systeem is meer dan 30 jaar ten opzichte van het referentiesysteem. De terugverdientijd is afhankelijk van meerdere factoren. Belangrijke parameters die het resultaat kunnen beïnvloeden zijn de energiekosten voor elektriciteit en gas, herinvesteringskosten, BAK en het leveren van koude of comfortkoeling in de woningen.

Hoewel het binnen de kaders van de huidige studie niet uitgebreid is onderzocht en gerapporteerd, lijkt een WKO + TEO systeem met een centrale warmtepomp en individuele boosterwarmtepompen financieel aantrekkelijker te zijn. Een eerste inschatting van de kosten levert een terugverdientijd van ~11 jaar op ervan uitgaande dat de BAK € 1.500.

5.4 AANBEVELINGEN

In deze paragraaf zijn een aantal aanbevelingen geschreven die belangrijk kunnen zijn om in overweging te nemen in een eventuele vervolgfase.

Ontwerp OVW systeem

Uit nadere analyse is gebleken dat er belangrijke aandachtspunten zijn bij het OVW systeem in de huidige business case. Bij gelijkwaardige aanvoerdebieten vanuit de singel ten opzichte van het onttrekkingsdebiet, kan het debiet van het oppervlaktewater tussen het onttrekkingspunt en lozingspunt stagneren. Een gevolg is dat er in dit gedeelte geen doorstroming plaatsvindt en geen koeling optreedt in dit traject. In het geval dat het aanvoerdebiet vanuit de singel laag wordt, zal er juist tegenstrooms water aangetrokken (vijver richting singel) worden. In dat geval zal de vijver minder gekoeld worden.

Uit een parallelle studie blijkt dat bij droog tot zeer droge perioden de verblijftijd van het water in de vijver kan oplopen tot 200 dagen (of eigenlijk zolang de droge periode aanhoudt, dat kan wel 45 dagen zijn). In een gemiddelde zomer is de verblijftijd al 43 dagen, terwijl uit een stoffenmodel blijkt dat bij een verblijftijd boven de 21 dagen reeds problemen met de waterkwaliteit verwacht mogen worden. Om bovenstaande te verbeteren (terugbrengen verblijftijd) zal het oppervlak met permanent (diep) oppervlaktewater in de vijver meer dan gehalveerd moeten worden en/of de circulatie verbeterd (bron: gemeente Harderwijk, persoonlijke communicatie, 10 januari, 2018).

Een oplossing van deze problematiek zou kunnen zijn om het onttrekkings- en lozingspunt om te draaien. Het onttrekkingspunt ligt dan in de vijver en het lozingspunt in de singel (zie Figuur 5.1). Hierdoor treedt circulatie in het oppervlaktewater op. Bij een singel van 1 m diep en 10 m breed dient het onttrekkings- en lozingspunt minimaal -500 m uit elkaar te liggen om geen thermische interferentie te krijgen. In dit geval is deze afstand ruimschoots voldoende.



Figuur 5.1 | Schetsontwerp oppervlaktewatersysteem voorgesteld door gemeente Harderwijk (bron: gemeente Harderwijk, persoonlijke communicatie, 10 januari, 2018).

Een voordeel van het systeem in Figuur 5.1 is dat de leiding van het TEO systeem korter wordt. Dit levert een kostenvoordeel op. Aan de andere kant kan de verplaatsing van het WKO systeem en de technische ruimte er juist voor zorgen dat het distributienet naar de woningen duurder wordt, doordat het minder centraal in het gebied ligt.

Verder kunnen maatschappelijke kosten en baten ook worden bekeken. De TEO leiding kan ook hoger (noordoostelijker) worden geplaatst, zodat de circulatie in de vijver wordt vergroot.

Temperatuur oppervlaktewater

De verwachting is dat de temperatuur aangenomen in Figuur 3.3 en het model conservatief is ingeschat en dus hoger zou kunnen zijn. In werkelijkheid zal de temperatuur van het oppervlaktewater fluctueren en geen sinusvormig gedrag vertonen zoals in Figuur 3.3. Echter de aanname van gemiddelde temperatuur over een seizoen zal in deze fase een goede indicatie geven van het benodigde systeem. Het vermoeden bestaat dat de temperatuur op zou kunnen lopen tot boven de 25 °C (bron: gemeente Harderwijk, persoonlijke communicatie, 10 januari, 2018).

Indien de temperatuur van het oppervlaktewater hoger zou zijn, komt dit zeer waarschijnlijk ten gunste van de business case voor TEO. Een hogere oppervlaktewatertemperatuur zorgt voor een hogere WKO opslag temperatuur. Daarnaast kan het zorgen voor een grotere ΔT en een verlaging van de maximale benodigde capaciteit. Het gevolg is lagere investerings- en exploitatiekosten.

Bijdrage aansluitkosten (BAK)

In de huidige business case is uitgegaan van een BAK van € 1.500 exclusief BTW. De BAK kan een belangrijke variabele zijn om de business case voor WKO + TEO haalbaarder te maken. Een BAK van € 5.000 levert een extra inkomsten bron van -€ 2.300.000 op. Dit zorgt ervoor dat de terugverdientijd lager uitvalt. In de gevoeligheidsanalyse is de invloed van de BAK duidelijk te zien.

Gevoeligheidsanalyse

Een gevoeligheidsanalyse geeft inzicht op de effecten en gevoeligheden van andere uitgangspunten. Hierbij kan gedacht worden aan e.g. prijsstijgingen voor elektriciteit en gas die effect hebben op de exploitatiekosten. Ook de hierboven gevoeligheden van temperatuur water en BAK kunnen worden onderworpen aan een gevoeligheidsanalyse.

Koudelevering/comfortkoeling

Het uitgangspunt in de huidige studie was dat er alleen warmte geleverd wordt aan de woningen. Ervan uitgaande dat het WH-scenario voor 2050 reëel is en de huidige eisen die gesteld worden aan woningen in verband met isolatie, kan koeling in woningen steeds wenselijker worden. Koeling heeft ook een direct effect op de business case. Het heeft effect op het totale systeem. De WKO kan gedeeltelijk geladen worden door een koppeling te maken met koeling, met als gevolg dat de capaciteit van het OVW systeem kleiner wordt. Daarnaast kan er een vastrecht voor koeling aan de klant gevraagd worden. De BAK kan veranderd worden omdat er extra comfort geleverd wordt aan huis. Indien een vergelijking met de referentie in het huidige rapport gemaakt zou worden, dan heeft dit een positief effect (in het voordeel van WKO + TEO) op de terugverdientijd. Dit komt mede doordat er dure individuele koelmachines benodigd zijn om een eerlijke vergelijking met de referentie te maken.

5.5 SPOORBOEKJE

In Figuur 5.2 zijn de afgeronde stappen en toekomstige stappen overzichtelijk weergegeven (STOWA, 2017). Na het definitief maken van de huidige business case bevindt het proces zich aan het einde van fase 1: verkenning. Zoals ook geschetst in het plan van aanpak (paragraaf 2.2) zou de vervolgstap op deze business case het creëren van draagvlak bij de stakeholders zijn om het project verder te brengen. De plannen voor de ontwikkeling van de wijk Harderweide zijn al in een gevorderd stadium, hierbij is het belangrijk om dit alternatief op korte termijn voor te leggen aan de ontwikkelaar en/of gemeente. Het betrekken van stakeholders in de verkenningfase kan er voor zorgen dat problemen snel kunnen worden doorgrond die een haalbare case in de weg staan. Ook is het belangrijk om gezamenlijk standpunten en belangen te verkennen en tot een gemeenschappelijk beeld te komen en een rolverdeling vast te stellen. In de verkenning is het ook raadzaam om een financiële vergelijking te maken met andere aardgasloze opties (all-electric).

Voor het vervolg (fase 2: verdieping) is het van belang dat de technische, financiële, juridische en organisatorische kaders in meer detail worden uitgewerkt en dat er afstemming plaatsvindt met de belanghebbenden. Hierbij is het raadzaam om van te voren voorwaarden voor het vervolg vast te leggen in een intentieovereenkomst tussen de belanghebbenden (waterschap, gemeenten en eventueel anderen) en daarmee fase 1 af te ronden. Tijdens de verdiepingfase zal moeten worden bepaald op welke wijze het project in de markt zal worden gezet. De ervaring uit eerdere TEO-projecten leert dat een bijeenkomst voor de presentatie van de eindresultaten van dit onderzoek ook efficiënt kan worden gebruikt om een gezamenlijk vervolg te formuleren.

Opbouw handreiking thermische energie uit oppervlaktewater				
Proces, stappen en tools				
	Fase 0. Omgevingscan	Fase 1. Verkenning	Fase 2. Verdieping	Fase 3. Uitwerking
<i>Technisch</i>	<ul style="list-style-type: none"> Karakteristieken bepalen ✓ Schatting potentie ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> Uitwerken grof technisch ontwerp ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> Uitwerken voorlopig technisch ontwerp 	<ul style="list-style-type: none"> Uitwerken definitief technisch ontwerp Aanbesteding voorbereiden
<i>Organisatorisch</i>	<ul style="list-style-type: none"> Identificeren stakeholders (potentiële partners en indirecte stakeholders) ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> Stakeholderanalyse ✓ Benaderen partijen Vaststellen rollen 	<ul style="list-style-type: none"> Rolinvulling uitwerken Warmte/koudeleveringsvoorwaarden uitwerken 	<ul style="list-style-type: none"> Onderlinge afspraken vastleggen in overeenkomsten
<i>Financieel</i>	<ul style="list-style-type: none"> 'achterkant van sigarendoosje' berekening financiële haalbaarheid ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> Scan financiële haalbaarheid ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> Uitwerking businesscase Investeringsbereidheid partners vastleggen Risico's uitwerken 	<ul style="list-style-type: none"> Definitieve businesscase per partner Uitwerken financieringsconstructie
<i>Juridisch</i>		<ul style="list-style-type: none"> Scan juridische voorwaarden (vergunningen, overeenkomsten, ...) ✓ Opstellen intentieovk 	<ul style="list-style-type: none"> Juridisch kader opstellen Opstellen samenwerkingsovk 	<ul style="list-style-type: none"> Overeenkomsten opstellen Vergunningen aanvragen
Resultaat fase	<ul style="list-style-type: none"> Lijst te benaderen potentiële partners Inzicht in type project en grove potentie 	<ul style="list-style-type: none"> Gezamenlijk inzicht in belangen / wensen Inschatting technische, juridische, financiële haalbaarheid Inzicht in meekoppelkansen 	<ul style="list-style-type: none"> Voorlopig ontwerp Rolinvulling Leveringsvoorwaarden Businesscase Juridisch kader 	<ul style="list-style-type: none"> Definitief ontwerp Overeenkomsten tussen deelnemende partijen Financieringsvoorstel Vergunningen
Vastgelegd in...		Intentieovereenkomst	Samenwerkingsovereenkomst	Investeringsbesluit

Figuur 5.2 | Opbouw handreiking thermische energie uit oppervlaktewater (bron: STOWA, 2017).

6 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-%202017%20september%202016.pdf>.

STOWA (2017). Thermische energie uit oppervlaktewater - Handreiking voor ontwikkeling TEO-projecten. Verkregen op 20 december, 2017 van <http://stowa.nl/upload/Publicaties%202017/STOWA%202017%2035%20WEB%20LR%202.pdf>.

7 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

Bijlage 1

Conceptbeschrijvingen

TEO/Smart polder

1.1 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>

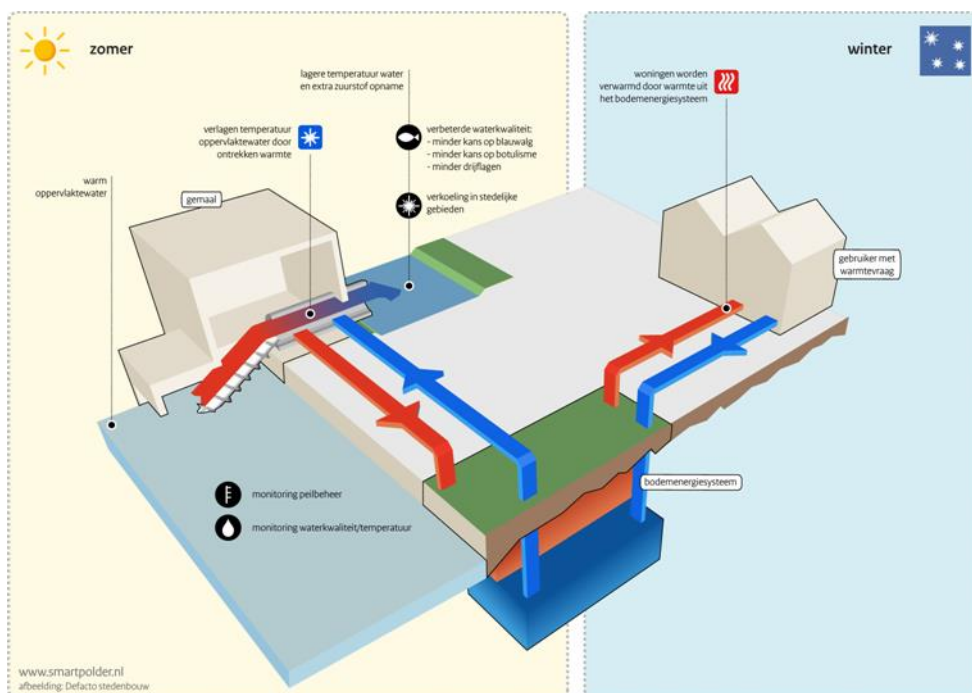
Daar waar energievraag en oppervlaktewater samenkomen is een economische rendabel project te maken. Op basis van de huidige energievraag is het economisch winbare potentieel 12% van de landelijke warmtevraag (42 PJ) en 54% van de landelijke koudevraag (3,8 PJ).

Het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden en Utrechtse gemeenten hebben deze landelijke verkenning uitgewerkt in een meer gedetailleerde regionale kanskaart (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.



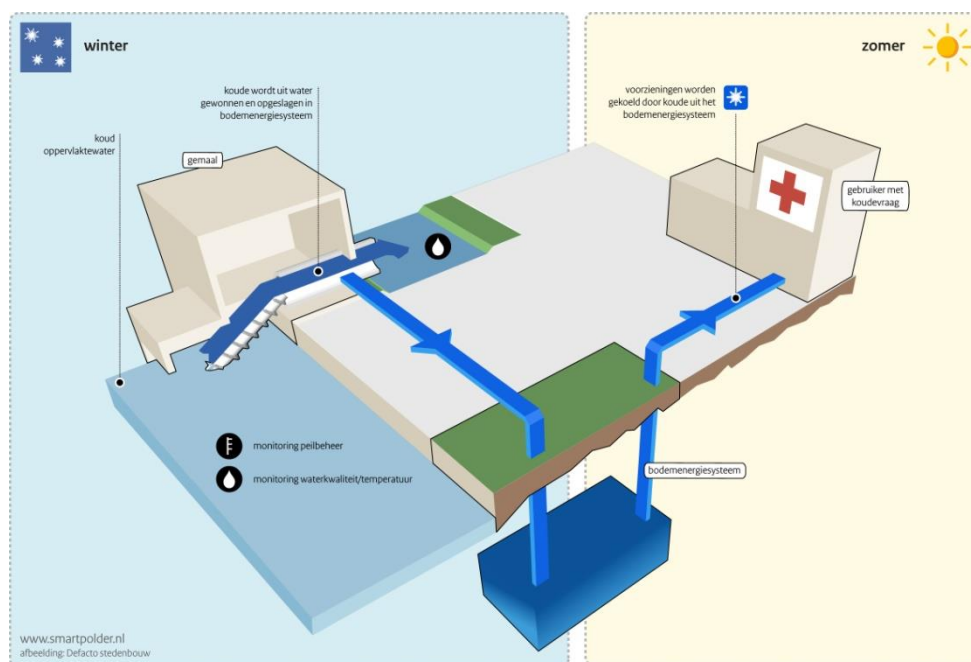
Figuur 7.1 | Gemaal als warmte centrale in combinatie met WKO.

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 7.2). 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 7.2 | Gemaal als koudecentrale in combinatie met WKO.

Inlaat en uitlaat bij onttrekkingspunt TEO systeem

In Figuur 7.3 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 7.4 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 7.3 | Inlaat van een TEO systeem. De inlaat is boven water geplaatst onder een steiger.

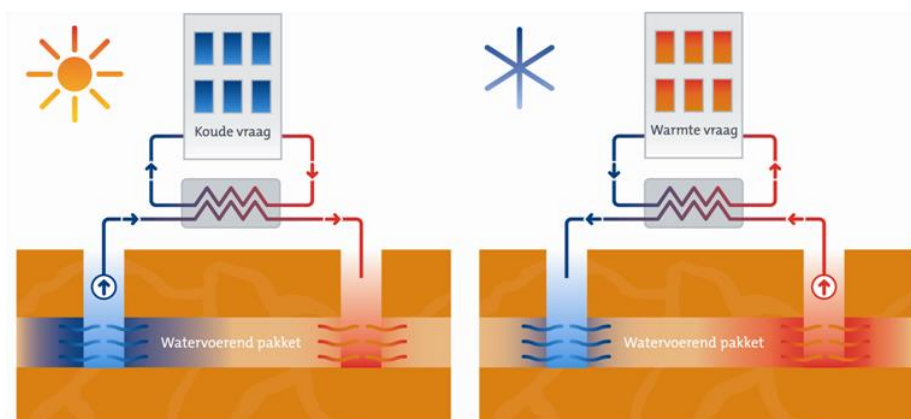


Figuur 7.4 | Inlaat van een TEO systeem. De inlaat is onder water geplaatst onder een steiger.

1.2 PRINCIPE WARMTE- EN KOUDE OPSLAG (WKO)

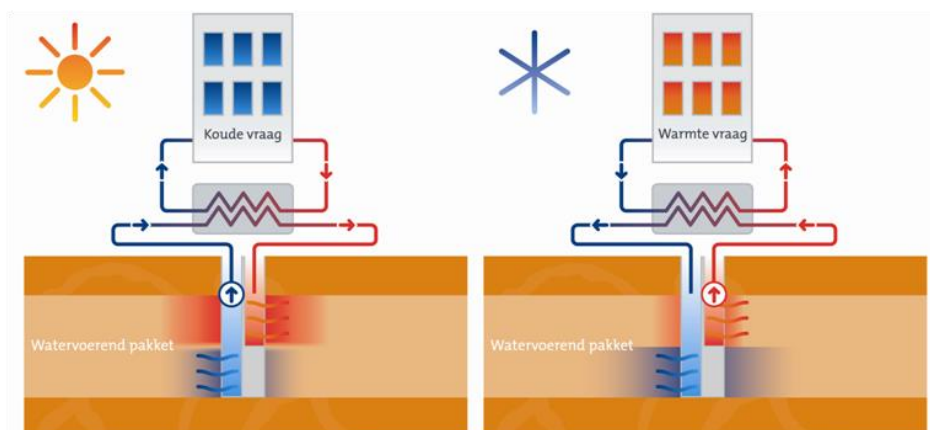
Het principe van een WKO met een open grondwatersysteem is dat in de winter het gebouw of proces wordt verwarmd met zomerwarmte en in de zomer wordt gekoeld met winterkoude. De warmte en koude worden door middel van open bronnen in een ondergrondse watervoerende laag opgeslagen en onttrokken.

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 7.5.



Figuur 7.5 | 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 7.6.



Figuur 7.6 | Principe van energieopslag met een monobron.

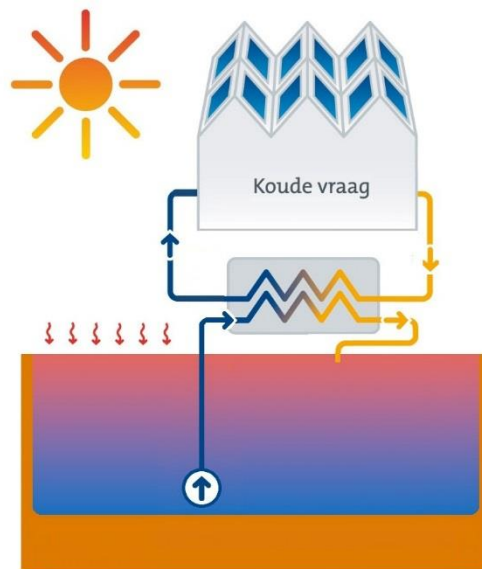
Een WKO dient in energiebalans te zijn, de hoeveelheid gewonnen koude dient doorgaans gelijk te zijn aan de gewonnen warmte. Indien er bij een afnemer een energieonbalans is (overwegende warmtevraag bij woningen en overwegende koudevraag bij datacenters en industrie) kan deze worden aangevuld met warmte of koude uit oppervlaktewater.

1.3 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 7.7 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 7.7 | 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-watergang gebeurt. Hierdoor wordt het relatief koude 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.

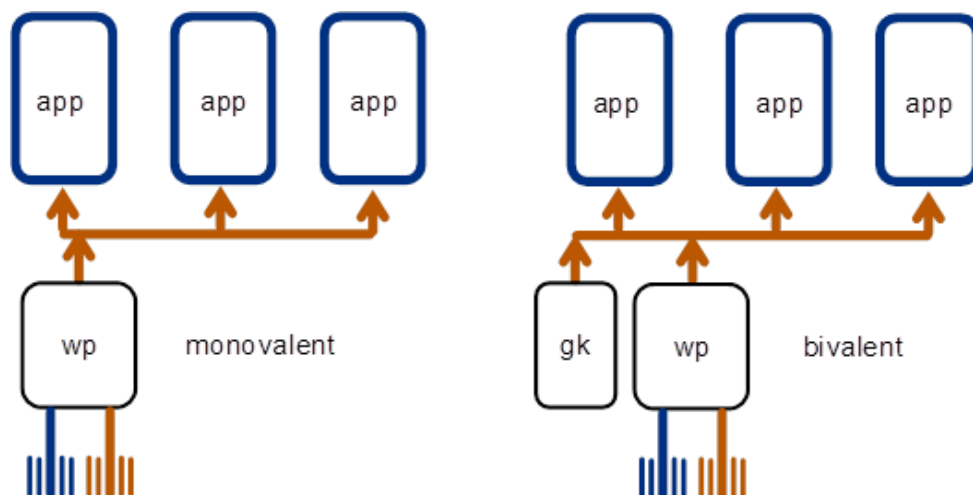
Gebouwinstallatie

Voor de gebouwsystemen kan gekozen worden voor monovalente of bivalente systemen. Beide systemen zijn schematisch weergegeven in Figuur 7.8. Een korte toelichting aan de hand van warmtelevering volgt hieronder:

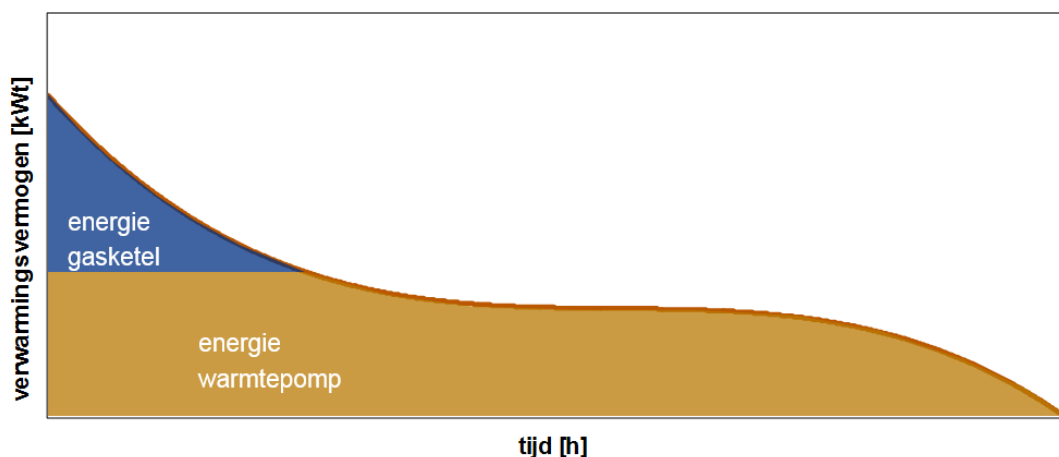
- Monovalent:** Appartementen (app) hebben een warmtevraag (ruimteverwarming en tapwaterbereiding). Bij een monovalent systeem wordt één omzetter gebruikt die alle warmte levert. In het voorbeeld (zie Figuur 7.8) is dit een warmtepomp (wp) in combinatie met energieopslagsysteem.
- Bivalent:** Bij een bivalent systeem wordt gebruik gemaakt van twee omzeters 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 7.9 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 7.8 | Monovalent vs. Bivalent systeem (schematisch)



Figuur 7.9 | Jaarbelastingduurcurve.

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.

IF Technology **Creating energy**



Velperweg 37
6824 BE Arnhem
Postbus 605
6800 AP Arnhem

T 026 35 35 555
E info@iftechnology.nl
I www.iftechnology.nl

NL60 RABO 0383 9420 47
KvK Arnhem 09065422
BTW nr. NL801045599B01

IF Technology **Creating energy**

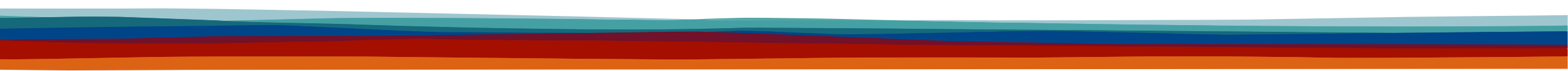
Thermische energie uit oppervlaktewater

Business case stadhuis Harderwijk





IF Technology **Creating energy**



Colofon

Datum	28 februari 2018
Referentie	67149/LH/20180228
Betreft	Thermische Energie uit Oppervlaktewater - Business case stadhuis Harderwijk
Behandeld door	Frank Niewold
Gecontroleerd door	Barry Scholten
Versienummer	Definitief

OPDRACHTGEVER

Gemeente Harderwijk
Contactpersoon: Dhr. Mahatma Geerdink
Postbus 149
3840 AC Harderwijk
T (0341) 411911

Agenda

Stadhuis Harderwijk

- 10:00 Presentatie resultaten stadhuis Harderwijk
- 10:30 Discussie en vragen
- 10.45 Planning en vervolg

Data inventarisatie

Data inventarisatie

Gebied

- stadhuis in Harderwijk



Figuur 1 | Stadhuis in Harderwijk bestudeerd in de huidige business case. Bron: Google Earth.

Data inventarisatie

Gebouwen

Stadhuis Harderwijk

- GBO: 8147 m²

Na renovatie:

- warmtevraag: 60 kWh/m²
- koudevraag: 25 kWh/m²

Bron: Gemeente Harderwijk, persoonlijke communicatie, 18 december 2017

Tabel 1 | Warmte- en koudevraag en opgesteld vermogen voor stadhuis Harderwijk.

Inkomsten WKO + TEO	Eenheid	Waarde
Warmtevraag	MWh	489
Koudevraag	MWh	204
Maximaal vermogen warmtelevering	kW _{th}	400
Opgesteld vermogen koudelevering	kW _{th}	520

Data inventarisatie

Stakeholderanalyse

- eigenaar gebouw
- waterschap Vallei en Veluwe
- Rijkswaterstaat
- provincie Gelderland
- gemeente Harderwijk

Data inventarisatie

Stelselconcept

1) Decentraal

- WKO + TEO systeem;
- distributieleiding naar gebouw;
- technische ruimte in gebouw.

2) Referentie

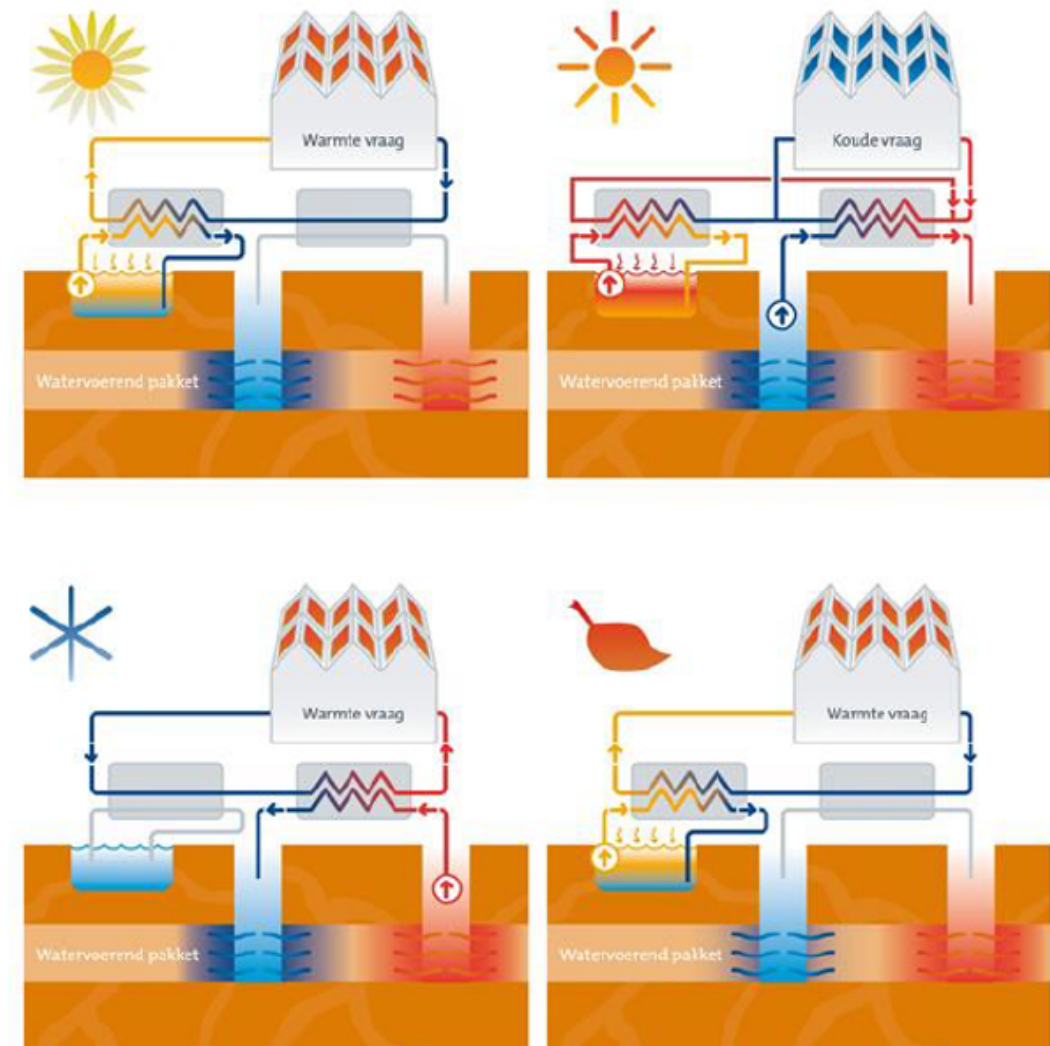
- decentrale gasketel en koelmachine.

Data inventarisatie

Stelselconcept

1) Decentraal

- WKO + TEO systeem;
- distributienet warmte en koude;
- centrale technische ruimte.
- TEO systeem wordt gebruikt voor regeneratie van de WKO. Dit is nodig doordat de warmtevraag > koudevraag.
- rendement hoger dan regeneratie met lucht
- minder hittestress door koeling oppervlaktewater



Figuur 2 | Inzet TEO voor de energievoorziening in de vier seizoenen. Met de klok mee: lente, zomer, herfst, winter.

Data inventarisatie

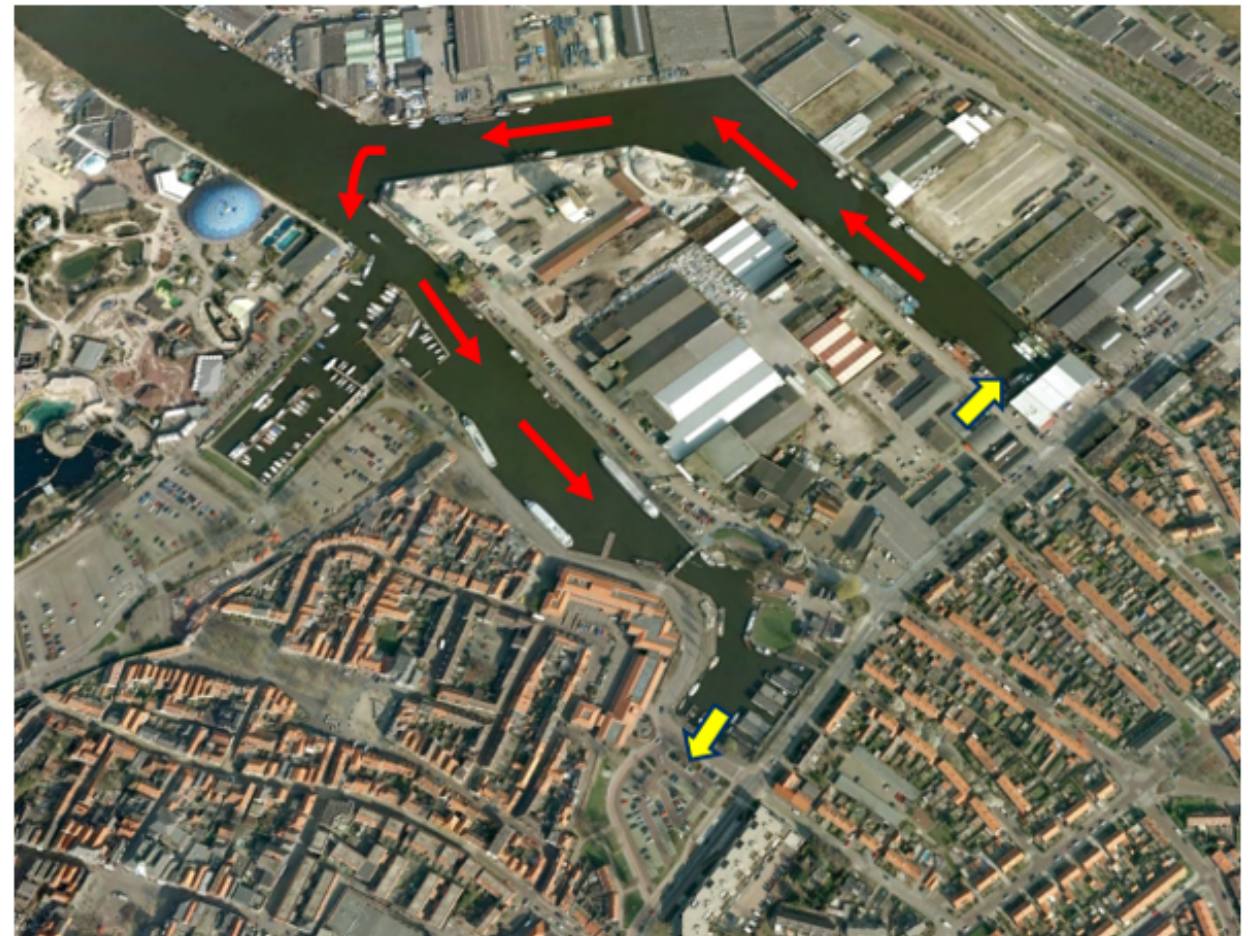
Oppervlaktewater

- Onttrekking Vissershaven
- Lozing Lelyhaven
- Aansluiting op leiding circulatiegemaal

Afmetingen oppervlaktewater		
Water	Vissershaven	Lelyhaven
Oppervlakte	1,5 ha	2,5 ha
Diepte	2,5 m	2,5 m
Stroming	Stilstaand	

Circulatiegemaal

Hz	50,7 Hz	50 Hz	37,5 Hz	25 Hz
Q	9,7 m ³ /min	9,6 m ³ /min	6,9 m ³ /min	4,3 m ³ /min
P*	4,1 Kw	4,04 Kw	3,06 Kw	2,29 Kw

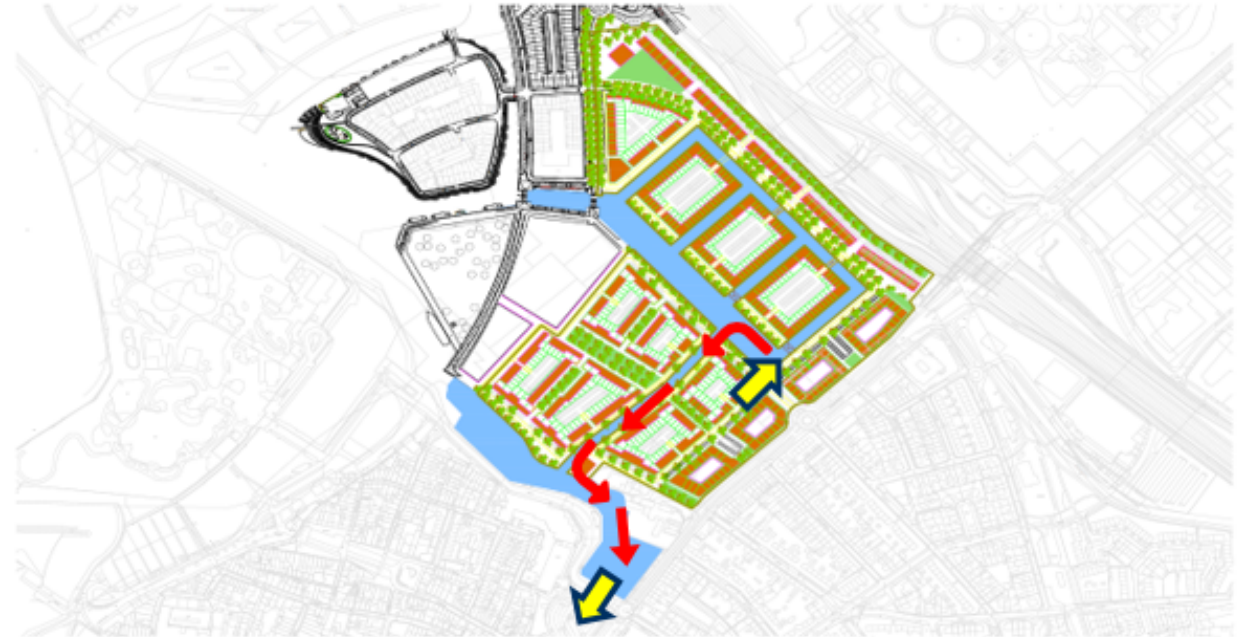


Figuur 3 | Plattegrond omgeving stadhuis, Vissershaven en Lelyhaven in Harderwijk (stromingsrichting oppervlaktewater rode pijlen).

Data inventarisatie

Oppervlaktewater

- Onttrekking Vissershaven
- Lozing Lelyhaven
- Aansluiting op leiding circulatiegemaal
- In het toekomstige plan is de afstand tussen onttrekkings- en lozingspunt kleiner. In de ontwerpfase dient daar rekening mee gehouden te worden. Echter met de huidige capaciteit van $\sim 10 \text{ m}^3/\text{h}$ worden geen problemen (thermische interferentie) voorzien.

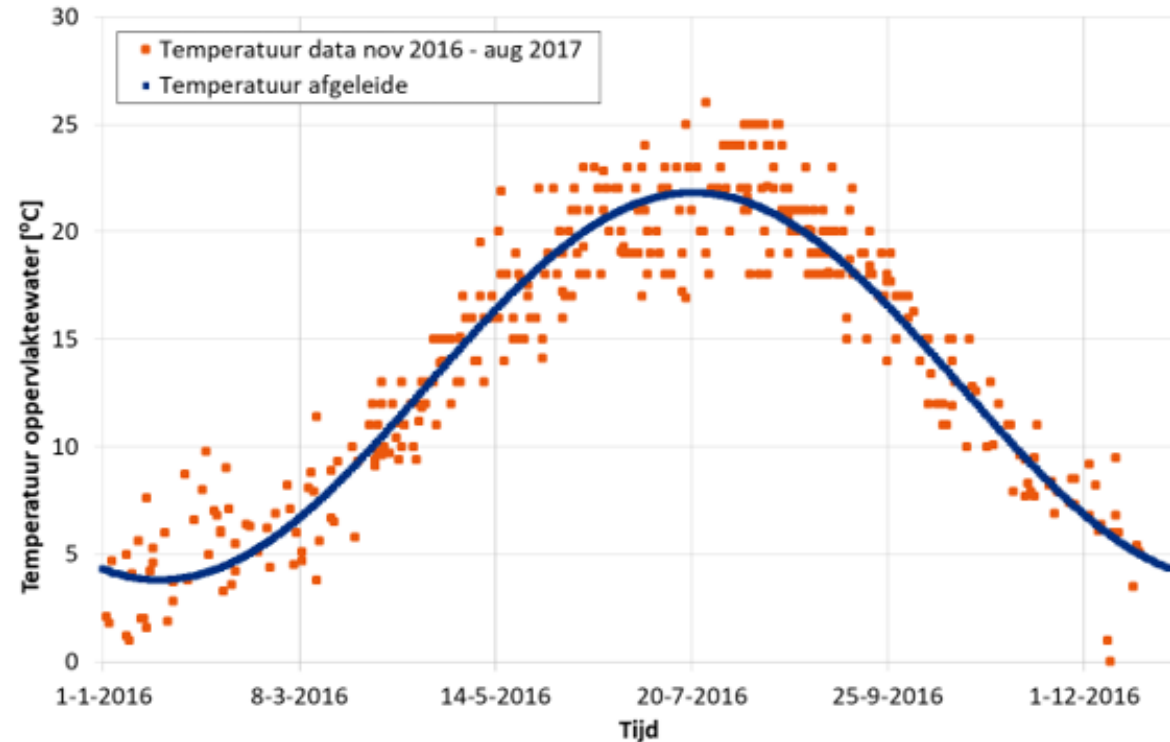


Figuur 4 | Plattegrond plan Waterfront fase 3 in de omgeving stadhuis, Vissershaven en Lelyhaven in Harderwijk (stromingsrichting oppervlaktewater rode pijlen) (bron: gemeente Harderwijk, persoonlijke communicatie, 2 februari 2018).

Data inventarisatie

Oppervlaktewater

- Temperatuur
 - Afgeleide gebaseerd op temperaturen Wolderwijd en Veluwemeer (~laatste 20 jaar)
 - Temperatuur in Vissershaven kan gemiddeld hoger zijn in de zomer en lager zijn in de winter. Voor nu is een conservatieve aanname gemaakt. Een hogere temperatuur in de zomer is positiever voor de business case.



Figuur 5 | Aanname temperatuur oppervlaktewater nabij TEO onttrekkingspunt van de Vissershaven in Harderwijk.
Temperatuur data nov 2016 - aug 2017 is verkregen van <http://live.waterbase.nl/>.

Data inventarisatie

Bodem

- Bodemopbouw
 - tweede watervoerende pakket
- Geohydrologie aandachtspunten
 - Grondwaterstroming
 - Archeologie
 - Verontreinigingen
- Concept
 - Debiet: 25 m³/h
 - Monobron
 - Max. boordiepte ~150 m

Tabel 2 | Bodemopbouw

diepte [m-mv]	lithologie	geohydrologie
0 - 70	matig tot zeer grof zand	1 ^e watervoerend pakket
70 - 80	klei en zand	1 ^e scheidende laag
80 - 210	grof zand	2 ^e watervoerend pakket
> 210	klei en fijn zand	hydrologische basis

Tabel 3 | Technisch en juridische aspecten bodemenergiesysteem

onderwerp		toelichting
bodemopbouw		
doorlaatvermogen	✓	geschikt
dikte pakket	✓	voldoende dik
grondwater		
grondwaterstand	✓	circa 1,1 m-mv
stijghoogte 2 ^e watervoerend pakket	✓	circa 1 m-mv
grondwaterstroming	⚠ 1	50 - 75 m/jaar in noordwestelijke richting
zoet-/brak-/zout-overgangen	✓	zoet-/brakgrensvlak en brak-/zoutgrensvlak >300 m-mv
gas	✓	geen afwijkende gasdruk
deeltjes	✓	geen verhoogd risico op deeltjes
redox	✓	geen redoxovergang in opslagpakket
temperatuur opslagpakket	✓	10 °C
vergunningbaarheid		
bodemenergieplan	✓	niet gelegen in bodemenergieplan of interferentiegebied
grondwatergebruikers	✓	geen grondwatergebruikers binnen 250 m van de locatie
zettingen	✓	noemenswaardige zetting wordt niet verwacht
grondwaterbescherming	✓	niet gelegen in een boringsvrije zone of nabij een waterwin gebied
natuurbelangen	✓	niet gelegen in of nabij beschermde natuur
archeologie	⚠ 2	gelegen in archeologisch waardevol gebied
aardkundig waardevol gebied	✓	niet gelegen in een aardkundig waardevol gebied
verontreinigingen	⚠ 3	enkele grondwaterverontreinigingen in de omgeving
waterkering	✓	niet gelegen in of nabij een waterkering
aanwezigheid spoor of begraafplaats	✓	geen spoor of begraafplaats aanwezig binnen circa 250 m

✓ geschikt, geen belemmering of aandachtspunt

⚠ aandachtspunt of risico

✗ hoog risico of belemmering

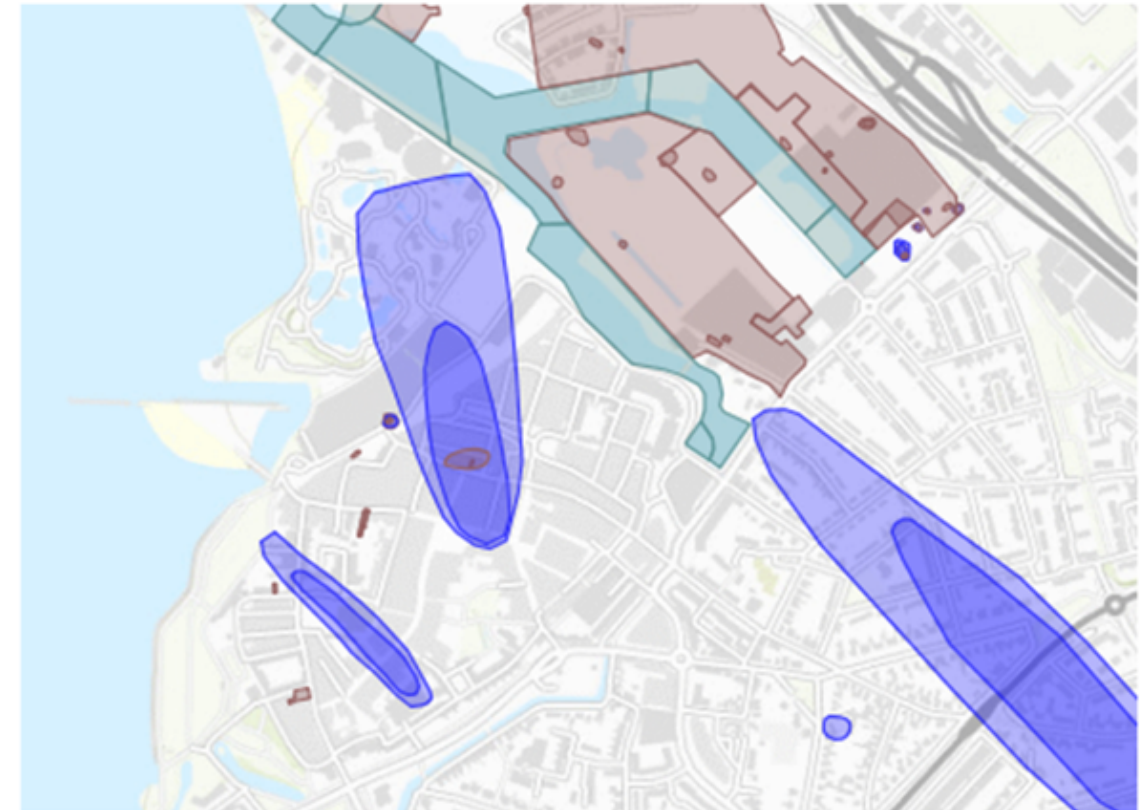
Data inventarisatie

Bodem

- bodemopbouw
 - tweede watervoerende pakket
- geohydrologie aandachtspunten
 - grondwaterstroming
 - 50-75 m/jaar noordwest
 - archeologie
 - attentiezone rond de binnenstad
 - verontreinigingen
 - mobiele grondwaterverontreinigingen
 - aard en diepte niet bekend
 - verwachting niet in 2e watervoerende pakket

Tabel 2 | Bodemopbouw

diepte [m-mv]	lithologie	geohydrologie
0 - 70	matig tot zeer grof zand	1 ^e watervoerend pakket
70 - 80	klei en zand	1 ^e scheidende laag
80 - 210	grof zand	2 ^e watervoerend pakket
> 210	klei en fijn zand	hydrologische basis



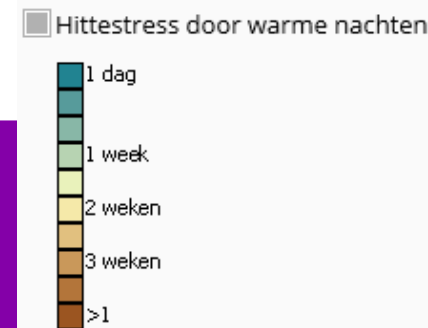
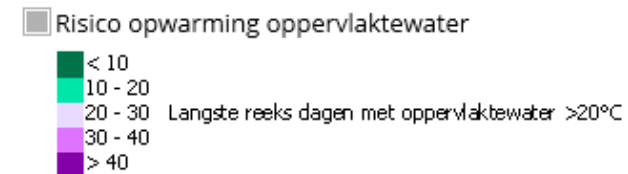
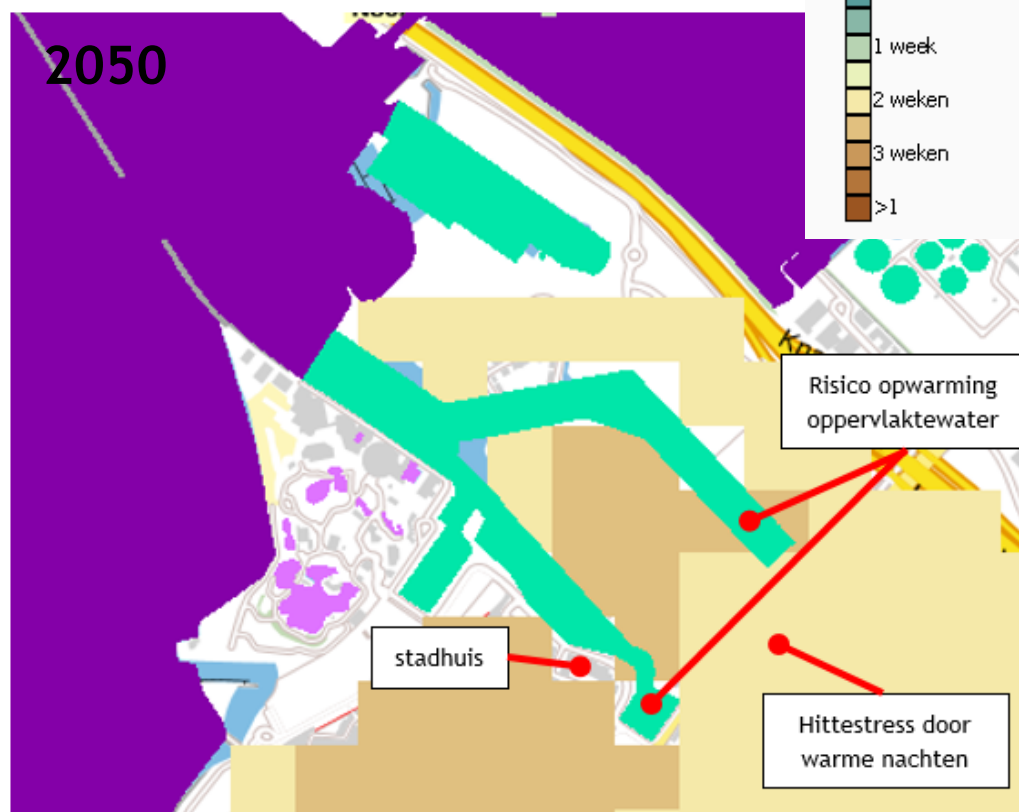
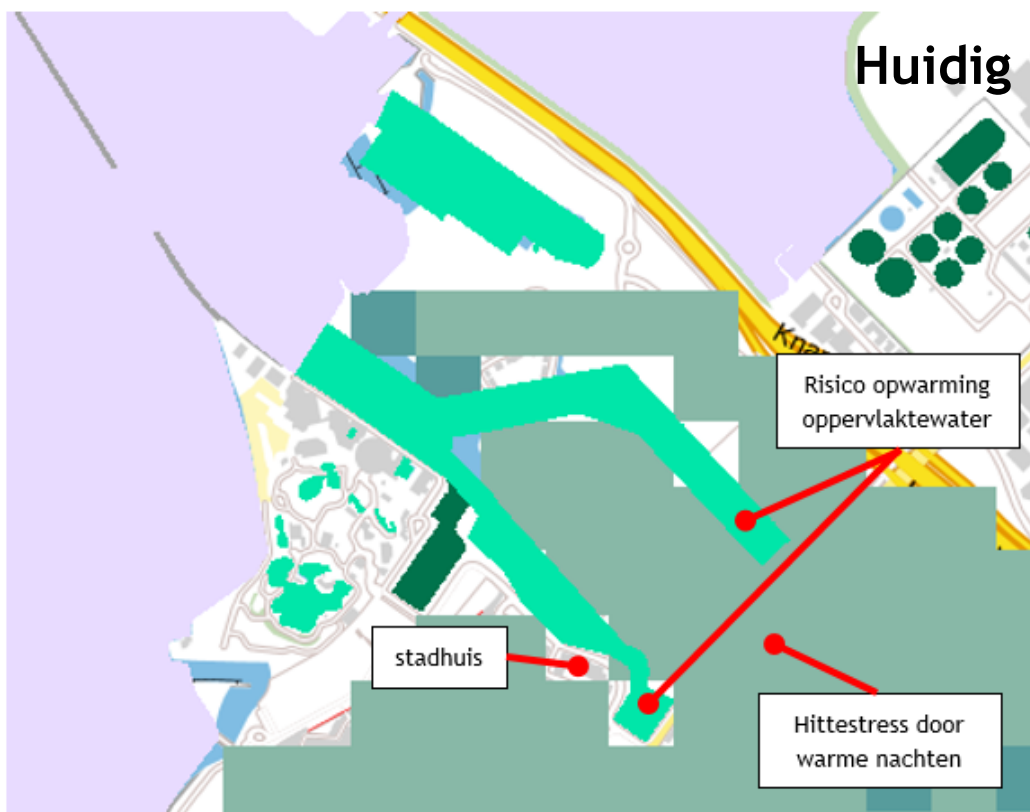
Verontreinigingen
■ Geen contoursoort
■ grond
■ grondwater
■ waterbodem

Figuur 6 | Grondwaterverontreinigingen in de omgeving van het stadhuis in Harderwijk

Data inventarisatie

Klimaatadaptatie

Risico opwarming oppervlaktewater en hittestress



Figuur 7 | Hittekaart van de huidige situatie van het gebied rondom Harderweide met risico opwarming oppervlaktewater en hittestress door warme nachten. De klimaatverandering is gebaseerd op het WH-scenario voor 2050. Het wordt verwacht dat risico opwarming oppervlaktewater en hittestress door warme nachten ook gaat gelden voor Harderweide nadat het gebied is bebouwd. Bron: Klimateffectatlas. Verkregen op 11 december, 2017 van <http://www.klimateffectatlas.nl>.

Figuur 8 | Hittekaart van de situatie in 2050 van het gebied rondom Harderweide met risico opwarming oppervlaktewater en hittestress door warme nachten. De klimaatverandering is gebaseerd op het WH-scenario voor 2050. Het wordt verwacht dat risico opwarming oppervlaktewater en hittestress door warme nachten ook gaat gelden voor Harderweide nadat het gebied is bebouwd. Bron: Klimateffectatlas. Verkregen op 11 december, 2017 van <http://www.klimateffectatlas.nl>.

Data inventarisatie

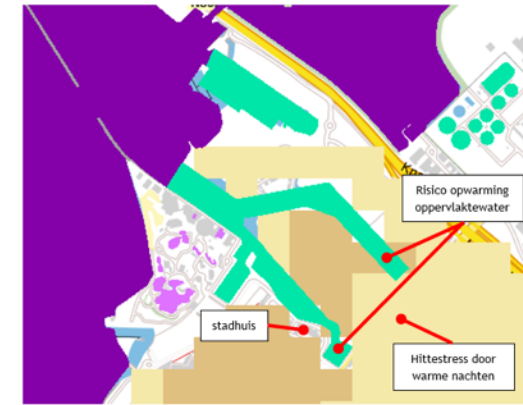
Klimaatadaptatie

Risico opwarming oppervlaktewater en hittestress

Regeneratie met oppervlaktewater kan bijdragen aan vermindering van risico opwarming oppervlaktewater en van het hitte-eiland effect in stedelijke omgeving. Hittestress wordt onder andere veroorzaakt door buurten met veel verharding waardoor er minder verdamping door planten en bomen is, en het warmer kan worden. Door de aanwezigheid van gebouwen koelt het 's nachts ook minder snel af.

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 kan het aanbieden van duurzame koeling met grondwater voor een directe warmte emissiereductie zorgen ten opzichte van traditionele koelers (compressiekoelmachine), waarmee extra hittestress wordt voorkomen, doordat de warmte niet wordt afgegeven aan de omgeving. Bijkomend positief effect bij TEO is dat koeling passief plaatsvindt, waardoor energiekosten voor koeling lager uitvallen dan bij actieve koeling met een koelmachine.



Figuur 8 | Hittekaart van de situatie in 2050 van het gebied rondom Harderwilde met risico opwarming oppervlaktewater en hittestress door warme nachten. De klimaatverandering is gebaseerd op het WII-scenario voor 2050. Het wordt verwacht dat risico opwarming oppervlaktewater en hittestress door warme nachten ook gaat gelden voor Harderwilde nadat het gebied is bebouwd. Bron: KlimaatEffectAtlas. Verkregen op 11 december, 2017 van <http://www.klimaatEffectAtlas.nl>.



Data inventarisatie

Omgevingsbelangen

- vergunning voor onttrekken en retourneren van grondwater;
- vergunning voor onttrekken en lozen van oppervlaktewater.

Business case

Business case

Methode

- warmte- en koudevraag geschaald op bestaand energieprofiel;
- model met koppeling tussen
 - oppervlaktewatertemperatuur;
 - WKO;
 - buitenluchttemperatuur;
 - warmte- en koudevraag;
 - warmte- en koudevermogen.
- oplossen energiebalans in WKO.

Business case

Energetisch concept

- Input en output parameters

Tabel 4 | Input en output parameters van het energetische concept voor Stadhuis Harderwijk.

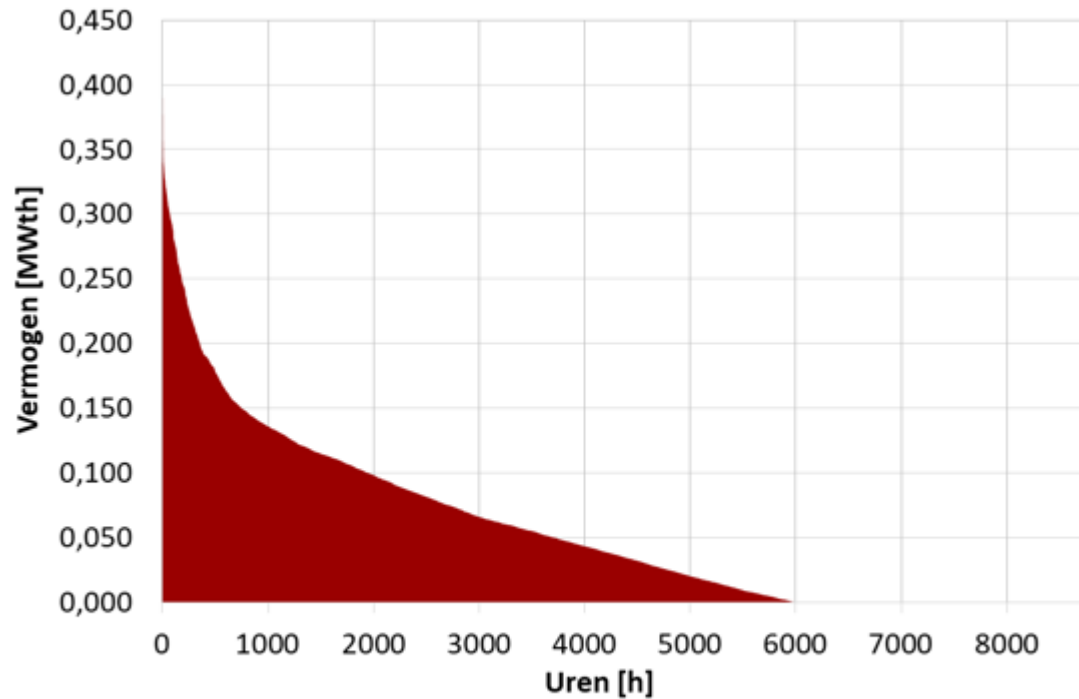
Input parameters	Eenheid	Waarde
Minimale uitkoeling oppervlaktewater	°C	3,0
Maximale uitkoeling oppervlaktewater	°C	6,0
Minimale lozingstemperatuur	°C	14,0
Minimale onttrekkingstemperatuur	°C	17,0
Infiltratietemperatuur koude	°C	7,0
Aanvoer temperatuur gebouwszijdig	°C	70,0
Output parameters	Eenheid	Waarde
Maximale COP	-	3,7
Seasonal Performance Factor (SPF)	-	3,3
Maximaal debiet oppervlaktewater	m ³ /h	10
Maximaal debiet WKO ¹	m ³ /h	25 - 32
Gemiddelde infiltratietemperatuur warmte	°C	18,5

¹ De spreiding wordt veroorzaakt door een systeem zonder afstroomverliezen (25 m³/h) en een systeem met maximale afstroomverliezen oftewel worst case (32 m³/h).

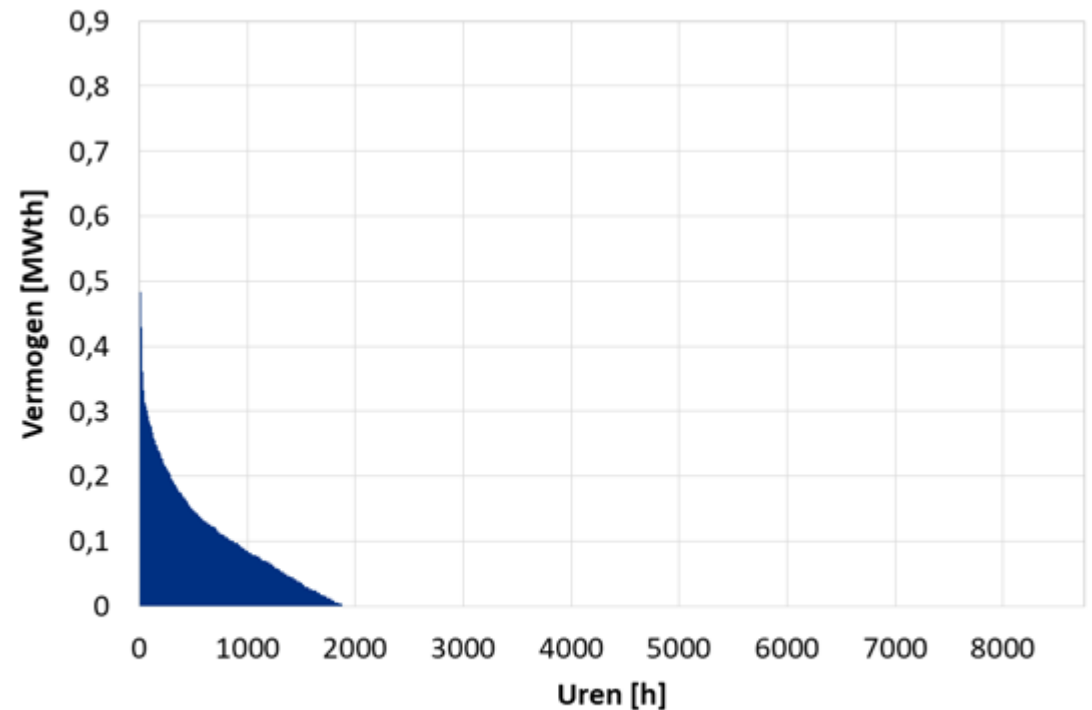
Business case

Energetisch concept

- Jaarbelastingduurcurve warmte- en koudevraag



Figuur 9 | Jaarbelastingduurcurve verwachte warmtevraag voor stadhuis Harderwijk.



Figuur 10 | Jaarbelastingduurcurve verwachte koudevraag voor stadhuis Harderwijk.

Business case

Schetsontwerp (concept)

- in- en uitlaat oppervlaktewatersysteem;
- WKO monobron;
- technische ruimte;
- distributieleidingen warmte en koude;
- WKO distributieleiding;
- TEO distributieleiding.



Figuur 11 | Schetsontwerp WKO + TEO systeem voor het stadhuis in Harderwijk met het 2 pijps-distributienet (blauwe leidingen). WKO zoekgebied monobron (rood), TEO systeem (geel), technische ruimte (zwart, niet op ware grootte). Het leidingwerk en locatie TEO en WKO systeem zijn indicatief om een inschatting van de totale lengte en kosten te kunnen doen.

Business case

Financiële analyse

- Uitgangspunten
 - Tarieven gas en elektriciteit zijn gebaseerd op de huidige tarieven voor het stadhuis in Harderwijk (bron: gemeente Harderwijk, persoonlijke communicatie, 8 februari 2018). Eventuele toekomstige tariefwijzigingen anders dan de indexering van 1,8% zijn niet meegenomen in de business case.

Tabel 5 | Uitgangspunten financiële analyse.

Parameter	Eenheid	Waarde
CAPEX		
Indexering investeringskosten	%	1,8
Project looptijd	jaar	30
Herinvestering gasketel	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	-	Liander
Tarief elektriciteit	€/kWh	0,081
Tarief gas	€/m ³	0,47

Business case

Financiële analyse

- Investeringskosten
 - De spreiding in de investeringskosten wordt veroorzaakt door een systeem zonder afstroomverliezen (minimale kosten) en een systeem met maximale afstroomverliezen.
 - In de huidige business case is geen rekening gehouden met de bestaande CV ketel en koelmachines. Tijdens de renovatie in 2017 is de koelmachine vervangen. In een verdiepende analyse zal rekening gehouden moeten worden met de eventuele afschrijving en restwaarde van de bestaande systemen.

Tabel 6 | Investeringskosten realisatie WKO + TEO. De spreiding wordt veroorzaakt door een systeem zonder afstroomverliezen (minimale kosten) en een systeem met maximale afstroomverliezen oftewel worst case (maximale kosten).

Investeringskosten WKO + TEO	Eenheid	Kosten
Bodemenergie voorzieningen	€	112.000 - 130.000
Oppervlaktewater voorzieningen	€	94.000
Distributie voorzieningen	€	35.000
Warmtepomp	€	112.000
Afgifteset	€	5.000
Ontwerp, advies en vergunningen (10%)	€	36.000 -38.000
Onvoorzien (20%)	€	72.000 - 76000
Totaal	€	466.000 - 491.000

Tabel 7 | Investeringskosten realisatie referentiesysteem: decentrale gasketel.

Investeringskosten referentiesysteem	Eenheid	Kosten
Gasketel	€	40.000
Ontwerp, advies en vergunningen (10%)	€	18.000
Onvoorzien (20%)	€	35.000
Koelmachine	€	136.000
Totaal	€	229.000

Business case

Financiële analyse

- Eenmalige inkomsten
 - stadhuis Harderwijk komt niet in aanmerking voor EIA, BAK of ISDE.

Tabel 8 | Eenmalige inkomsten realisatie WKO + TEO.

Inkomsten WKO + TEO	Eenheid	Waarde
Energie-investeringsaftrek (EIA) 13,5%	€	-
Bijdrage aansluitkosten (BAK)	€	-
Investeringssubsidie duurzame energie (ISDE)	€	-
Totaal	€	-

Business case

Financiële analyse

- Jaarlijkse exploitatiekosten

Tabel 9 | Jaarlijkse exploitatiekosten WKO + TEO.

Exploitatiekosten WKO + TEO	Eenheid	Kosten
Inkoop		
Elektriciteit (vast en variabel)	€/jaar	21.000
Onderhoud en beheer		
Opwekking (WKO en TEO)	€/jaar	4.000 - 4.500
Distributienet	€/jaar	500
Warmtepompen	€/jaar	3.000
Afgifteset	€/jaar	500
Totaal	€/jaar	29.000 - 30.000

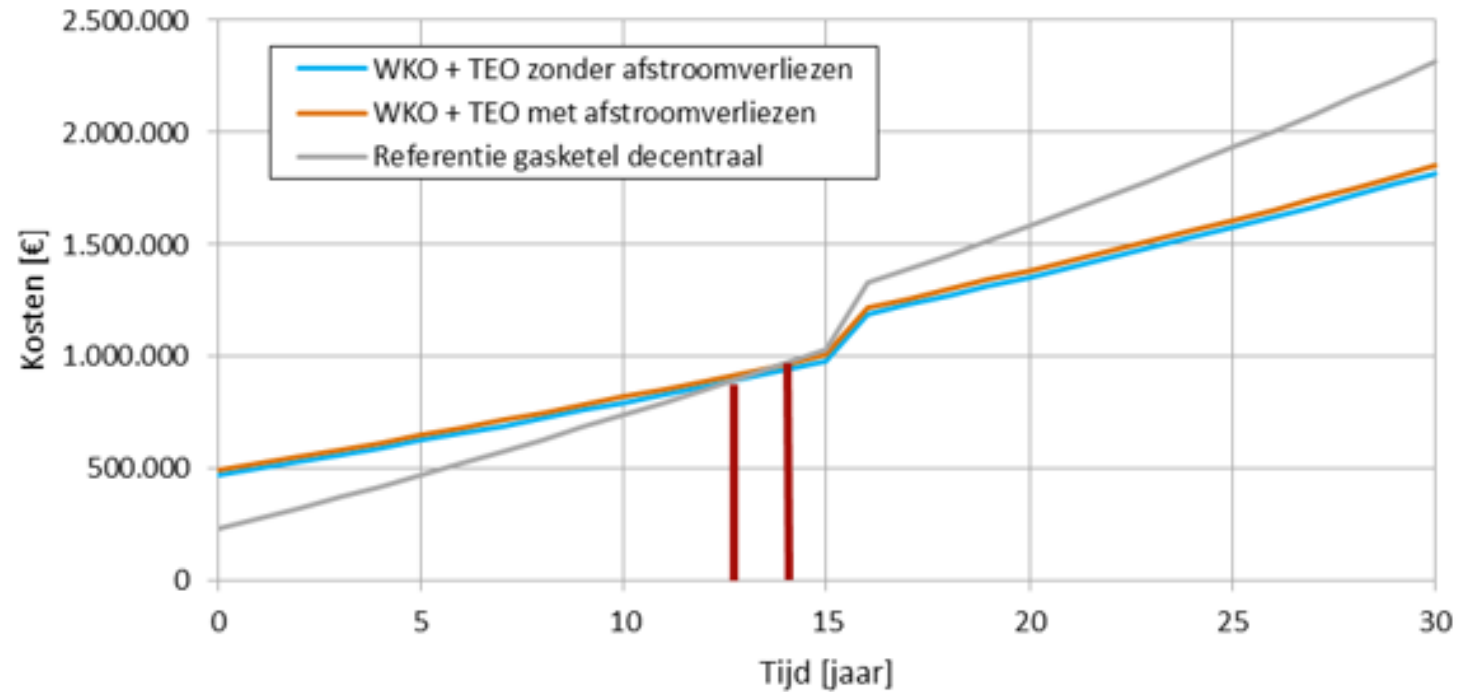
Tabel 10 | Jaarlijkse exploitatiekosten referentiesysteem: decentrale gasketel.

Exploitatiekosten referentiesysteem	Eenheid	Kosten
Inkoop		
Elektriciteit (vast en variabel)	€/jaar	13.000
Gas (vast en variabel)	€/jaar	28.000
Onderhoud en beheer		
Gasketel	€/jaar	2.000
Compressiekoelmachine	€/jaar	4.000
Totaal	€/jaar	46.000

Business case

Financiële analyse

- Kosten-baten analyse
 - Terugverdientijd WKO + TEO
 - ~13-14 jaar



Figuur 12 | Kosten-batenanalyse van het WKO + TEO systeem zonder afstroomverliezen (blauw), WKO + TEO systeem met afstroomverliezen (oranje) en het referentiesysteem (grijs).

Business case

Duurzaamheid

- 121 ton/jaar CO₂ emissie reductie
- 39% primaire energiebesparing
- minder hittestress omgeving door koudelozing op oppervlaktewater in zomer

Tabel 11 | Prestatiefactoren WKO + TEO systeem en referentiesysteem (decentrale gasketels).

Prestatiefactor	WKO + TEO (groen)	WKO + TEO (grijs)	referentie
Equivalent opwekkingsrendement (EOR)	1,85	1,85	1,07
Warmte emissie (hittestress) [GJ _{th}]	0	0	1.500*
CO ₂ emissie [ton _{CO2} /jaar]	0	81	121
NO _x emissie [kg/jaar]	0	28	119
SO ₂ emissie [kg/jaar]	0	80	23

*Dit is gelijk aan de warmte onttrekking aan oppervlaktewater in het warme seizoen en de warmte afgifte aan de omgeving door de koelmachine.

Tabel 12 | Energieverbruik van WKO + TEO systeem en referentiesysteem.

Energieverbruik	WKO + TEO	Referentie
Elektriciteit		
Warmtepomp [GJ _e]	540	-
Bronpomp [GJ _e]	60	-
Oppervlaktewaterpomp [GJ _e]	10	-
Distributiepomp [GJ _e]	60	-
Koelmachine	-	180
Gas		
Gasketel	-	2.000
Totaal systeem [GJ _e]	670	2.180

Conclusies en aanbevelingen

Conclusies

- Technisch:
 - Op de onderzochte locatie is WKO + TEO technisch en energetisch haalbaar om het stadhuis van warmte en koude te voorzien.
 - Aandachtspunt in de bodem zijn de grondwaterstroming en archeologisch gebied.
 - En de grondwaterverontreinigingen.
 - Het circulatiegemaal is vooralsnog niet geschikt om oppervlaktewater te onttrekken, omdat de minimale capaciteit veel groter is dan de benodigde capaciteit van het TEO systeem.
- Financieel:
 - de terugverdientijd is ongeveer ~13-14 jaar
 - t.o.v. een conventioneel systeem (gasketel en koelmachine).
- Maatschappelijk:
 - WKO + TEO is significant duurzamer dan het referentiesysteem.
 - De primaire energiehoeveelheid kan met ~39% verlaagd worden.
 - De CO₂ uitstoot van WKO + TEO is significant lager (121 ton/jaar) dan de referentie als de elektriciteitsopwekking volledig groen is.
 - Warmte emissie is 1.500 GJ_{th} lager.

Aanbevelingen

- Technisch:
 - In een eerdere fase van de studie is er sprake geweest dat er meerdere gebouwen zijn die kunnen worden aangesloten op een WKO + TEO systeem. Bijv. appartementencomplex Havenstaete. Een omvangrijker collectief systeem kan een positief effect op de business case hebben.
- Financieel:
 - De terugverdientijd is erg afhankelijk van de energietarieven. Indien gasprijzen gaan stijgen (realistisch scenario) komt dit ten gunste van de terugverdientijd van WKO + TEO.
 - In de huidige business case is geen rekening gehouden met de bestaande CV ketel en koelmachines. Tijdens de renovatie in 2017 is de koelmachine vervangen. In een verdiepende analyse zal rekening gehouden moet worden met de eventuele afschrijving en restwaarde van de bestaande systemen.
 - Het WKO + TEO systeem levert voornamelijk warmte en wordt gebruikt ter vervanging van de CV ketel. Het WKO + TEO systeem kan functioneren naast de koelmachine. Op het moment dat de koelmachine is afgeschreven, kan WKO + TEO systeem de koudelevering overnemen, sinds er altijd een koudeopslag in het WKO systeem aanwezig is.

Agenda

Stadhuis Harderwijk

- 10:00 Presentatie resultaten stadhuis Harderwijk
- 10:30 Discussie en vragen
- 10.45 Planning en vervolg

Agenda

Stadhuis Harderwijk

- 10:00 Presentatie resultaten stadhuis Harderwijk
- 10:30 Discussie en vragen
- 10.45 Planning en vervolg

Planning en vervolg

Planning

- Afhankelijk van vervolg.

Vervolg

- Rapportage (rapport en/of factsheet)?
- Betrekken andere gebouwen?
- Gevoeligheidsanalyse?

Planning en vervolg

Opbouw handreiking thermische energie uit oppervlaktewater

Proces, stappen en tools

	Fase 0. Omgevingscan	Fase 1. Verkenning	Fase 2. Verdieping	Fase 3. Uitwerking
<i>Technisch</i>	<ul style="list-style-type: none"> Karakteristieken bepalen ✓ Schatting potentie ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> Uitwerken grof technisch ontwerp ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> Uitwerken voorlopig technisch ontwerp 	<ul style="list-style-type: none"> Uitwerken definitief technisch ontwerp Aanbesteding voorbereiden
<i>Organisatorisch</i>	<ul style="list-style-type: none"> Identificeren stakeholders (potentiële partners en indirecte stakeholders) ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> Stakeholderanalyse ✓ Benaderen partijen Vaststellen rollen 	<ul style="list-style-type: none"> Rolinvulling uitwerken Warmte/koudeleveringsvoorwaarden uitwerken 	<ul style="list-style-type: none"> Onderlinge afspraken vastleggen in overeenkomsten
<i>Financieel</i>	<ul style="list-style-type: none"> 'achterkant van sigarendoosje' berekening financiële haalbaarheid ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> Scan financiële haalbaarheid ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> Uitwerking businesscase Investeringsbereidheid partners vastleggen Risico's uitwerken 	<ul style="list-style-type: none"> Definitieve businesscase per partner Uitwerken financieringsconstructie
<i>Juridisch</i>		<ul style="list-style-type: none"> Scan juridische voorwaarden (vergunningen, overeenkomsten, ...) ✓ Opstellen intentieovk 	<ul style="list-style-type: none"> Juridisch kader opstellen Opstellen samenwerkingsovk 	<ul style="list-style-type: none"> Overeenkomsten opstellen Vergunningen aanvragen
Resultaat fase	<ul style="list-style-type: none"> Lijst te benaderen potentiële partners Inzicht in type project en grove potentie 	<ul style="list-style-type: none"> Gezamenlijk inzicht in belangen / wensen Inschatting technische, juridische, financiële haalbaarheid Inzicht in meekoppelkansen 	<ul style="list-style-type: none"> Voorlopig ontwerp Rolinvulling Leveringsvoorwaarden Businesscase Juridisch kader 	<ul style="list-style-type: none"> Definitief ontwerp Overeenkomsten tussen deelnemende partijen Financieringsvoorstel Vergunningen
Vastgelegd in...		Intentieovereenkomst	Samenwerkingsovereenkomst	Investeringsbesluit



IF Technology **Creating energy**

Thermische Energie uit Oppervlaktewater

Business case “nieuwbouwproject Zelling Onderneming” in Nieuwerkerk aan den IJssel





Datum 26 maart 2018

Referentie 67149/LH/20180326

Betreft Thermische Energie uit Oppervlaktewater - Business case “nieuwbouwproject Zelling Onderneming” in Nieuwerkerk aan den IJssel

Behandeld door de heer F. Niewold

Gecontroleerd door de heer B. Scholten en de heer R. Dirx

Versienummer Definitief 1

OPDRACHTGEVER

Unie van Waterschappen

de heer R. Romijn

Postbus 93218

2509 AE Den Haag

T 070 - 456 1571

rromijn@uvw.nl

INHOUDSOPGAVE

1 Samenvatting	5
2 Inleiding	8
2.1 Algemeen	8
2.1.1 Achtergrond	8
2.1.2 Uitrol strategie TEO	8
2.1.3 Casus: Zelling Onderneming	9
2.2 Plan van Aanpak	9
2.2.1 Selecteren van kansrijke locaties	9
2.2.2 Inventarisatie gebiedskenmerken en belanghebbenden	9
2.2.3 Verkenning business case	10
2.2.4 Verdiepingsfase	10
2.2.5 Projectrealisatie en exploitatie	10
2.3 Doelstellingen casussen	10
2.3.1 Algemene doelstellingen	10
2.3.2 Doelstellingen casus: Zelling Onderneming in Nieuwerkerk aan den IJssel	10
2.4 Leeswijzer	11
3 Inventarisatie	12
3.1 Stakeholderanalyse	12
3.2 Kenmerken Gebied en gebouwen	12
3.3 Kenmerken watersysteem	15
3.4 Kenmerken bodem	17
3.4.1 Bodemopbouw	17
3.4.2 Geohydrologie	17
3.4.3 Concept	19
3.5 Klimaatadaptie	20
3.6 Omgevingsbelangen	22
3.6.1 Juridische belangen	22
4 Business case	23
4.1 Energieconcepten	23
4.2 Schetsontwerp	28
4.3 Impact leefomgeving	29
4.4 Financiële analyse	30
4.5 Duurzaamheid	34
5 Conclusies en aanbevelingen	37
5.1 Technische en energetische haalbaarheid	37
5.2 Ruimtelijke inpassing	37
5.3 Financiële haalbaarheid	38
5.4 Aanbevelingen	39
5.5 Spoorboekje	41
6 Referenties	43
7 Afkortingen	44
Bijlage 1 Conceptbeschrijvingen TEO/Smart polder	45
1.1 PRINCIPE SMART POLDER - TEO	45
1.2 Principe Warmte- en Koude Opslag (WKO)	49

1.3 Koude uit diepe plassen	50
Bijlage 2 Energieconceptvorming gebouwinstallatie	52

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 koudeopslag (WKO). De business case is toegepast op het nieuwbouwproject Zelling Onderneming in Nieuwerkerk aan den IJssel. In Figuur 1.1 is het projectgebied te zien. Zelling Onderneming wordt gekenmerkt door nieuwbouw. De woningen bestaan uit een mix van 40 grondgebonden woningen en 21 appartementen. De inschatting van de warmtevraag is $\sim 230 \text{ MWh}_{\text{th}}$ ($\sim 840 \text{ GJ}_{\text{th}}$) per jaar. De koudevraag is ingeschat op $\sim 50 \text{ MWh}_{\text{th}}$ ($\sim 170 \text{ GJ}_{\text{th}}$).

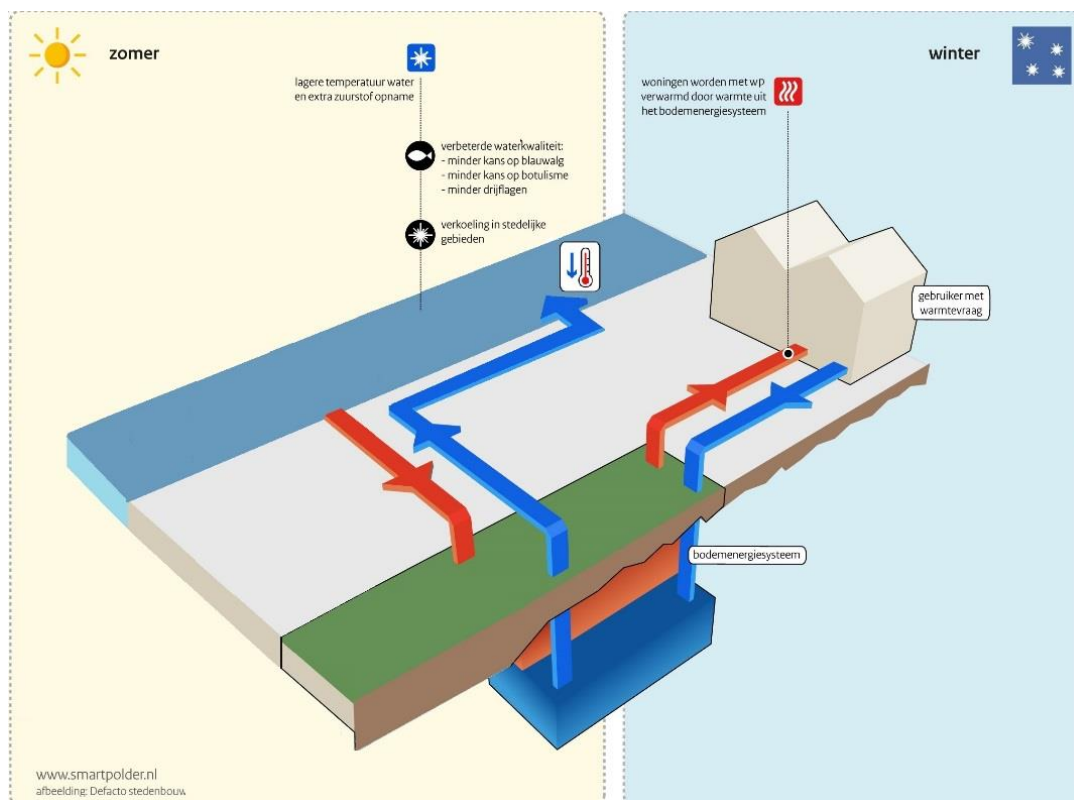
Het oppervlaktewater wordt verkregen uit de Hollandse IJssel die ten oosten van het gebied stroomt. Het oppervlaktewater nabij de locatie bevat voldoende capaciteit om de 61 woningen van warmte te kunnen voorzien.



Figuur 1.1 | Het projectgebied voor het nieuwbouwproject Zelling Onderneming in Nieuwerkerk aan den IJssel. 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 bij de woningen van Zelling Onderneming het geval is, en wordt 100% elektrisch opgewekt (aardgasvrij). TEO kan worden aangevuld met een warmte en koudeopslagsysteem in de bodem (WKO) (zie Figuur 1.2).



Figuur 1.2 | Concept TEO: Smart polder, WKO met warmtewinning uit oppervlaktewater.

Als TEO in combinatie met een WKO systeem wordt toegepast, wordt gebruik gemaakt van het natuurlijke temperatuurverschil tussen het oppervlaktewater in de zomer ($-18 - 25^{\circ}\text{C}$) en de stabiele grondwatertemperatuur (-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 Zelling Onderneming wordt er een koudevraag verwacht met een verhouding van 1:3 t.o.v. de warmtevraag. 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. 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 een monobron (de warme- en koudebron liggen boven elkaar in de bodem) met een minimaal debiet van $20\text{ m}^3/\text{h}$ toereikend om de 61 woningen van Zelling Onderneming van voldoende warmte te voorzien. Om de bronnen in de zomer voldoende te kunnen laden is een oppervlaktewatersysteem van minimaal $10\text{ m}^3/\text{h}$ nodig. Er zijn verschillende systeemconcepten mogelijk. In de huidige business case is een concept met decentrale warmtepompen voor ruimteverwarming en warm tapwater doorgerekend. Vanwege nieuwbouw is voor een aanvoertemperatuur van 40°C gekozen. Verder worden er juridisch gezien geen knelpunten voorzien voor de realisatie van TEO en WKO.

De belangrijkste aandachtspunten voor het bodemenergiesysteem zijn de zoet-/zoutovergangen in het 2^e watervoerende pakket, andere bodemenergiesystemen in de omgeving, verontreinigingen in het projectgebied en de aanwezigheid van een primaire waterkering in het projectgebied.

Duurzaamheid

De toepassing van TEO met een oppervlaktewaterdebiet van 10 m³/h kan bijdragen aan de vermindering van hittestress in een stedelijk gebied in de zomer door water met een temperatuurverschil van 6 °C te lozen. In totaal wordt er 700 GJ_{th} aan energie onttrokken aan het oppervlaktewater in de zomer. De CO₂-emissiereductie kan in het meest optimale geval (volledig groen opgewekte stroom) 54 ton/jaar bedragen ten opzichte van een referentie systeem met aardgas waarbij elk gebouw zijn eigen gasketel heeft. In dat geval moet de elektriciteit ook duurzaam opgewekt zijn.

Financiële haalbaarheid

De financiële haalbaarheid van het WKO + TEO systeem met decentrale warmtepompen is getoetst door een vergelijking te maken met een referentiesysteem (individuele gasketels). Bij een bijdrage aansluitkosten (BAK) van € 3.000 is de verwachte terugverdientijd van het WKO + TEO systeem 8 jaar ten opzichte van het referentiesysteem met gasketels en koelmachines. Bij een BAK van € 5.000 is het systeem terugverdiend bij de start van de projectlooptijd.

Vervolg

De plannen voor de ontwikkeling van Zelling Onderneming zijn gestart. Hierbij is het duurzaam ontwikkelen van het gebied een belangrijk aandachtspunt. De integratie van TEO in combinatie met een WKO systeem heeft een significante meerwaarde in het geval er een thermische onbalans heerst. 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 een eventueel vervolg is het van belang dat dit op korte termijn wordt afgestemd met de belanghebbenden.

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 ten opzichte van 1990. 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 aardgasloze 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: Zelling Onderneming

Het nieuwbouwproject Zelling Onderneming in de gemeente Zuidplas is als één van de kansrijke locaties naar voren gekomen. Dit gebied wordt gekenmerkt door nieuwbouw met een mix van grondgebonden woningen en een appartementencomplex. Het gebied ligt in de plaats Nieuwerkerk aan den IJssel. Het plangebied voor de woningen grenst aan de Hollandsche IJssel (oppervlaktewater). De ambitie is om de woningen van Zelling Onderneming duurzaam van energie te voorzien. Voor de energievraag zullen de gebouwen worden getypeerd als een mix grondgebonden rijwoningen, villa's en appartementen. In dit rapport wordt de technische en financiële haalbaarheid van thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) voor de woningen van Zelling Onderneming in Nieuwerkerk aan den IJssel 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 vertegenwoordigers 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 zullen plaatsvinden (nieuwbouw, renovatie of hoog energieverbruik). In de workshop is aan de hand van de kanskaart gekeken of er een match te maken is tussen deze gebieden/gebouwen/wijken waar ontwikkelingen gepland zijn en het aanwezige technische potentieel vanuit 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 deze 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 energiegebied (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 een verkennende 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 energieconcept 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 juridische 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 energieconcepten 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: Zelling Onderneming in Nieuwerkerk aan den IJssel

De doelstelling van deze specifieke casus is om de technische en financiële haalbaarheid inzichtelijk te maken voor de belanghebbenden. Dit zijn in directe zin de gemeente en de projectontwikkelaar(s). Anderzijds is dit de UvW die in dit specifieke geval de haalbaarheid van een WKO + TEO systeem in combinatie met nieuwbouw aan een rivier 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

Gebouweigenaren, VvE en -ontwikkelaars

Het is belangrijk dat de manier en inpassing van warmtelevering overeenkomt met de wensen en eisen van de gebouweigenaren. Projectontwikkelaar Synchron is verantwoordelijk voor de ontwikkeling van het project Zelling Onderneming

Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard

Het waterschap is verantwoordelijk voor het kwalitatieve en kwantitatieve beheer van het regionale oppervlaktewater. Voor het brengen van water in of het onttrekken van water uit een oppervlaktewaterlichaam is het waterschap bevoegd gezag voor eventuele vergunningverlening. Het waterschap is daarnaast bevoegd gezag van de primaire waterkering die grenst aan de Hollandsche IJssel.

Rijkswaterstaat

Rijkswaterstaat is verantwoordelijk voor het beheer en de ontwikkeling van de hoofdwegen, hoofdvaarwegen en hoofdwatersystemen, waar de rivier de Hollandsche IJssel onder valt. Voor het brengen van water in of het onttrekken van water uit het oppervlaktewaterlichaam is Rijkswaterstaat bevoegd gezag voor vergunningverlening.

Provincie Zuid-Holland

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

Gemeente Zuidplas

De gemeente Zuidplas is eigenaar 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 aardgasloze duurzame oplossing.

3.2 KENMERKEN GEBIED EN GEBOUWEN

Gebied

Het project Zelling Onderneming is een nieuw te bouwen woonwijk in Nieuwerkerk aan den IJssel, gelegen aan de Hollandsche IJssel (zie Figuur 3.1). Voor de herontwikkeling worden hoge ambities op het gebied van duurzaamheid behaald. De nieuwe wijk wordt gasloos, de woningen worden all-electric en energieneutraal gebouwd. Dit past bij de duurzaamheidsambities die de gemeenteraad van Zuidplas in de motie van 4 juli 2017 heeft vastgelegd in relatie tot ruimtelijke plannen (bron: Nota van uitgangspunten Zelling Onderneming - versie definitief/vastgesteld, 10 oktober 2017).



Figuur 3.1 | Plattegrond project Zelling Onderneming met binnen de groene polygoon het plangebied. Bron: Nieuwerkerk a/d IJssel Zelling Onderneming - Schetsontwerp - 06 juli 2017.

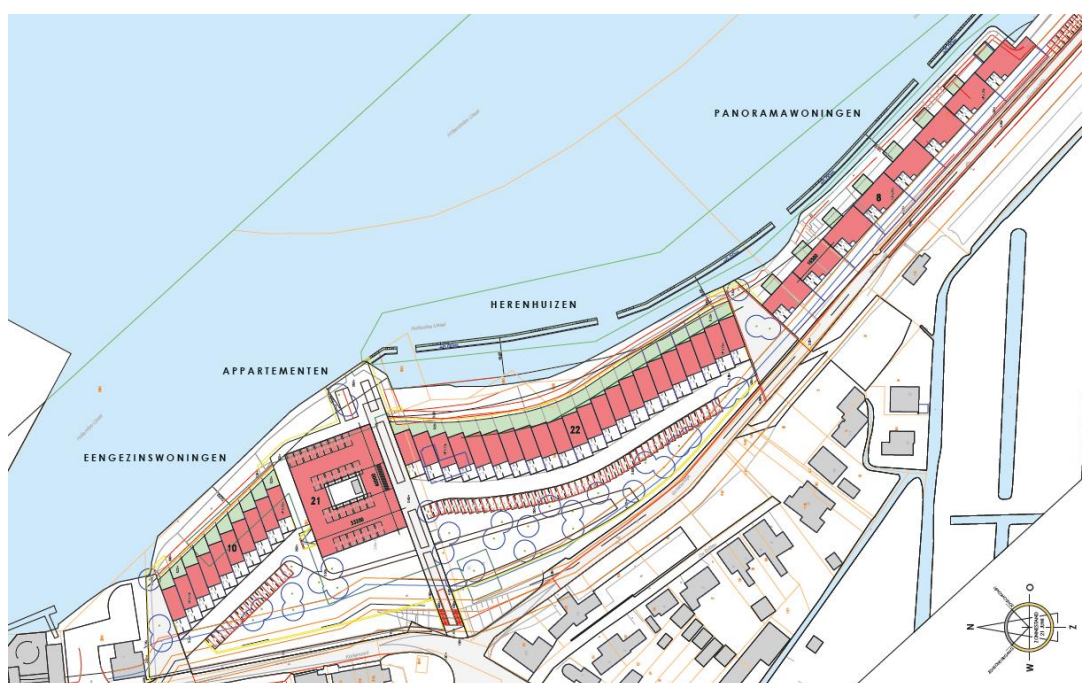
Gebouwen

De mix van gebouwen die bestudeerd zijn in deze casus kunnen allen worden getypeerd als nieuwbouw. Een verdeling van de type woningen en de eigenschappen is weergegeven in Tabel 3.1 (Synchroon B.V., persoonlijke communicatie, 12 februari 2018). De verdeling en de locatie van de woningen voor Zelling Onderneming zijn weergegeven in Figuur 3.2.

De woningen worden conform uitgangspunt BENG gebouwd. De warmte- en koudevraag voor de woningen is bepaald op basis van de Uniforme Maatlat Gebouwde Omgeving (UMGO). De verdeling van de warmte- en koudevraag is opgenomen in Tabel 3.2. Daarbij is een uitsplitsing gemaakt in warmtelevering en warm tapwater voor de warmtevoorziening. De woningen worden ontwikkeld met veel glas, dat betekent dat koeling een belangrijke voorziening is.

Tabel 3.1 | Type woningen Zelling Onderneming beschouwd in de huidige business case (bron: Synchroon B.V., persoonlijke communicatie, 12 februari 2018).

Type woning	GO [m ²]	Bouwjaar	Aantal woningen
Panorama villa	176,3	2019/2020	8
Panorama woning - herenhuizen	159,6	2019/2020	22
Panorama woning - eengezinswoningen	142,8	2019/2020	10
Appartement	126,7	2019/2020	21
Totaal			61



Figuur 3.2 | Locatie en verdeling woningen en appartementen beschouwd in deze studie (bron: Synchroon B.V., persoonlijke communicatie, 12 februari 2018).

Tabel 3.2 | Warmte- en koudevraag woningen Zelling Onderneming in Nieuwerkerk aan den IJssel.

Energiestromen					
Type woning	EPC	Ruimteverwarming [kWh/jaar]	Warm tapwater [kWh/jaar]	Warmte totaal [kWh/jaar]	Koude [kWh/jaar]
Panorama villa	BENG	24.541	17.912	42.453	9.591
Panorama woning - herenhuizen	BENG	34.314	55.445	89.759	10.853
Panorama woning - eengezinswoningen	BENG	14.937	22.362	37.299	4.570
Appartement	BENG	25.277	32.727	58.003	21.286
Totaal		99.068	128.446	227.515	46.299

Systeemconcept energielevering gebouwen

Voor de opwekking van warmte wordt gebruik gemaakt van een elektrische warmtepomp. De warmtepomp is aangesloten op een WKO + TEO systeem. De koude wordt geleverd vanuit de koude bron van het WKO systeem. Het werkingsprincipe van een WKO systeem is beschreven in Bijlage 1.

In de huidige studie zijn twee concepten doorgerekend:

- 1 **WKO + TEO decentraal:** De warmte vanuit het oppervlaktewater of warmte en koude vanuit het WKO systeem wordt via een 2-pijps leiding gedistribueerd over het gebied naar de woningen. De warmteoverdracht vindt plaats via een warmtewisselaar, zodat het oppervlaktewater, het WKO grondwater en het water in het distributienetwerk niet met elkaar kunnen mengen. De grondgebonden woningen zijn voorzien van een individuele warmtepomp. Het appartementencomplex heeft een centrale warmtepomp.
- 2 **Referentie decentraal:** de woningen zijn individueel aangesloten op een gasketel (warmtevoorziening) voor ruimteverwarming en warm tapwater en koelmachine (koudevoorziening).

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 en debieten oppervlaktewater

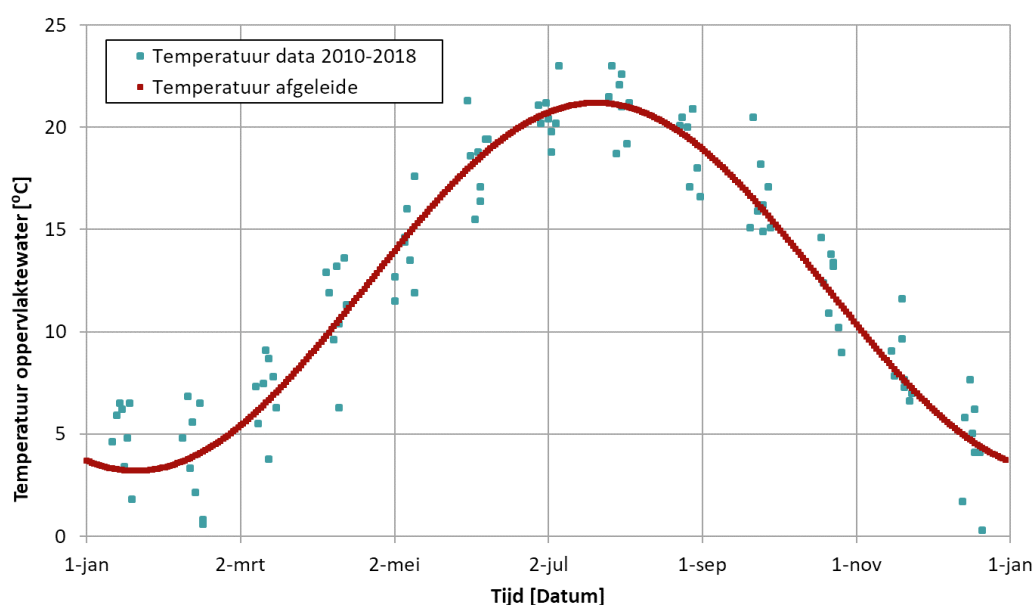
Het oppervlaktewater dat gebruikt kan worden voor het TEO systeem is het water uit de Hollandsche IJssel (zie Figuur 3.1). De aangenomen gemiddelde breedte en diepte van de Hollandsche IJssel ter hoogte van het projectgebied Zelling Onderneming in de verkennende business case is:

- Breedte: ~100 m
- Diepte: ~4 m

Het is belangrijk dat het TEO systeem dusdanig wordt ontworpen dat thermische interferentie tussen het onttrekkings- en lozingspunt wordt geminimaliseerd. De Hollandsche IJssel kan worden gekenmerkt als een getijrivier. Dit betekent dat de stroomsnelheid zowel positief als negatief kan zijn. Bij negatieve stroming kan koeler geloosd water weer worden onttrokken bij het onttrekkingspunt. Dit is nadelig voor de efficiëntie van het systeem. In een verdiepingsfase zal moeten worden uitgezocht wat het effect is van terugstroming van gekoeld water. Een oplossing zou kunnen zijn onttrekking te plannen op momenten van positieve stroming en dat het systeem stil staat bij negatieve stroming is. Het effect kan zijn dat het benodigd ontwerpdebiet van het onttrekkingsysteem groter wordt, maar dat het onttrekkings- en lozingspunt dicht bij elkaar geplaatst kunnen worden. Een andere optie is actief wisselen van onttrekkings- en lozingspunt. Echter in het huidige systeem worden geen problemen voorzien. Belangrijke variabelen bij thermische interferentie zijn naast stroomsnelheid en onttrekkingsdebiet, ook diepte en breedte van het oppervlaktewater. Sinds de Hollandsche IJssel relatief groot is en het onttrekkingsdebiet laag zal thermische interferentie niet snel plaatsvinden. Aanvullend zorgt de turbulente stroming van een rivier ook voor menging van gekoeld water met warmer water.

Temperatuur oppervlaktewater

De temperatuur van het oppervlaktewater in de Hollandse IJssel is gegeven in Figuur 3.3. De temperatuur data zijn verzamelde oppervlaktewater temperatuur van 2010 - 2018 5 km stroomopwaarts van het projectgebied Zelling Onderneming ter hoogte van de Voorhaven in Gouda. Deze temperatuur wordt representatief ingeschat voor het oppervlaktewater ter hoogte van Zelling Onderneming. De temperatuur afgeleide wordt gebruikt in de energetische analyse om het moment van laden (oppervlaktewater onttrekken) en de hoeveelheid energie die geladen kan worden te bepalen.



Figuur 3.3 | Aanname temperatuur oppervlaktewater Hollandse IJssel. De temperatuur data bevat temperaturen van het water in de Hollandse IJssel in de periode 2010 - 2018 op de locatie Voorhaven in Gouda. Dit is 5 km stroomopwaarts vanaf het projectgebied Zelling Onderneming (bron: Rijkswaterstaat, http://live.waterbase.nl/waterbase_wns.cfm?taal=nl).

Juridisch

Bij het gebruik van oppervlaktewater voor de levering van energie, het onttrekken en lozen van oppervlaktewater geldt een vergunningplicht, meldplicht en/of zorgplicht bij Rijkswaterstaat in het kader van het Artikel 6.16 van de Waterregeling en artikel 6.18 van het Waterbesluit. Sinds de onttrokken hoeveelheid en de geloosde hoeveelheid ruim onder de grens voor vergunningplicht blijft, geldt alleen meldplicht en zorgplicht. De oever van de Hollandse IJssel is een primaire waterkering met een kernzone waterkering en beschermingszone. Doorvoeren en de aanleg van leidingen in de oever zal moeten worden afgestemd met het bevoegd gezag, hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard. 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

3.4.1 Bodemopbouw

De bodemopbouw in de directe omgeving van de projectlocatie 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 de gemeente Zuidplas is geschematiseerd in een aantal watervoerende pakketten en scheidende lagen. De verwachte bodemopbouw op de locatie is weergegeven in Tabel 3.3.

Tabel 3.3 | Bodemopbouw op de projectlocatie Zelling Onderneming in Nieuwerkerk aan den IJssel.

diepte [m-mv]	lithologie	geohydrologie
0 - 10	klei, veen, zeer fijn zand	deklaag
10 - 35	grof tot uiterst grof zand	1 ^e watervoerend pakket
35 - 50	klei met zeer fijn tot matig grof siltig zand	1 ^e scheidende laag
50 - 110	zeer fijn tot matig grof zand met enkele kleilagen	2 ^e watervoerende pakket
110 - 240	matig fijn tot zeer grof zand met enkele kleilagen	3 ^e watervoerende pakket
> 240	klei en fijn zand	hydrologische basis

Zowel het 2^e als het 3^e watervoerende pakket is geschikt voor de toepassing van een monobron met een debiet van 20 m³/h. Het is onduidelijk of beide pakketten technisch en juridisch gezien gecombineerd kunnen worden en als gecombineerd pakket gebruikt kunnen worden voor de toepassing van een monobron. Indien dit gewenst is, wordt geadviseerd hier in een vervolgtraject onderzoek naar uit te voeren.

3.4.2 Geohydrologie

In Tabel 3.4 zijn de relevante technische en juridische aspecten opgenomen die van invloed zijn op de werking van een bodemenergiesysteem in het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket. In en onder de tabel zijn de aandachtspunten/risico's of belemmeringen nader toegelicht.

1 Zoet-/zoutovergangen

Het zoet-/brak- en het brak-/zoutgrensvlak bevinden zich in het 2^e watervoerende pakket. Verzilting van het grondwater is in principe niet toegestaan. Vanwege de diepteligging van de grensvlakken wordt verzilting wel verwacht. Aangezien het geen winbaar zoet grondwater bevat, vormt dit mogelijk geen belemmering.

Het mengen van grondwater met verschil in waterkwaliteit kan daarnaast een technisch risico vormen voor het in gebruik hebben van een WKO-bodemenergiesysteem. Indien er gebruik wordt gemaakt van het 2^e watervoerende pakket wordt geadviseerd vervolgonderzoek uit te voeren naar de waterkwaliteit in dit pakket. Dit kan door middel van een interpretatie aan de hand van beschikbare grondwateranalyses.

2 Grondwatergebruikers en gesloten bodemenergiesystemen

Op circa 1 km ten westen van de locatie is een WKO-bodemenergiesysteem (monobron) gerealiseerd voor het project de Meander te Nieuwerkerk aan den IJssel. Er is een vergunning

verleend voor een capaciteit van maximaal 33 m³/h en 65.000 m³ per jaar in het 2^e watervoerende pakket.

Op circa 300 m ten oosten van de locatie zijn twee gesloten bodemenergiesystemen aanwezig. Met beide belangen dient rekening te worden gehouden bij de realisatie en het in werking hebben van het beoogde WKO systeem. Er mag geen negatieve invloed op de reeds bestaande systemen uitgeoefend worden.

Tabel 3.4 | Technische en juridische aspecten bodemenergiesysteem voor projectlocatie Zelling Onderneming in Nieuwerkerk aan den IJssel.

onderwerp		toelichting
bodemopbouw		
doorlaatvermogen	✓	geschikt
dikte pakket	✓	voldoende dik
grondwater		
grondwaterstand	✓	dieper dan 1 m-mv
stijghoogte 2 ^e en 3 ^e watervoerende pakket	✓	geen risico op artesisch grondwater
grondwaterstroming	✓	5 m/jaar in noordwestelijke richting
zoet/brak/zout-overgangen	⚠ 1	zoet-/brakgrensvlak: circa 20 m-mv, brak-/zoutgrensvlak: circa 60 m-mv, beïnvloeding grensvlakken verwacht
gas	✓	geen afwijkende gasdruk
deeltjes	✓	geen verhoogd risico op deeltjes
redox	✓	geen redoxovergang in opslagpakket
temperatuur opslagpakket	✓	11,5 °C (50 m-mv) tot 14 °C (200 m-mv)
vergunbaarheid		
bodemenergieplan	✓	niet gelegen in bodemenergieplan of interferentiegebied
grondwatergebruikers	⚠ 2	WKO-systeem aanwezig op ca 1 km afstand
gesloten bodemenergiesystemen	⚠ 2	twee gesloten bodemenergiesystemen aanwezig op ca 300 m afstand
zettingen	✓	noemenswaardige zetting wordt niet verwacht
grondwaterbescherming	✓	niet gelegen in een boringsvrije zone of nabij een waterwingebied
natuurbelangen	✓	geen beschermde natuur aanwezig
archeologie/aardkundig waardevol gebied	⚠	gelegen in een gebied met een redelijke tot hoge trefkans op archeologische sporen, mogelijk vergunning of aanvullend onderzoek nodig
verontreinigingen	⚠ 3	meerdere verontreinigingen aanwezig nabij locatie (voormalige stortplaatsen)
waterkering	⚠ 4	locatie deels gelegen in buitenbeschermingszone en beschermingszone waterkering
aanwezigheid spoor of begraafplaats	✓	geen spoor of begraafplaats aanwezig binnen circa 250 m
✓ geschikt, geen belemmering of aandachtspunt ⚠ aandachtspunt of risico ✗ hoog risico of belemmering		

3 Verontreinigingen

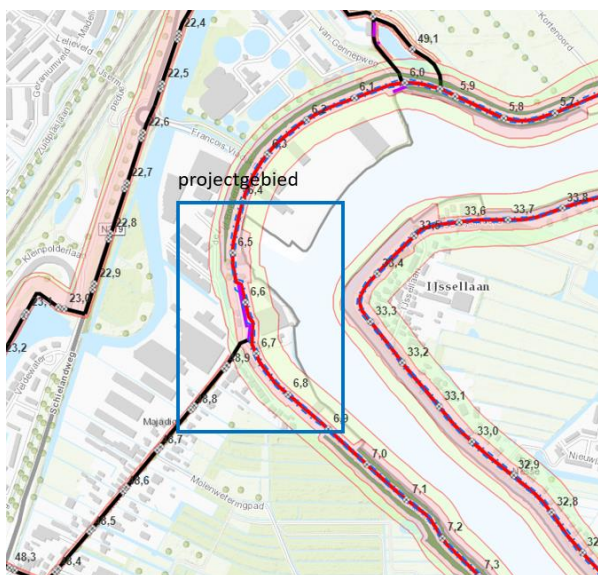
Verontreinigingen mogen niet worden verplaatst door de realisatie of exploitatie van een WKO systeem. Er zijn meerdere verontreinigingen en saneringsactiviteiten bekend in en nabij het projectgebied.

In het projectgebied betreft dit Groenendijk 2 - 18. Diverse onderzoeken zijn hier uitgevoerd en er moet gestart worden met sanering van de zelling. Nabij het projectgebied is een verontreiniging aanwezig bij Kortenoord 19 - 23. Dit is een voormalige stortplaats en betonmortelcentrale. Er is reeds een saneringsplan opgesteld voor dit gebied. Ten westen van

het projectgebied bevinden zich meerdere locaties die nog onderzocht moeten worden. Er is veel bedrijvigheid geweest in dit gebied en er zijn mogelijk bodem - en/of grondwaterverontreinigingen aanwezig. Het wordt aangeraden uitvoeriger onderzoek te verrichten naar de verontreinigingssituatie op de projectlocatie. Dit vormt een aandachtspunt maar geen belemmering.

4 Waterkering

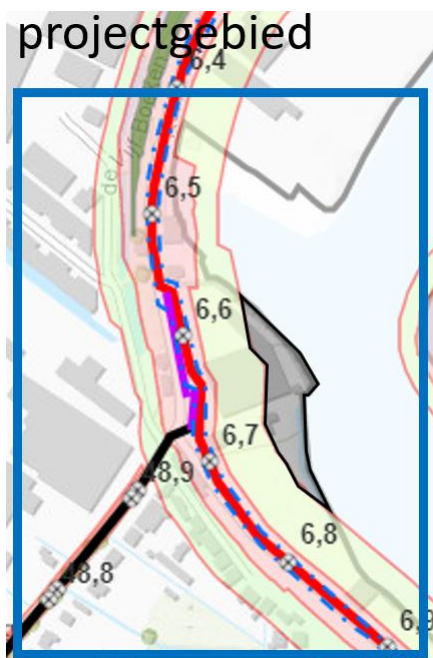
De locatie ligt deels binnen de kernzone waterkering en beschermingszone waterkering (zie Figuur 3.4). Voor werkzaamheden binnen de beschermingszone en kernzone waterkering zijn algemene regels opgesteld. Voor het realiseren en exploiteren van een bodemenergiesysteem is een watervergunning benodigd binnen de kernzone en beschermingszone. De waterkering vormt geen belemmering voor het in gebruik hebben van een WKO-bodemenergiesysteem.



Figuur 3.4 | Projectgebied en waterkering. Geel/groene gebied is een beschermingszone. Het rode gebied/lijn is een kernzone waterkering.

3.4.3 Concept

Het beoogde debiet is circa $20 \text{ m}^3/\text{h}$. Dit debiet kan met een monobron gerealiseerd worden. Het wordt aangeraden om de bron te realiseren buiten de beschermingszone en kernzone van de waterkering. In dat geval blijft het gebied zoals in Figuur 3.5 geïllustreerd over als zoekgebied.



Figuur 3.5 | Projectgebied en waterkering. Het zwart/grijze polygoon geeft het aanbevolen zoekgebied voor een monobron weer.

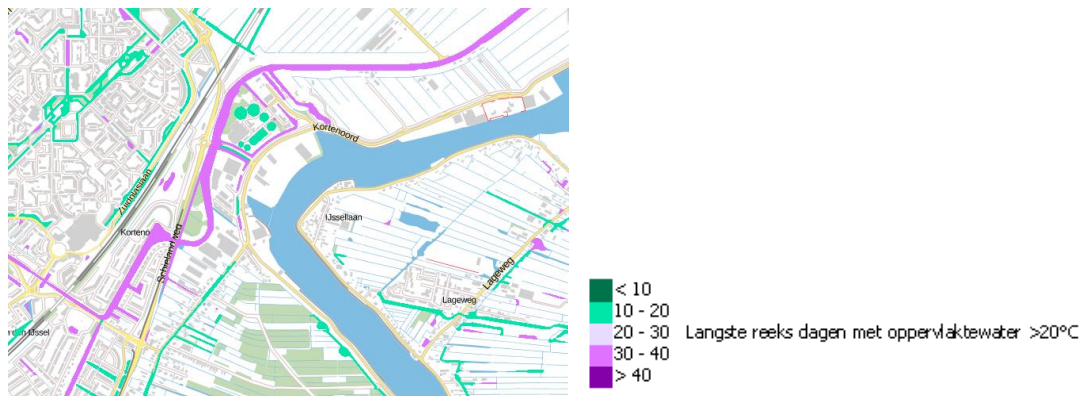
3.5 KLIMAATADAPTIE

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 omringende 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). Ook gedijen ongewenste exotische planten en dieren, ziekteverwekkers- en verspreiders beter.

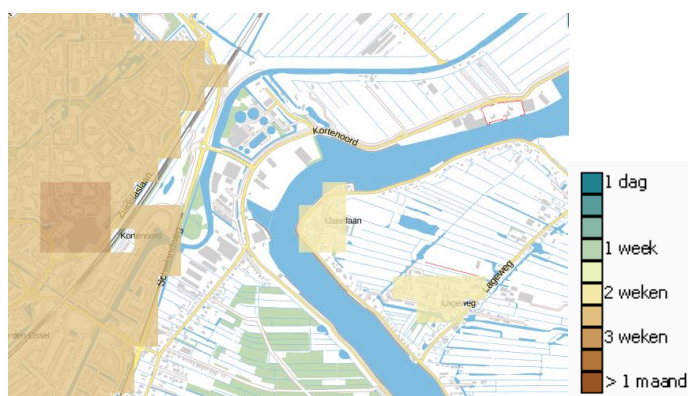
Door het verharde oppervlak en de gebouwen in stedelijk gebied in combinatie met eventueel stilstaand water wordt deze warmte extra vastgehouden en ontstaan hitte-eilanden. Deze hitte-eilanden hebben een negatief effect op de waterkwaliteit. In de Klimateffectatlas zijn deze effecten te zien middels de hittekaart. Momenteel zijn er in de Klimateffectatlas effecten te zien voor het gebied rondom Zelling Onderneming (zie Figuur 3.6, Figuur 3.7 en Figuur 3.8). De Hollandsche IJssel laat geen risico opwarming oppervlaktewater zien in Figuur 3.6. Het regionale oppervlaktewater de Ringvaart Zuidplaspolder daarentegen wel, dit geeft aan dat tussen de 30 - 40 aaneengesloten dagen de temperatuur boven de 20 °C uitkomt in 2050. In Figuur 3.7 geven de kleuren een indicatie van de hittestress (aantal tropische nachten per jaar > 20 °C). In Figuur 3.8 is het risico opwarming oppervlaktewater en hittestress door warme nachten gecombineerd. In deze figuren is een duidelijke afhankelijkheid van bebouwing en hittestress te zien. In de richting van

het centrum van Nieuwerkerk aan den IJssel (ten oosten van Zelling Onderneming) is de hittestress aanwezig. Hittestress kan bij kwetsbare groepen leiden tot meer arbeidsuitval, een toename van ziektes en vervroegde sterfte (bron: Klimaateffectatlas).

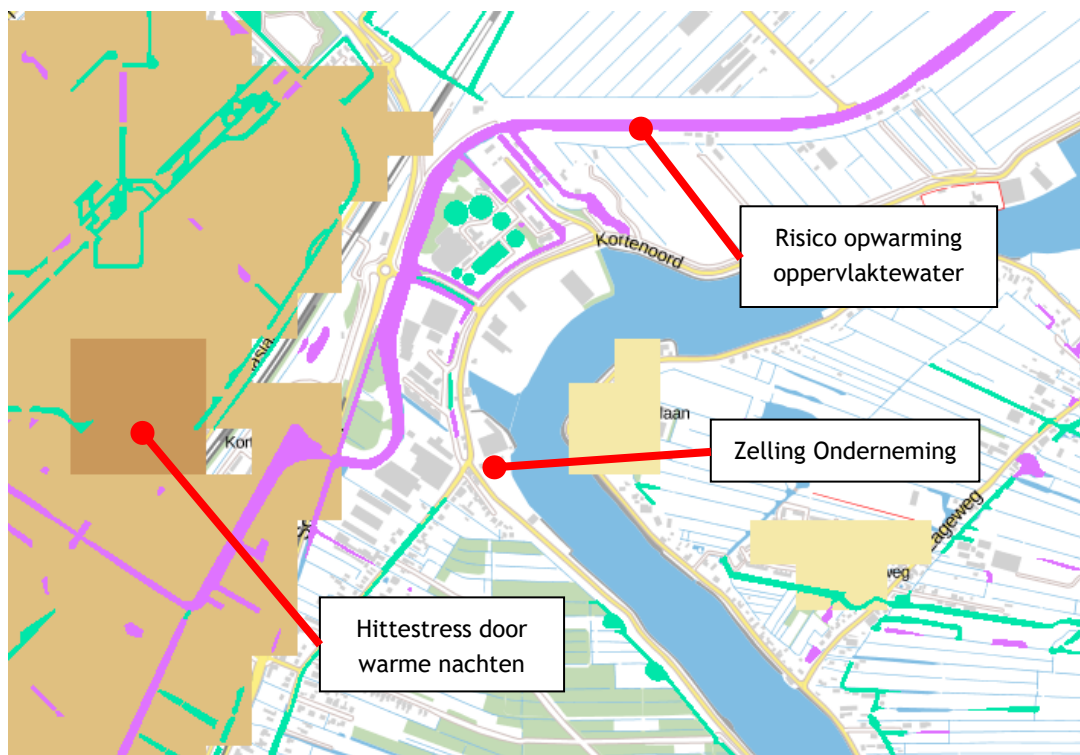
Het onttrekken van warmte uit oppervlaktewater heeft een verkoelend effect op het lokale klimaat. Hiermee zal het oppervlaktewater minder of geen warmte uitstraling meer hebben naar de omgeving en wordt verslechtering van de waterkwaliteit door het stedelijk hitte-eiland effect beperkt. Daarnaast kan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



Figuur 3.6 | Hittekaart van het gebied rondom Zelling Onderneming met risico opwarming oppervlaktewater in de zomer. Het is te zien dat er voor de Hollandse IJssel geen risico wordt ingeschat. Het regionale oppervlaktewater daarentegen heeft wel een verhoogd risico. De kaart toont een inschatting van de langste aaneengesloten periode van dagen per jaar waarin de watertemperatuur hoger is dan 20 °C in 2050. De klimaatverandering is gebaseerd op het WH-scenario voor 2050. Bron: Klimaateffectatlas. Verkregen op 22 februari, 2018 van <http://www.klimaateffectatlas.nl>.



Figuur 3.7 | Hittekaart van het gebied rondom Zelling Onderneming met hittestress door warme nachten. Tijdens een warme nacht daalt de temperatuur niet onder de 20 °C. De kaart toont een inschatting van het aantal dagen per jaar waarin de nachttemperatuur hoger is dan 20 °C in 2050. De klimaatverandering is gebaseerd op het WH-scenario voor 2050. Bron: Klimaateffectatlas. Verkregen op 19 januari, 2018 van <http://www.klimaateffectatlas.nl>.



Figuur 3.8 | Hittekaart van gebied rondom Zelling Onderneming met risico opwarming oppervlaktewater en hittestress door warme nachten in 2050. De klimaatverandering is gebaseerd op het WH-scenario voor 2050. Bron: Klimateffectatlas. Verkregen op 4 januari, 2018 van <http://www.klimateffectatlas.nl>.

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) dienen te worden aangevraagd. Hierbij worden geen (significante) knelpunten voorzien. Voor het onttrekken en terugbrengen van water aan de Hollandsche IJssel is geen vergunning vereist. Wel geldt er een meldplicht en een zorgplicht bij het bevoegd gezag Rijkswaterstaat. Voor het aanleggen van een WKO + TEO systeem in een primaire waterkering is een watervergunning in het kader van de Waterwet verplicht. Het bevoegd gezag is het hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard.

4 Business case

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

- energetisch concept;
- schetsontwerp 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 bepaalt het concept voor een groot deel de financiële, technische en juridische haalbaarheid. Belangrijke aspecten binnen een concept zijn:

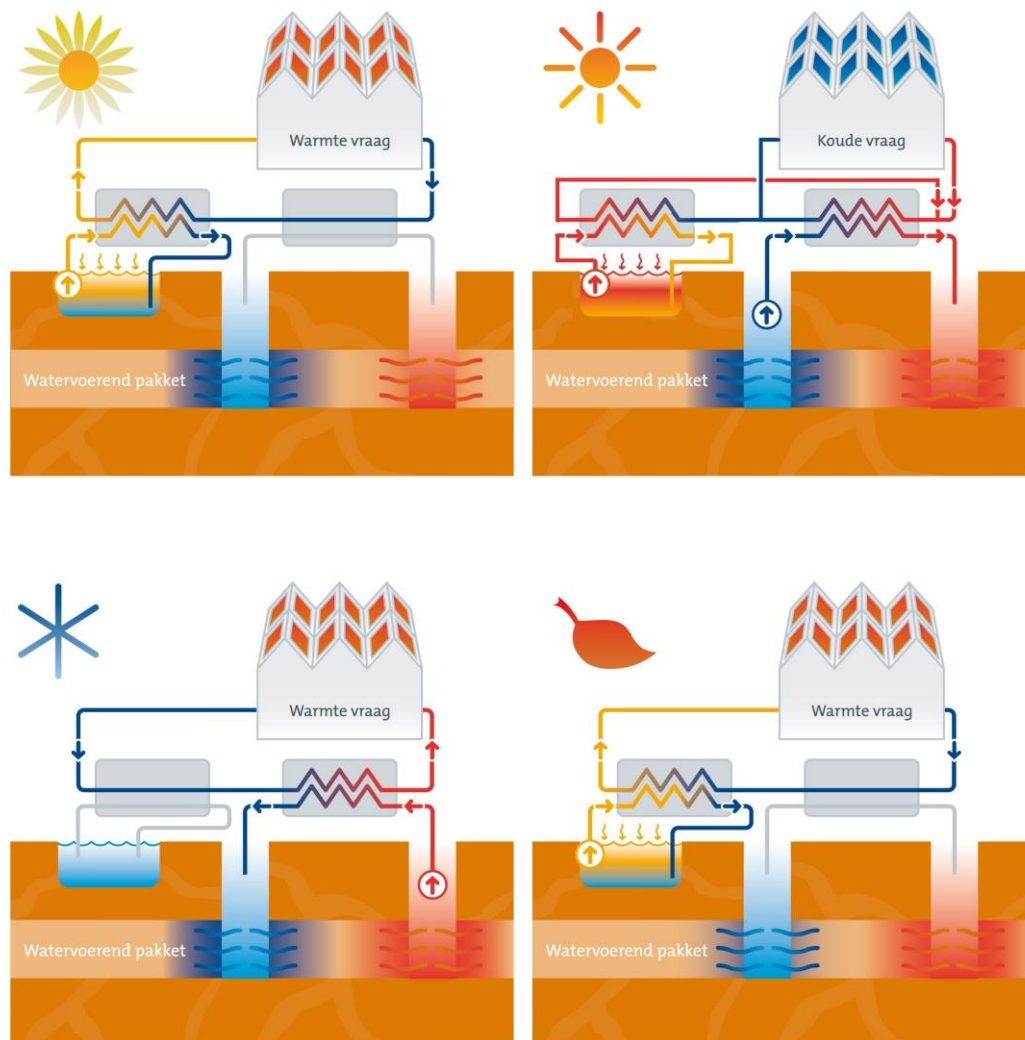
- energievraag (warmte en koude);
- afgiftesysteem;
- distributienet;
- tapwaterbereiding;
- geschiktheid bodem voor WKO;
- aanwezigheid van oppervlaktewater en/of kunstwerken;
- ruimtegebruik inpandig.

Systeemkeuze energievraag

De energievraag van de woningen voor het project Zelling Onderneming kenmerkt zich door een warmte- en koudevraag in de verhouding 3:1. Hierbij is het toepassen van warmte uit oppervlaktewater in combinatie met WKO een voor de hand liggende oplossing (zie Bijlage 1, Figuur 7.1). Bij de selectie van de locatie is aangenomen dat het oppervlaktewater de Hollandsche IJssel 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 4.1 is het globale principe van de energiestromen in de verschillende seizoenen weergegeven.

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 de woningen indien dat nodig is. De koeling kan rechtstreeks worden geleverd door middel van vloerkoeling of via een luchtbehandelingskast (LBK).

Er dient ruimte vrijgemaakt te worden voor een WKO + TEO systeem en het bijbehorende leidingwerk in de openbare ruimte. Tevens dienen de systemen op een strategische plek t.o.v. elkaar geplaatst te worden om de kosten van het leidingwerk zoveel mogelijk te verlagen.



Figuur 4.1 | Inzet TEO voor de energievoorziening in de 4 seizoenen. Met de klok mee: lente, zomer, herfst en winter.

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 1 wordt een overzicht gegeven van de overwegingen die spelen bij het maken van deze keuze. Het gaat hierbij om overwegingen op het gebied van:

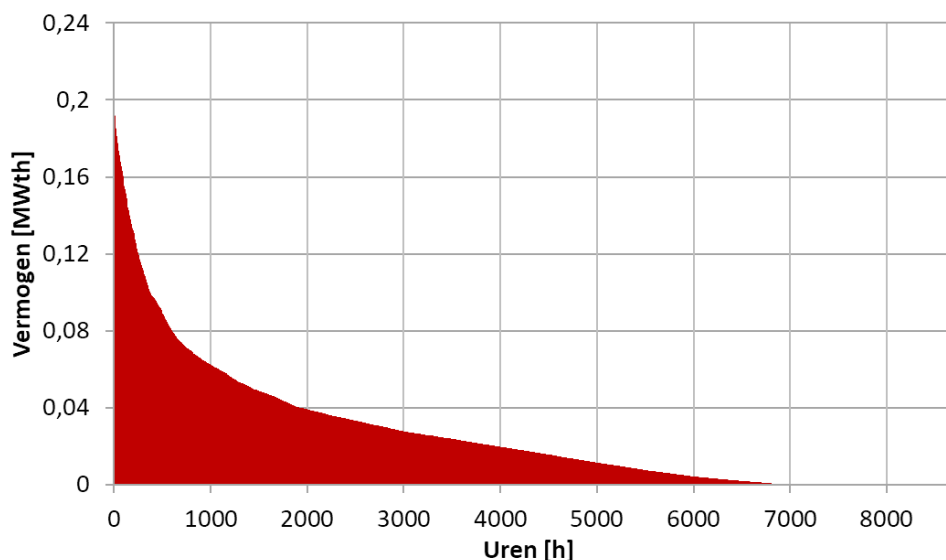
- duurzaamheid;
- financiën;
- leveringszekerheid;
- inpassing.

Bij de woningen voor het project Zelling Onderneming is het de wens om een aardgasloze klimatisering te realiseren. Om die reden wordt als systeemconcept gekozen voor een monovalent opwekkingssysteem. Vanuit duurzaamheidoverwegingen 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.

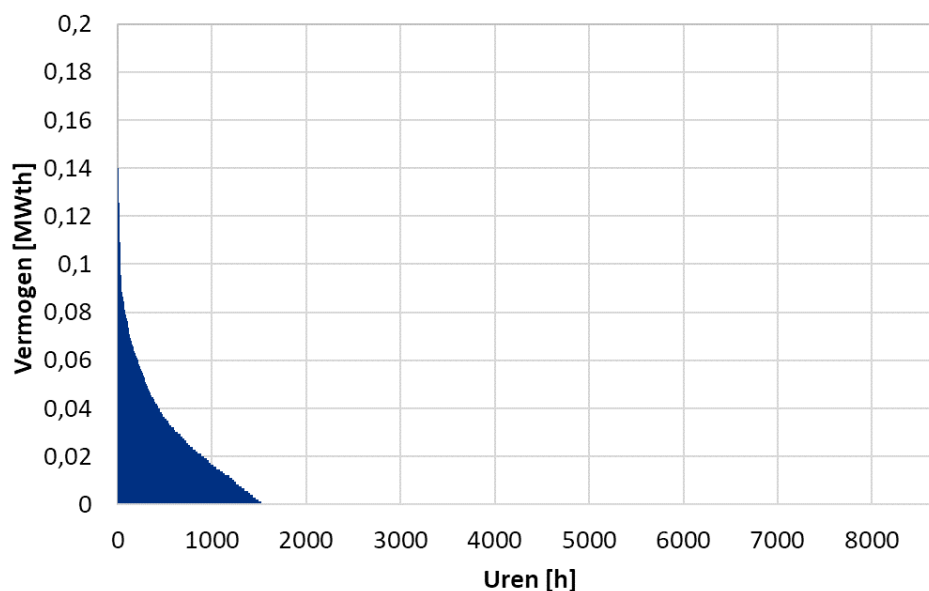
Uitwerking en resultaten energieconcept

In paragraaf 3.2 is een inventarisatie gemaakt van de energievraag voor warmte en koude voor Zelling Onderneming. Om een nauwkeurige analyse te kunnen maken van het totale energieconcept zijn de uitgangspunten voor warmte en koude geschaald naar een bestaande warmtevraag voor een soortgelijke mix van gebouwen met een vergelijkbare functie (bron: IF Technology (2017), niet publiekelijk toegankelijk). Op deze manier kan een bepaalde warmte- en koudevraag gedurende het jaar gekoppeld worden aan de data van het oppervlaktewater. De jaarbelastingduurcurve die hieruit voortvloeit voor de warmte- en koude vraag is gepresenteerd in Figuur 4.2 en Figuur 4.4.

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 4.1.



Figuur 4.2 | Jaarbelastingduurcurve verwachte warmtevraag voor Zelling Onderneming in Nieuwerkerk aan den IJssel.



Figuur 4.3 | Jaarbelastingduurcurve verwachte koudevraag voor Zelling Onderneming in Nieuwerkerk aan den IJssel.

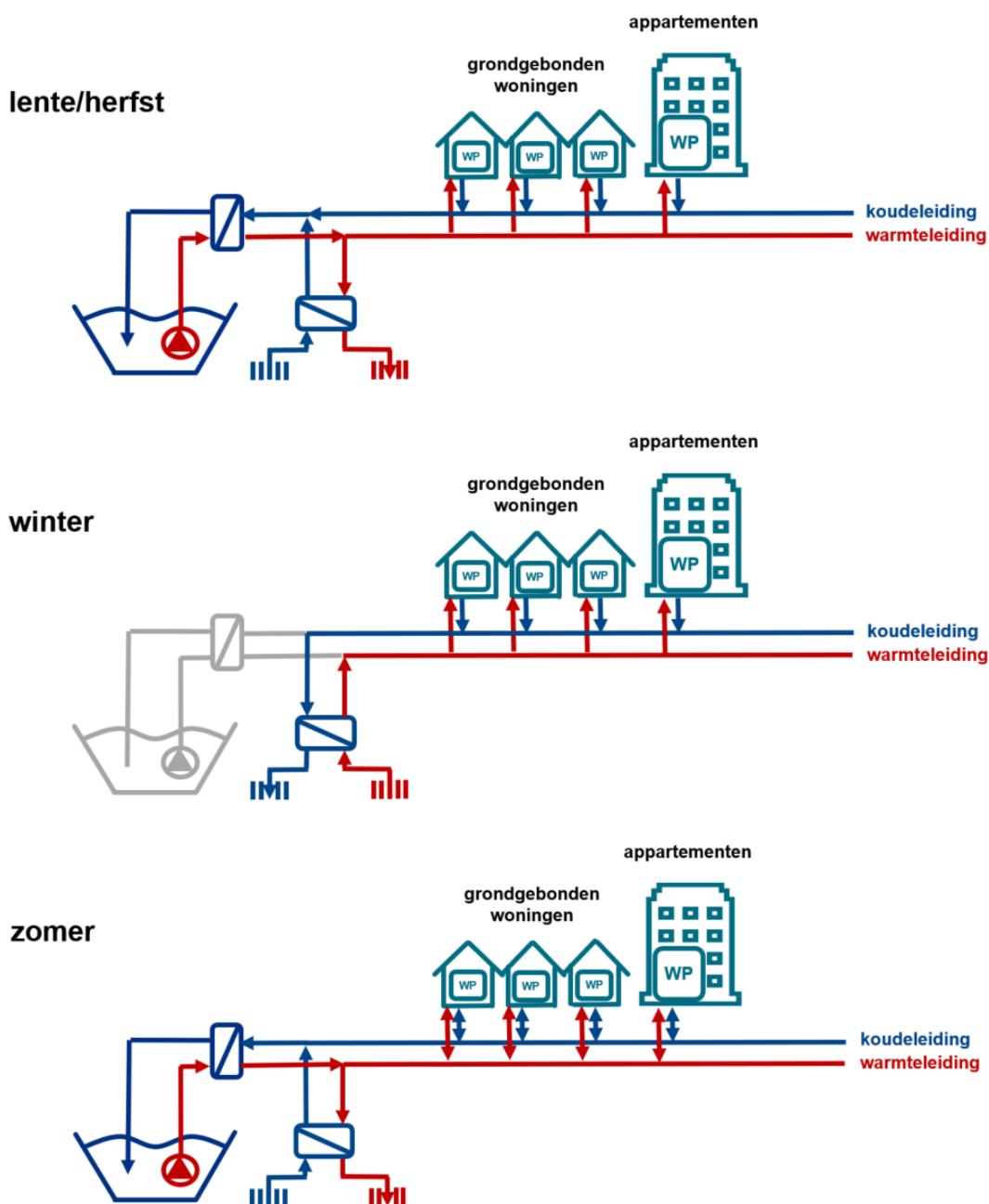
Tabel 4.1 | Input en output parameters van het energetische concept voor Zelling Onderneming.

Input parameters	Eenheid	Waarde
Minimale uitkoeling oppervlaktewater	°C	3,0
Maximale uitkoeling oppervlaktewater	°C	6,0
Minimale lozingstemperatuur	°C	12,0
Minimale onttrekkingstemperatuur	°C	15,0
Infiltratietemperatuur koude	°C	7,0
Aanvoertemperatuur gebouwzijdig	°C	40,0
Output parameters	Eenheid	Waarde
Maximale COP	-	5,7
Seasonal Performance Factor (SPF)	-	4,9
Maximaal debiet oppervlaktewater	m ³ /h	10
Maximaal debiet WKO	m ³ /h	20
Gemiddelde infiltratietemperatuur warmte	°C	17,7

De maximaal benodigde debieten zijn belangrijk om het systeem te dimensioneren en om zo de investeringskosten te kunnen ramen. In Figuur 4.4 is het TEO systeem in een schematisch principeschema gepresenteerd gedurende de winter, zomer, herfst en lente. De overgang van winter naar zomer en van zomer naar winter configuratie is afhankelijk van de warmtevraag en de temperatuur van het oppervlaktewater. 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.

Elke woning zal een afgifteset voor ruimteverwarming en warm tapwater bereiding in de woning hebben. Er wordt aangenomen in de huidige studie dat warm tapwater op minimaal 50 °C geleverd

wordt, de temperatuur is afhankelijk van legionella preventie en de geschiktheid van het water voor huishoudelijke apparaten.



Figuur 4.4 | Principeschema TEO systeem in de winter, zomer, lente en 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 woningen (grijs). Het WKO systeem levert de warmte uit de warme bron, die opgewaardeerd wordt in een warmtepomp (WP) in de woningen of het appartementencomplex. Zomer: het TEO systeem is ingeschakeld, warm water wordt aan de WP gevoerd (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 (blauw). Lente/herfst: het TEO systeem en WKO systeem zijn werkzaam, maar er wordt geen koude geleverd.

4.2 SCHETSONTWERP

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

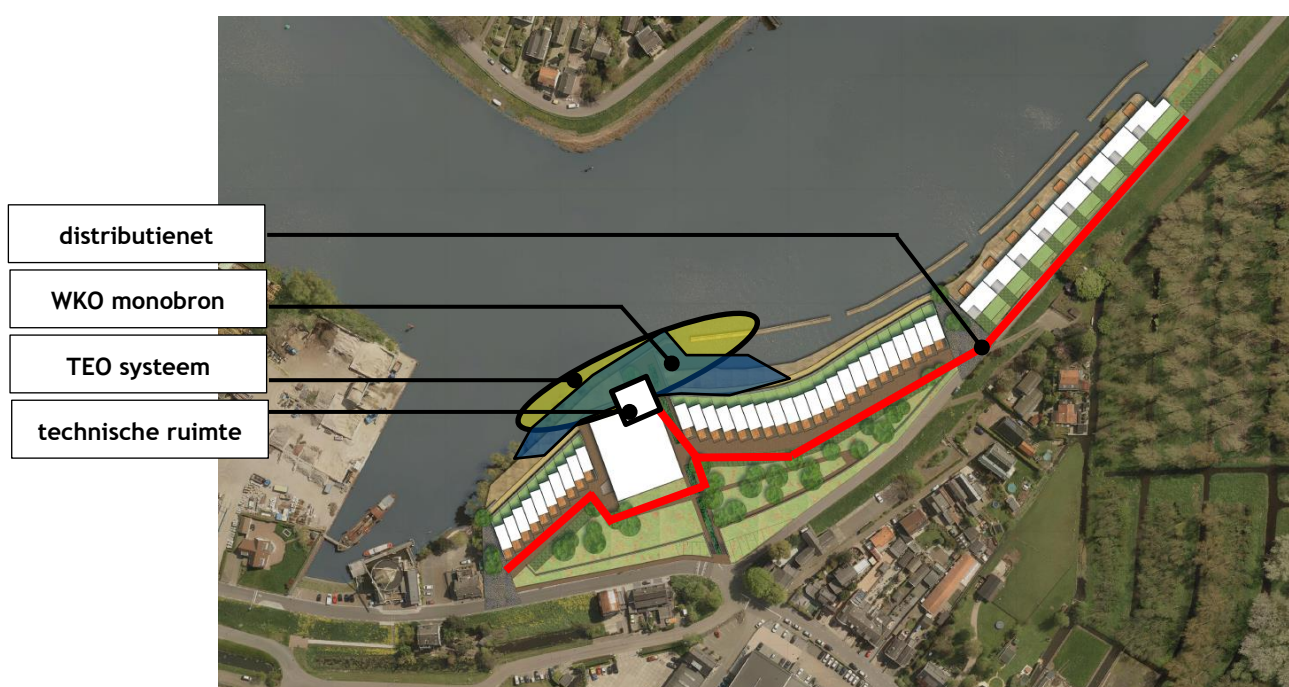
- in- en uitlaat oppervlaktewatersysteem (10 m³/h);
- WKO monobron (20 m³/h);
- technische ruimte (warmtewisselaars);
- 2-pijps distributieleidingen met warmte/koude aanvoer en retour woningen;
- distributieleidingen WKO systeem;
- distributieleidingen TEO systeem;
- aansluitleidingen ten behoeve van de aan te sluiten woningen.

Locatie en invoeging

Ter verduidelijking is het schetsontwerp, dat hieronder is beschreven, in Figuur 4.5 te zien. Het moet expliciet vermeld worden dat het schetsontwerp puur indicatief is om een inschatting van afstanden en kosten te kunnen maken. Het schetsontwerp is geenszins een definitief ontwerp:

- **In- en uitlaat oppervlaktewatersysteem:** deze komen bij voorkeur centraal in het gebied te liggen, zodat de kortste route naar het WKO systeem en de woningen kan worden gerealiseerd. De afstand tussen in- en uitlaat is afhankelijk van de stroomsnelheid en stroomrichting in de Hollandsche IJssel en de wensen met betrekking tot uitkoeling van de waterloop. In paragraaf 3.3 is aangenomen dat de stroming in de Hollandsche IJssel positief en negatief kan zijn. Met het verwachte onttrekkingsdebiet, de afmetingen van het water, de stroming en het temperatuurverschil tussen onttrekkings- en lozingspunt is een minimale afstand van 25 m berekend tussen onttrekkings- en lozingspunt. In Figuur 7.3 en Figuur 7.4 van Bijlage 1 zijn twee typen inlaatsystemen van een gerealiseerd TEO systeem te zien. De uitlaat bij het lozingspunt kan onzichtbaar worden afgewerkt in de kademuur of oever. Er worden speciale filters geplaatst om fauna te beschermen. 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 juridische en civieltechnische mogelijkheden en knelpunten voor plaatsen van de distributieleidingen dienen in detail te worden uitgezocht.
- **WKO monobron:** de WKO monobron dient afgestemd te worden op de warmtevraag in het gebied. Daarnaast is de afstand tussen de WKO en de technische ruimte geminimaliseerd om de kosten van het leidingwerk te kunnen reduceren.
- **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 tussen het TEO en WKO systeem geplaatst. De locatie heeft effect op de business case, omdat het leidingwerk van en naar de technische ruimte een significante investeringspost is. De technische ruimte bevat in dit geval onder andere de warmtewisselaars. Echter kan de locatie van de warmtewisselaar om warmte tussen het water in het distributienet en oppervlaktewater uit te wisselen 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 naar gebouwen:** (zie Figuur 4.5, rode leidingen) omdat er in het gebied meerdere afnemers van warmte zijn is er een distributieleiding nodig. Elke rode lijn bestaat uit 2 leidingen, warmteleiding en koudeleiding. Dit is nodig omdat de gebouwen een verschillende warmte- en koudevraag kunnen hebben.

- **Distributieleidingen WKO systeem:** (niet in Figuur 4.5) de transportleiding van het WKO systeem loopt tussen de monobron en de TR op de kortst mogelijke manier. De capaciteit van deze leidingen moet minimaal overeenkomen met de capaciteit van de WKO, namelijk 20 m³/h.
- **Distributieleidingen TEO systeem:** (niet in Figuur 4.5) het distributienetwerk van het TEO systeem loopt tussen het onttrekkingspunt en het lozingspunt en de TR op de kortst mogelijke manier. De capaciteit van deze leidingen moet overeenkomen met de capaciteit van het TEO systeem, namelijk 10 m³/h.
- **Aansluitleidingen ten behoeve van de aan te sluiten gebouwen:** deze lopen van de woning en het appartementencomplex naar het distributienetwerk.



Figuur 4.5 | Schetsontwerp WKO + TEO systeem voor Zelling Onderneming in Nieuwerkerk aan den IJssel met het 2 pijps-distributienet (rode leidingen), zoekgebied WKO monobron (blauw), zoekgebied TEO systeem (geel), technische ruimte (zwart, niet op ware grootte). De leidingen van TEO en WKO naar de technische ruimte zijn niet getekend, evenals de aansluitleidingen naar de gebouwen. Het leidingwerk en locatie TEO en WKO systeem zijn indicatief om een inschatting van de totale lengte en kosten te kunnen doen. In een verdiepingfase is een detailontwerp van de verschillende systemen noodzakelijk. Daarnaast dienen eventuele obstakels en technische en juridische knelpunten tot meer in detail uitgezocht te worden.

4.3 IMPACT LEEFOMGEVING

De voorzieningen worden deels ondergronds aangelegd (bronnen, leidingen, warmtewisselaars) of in pandig (warmtepomp). 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 met individuele warmtepompen in de grondgebonden woningen en een collectieve warmtepomp voor het appartementencomplex vergeleken met een referentiesysteem. Het referentiesystemen bestaat uit:

- individuele gasketel voor de warmtevoorziening;
- koelmachine voor de koudevoorziening;
- decentrale oplossing, elke grondgebonden woning heeft een eigen aansluiting, het appartementencomplex heeft een collectieve gasketel en koelmachine.

Het verschil met het WKO + TEO systeem is dat er geen distributienet tussen WKO, TEO, TR en gebouwen nodig is. Daarentegen zijn er wel voorzieningen in de openbare ruimte en gebouwen nodig voor de distributie van gas. De voorzieningen in de openbare ruimte voor de distributie van gas zijn meegerekend in de OPEX (vastrecht, capaciteitstarief, periodieke aansluitvergoeding en meterhuur voor gas). Daarnaast zijn de minimale kosten van de eenmalige aansluitvergoeding op het gasnet meegerekend in de CAPEX. Het is belangrijk om te vermelden dat gebouwzijdige aanpassingen in verband met deze concepten niet zijn meegerekend in de financiële analyse. Er wordt aangenomen dat de warmte binnen de gebouwen op eenzelfde manier wordt verzorgd. 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.

Uitgangspunten financiële analyse

Voor de financiële berekeningen is rekening gehouden met de uitgangspunten gegeven in Tabel 4.2. In navolgende tabellen zijn de te verwachten kosten inzichtelijk gemaakt. Alle genoemde bedragen zijn exclusief btw en gebaseerd op prijspeil 2018.

Tabel 4.2 | Uitgangspunten financiële analyse.

Parameter	Eenheid	Waarde
CAPEX		
Indexering investeringskosten	%	1,8
Project looptijd	jaar	30
Herinvestering gasketel	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	-	Stedin

Investeringskosten

In Tabel 4.3 zijn de eenmalige investeringskosten voor het WKO + TEO systeem in beeld gebracht. De investeringskosten van het referentiesysteem zijn gegeven in Tabel 4.4.

De maatschappelijke kosten van aanleg van een gasnet zijn hierin niet meegenomen. Om een juiste afweging te maken, dienen deze kosten wel in acht genomen te worden. De aansluitvergoeding op het gasnet bevat uitsluitend een maximale leidinglengte van 24 m, inclusief standaard regelset, en het opnemen en herplaatsen van standaard bestrating.

Tabel 4.3 | Investeringskosten realisatie WKO + TEO.

Investeringskosten WKO + TEO	Eenheid	Kosten
Bodemenergievoorzieningen	€	110.000
Oppervlaktewater voorzieningen	€	94.000
Distributie voorzieningen	€	100.000
Warmtepomp	€	290.000
Afgifteset	€	92.000
Ontwerp, advies en vergunningen (8%)	€	54.000
Onvoorzien (15%)	€	100.000
Totaal	€	840.000

Tabel 4.4 | Investeringskosten realisatie referentiesysteem: gasketel en koelmachine.

Investeringskosten referentiesysteem	Eenheid	Kosten
Gasketel	€	140.000
Koelmachine	€	100.000
Leidingwerk	€	11.000
Afgifteset	€	32.000
Ontwerp, advies en vergunningen (8%)	€	23.000
Onvoorzien (15%)	€	43.000
Eenmalige aansluitvergoeding gasnet	€	55.000
Totaal	€	410.000

Eenmalige inkomsten

In Tabel 4.5 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 € 1037,78 incl. btw. Bij een nieuw aan te leggen warmtenet wordt er geen vaste prijs gesteld. In de huidige business case is de eenmalige aansluitbijdrage € 3.000 excl. btw per woning.

Tabel 4.5 | Eenmalige inkomsten realisatie WKO + TEO.

Inkomsten WKO + TEO	Eenheid	Waarde
Energie-investeringsaftrek (EIA) 13,5%	€	42.000
Bijdrage aansluitkosten (BAK) (€ 3.000)	€	180.000
Investeringssubsidie duurzame energie (ISDE)	€	120.000
Totaal	€	350.000

De investeringssubsidie duurzame energie (ISDE) is in dit geval van toepassing op de warmtepompen. De ISDE is van toepassing op warmtepompen tot 70 kW.

Het referentiesysteem, met een gasketel, komt niet in aanmerking voor BAK, omdat de gebouwen niet op een warmtenet worden aangesloten. De EIA geldt ook niet, omdat er geen energiezuinige investering plaatsvindt. Ook de ISDE is niet van toepassing.

Tarieven

Het tarief voor elektriciteit en gas bestaat uit vaste kosten en variabele kosten. De vaste kosten voor elektriciteit en gas zijn gebaseerd op de tarieven van netbeheerder Stedin. De vaste kosten bestaan uit een aansluitdienst, transportdienst en meetdienst. De variabele kosten voor elektriciteit en gas zijn gebaseerd op een landelijk gemiddelde voor huishoudelijk verbruik. De variabele kosten bestaan uit de energieprijis, energiebelasting en opslag duurzame energie. De elektriciteitskosten voor de collectieve faciliteiten zijn gebaseerd op de zakelijke tarieven van Stedin.

Jaarlijkse exploitatiekosten

In Tabel 4.6 en Tabel 4.7 zijn de jaarlijkse exploitatiekosten weergegeven voor het WKO + TEO systeem en het referentiesysteem, respectievelijk.

Tabel 4.6 | Jaarlijkse exploitatiekosten WKO + TEO.

Exploitatiekosten WKO + TEO	Eenheid	Kosten
Inkoop		
Elektriciteit (vast en variabel)	€/jaar	11.000
Onderhoud en beheer		
Opwekking (WKO en TEO)	€/jaar	4.000
Distributienet	€/jaar	1.000
Warmtepompen	€/jaar	9.000
Afgifteset	€/jaar	2.000
Totaal	€/jaar	27.000

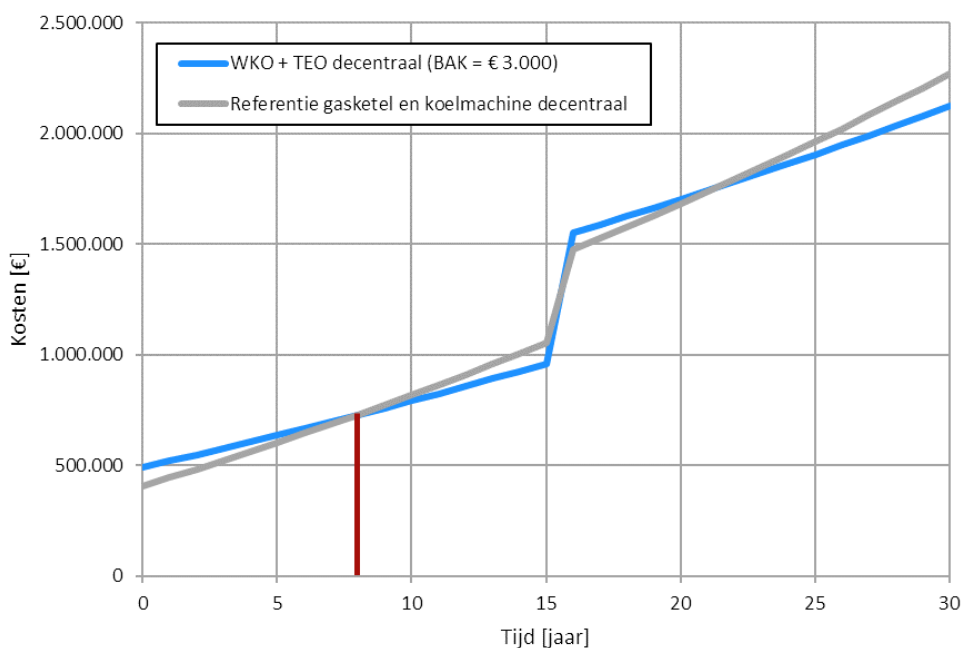
Tabel 4.7 | Jaarlijkse exploitatiekosten referentiesysteem: gasketel en koelmachine.

Exploitatiekosten referentiesysteem	Eenheid	Kosten
Inkoop		
Elektriciteit (vast en variabel)	€/jaar	2.700
Gas (vast en variabel)	€/jaar	24.000
Onderhoud en beheer		
Gasketel	€/jaar	5.700
Koelmachine		4.100
Distributie en afgifteset		700
Totaal	€/jaar	37.000

Terugverdientijd

In Figuur 4.6 zijn de kosten en baten van het WKO + TEO systeem (blauw en oranje) uitgezet tegen het referentiesysteem (grijs) met individuele gasketels 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 4.2.

De terugverdientijd van het WKO + TEO systeem is erg afhankelijk van de bijdrage aansluitkosten (BAK). Bij een BAK van € 3.000 is de terugverdientijd van het WKO + TEO systeem 8 jaar ten opzichte van het referentiesysteem met gasketels en koelmachines. Hierbij moet expliciet vermeld worden dat de totale kosten van dit systeem na herinvesteringen na 15 jaar bijna gelijk zijn aan het referentiesysteem. Doordat de exploitatiekosten lager zijn over de projectlooptijd van 30 jaar wordt een positief financieel resultaat ten opzichte van de referentie verwacht na 30 jaar.



Figuur 4.6 | Kosten-batenanalyse van het WKO + TEO systeem (blauw) en het referentiesysteem (grijs).

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 met decentrale warmte opwekking binnen 8 jaar ervan uitgaande dat de BAK tussen de € 3.000 per woning is. Bij het referentiesysteem wordt warmte en koude geleverd door middel van individuele gasketels en koelmachines.

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 warmtevraag voor ruimteverwarming en warm tapwater 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 heeft het moment van herinvesteren ook een effect op de terugverdientijd.

4.5

DUURZAAMHEID

Rendement en emissie

In Tabel 4.8 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 700 GJ_{th}. Dit is gelijk aan de som van de warmte onttrekking aan oppervlaktewater en de warmte afgifte aan de omgeving door de koelmachine in het warme seizoen. De CO₂-emissie van WKO + TEO ligt tussen de 0 - 54 ton/jaar. De CO₂-emissie van het referentiesysteem is -54 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 voor WKO + TEO gaat uit van grijze elektriciteitsopwekking (RVO, 2016). Tot slot zijn de NO_x en de SO₂ emissies gegeven (CE Delft, 2015).

Tabel 4.8 | Prestatiefactoren WKO + TEO systeem en referentiesysteem (decentrale gasketels).

Prestatiefactor	WKO + TEO (groen)	WKO + TEO (grijs)	referentie
Equivalent opwekkingsrendement (EOR)	2,0	2,0	0,96
Warmte emissie (hittestress) [GJ _{th}]	0	0	700*
CO ₂ -emissie [tonco ₂ /jaar]	0	30	54
NO _x emissie [kg/jaar]	0	10	55
SO ₂ emissie [kg/jaar]	0	29	7

*Dit is gelijk aan de som van de warmte onttrekking aan oppervlaktewater en de warmte afgifte aan de omgeving door de koelmachine in het warme seizoen.

Energieverbruik

In Tabel 4.9 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 te produceren. Bij een elektriciteitsopwekkingsrendement van 50% wordt het primair energieverbruik van een WKO + TEO systeem 500 GJ_{th}, terwijl het referentiesysteem een primair energieverbruik van 1.040 GJ_{th} heeft. Deze verhouding van primair energieverbruik is ook terug te vinden in de verhouding van de EOR in

Tabel 4.8. Dit betekent een besparing van primair energieverbruik van 540 GJ_{th} (~52%) voor WKO + TEO ten opzichte van de referentie (gasketels).

Tabel 4.9 | *Energieverbruik van WKO + TEO systeem en referentiesysteem.*

Energieverbruik	WKO + TEO	Referentie
Elektriciteit		
Warmtepomp [GJ _e]	180	-
Bronpomp [GJ _e]	30	-
Oppervlaktewaterpomp [GJ _e]	10	-
Distributiepomp [GJ _e]	30	-
Koelmachine [GJ _e]	-	55
Gas		
Gasketel	-	985
Totaal systeem[GJ]	250	1.040

Flora en fauna

Het resultaat van het WKO + TEO concept is ook dat het oppervlaktewater dat wordt verpompt in de zomer enkele graden afkoelt, wat een positief effect heeft op de oppervlaktewaterkwaliteit. Voor de huidige situatie met onttrekking en lozing op de Hollandsche IJssel is het verwachte effect minimaal. 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.

De stratificatie kan in diepe plassen door een lozing veranderen of verdwijnen. Bij een koudelozing zal het hypolimnion (onderste koude laag) groter worden en meer zuurstof gaan bevatten. Als het water wordt ingenomen in het epilimnion (bovenste warme laag) zal dit het proces versterken.

- Het proces van denitrificatie zal afnemen bij een lagere temperatuur.

Vanuit de waterkwaliteit zijn de meeste effecten positief te noemen. Wel kan de stikstofconcentratie verhoogd worden (afname denitrificatie). In diepe wateren moet bij grootschalige lozingen goed gekeken worden naar de effecten op de stratificatie.

Verder is het uitgangspunt dat de ecologie niet nadelig wordt beïnvloed. Er zijn positieve en negatieve effecten te verwachten op de ecologie. De positieve effecten zullen in veel gevallen opwegen tegen de negatieve effecten. Toch zijn er een aantal effecten die kritisch bekeken moeten worden.

In totaal kan er in het warme seizoen ~20.000 m³/jaar aan oppervlaktewater gekoeld worden met -6 °C voor de situatie in deze studie.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 TECHNISCHE EN ENERGETISCHE HAALBAARHEID

Uitgangspunten en opwekkingspotentieel

Voor het project Zelling Onderneming in Nieuwerkerk aan den IJssel 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 5.1.

Tabel 5.1 | Kern uitgangspunten, technische haalbaarheid en thermisch potentieel voor Zelling Onderneming in Nieuwerkerk aan den IJssel.

Parameter	Waarde
Kern uitgangspunten	
Gebouwen	Mix van bestaande grondgebonden woningen en appartementen
Warmtevraag	230 MWh _{th} (840 GJ _{th}) per jaar
Koudevraag	50 MWh _{th} (170 GJ _{th}) per jaar
Doelstellingen	Duurzaam en aardgasloos
Technische haalbaarheid	
Capaciteit bodem: benodigd	175 MWh _{th} /jaar, 30.000 m ³ /jaar, 20 m ³ /h
Type bron	monobron
Capaciteit oppervlaktewater: benodigd	135 MWh _{th} /jaar, 10 m ³ /h

Er kan worden geconcludeerd dat op de onderzochte locatie (Zelling Onderneming en het oppervlaktewater van de Hollandsche IJssel) 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 uitgewerkt. Warmtelevering voor ruimteverwarming en warm tapwater wordt geleverd via een distributienet. Regeneratie van warmte vindt plaats vanuit de Hollandsche IJssel. De overwegingen bij de concepten zijn toegelicht in paragraaf 4.1.

Er is sprake van een 100% elektrisch aangedreven warmtevoorziening. Het concept is dus aardgasloos. Naast het leveren van duurzame warmte 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 realisatie van het systeem moeten onder meer de volgende onderdelen worden ingepast:

- in- en uitlaat oppervlaktewatersysteem (10 m³/h);
- WKO doublet (20 m³/h);
- technische ruimte (warmtepomp(en) en warmtewisselaars);
- 2-pijps distributieleidingen met warmteleiding en koudeleiding;
- distributieleidingen WKO systeem;

- distributieleidingen TEO systeem;
- aansluitleidingen ten behoeve van de aan te sluiten panden.

In paragraaf 4.2 staan de onderdelen en inpassingsmogelijkheden benoemd. In Figuur 4.5 is de inpassing van de onderdelen grafisch weergegeven. Aandachtspunten zijn onder meer de inpassing van de technische ruimte, WKO, TEO systeem en het distributienet. Voor de 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 ruimte gereserveerd te worden voor de technische ruimte.

Juridische knelpunten

Op juridisch gebied worden vooralsnog geen knelpunten voorzien voor de realisatie van de energievoorziening. In de verdiepingsfase dient er meer aandacht te worden besteed aan juridische en organisatorische zaken.

De belangrijkste aandachtspunten voor het bodemenergiesysteem zijn de zoet-/zoutovergangen in het 2^e watervoerende pakket, andere bodemenergiesystemen in de omgeving, verontreinigingen in het projectgebied en de aanwezigheid van een primaire waterkering in het projectgebied.

Impact directe leefomgeving

De voorzieningen kunnen grotendeels uit het zicht van de omgeving worden gerealiseerd (ondergronds of in pandig). 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 retourleiding van het oppervlaktewater systeem kan geloosd worden in de Hollandsche IJssel.

Energierendement en uitstoot

Voor het geheel van de energielevering (opwekking, distributie en afgifte tot aan afgiftesets) aan de afnemers wordt voor WKO + TEO een equivalent opwekkingsrendement (EOR) van 2,0 verwacht. De vergelijking is gemaakt met een referentiesysteem (individuele gasketels) die voor een vergelijkbare warmtevraag een EOR van 0,96 heeft. Door duurzaam te koelen kan er 700 GJ_{th} warmte emissie aan de omgeving voorkomen worden.

Het uitgewerkte WKO + TEO concept 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-emissie tot 0 gereduceerd worden. In het slechtste geval (100% grijze stroom) is de CO₂-emissie met 30 ton/jaar alsnog significant lager dan het referentiesysteem (individuele gasketel) met 54 ton/jaar.

5.3 FINANCIËLE HAALBAARHEID

De investeringskosten, inkomsten en jaarlijkse exploitatiekosten van het WKO + TEO systeem is vergeleken met een referentiesysteem (individuele gasketels). De terugverdientijden van het WKO + TEO systeem is 8 jaar ten opzichte van het referentiesysteem ervan uitgaande dat de bijdrage aansluitkosten (BAK) € 3.000 is. De terugverdientijd is ook afhankelijk van andere factoren. Belangrijke variabelen die het resultaat kunnen beïnvloeden zijn de energiekosten voor elektriciteit en gas, en de herinvesteringskosten.

5.4 AANBEVELINGEN

In deze paragraaf zijn een aantal aanbevelingen geschreven die belangrijk kunnen zijn om in overweging te nemen in een eventuele vervolgfase.

Koudevraag

De koudevraag in de huidige studie is gebaseerd op de energiebehoefte voor koeling bij woningen die volgens de BENG-norm worden gebouwd beschreven in de Uniforme Maatlat Gebouwde Omgeving (UMGO) (RVO, 2016). Deze energiepost wordt in de UMGO berekend door het warmteoverschot fictief te koelen met een koelinstallatie met een forfaitaire COP van 3. De energiebehoefte van 50 MWh/jaar in deze casus is een gemiddelde inschatting van de minimale koudevraag voor BENG-woningen. Bij woningen met veel glas kan verwacht worden dat de koudevraag toeneemt. Daarom wordt geadviseerd om in een vervolgstudie een transmissieberekening te laten uitvoeren om de werkelijke warmte- en koudevraag nauwkeuriger te kunnen inschatten.

Het effect op de terugverdientijd ten opzichte van het referentiesysteem zal waarschijnlijk positief zijn. Bij WKO + TEO vindt de koeling passief plaats. Dit betekent dat er minder energie nodig is om de koude te leveren in vergelijking met een actieve koelmachine. Dit heeft een positief effect op de exploitatiekosten ten gunste van WKO + TEO. Daarnaast is in dit geval de warmtevraag bepalend voor de capaciteit van de WKO. Indien het vermogen van de koude groter wordt betekent dit dat de CAPEX voor WKO + TEO niet verandert, omdat het systeem is uitgelegd op het vermogen van de warmtevraag. Bij het referentiesysteem is een actieve individuele koelmachine geplaatst. Bij een groter vermogen zal de CAPEX van het referentiesysteem wel kunnen toenemen.

Collectief systeem

Uit andere business cases is gebleken dat een collectief systeem in het algemeen financieel aantrekkelijker is dan een individueel systeem. Bij een collectief systeem wordt de warmte met een centrale warmtepomp geproduceerd. De investeringskosten van een centrale warmtepomp zijn lager dan de investeringskosten van de individuele warmtepompen. Dit zorgt er ook voor dat de herinvesteringskosten na 15 jaar lager zijn. In een eventuele verdiepende fase wordt aanbevolen om een collectieve oplossing mee te nemen in een variantenstudie.

Alternatieve referenties

In de huidige studie is de vergelijking gemaakt met gasketels voor warmtelevering en koelmachines voor koeling. In dit geval is daarvoor gekozen omdat deze studie deel uitmaakt van een groter geheel. Verschillende business cases worden gebundeld in een cockpit waar de standaard referentie gas is, zodat de potentie van WKO + TEO voor uiteenlopende projecten goed inzichtelijk wordt gemaakt. Daarnaast wordt er in sommige gevallen nog steeds nagedacht over een systeem met een gasketel. Via deze studies wordt weergegeven dat een duurzaam monovalent WKO + TEO systeem een goed alternatief is.

Vanuit de huidige studie kan een energetisch/technisch en financieel vergelijk gemaakt worden met alternatieve all-electric oplossingen, zoals onder andere WKO met regeneratie via de buitenlucht, lucht-/waterwarmtepompen en/of gesloten bodemenergiesystemen (individuele bodemlussen met warmtepomp).

Distributienet

De locatie van het distributienet in de huidige studie is indicatief weergegeven. In een vervolgfase zal nader bekeken kunnen worden waar het distributienet idealiter geplaatst kan worden. Hierbij kunnen onder andere kosten, aanwezigheid primaire waterkering, locatie WKO + TEO en andere infrastructuur in de grond een rol spelen.

Zonnepanelen

In het energetisch concept en de financiële analyse is het effect van het gebruik van zonnepanelen niet meegenomen. Bij een all-electric oplossing zoals WKO + TEO is het elektriciteitsverbruik hoger dan bij een conventioneel systeem met een gasketel. Indien het aantal zonnepanelen wordt aangepast aan het elektriciteitsverbruik van de woningen kan dit effect hebben op de terugverdientijd van het totale systeem. Dit geldt ook voor het vergelijk met alternatieven all-electric concepten. In het algemeen is het elektriciteitsverbruik bij regeneratie met oppervlaktewater lager dan bij regeneratie met lucht. Dus bij het energieneutraal maken van de woning zijn er minder zonnepanelen nodig met WKO + TEO.

Ontwerp OVW systeem

Voor het water in de Hollandsche IJssel wordt geen risico op opwarming van het oppervlaktewater verwacht. Het regionale water in Nieuwerkerk aan den IJssel (zie Figuur 3.8) toont wel risico op opwarming. Eventueel zou er water teruggebracht kunnen worden in de Ringvaart. Indien dat gebeurt moet er nader onderzocht worden wat de effecten zijn van water verplaatsen tussen verschillende oppervlaktewaterlichaam en de benodigde verplichtingen en vergunningen die hierbij een rol spelen.

Thermische energie uit afvalwater (TEA)

In de buurt van het project Zelling Onderneming zit het rioolgemaal Vijf Boeken met een capaciteit van 75 m³/h. De gemiddelde temperatuur van afvalwater in Nederland is -23 °C. Dit kan een potentiële warmtebron voor regeneratie van de WKO zijn. Dit concept wordt ook wel thermische energie uit afvalwater (TEA) genoemd. Het voordeel van een dergelijk systeem is dat er geen TEO systeem nodig is (-€ 100.000). De haalbaarheid van een dergelijk concept ligt voornamelijk aan de inpassingsmogelijkheden bij het rioolgemaal en de beschikbare energie in het afvalwater. In een eventuele verdiepende fase wordt aanbevolen om thermische energie uit afvalwater mee te nemen in een variantenstudie.

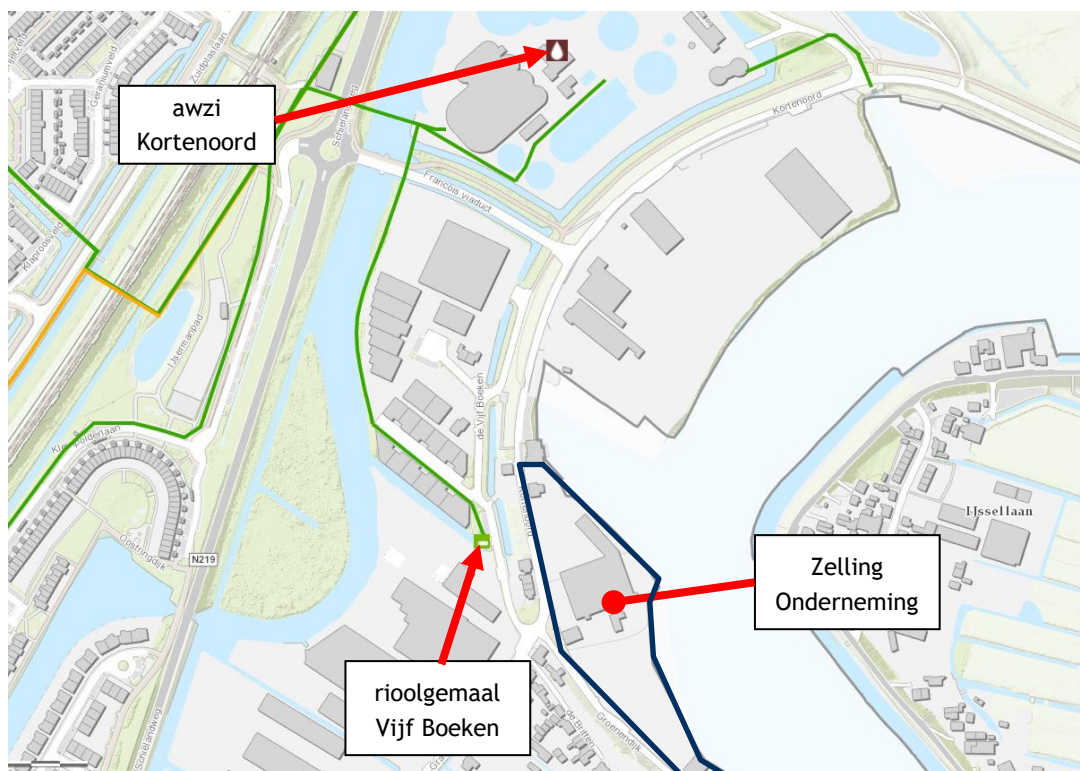
Temperatuur oppervlaktewater

De verwachting is dat de temperatuur aangenomen in Figuur 3.3 en het model conservatief is ingeschat en dus hoger zou kunnen zijn. In werkelijkheid zal de temperatuur van het oppervlaktewater fluctueren en geen sinusvormig gedrag vertonen zoals in Figuur 3.3. Echter de aanname van gemiddelde temperatuur over een seizoen zal in deze fase een goede indicatie geven van het benodigde systeem. Het vermoeden bestaat dat de temperatuur op zou kunnen lopen tot boven de 25 °C.

Indien de temperatuur van het oppervlaktewater hoger zou zijn, komt dit zeer waarschijnlijk ten gunste van de business case voor TEO. Een hogere oppervlaktewatertemperatuur zorgt voor een hogere WKO opslag temperatuur. Daarnaast kan het zorgen voor een grotere ΔT en een verlaging van de maximale benodigde capaciteit. Het gevolg is lagere investerings- en exploitatiekosten.

Gevoeligheidsanalyse

Een gevoeligheidsanalyse geeft inzicht op de effecten en gevoeligheden van andere uitgangspunten. Hierbij kan gedacht worden aan e.g. prijsstijgingen voor elektriciteit en gas die effect hebben op de exploitatiekosten. Ook de hierboven gevoeligheden van temperatuur water en BAK kunnen worden onderworpen aan een gevoeligheidsanalyse.



Figuur 5.1 | Rioolgemaal Vijf Boeken (75 m³/h) en afvalwaterzuiveringsinstallatie Kortenoord zitten in de buurt van het project Zelling Onderneming.

5.5 SPOORBOEKJE

In Figuur 5.2 zijn de afgeronde stappen en toekomstige stappen overzichtelijk weergegeven (STOWA, 2017). Na het definitief maken van de huidige business case bevindt het proces zich aan het einde van fase 1: verkenning. Zoals ook geschetst in het plan van aanpak (paragraaf 2.2) zou de vervolgstap op deze business case het creëren van draagvlak bij de stakeholders zijn om het project verder te brengen. Het betrekken van stakeholders in de verkenningfase kan ervoor zorgen dat problemen snel kunnen worden doorgrond die een haalbare case in de weg staan. Ook is het belangrijk om gezamenlijk standpunten en belangen te verkennen en tot een gemeenschappelijk beeld te komen en een rolverdeling vast te stellen. In de verkenning is het ook raadzaam om een financiële vergelijking te maken met andere aardgasloze opties (all-electric).

Voor het vervolg (fase 2: verdieping) is het van belang dat de technische, financiële, juridische en organisatorische kaders in meer detail worden uitgewerkt en dat er afstemming plaatsvindt met de belanghebbenden. Hierbij is het raadzaam om voorwaarden voor het vervolg vast te leggen in een intentieovereenkomst tussen de belanghebbenden (waterschap, gemeenten en eventueel anderen)

en daarmee fase 1 af te ronden. Tijdens de verdiepingsfase zal moeten worden bepaald op welke wijze het project in de markt zal worden gezet. De ervaring uit eerdere TEO-projecten leert dat een bijeenkomst voor de presentatie van de eindresultaten van dit onderzoek ook efficiënt kan worden gebruikt om een gezamenlijk vervolg te formuleren.

Opbouw handreiking thermische energie uit oppervlaktewater				
Proces, stappen en tools				
	Fase 0. Omgevingscan	Fase 1. Verkenning	Fase 2. Verdieping	Fase 3. Uitwerking
<i>Technisch</i>	<ul style="list-style-type: none"> Karakteristieken bepalen ✓ Schatting potentie ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> Uitwerken grof technisch ontwerp ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> Uitwerken voorlopig technisch ontwerp 	<ul style="list-style-type: none"> Uitwerken definitief technisch ontwerp Aanbesteding voorbereiden
<i>Organisatorisch</i>	<ul style="list-style-type: none"> Identificeren stakeholders (potentiële partners en indirecte stakeholders) ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> Stakeholderanalyse ✓ Benaderen partijen Vaststellen rollen 	<ul style="list-style-type: none"> Rolinvulling uitwerken Warmte/koudeleveringsvoorwaarden uitwerken 	<ul style="list-style-type: none"> Onderlinge afspraken vastleggen in overeenkomsten
<i>Financieel</i>	<ul style="list-style-type: none"> 'achterkant van sigarendoosje' berekening financiële haalbaarheid ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> Scan financiële haalbaarheid ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> Uitwerking businesscase Investeringsbereidheid partners vastleggen Risico's uitwerken 	<ul style="list-style-type: none"> Definitieve businesscase per partner Uitwerken financieringsconstructie
<i>Juridisch</i>		<ul style="list-style-type: none"> Scan juridische voorwaarden (vergunningen, overeenkomsten, ...) ✓ Opstellen intentieovk 	<ul style="list-style-type: none"> Juridisch kader opstellen Opstellen samenwerkingsovk 	<ul style="list-style-type: none"> Overeenkomsten opstellen Vergunningen aanvragen
Resultaat fase	<ul style="list-style-type: none"> Lijst te benaderen potentiële partners Inzicht in type project en grove potentie 	<ul style="list-style-type: none"> Gezamenlijk inzicht in belangen / wensen Inschatting technische, juridische, financiële haalbaarheid Inzicht in meekoppelkansen 	<ul style="list-style-type: none"> Voorlopig ontwerp Rolinvulling Leveringsvoorwaarden Businesscase Juridisch kader 	<ul style="list-style-type: none"> Definitief ontwerp Overeenkomsten tussen deelnemende partijen Financieringsvoorstel Vergunningen
Vastgelegd in...		Intentieovereenkomst	Samenwerkingsovereenkomst	Investeringsbesluit

Figuur 5.2 | Opbouw handreiking thermische energie uit oppervlaktewater (bron: STOWA, 2017).

6 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.klimaatscenario's.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-%202021%20september%202016.pdf>.

STOWA (2017). Thermische energie uit oppervlaktewater - Handreiking voor ontwikkeling TEO-projecten. Verkregen op 20 december, 2017 van <http://stowa.nl/upload/Publicaties%202017/STOWA%202017%2035%20WEB%20LR%202.pdf>.

7 Afkortingen

BC	business case
BVO	bruto-vloeroppervlakte
CAPEX	capital expenditures
EOR	equivalent opwekkingsrendement
ISDE	investeringssubsidie 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
UMGO	Uniforme Maatlat Gebouwde Omgeving

Bijlage 1

Conceptbeschrijvingen

TEO/Smart polder

1.1 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>

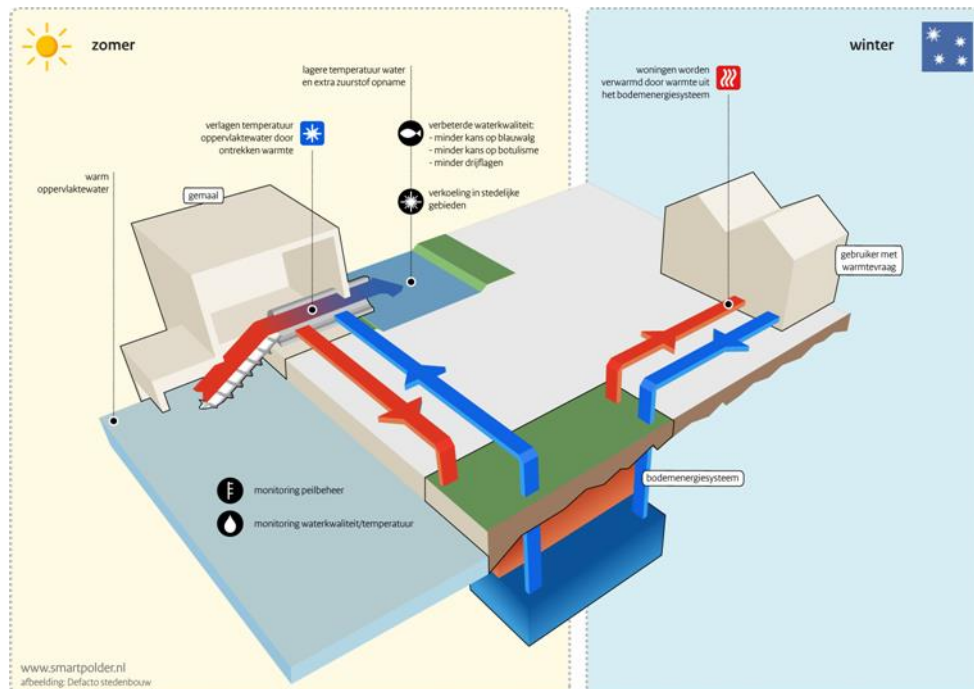
Daar waar energievraag en oppervlaktewater samenkomen is een economische rendabel project te maken. Op basis van de huidige energievraag is het economisch winbare potentieel 12% van de landelijke warmtevraag (42 PJ) en 54% van de landelijke koudevraag (3,8 PJ).

Het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden en Utrechtse gemeenten hebben deze landelijke verkenning uitgewerkt in een meer gedetailleerde regionale kanskaart (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.



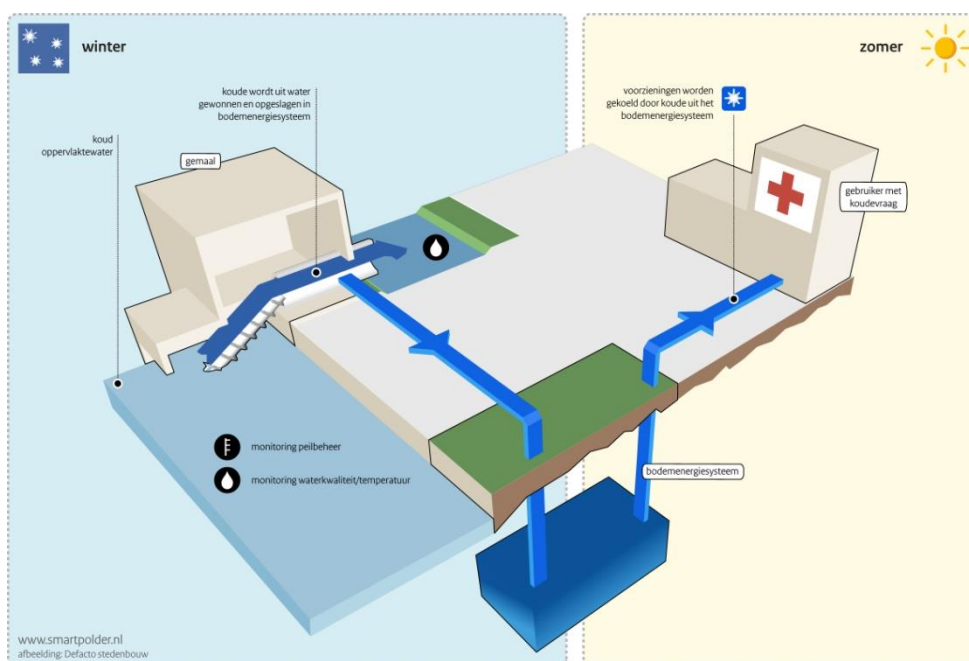
Figuur 7.1 | Gemaal als warmtecentrale in combinatie met WKO.

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 7.2). 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 temperatuurverandering al een zeer groot koude vermogen beschikbaar en dat maakt thermische winning op gemalen erg interessant.



Figuur 7.2 | Gemaal als koudecentrale in combinatie met WKO.

Inlaat en uitlaat bij onttrekkingspunt TEO systeem

In Figuur 7.3 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 7.4 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 7.3 | Inlaat van een TEO systeem. De inlaat is boven water geplaatst onder een steiger.

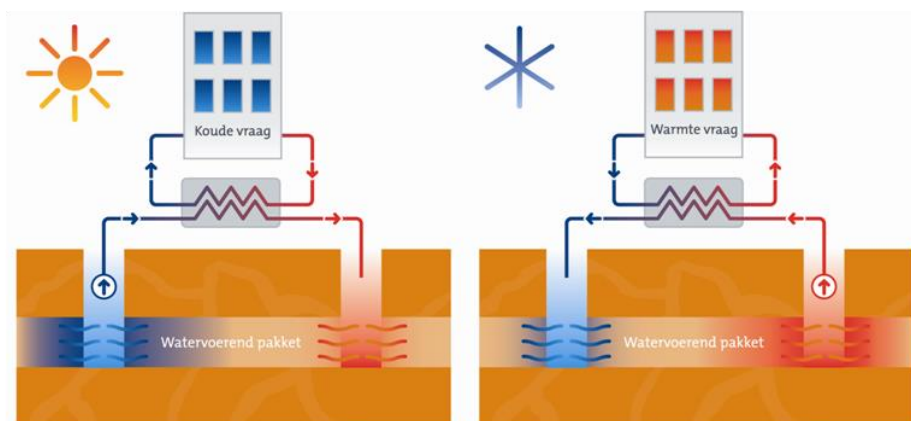


Figuur 7.4 | Inlaat van een TEO systeem. De inlaat is onder water geplaatst onder een steiger.

1.2 PRINCIPE WARMTE- EN KOUDE OPSLAG (WKO)

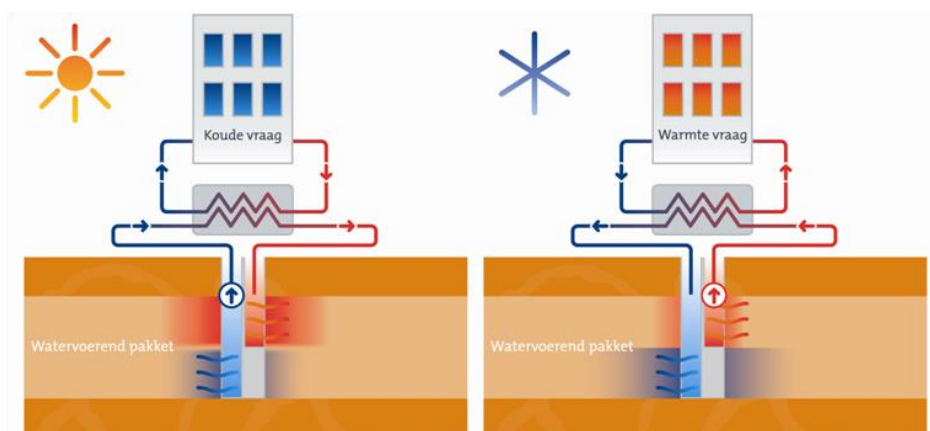
Het principe van een WKO met een open grondwatersysteem is dat in de winter het gebouw of proces wordt verwarmd met zomerwarmte en in de zomer wordt gekoeld met winterkoude. De warmte en koude worden door middel van open bronnen in een ondergrondse watervoerende laag opgeslagen en onttrokken.

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 7.5.



Figuur 7.5 | 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 7.6.



Figuur 7.6 | Principe van energieopslag met een monobron.

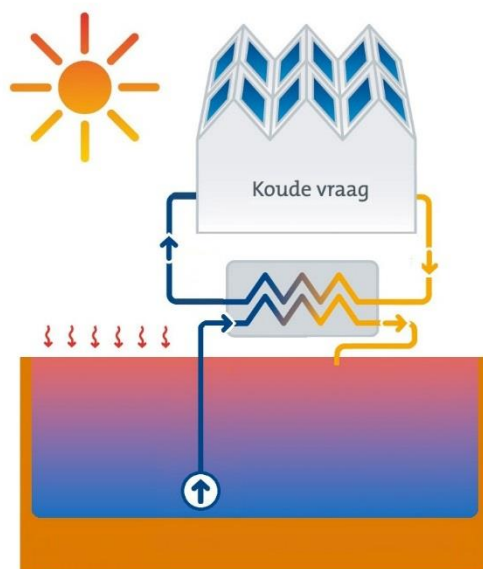
Een WKO dient in energiebalans te zijn, de hoeveelheid gewonnen koude dient doorgaans gelijk te zijn aan de gewonnen warmte. Indien er bij een afnemer een energieonbalans is (overwegende warmtevraag bij woningen en overwegende koudevraag bij datacenters en industrie) kan deze worden aangevuld met warmte of koude uit oppervlaktewater.

1.3 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 7.7 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 7.7 | 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 terugstroomt 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-watergang 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 bepaalt 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 in pandig.

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.

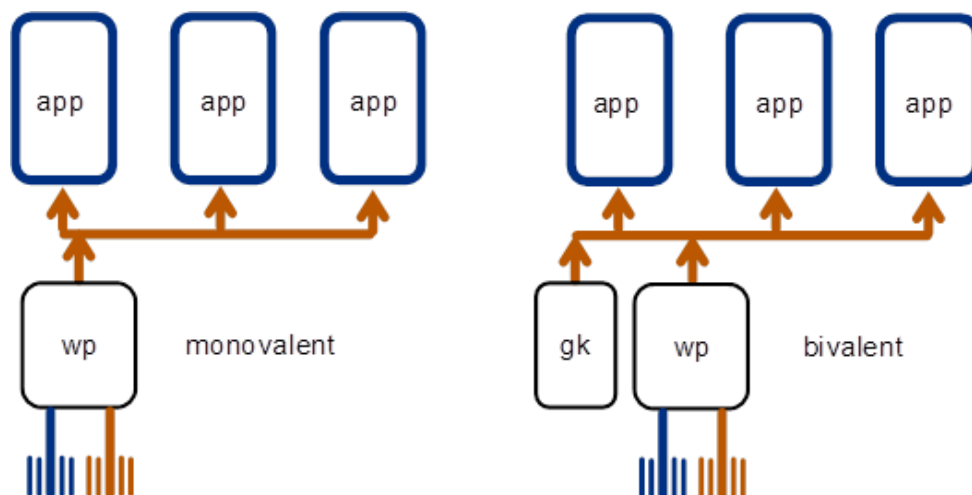
Gebouwinstallatie

Voor de gebouwssystemen kan gekozen worden voor monovalente of bivalente systemen. Beide systemen zijn schematisch weergegeven in Figuur 7.8. Een korte toelichting aan de hand van warmtelevering volgt hieronder:

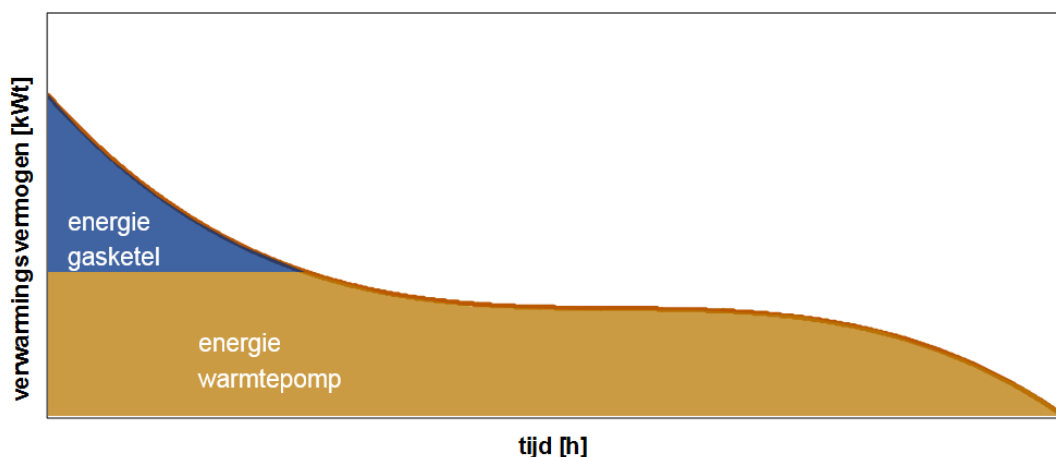
- Monovalent:** Appartementen (app) hebben een warmtevraag (ruimteverwarming en tapwaterbereiding). Bij een monovalent systeem wordt één omzetter gebruikt die alle warmte levert. In het voorbeeld (zie Figuur 7.8) is dit een warmtepomp (wp) in combinatie met energieopslagsysteem.
- Bivalent:** Bij een bivalent systeem wordt gebruik gemaakt van twee omzeters 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 7.9 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 7.8 | Monovalent vs. Bivalent systeem (schematisch)



Figuur 7.9 | Jaarbelastingduurcurve.

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.

IF Technology **Creating energy**



Velperweg 37
6824 BE Arnhem
Postbus 605
6800 AP Arnhem

T 026 35 35 555
E info@iftechnology.nl
I www.iftechnology.nl

NL60 RABO 0383 9420 47
KvK Arnhem 09065422
BTW nr. NL801045599B01

IF Technology **Creating energy**

Thermische Energie uit Oppervlaktewater

Business case “Dordtse Kil IV” Dordrecht





Datum 12 december 2017
Referentie 67149/MaK/20171212
Betreft Thermische Energie uit Oppervlaktewater - Business case "Dordtse Kil IV" Dordrecht
Behandeld door de heer F. Niewold
Gecontroleerd door de heer B. Scholten
de heer M. Koenders
Versienummer Definitief 1.1

OPDRACHTGEVER

Unie van Waterschappen
de heer R. Romijn
Postbus 93218
2509 AE Den Haag
T 070 - 456 1571
rromijn@uvw.nl

INHOUDSOPGAVE

1 Samenvatting	4
2 Inleiding	8
2.1 Algemeen	8
2.1.1 Achtergrond	8
2.1.2 Uitrol strategie TEO	8
2.1.3 Casus: Dordtse Kil IV	9
2.2 Plan van Aanpak	9
2.2.1 Selecteren van kansrijke locaties	9
2.2.2 Inventarisatie gebiedskenmerken en belanghebbenden	9
2.2.3 Verkenning business case	10
2.2.4 Verdiepingsfase	10
2.2.5 Projectrealisatie en exploitatie	10
2.3 Doelstellingen casussen	10
2.3.1 Algemene doelstellingen	10
2.3.2 Doelstellingen casus: Dordtse Kil IV	10
Dordrecht	10
2.4 Leeswijzer	11
3 Inventarisatie	12
3.1 Stakeholderanalyse	12
3.2 Kenmerken Gebied en gebouwen	12
3.3 Kenmerken watersysteem	16
3.4 Kenmerken bodem	19
3.5 Klimaatadaptie	23
3.6 Omgevingsbelangen	24
3.6.1 Juridische belangen	24
4 Business case	25
4.1 Energieconcepten	25
4.2 Schetsontwerp	30
4.3 Impact leefomgeving	33
4.4 Financiële analyse	33
4.5 Duurzaamheid	40
5 Conclusies en aanbevelingen	43
5.1 Technische en energetische haalbaarheid	43
5.2 Ruimtelijke inpassing	44
5.3 Financiële haalbaarheid	45
5.4 Spoorboekje	45
6 Referenties	47
7 Afkortingen	49
Bijlage 1 Conceptbeschrijvingen TEO/Smart polder	50
7.1 PRINCIPE SMART POLDER - TEO	50
7.2 Principe Warmte- en Koude Opslag (WKO)	54
7.3 Koude uit diepe plassen	55
Bijlage 2 Energieconceptvorming gebouwinstallatie	57

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 de “Dordtse Kil IV” in Dordrecht (zie Figuur 1.1). De Dordtse Kil IV wordt gekenmerkt door een nieuw te ontwikkelen duurzaam bedrijventerrein met een aantrekkelijk vestigingsklimaat voor logistieke dienstverleners en regionale bedrijven. Voor deze ontwikkeling is een bouwscenario met een mix van opslag, kantoor en industrie aangenomen bestaande uit 43 gebouwen van groot, middel en klein formaat. Vanuit dit uitgangspunt zijn 2 scenario’s doorgerekend: 1) “scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal” en 2) “scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw”. In scenario 1 is gekeken of het mogelijk is om het totale gebied met WKO + TEO van energie te voorzien en in scenario 2 is de haalbaarheid getoetst van een enkel groot gebouw in de buurt van oppervlaktewater. Er is een inschatting gemaakt van de warmtevraag van $-25.000 \text{ MWh}_{\text{th}}$ ($-88.000 \text{ GJ}_{\text{th}}$) per jaar en de koudevraag van $-350 \text{ MWh}_{\text{th}}$ ($-1.300 \text{ GJ}_{\text{th}}$) per jaar voor het totale gebied en de warmtevraag van $-1.750 \text{ MWh}_{\text{th}}$ ($-6.300 \text{ GJ}_{\text{th}}$) en de koudevraag van $-25 \text{ MWh}_{\text{th}}$ ($-90 \text{ GJ}_{\text{th}}$) voor 1 groot gebouw.

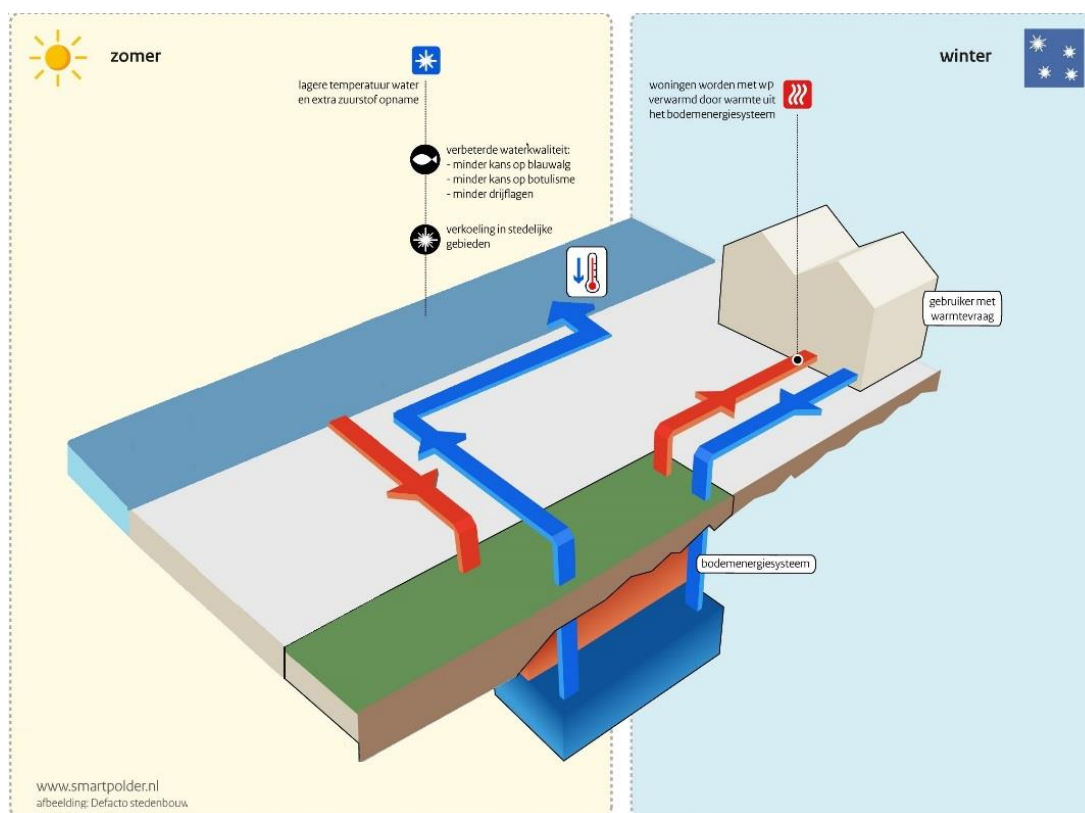
Het oppervlaktewater wordt verkregen uit de rivier de Dordtsche Kil. Het oppervlaktewater nabij de locatie is -250 meter breed en -9 meter diep. De rivier is een getijrivier met een jaargemiddelde stroming richting het noorden van $440 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figuur 1.1 | Dordtse Kil IV in Dordrecht. 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 in de Dordtse Kil IV het geval is, en wordt 100% elektrisch opgewekt (aardgasvrij). TEO kan worden aangevuld met een warmte en koudeopslagsysteem in de bodem (WKO) (zie Figuur 1.2).



Figuur 1.2 | 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 de Dordtse Kil IV is de koudevraag bijna verwaarloosbaar ten opzichte van de warmtevraag en de warmtevraag significant. 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 zijn 14 doubletten (één warme en één koude bron) met een maximaal debiet van 75 m³/h toereikend om alle gebouwen in de Dordtse Kil IV van voldoende warmte en koude te voorzien. Om 1 groot gebouw van warmte en koude te voorzien is 1 doublet van 75 m³/h toereikend. Om de bronnen in de zomer voldoende te kunnen laden is een oppervlaktewatersysteem van maximaal 780 m³/h nodig voor het totale gebied en 58 m³/h voor 1 groot gebouw. Er zijn verschillende systeemconcepten mogelijk. Eén concept (“WKO + TEO concept centraal”) bevat een grondwater gevuld distributienet, WKO bronnennet en oppervlaktewaterleidingen om de gebouwen van de gewenste warmte en koude te kunnen voorzien. Een ander concept (“WKO+ TEO concept decentraal”) bevat een WKO bronnennet die tevens als distributienet fungeert en oppervlaktewaterleidingen. In het geval 1 groot gebouw wordt aangesloten is concept decentraal van toepassing. Dit betekent dat het gebouw zijn eigen WKO systeem en warmtepomp heeft. Ook worden er juridisch gezien geen knelpunten voorzien voor de realisatie van TEO en WKO.

Aandachtspunten voor het bodemenergiesysteem zijn:

- 1 **Zoet-/zoutgrensvlakken:** Bij nieuwe bodemenergiesystemen dient ervoor te worden gezorgd dat er geen sprake is van menging van zoet en brak of zout grondwater en/of verplaatsing van het zoet-/brakgrensvlak.

Duurzaamheid

Door de toepassing van TEO met een oppervlaktewaterdebiet van 780 m³/h 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 1.600 GJ_{th} ten opzichte van de warmte uitstoot van traditionele koelers (compressiekoelmachine), waarmee extra hittestress wordt voorkomen. De CO₂ emissiereductie kan ten hoogste (volledig grijs opgewekte stroom) 530 ton/jaar bedragen voor het totale gebied ten opzichte van een all-electric systeem waarbij elk gebouw zijn eigen lucht/water warmtepomp en compressiekoelmachine heeft. In het geval van volledig groen opgewekte elektriciteit is de CO₂ emissie in beide systemen 0.

Financiële haalbaarheid

De financiële haalbaarheid van de WKO + TEO scenario's bij de Dordtse Kil IV is getoetst door een vergelijking te maken met een all-electric systeem (lucht/water warmtepomp en compressiekoelmachine in elk gebouw). De verwachte terugverdientijd is -17 jaar voor 1 groot gebouw met WKO + TEO ten opzichte van een all-electric systeem. Als het totale gebied met WKO + TEO wordt voorzien van warmte en koude is de verwachte terugverdientijd 21 - 28 jaar ten opzichte van het all-electric systeem.

De infrastructuur van de waterleidingen zorgt voor een significante investeringspost. In het geval dat een enkel groot gebouw dicht in de buurt van het oppervlaktewater wordt aangesloten op een WKO + TEO systeem is de terugverdientijd significant lager dan wanneer het totale gebied collectief wordt aangesloten op WKO + TEO. Dit komt omdat de energiedichtheid van het totale gebied relatief laag is, vanwege de grote oppervlakte. Er kan worden geconcludeerd dat individuele toepassing van WKO + TEO dicht in de buurt van oppervlaktewater de meest haalbare oplossing biedt. Echter in het geval er meerdere gebouwen dicht in de buurt van oppervlaktewater zijn, kan een klein collectief systeem de terugverdientijd verkorten ten opzichte van de 17 jaar. Daarnaast kan een optimalisatie van het leidingwerk bij WKO + TEO de business case ook positief beïnvloeden ten gunste van WKO + TEO. Dit zou in een verdiepingfase verder uitgezocht kunnen worden.

Vervolg

De plannen voor de ontwikkeling van de Dordtse Kil IV zijn al in een gevorderd stadium. Hierbij is de toepassing om het gebied duurzaam te ontwikkelen een belangrijk aandachtspunt. De integratie van TEO in combinatie met een WKO systeem heeft een significante meerwaarde in het geval er een thermische onbalans heerst. 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.

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 ten opzichte van 1990. 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: Dordtse Kil IV

De Dordtse Kil IV in Dordrecht is als één van de kansrijke locaties naar voren gekomen. Dit gebied wordt gekenmerkt door een nieuw te ontwikkelen duurzaam bedrijventerrein met een aantrekkelijk vestigingsklimaat voor logistieke dienstverleners en regionale bedrijven. Het bedrijventerrein grenst in het westen aan de Dordtsche Kil (oppervlaktewater). De ambitie is om van de Dordtse Kil IV een volledig energie neutraal bedrijventerrein te maken. Hoewel het bestemmingsplan nog niet definitief is, wordt er overwegend ruimte gemaakt voor logistieke bedrijven. Voor de energievraag zullen de gebouwen worden getypeerd als een mix van bedrijfsgebouwen voorzien van opslag- en transportruimten en bijbehorende kantoorruimten. De opslag- en transportruimten kunnen verschillende temperatuur regimes hebben. In dit rapport wordt de technische en financiële haalbaarheid van thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) bij de Dordtse Kil IV in Dordrecht 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: Dordtse Kil IV Dordrecht

De doelstelling van deze specifieke casus is om de technische en financiële haalbaarheid inzichtelijk te maken voor de belanghebbenden. Dit zijn in directe zin de gemeente, de bedrijven en de projectontwikkelaars. Anderzijds is dit de UvW die in dit specifieke geval de haalbaarheid van een WKO + TEO systeem in combinatie met een nieuw te ontwikkelen bedrijventerrein met overwegend logistieke functie 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

Toekomstige eigenaren en ontwikkelaars bedrijfsgebouwen

Hoewel de eigenaren/ontwikkelaars en de exacte invulling van de bedrijfsgebouwen 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 gebouweigenaren.

Waterschap Hollandse Delta

Waterschap Hollandse Delta is verantwoordelijk voor het kwalitatieve en kwantitatieve beheer van het regionale oppervlaktewater waar de Dordtse Kil IV in Dordrecht onder valt. Voor het brengen van water in of het onttrekken van water uit een oppervlaktewaterlichaam is het waterschap bevoegd gezag voor vergunningverlening. Aanvullend is het waterschap de beheerder van de dijk grenzend aan de Dordtsche Kil en het gebied de Dordtse Kil IV.

Rijkswaterstaat

Rijkswaterstaat is verantwoordelijk voor het beheer en de ontwikkeling van de hoofdwegen, hoofdvaarwegen en hoofdwatersystemen, waar de rivier de Dordtsche Kil onder valt. Voor het brengen van water in of het onttrekken van water uit het oppervlaktewaterlichaam is Rijkswaterstaat bevoegd gezag voor vergunningverlening.

Provincie Zuid-Holland

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

Gemeente Dordrecht

De gemeente Dordrecht is eigenaar 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.

3.2 KENMERKEN GEBIED EN GEBOUWEN

Gebied

Gemeente Dordrecht wil Dordtse Kil IV ontwikkelen tot een energieneutraal bedrijventerrein voor overwegend logistieke dienstverleners. In Figuur 3.1 is het gebied geel omlijnd. In het westen wordt Kil IV begrensd door de rivier de Dordtsche Kil. In het noorden en oosten wordt het gebied begrensd door Dordtse Kil III en de A16/spoorlijn, respectievelijk.

Gebouwen

De mix van gebouwen die bestudeerd zijn in deze casus zijn divers en kunnen allen worden getypeerd als nieuwbouw. Het gebied zal overwegend logistieke bedrijfsgebouwen gaan bevatten.



Figuur 3.1 | Plangebied Dordtse Kil IV. Bron: Google Earth.

Het bouwprogramma bestaat uit verschillende type bedrijfsgebouwen. Hierbij moet gedacht worden aan onder andere bedrijfsgebouwen met opslag- en transporthallen met verschillende temperatuurregimes, bedrijfsgebouwen met koel- en/of vriescellen en bedrijfsgebouwen met een industriële invulling (assemblage industrie). In het rapport “Energievisie Dordtse Kil IV” (Innoforte, 2015) is een inschatting gemaakt van de aantallen en bruto-vloeroppervlakte (BVO) van de bebouwing. In Tabel 3.1 zijn de aantallen en BVO van de gebouwen in de eindsituatie gegeven (Innoforte, 2015). Deze verdeling is ook aangenomen in de huidige business cases.

Tabel 3.1 | Aantal en grootte van de gebouwen in de eindsituatie. Bron: Innoforte (2015).

Grootte gebouw	Aantal gebouwen	BVO gebouw [m ²]	BVO totaal [m ²]	Aandeel BVO [%]
groot	7	31.339	219.375	50%
middel	10	10.969	109.688	25%
klein	26	4.219	109.688	25%
totaal	43		438.750	100%

Daarnaast zijn inschattingen gemaakt van de gebouwtypen en de bijbehorende warmte- en koudevraag. De warmte- en koudevraag is afhankelijk van de gebruiksfunctie. Vervolgens zijn 7 bouwscenario's met verschillende bedrijvenmixen bepaald en doorgerekend. In de huidige business case is een bedrijvenmix gekozen uit het rapport van Innoforte (2015) en beoordeeld op technische en financiële haalbaarheid in combinatie met een TEO systeem. Voor de duidelijkheid is dezelfde aanduiding gebruikt:

- 1 Bedrijvenmix - hal hoge temperatuur.

Er zijn 2 scenario's doorgerekend voor het WKO + TEO systeem:

- 1 Dordtse Kil IV - totaal
- 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw

In scenario 1 wordt ervan uitgegaan dat het gehele gebied wordt aangesloten op het WKO + TEO systeem. In scenario 2 wordt ervan uitgegaan dat 1 groot gebouw (31.339 m² BVO) wordt aangesloten op het WKO + TEO systeem. Dit gebouw staat zo dicht mogelijk in de buurt van het oppervlaktewater.

Theoretisch kan elk gebouw 7 functies vervullen (kantoor, hal 5 °C, hal 10 °C, hal 18 °C, industrie, koelcel en vriescel). De uitsplitsing van de gebouweigenschappen en de totale jaarlijkse warmte- en koudevraag voor het hele gebied voor scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal is gegeven in Tabel 3.2. Voor scenario 2 met 1 groot gebouw wordt de warmte- en koudevraag geschaald met de BVO van de gebouwen in het hele gebied (zie Tabel 3.3). Deze studie richt zich alleen op de benodigde warmte- en koudevraag. Het valt op dat bedrijvenmix - hal hoge temperatuur industrie bevat, maar dat voor deze industrie geen warmte- en/of koudevraag benodigd is. De energievraag voor deze functie wordt vervuld door elektriciteit. Dit is overgenomen uit de Energievisie Dordtse Kil IV (Innoforte, 2015). De warmte- en koudevraag en de bijbehorende vermogensvragen zijn afhankelijk van gebouwfunctie en het bouwjaar. In de huidige business cases is het bouwjaar 2020 aangenomen. De verwachting is dat na 2020 de EPC-eis voor gebouwen niet meer zal veranderen.

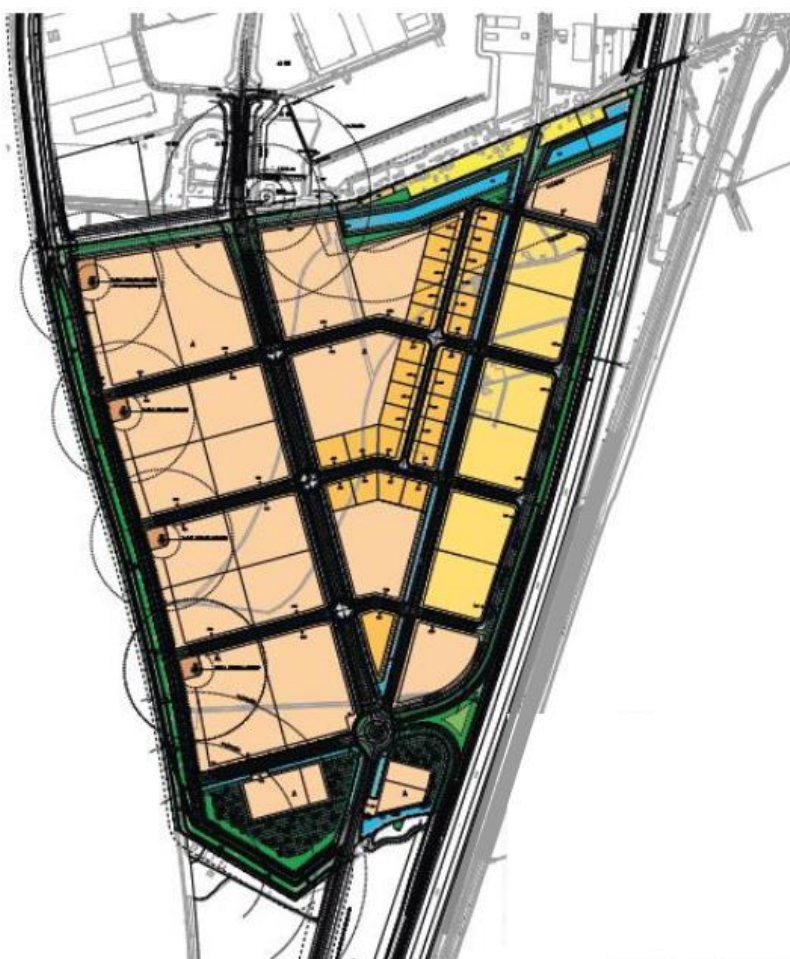
Tabel 3.2 | Warmte- en koudevraag scenario 1: Dordtse Kil IV - totaal. Bron: Innoforte (2015).

Scenario 1: Dordtse Kil IV - totaal								
Functie	kantoor	hal 5 °C	hal 10 °C	hal 18 °C	industrie	koelcel	vriescel	totaal
Eigenschappen gebouw								
BVO [m ²]	41.506		79.449	238.347	79.449			438.750
Warmtevraag [MJ/m ²]	43		65	339				
Koudevraag [MJ/m ²]	31							
Vermogen warmte [W/m ²]	20		36	50				
Vermogen koude [W/m ²]	28							
Eigenschappen eindscenario								
Warmtevraag [GJ/jaar]	1.785		5.164	80.800				87.749
Koudevraag [GJ/jaar]	1.287							1.287
Vermogen warmte [MW _{th}]	0,83		2,86	11,9				15,6
Vermogen koude [MW _{th}]	1,16							1,16

Tabel 3.3 | Warmte- en koudevraag scenario 2: Dordtse Kil IV - groot gebouw. Bron: Innoforte (2015).

Scenario 2: Dordtse Kil IV - groot gebouw								
Functie	kantoor	hal 5 °C	hal 10 °C	hal 18 °C	industrie	koelcel	vriescel	totaal
Eigenschappen gebouw								
BVO [m ²]	3.000		5.700	17.000	5.700			31.300
Eigenschappen eindscenario								
Warmtevraag [GJ/jaar]	128		370	5.800				6.300
Koudevraag [GJ/jaar]	92							92
Vermogen warmte [MW _{th}]	0,06		0,20	0,85				1,11
Vermogen koude [MW _{th}]	0,08							0,08

De exacte inrichting van de Dordtse Kil IV is nog niet definitief. Daarom is er een inschatting gemaakt tijdens de huidige studie van de verdeling van gebouwen op basis van Figuur 3.2, waarin een mogelijke kavelindeling is te zien (Innoforte, 2015). Omdat de exacte verdeling van bouwtype en gebouwgröße niet bekend is, wordt de energievraag en het aantal vierkante meters gelijkmatig verdeeld over het gebied.



Figuur 3.2 | Plattegrond Dordtse Kil IV met een mogelijke kavelindeling. Bron: Innoforte (2015).

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 zijn twee concepten doorgerekend voor het scenario's Dordtse Kil IV - totaal:

- 1 **Centraal:** vanuit een centraal gelegen technische ruimte wordt de warmte en koude naar de gebouwen 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 een warmtewisselaar, zodat het oppervlaktewater, het WKO grondwater en het water in het distributienetwerk niet met elkaar kunnen mengen. De WKO systemen zijn via een WKO bronnennet aan elkaar gekoppeld.
- 2 **Decentraal:** vanuit een WKO bronnennet wordt grondwater vanuit de warme en koude bron gedistribueerd naar de gebouwen. In de gebouwen wordt de warmte decentraal opgewaardeerd met warmtepompen. De warmte vanuit het oppervlaktewater, warmte en koude vanuit het WKO systeem en de warmte en koude naar de gebouwen wordt via een ringleiding aangesloten. De warmte- en koude overdracht gebeurt via een warmtewisselaar, zodat het oppervlaktewater en het WKO grondwater niet kunnen mengen.

Voor het scenario Dordtse Kil IV - groot gebouw is het concept decentraal berekend.

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

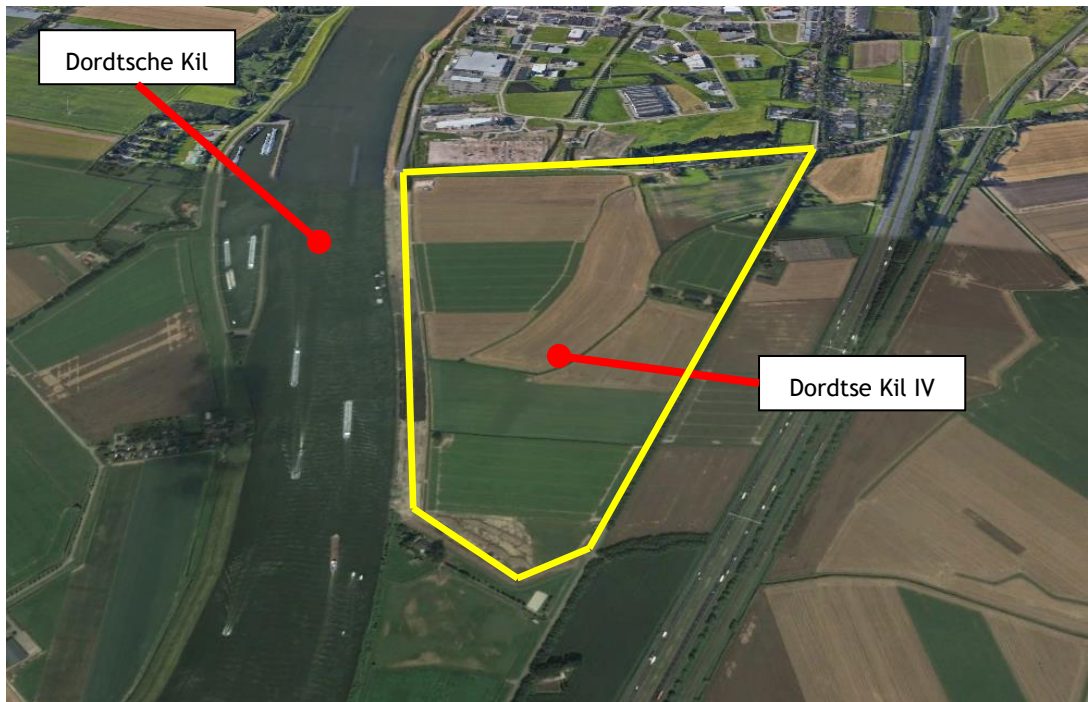
Het oppervlaktewater dat gebruikt kan worden voor het TEO systeem is de Dordtsche Kil. De Dordtsche Kil is een getijrivier in de provincie Zuid-Holland die de Oude Maas verbindt met het Hollandsch Diep. De afmetingen van het water ter hoogte van de Dordtse Kil IV (zie Figuur 3.3) zijn (Henk Looijen, persoonlijke communicatie, 19 juni 2017):

- Breedte: 250 m
- Diepte: 9 m

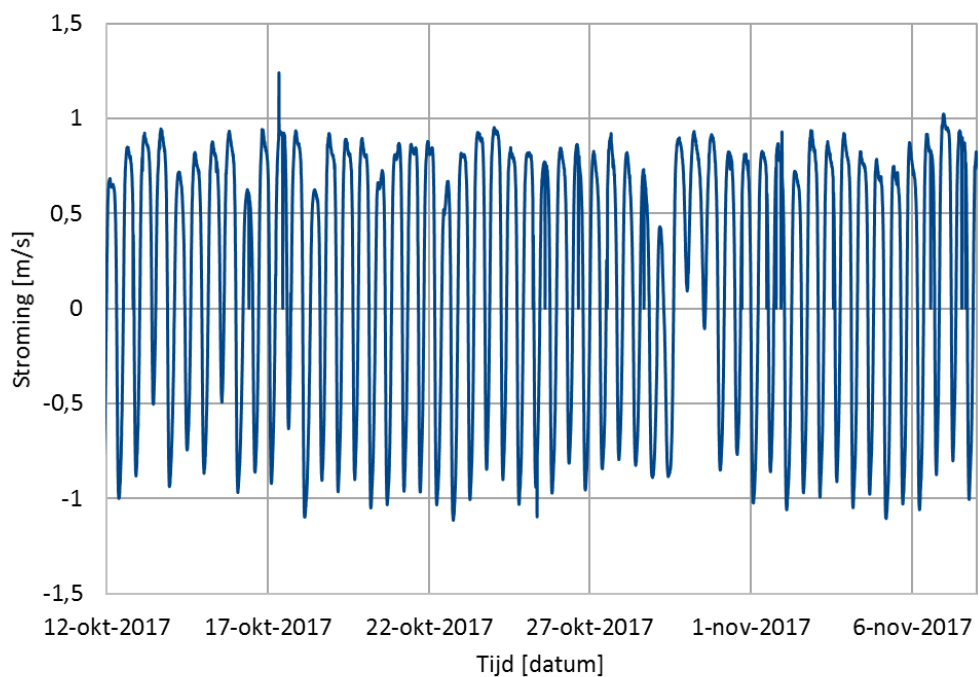
Debiet oppervlaktewater

Het debiet ter hoogte van de Dordtse Kil IV is gemiddeld $\sim 440 \text{ m}^3/\text{s}$ noordwaarts (Henk Looijen, persoonlijke communicatie, 19 juni 2017). Dit komt neer op een stromingssnelheid van $\sim 0,2 \text{ m/s}$. Het debiet ter hoogte van Wieldrecht (gemeente Dordrecht) in de Dordtsche Kil tussen 12 oktober 2017 t/m 8 nov 2017 is weergegeven in Figuur 3.4 (bron: <https://waterinfo.rws.nl/>, 8 november, 2017). Het wordt aangenomen dat dit debiet overeenkomt met het debiet ter hoogte van de Dordtse Kil IV. Het is duidelijk te zien dat de stromingsrichting wordt veroorzaakt door het getij. De stroomsnelheid schommelt tussen de 1 m/s (noordwaarts) en -1 m/s (zuidwaarts). Het is

belangrijk dat het TEO systeem dusdanig wordt ontworpen dat thermische interferentie tussen het onttrekkingspunt en lozingspunt wordt geminimaliseerd.



Figuur 3.3 | Dordtsche Kil. Bron: Google Earth.

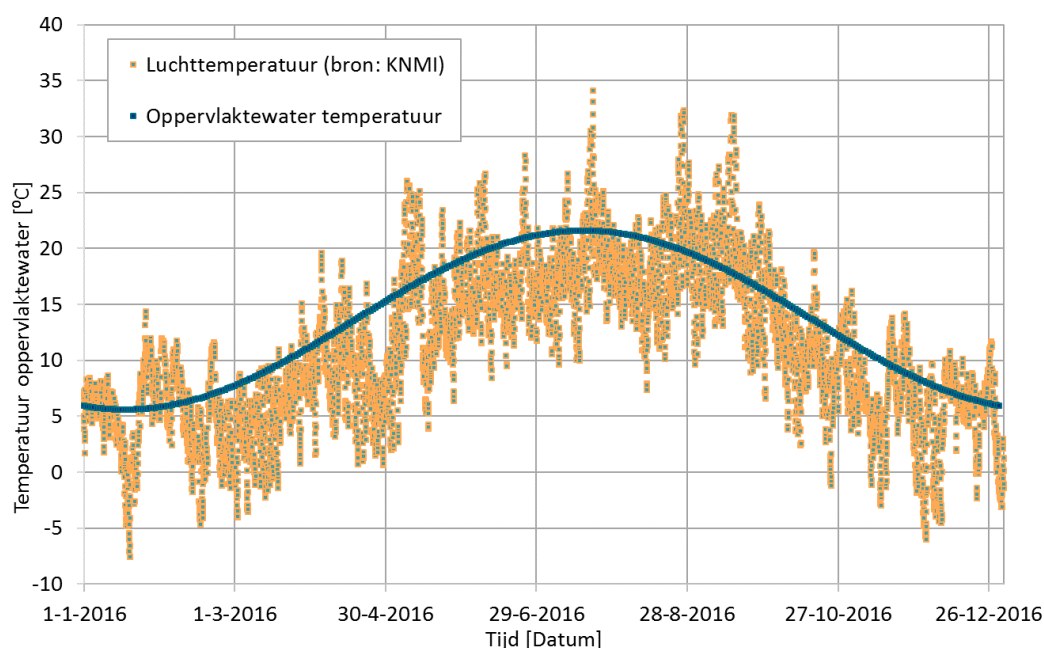


Figuur 3.4 | Stroming Dordtse Kil (Locatie: Wielrecht). Bron: <https://waterinfo.rws.nl/>, 8 november, 2017.

Temperatuur oppervlaktewater

De gemiddelde jaartemperatuur van het oppervlaktewater in de Dordtsche Kil is 13,6 °C (Henk Looijen, persoonlijke communicatie, 19 juni 2017). De exacte temperatuur nabij de Dordtse Kil IV is niet bekend. Daarom is de temperatuur van het oppervlaktewater afgeleid van de buitenluchttemperatuur van 2016 (bron: KNMI) en de gemiddelde jaartemperatuur. De afgeleide is gepresenteerd in Figuur 3.5.

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



Figuur 3.5 | Temperatuur oppervlaktewater Dordtsche Kil. De water temperatuur is afgeleid van de buitenluchttemperatuur (bron: KNMI) en de gemiddelde temperatuur van het oppervlaktewater van 13,6 °C.

Juridisch

Het onttrekken en lozen van oppervlaktewater voor de levering van energie, maakt de energieleverancier vergunningplichtig bij Rijkswaterstaat in het kader van de Waterwet. Daarnaast is het waterschap bevoegd gezag van de dijk tussen de Dordtsche Kil en Kil IV. De rest van de grond zal deels 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.

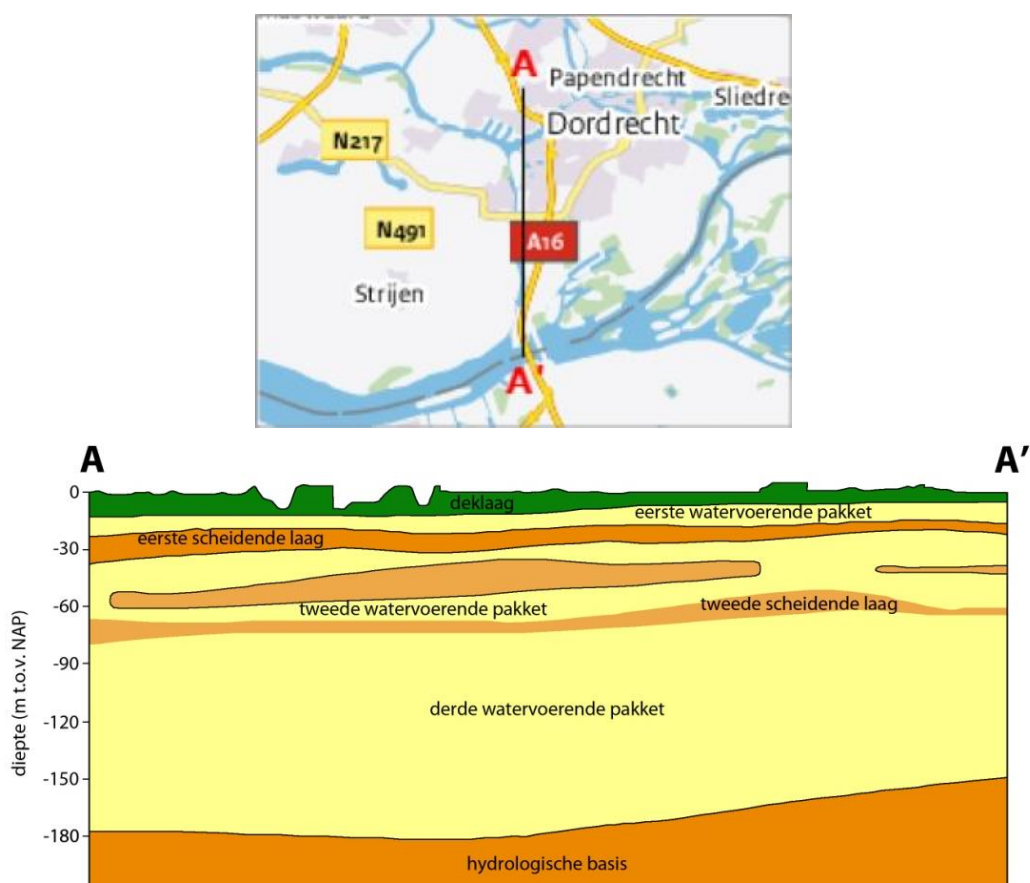
3.4 KENMERKEN BODEM

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 Dordrecht is geschematiseerd in een aantal watervoerende pakketten en scheidende lagen. De globale bodemopbouw op de locatie is weergegeven in Figuur 3.6.



Figuur 3.6 | Schematisatie bodemopbouw.

Omdat een duidelijke scheiding tussen het tweede en derde watervoerende pakket ontbreekt, ziet de provincie geen bezwaren om voor deze locatie het tweede en derde watervoerende pakket als gecombineerd pakket aan te duiden. Het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket

bestaat uit matig fijn tot uiterst grof zand met kleilagen. De haalbare capaciteit van het pakket varieert. Het wordt verwacht dat een capaciteit per bron van ~75 m³/uur gehaald kan worden.

Geohydrologie

In Tabel 3.4 zijn de relevante technische en juridische aspecten opgenomen die van invloed zijn op de werking van een bodemenergiesysteem in het gecombineerde eerste en tweede watervoerende pakket. In en onder de tabel zijn de aandachtspunten/risico's of belemmeringen nader toegelicht.

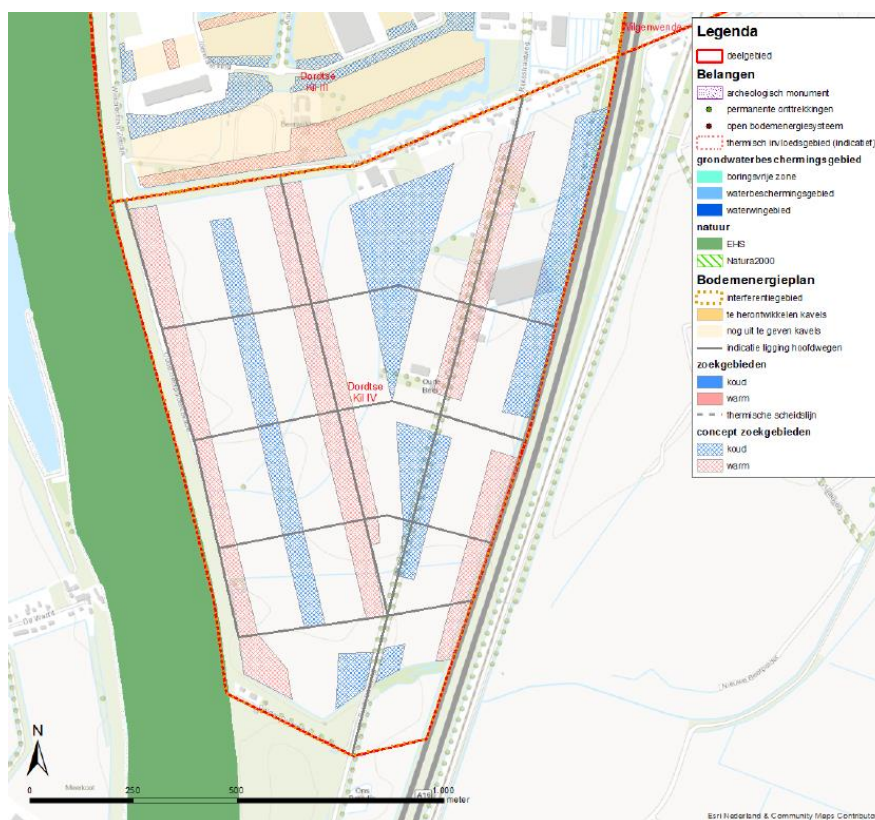
Tabel 3.4 | Technische en juridische aspecten bodemenergiesysteem.

onderwerp	toelichting	
bodemopbouw		
doorlaatvermogen	✓ geschikt	
dikte pakket	✓ voldoende dik	
grondwater		
grondwaterstand	✓ dieper dan 0,8 m-mv	
stijghoogte watervoerend pakketten	✓ geen risico op artesisch grondwater	
grondwaterstroming	✓ 5-10 m/jaar in noordnoordoostelijke richting	
zoet/brak/zout-overgangen	⚠ zoet-/brakgrensvlak 175 m-mv, brak-/zoutgrensvlak 200 m-mv	
gas	✓ geen afwijkende gasdruk	
deeltjes	✓ geen verhoogd risico op deeltjes	
redox	✓ geen redoxovergang in opslagpakket	
temperatuur	✓ 13 °C	
vergunbaarheid		
grondwatergebruikers	✓ geen grondwatergebruikers in de omgeving bekend	
zettingen	✓ noemenswaardige zetting wordt niet verwacht	
grondwaterbescherming	✓ niet gelegen in een grondwaterbeschermingsgebied	
natuurbelangen	✓ niet gelegen in een restrictiegebied	
archeologie	✓ geen hoge verwachting archeologische waarden	
verontreinigingen	✓ geen verontreinigingen bekend die een belemmering vormen voor een open bodemenergiesysteem in het gecombineerde tweede en derde watervoerende pakket	
bodemenergieplan	✓ in het bodemenergieplan Westelijke Dordtse Oever zijn concept-zoekgebieden opgenomen. Deze zijn niet juridisch bindend.	
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

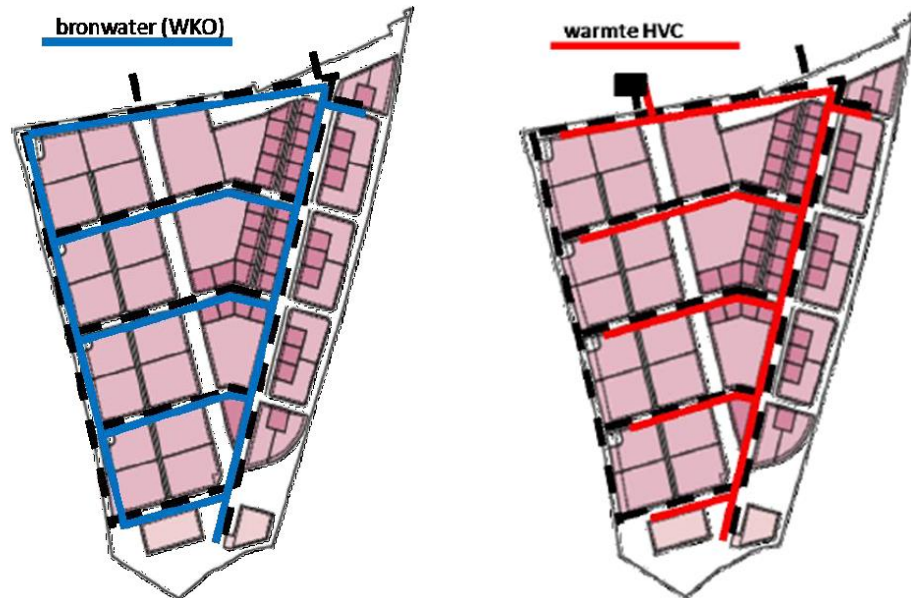
- 3 **Zoet-/zoutgrensvlakken:** Conform provinciaal beleid is verzilting van het zoete grondwater door toedoen van bodemenergiesystemen niet toegestaan. Bij nieuwe bodemenergiesystemen dient ervoor te worden gezorgd dat er geen sprake is van menging van zoet en brak of zout grondwater en/of verplaatsing van het zoet-/brakgrensvlak. Dit betekent dat de bronfilters of volledig in het zoete deel of volledig in het brak tot zoute deel van het pakket geplaatst moeten worden.

Concept

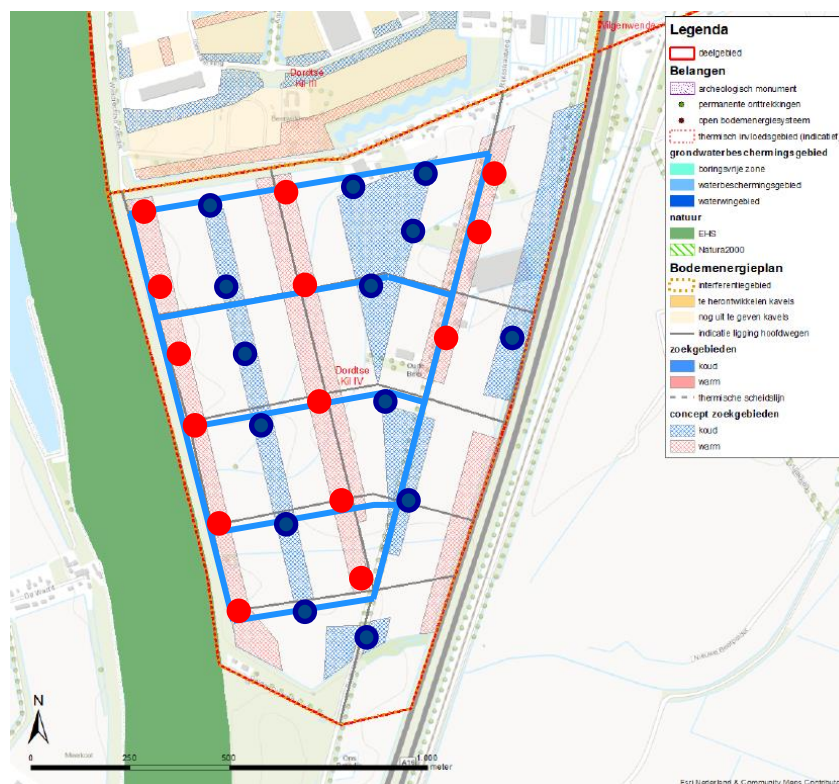
Het beoogde debiet is ca. 1075 m³/uur. Dit debiet kan met ongeveer 14 doubletten gerealiseerd worden. Het theoretische principe van een WKO doublet is beschreven in Bijlage 1. De warmte- en koudebronnen dienen minimaal 150 meter uit elkaar te liggen om interferentie tegen te gaan. Gezien de omvang van het gebied worden hier geen problemen in voorzien. In het rapport “Bodemenergieplan gemeente Dordrecht - Plan voor stimulering en ordening van bodemenergie” (IF Technology, 2015) is een plankaart gemaakt voor de Dordtse Kil IV met mogelijke warmte- en koudebronnen (zie Figuur 3.7). Daarnaast is in het rapport “Energievisie Dordtse KIL IV” (Innoforte, 2015) een conceptueel WKO bronnennet en een conceptueel warmtenet gepresenteerd (zie Figuur 3.8). Het WKO bronnennet en warmtenet hebben een lengte van -5700 m en -4700 m, respectievelijk. Op basis van deze informatie is een concept doublet verdeling ontworpen, waarbij de doubletten proportioneel verdeeld zijn over het gebied. Daarnaast is de afstand tussen het WKO bronnennet en de doubletten geminimaliseerd om de kosten van het leidingwerk te kunnen reduceren.



Figuur 3.7 | Plankaart Dordtse Kil IV. Bron: IF Technology (2015)



Figuur 3.8 | Conceptueel WKO bronnennet Dordtse Kil IV (links). Conceptueel warmtenet (rechts). Bron: Innoforte (2015).



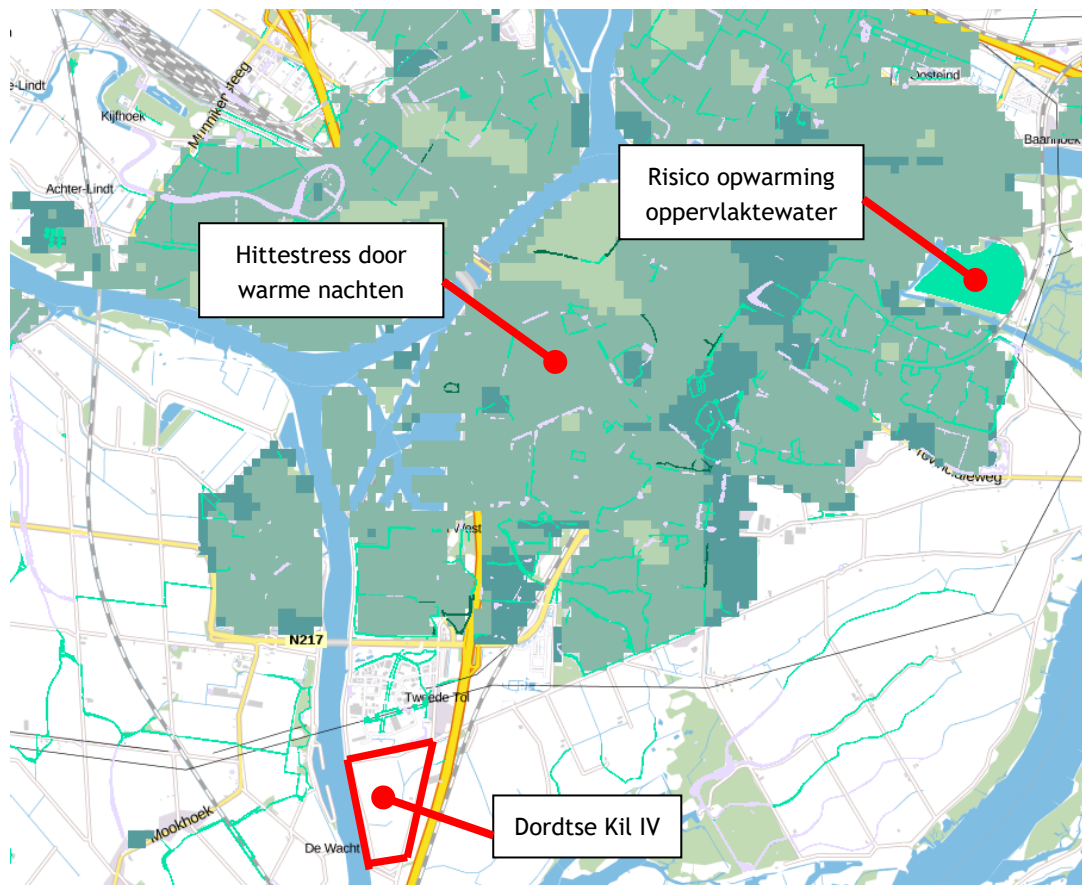
Figuur 3.9 | Verdeling WKO dubletten over WKO bronnennet en Kil IV (concept).

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 omringende 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). Ook gedijen ongewenste exotische planten en dieren, ziekteverwekkers- en verspreiders beter.

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 Klimateffectatlas zijn deze effecten te zien middels de hittekaart. Momenteel zijn er in de Klimateffectatlas geen effecten te zien voor de Dordtsche Kil en het gebied de Dordtse Kil IV (zie Figuur 3.10). In de stad Dordrecht daarentegen is wel risico voor opwarming van het oppervlaktewater en hittestress zichtbaar. De lichtgroene kleur (risico opwarming oppervlaktewater) geeft aan dat 10-20 aaneengesloten dagen de temperatuur boven de 20 °C uitkomt. Terwijl de donkere tinten groen de hittestress (aantal tropische nachten per jaar > 20 °C) voorstellen, waarbij de minimumtemperatuur tot 14 dagen per jaar boven de 20 °C is. Hittestress kan bij kwetsbare groepen leiden tot meer arbeidsuitval, een toename van ziektes en vervroegde sterfte (bron: Klimateffectatlas).

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 ten opzichte van traditionele koelers (compressiekoelmachine), waarmee extra hittestress wordt voorkomen.



Figuur 3.10 | Hittekaart van Dordrecht. Bron: Klimateffectatlas. Verkregen op 8 november, 2017 van <http://www.klimateffectatlas.nl>.

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 Dordtsche Kil 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) doorgerekend. 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:

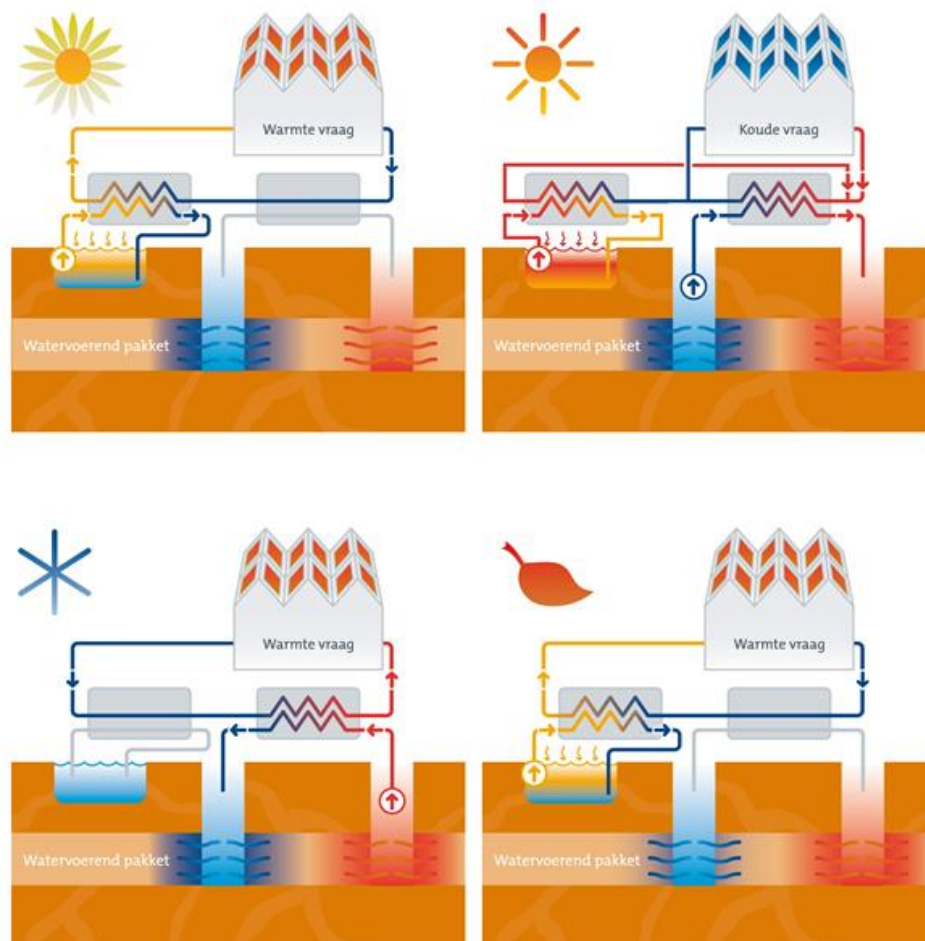
- energievraag (warmte en koude);
- afgiftesysteem;
- distributienet;
- tapwaterbereiding;
- geschiktheid bodem voor WKO;
- aanwezigheid van oppervlaktewater en/of kunstwerken;
- ruimtegebruik inpandig.

Systeemkeuze energievraag

De Dordtse Kil IV in Dordrecht kenmerkt zich door een overwegende warmtevraag en een lage koudevraag. Hierbij is het toepassen van warmte uit oppervlaktewater in combinatie met WKO een voor de hand liggende oplossing (zie Bijlage 1, Figuur 7.1). 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 Dordtsche Kil IV 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 4.1 is het globale principe van de energiestromen in de verschillende seizoenen weergegeven.

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 de gebouwen. De koeling kan rechtstreeks worden geleverd door middel van vloerkoeling of via een luchtbehandelingskast (LBK).

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.



Figuur 4.1 | Inzet TEO voor de energievoorziening in de vier seizoenen. Met de klok mee: lente, zomer, herfst, winter.

Stelselkeuze gebouwinstallatie: monovalent

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

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

In Bijlage 1 wordt een overzicht gegeven van de overwegingen die spelen bij het maken van deze keuze. Het gaat hierbij om overwegingen op het gebied van:

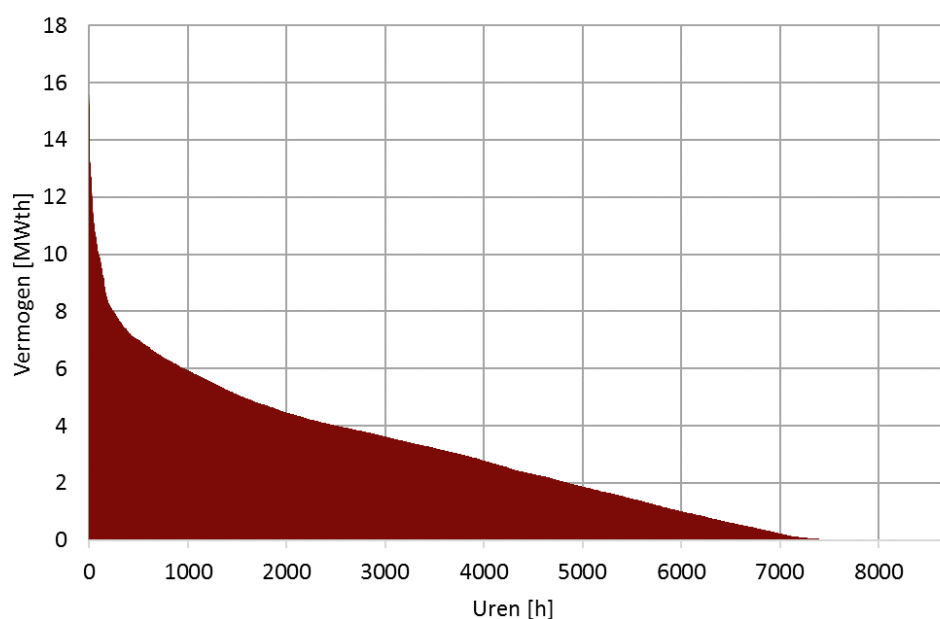
- duurzaamheid;
- financiën;
- leveringszekerheid;
- inpassing.

Bij de Dordtse Kil IV is het de wens om een aardgasloze klimatisering te realiseren. Om die reden wordt als systeemconcept gekozen voor een monovalent opwekkingsstelsel. Vanuit duurzaamheidsoverwegingen heeft dit stelsel 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.

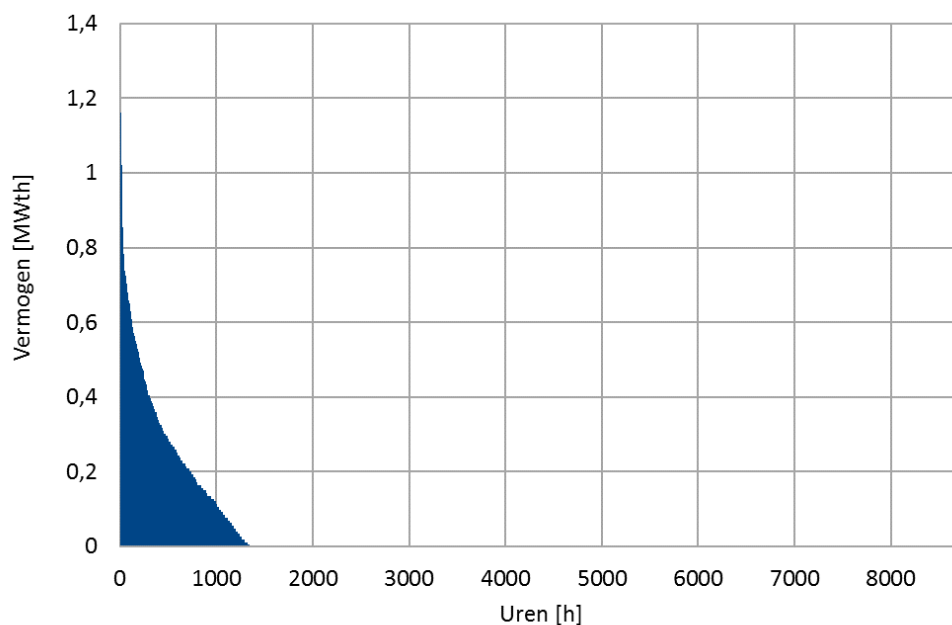
Uitwerking en resultaten energieconcept

In paragraaf 3.2 is een inventarisatie gemaakt van de energievraag voor warmte en koude van de Dordtse Kil IV. Om een nauwkeurige analyse te kunnen maken van het totale energieconcept zijn de uitgangspunten voor warmte geschaald naar een bestaande warmtevraag voor een soortgelijke mix van gebouwen 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 4.2 en Figuur 4.3. Figuur 4.2 is de jaarbelastingduurcurve voor scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal. De trend van de jaarbelastingduurcurve voor scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw is identiek, terwijl het vermogen en de energievraag (oppervlak onder jaarbelastingduurcurve) overeenkomen met de waarden in Tabel 3.3.



Figuur 4.2 | Jaarbelastingduurcurve verwachte warmtevraag voor de Dordtse Kil IV voor scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal.

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.



Figuur 4.3 | Jaarbelastingduurcurve verwachte koudevraag voor de Dordtse Kil IV voor scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal.

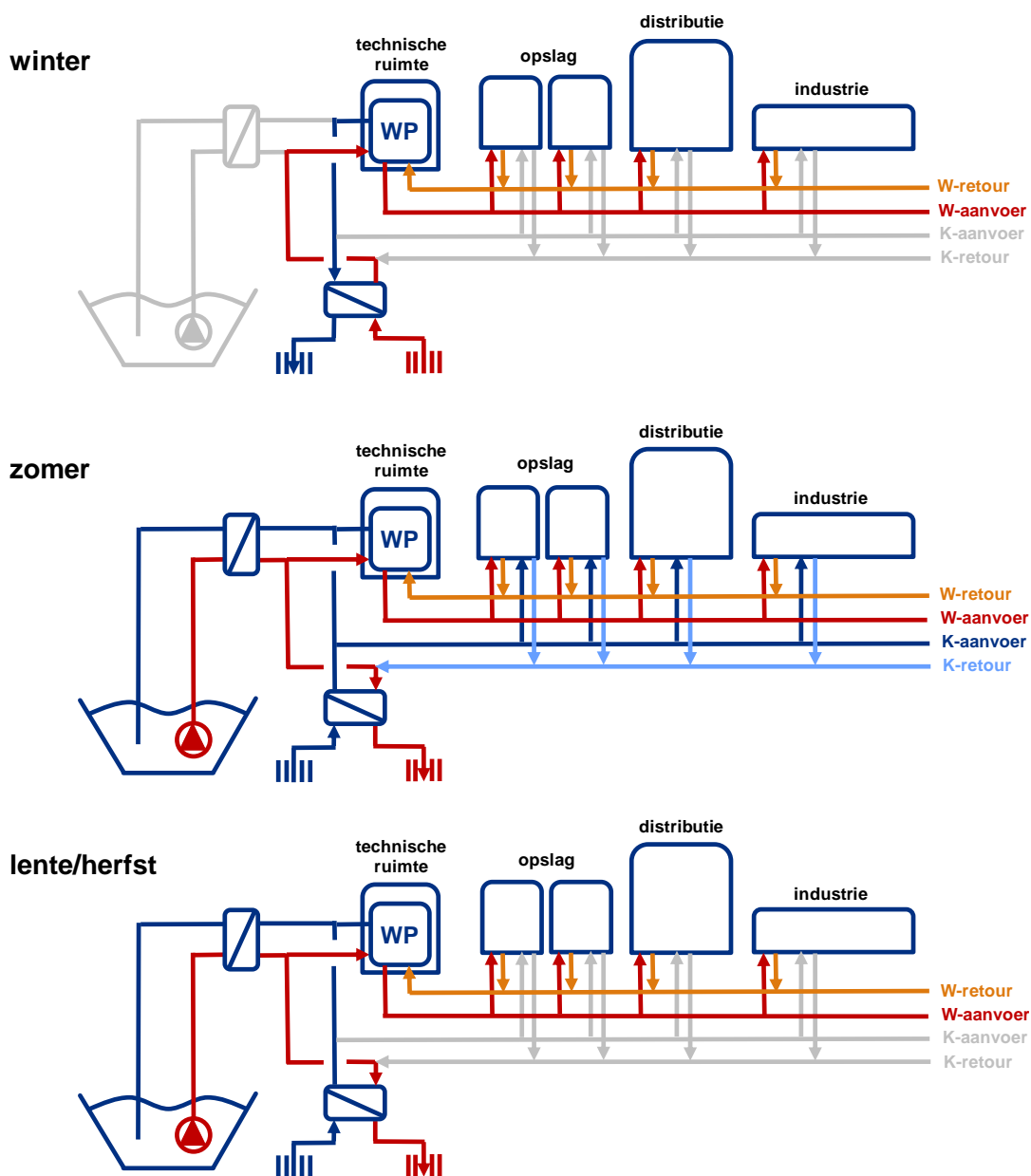
Een aantal belangrijke input en output gegevens van het energieconcept zijn te zien in Tabel 4.1.

Tabel 4.1 | Input en output parameters van het energetische concept voor de Dordtse Kil IV voor scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal.

Input parameters	Eenheid	Waarde
Minimale uitkoeling oppervlaktewater	°C	3,0
Maximale uitkoeling oppervlaktewater	°C	6,0
Minimale lozingstemperatuur	°C	12,7
Minimale onttrekkingstemperatuur	°C	15,7
Infiltratietemperatuur koude	°C	7,0
Aanvoer temperatuur gebouwzijdig	°C	50,0
Output parameters	Eenheid	Waarde
Maximale COP	-	5,3
Seasonal Performance Factor (SPF)	-	4,6
Maximaal debiet oppervlaktewater	m ³ /h	780
Maximaal debiet WKO	m ³ /h	1075
Gemiddelde infiltratietemperatuur warmte	°C	19,6

De maximaal benodigde debieten zijn belangrijk om het systeem te dimensioneren en om zo de investeringskosten te kunnen ramen. In Figuur 4.4 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.



Figuur 4.4 | 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.

In scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw zou de technische ruimte onderdeel van het gebouw kunnen zijn. In dat geval zou de warmtepomp in Figuur 4.4 in het gebouw geplaatst worden. Voor het concept en de energiestromen heeft dit echter geen invloed. Hetzelfde geldt voor scenario 1 met een decentraal concept (individuele warmtepompen in de gebouwen).

4.2 SCHETSONTWERP

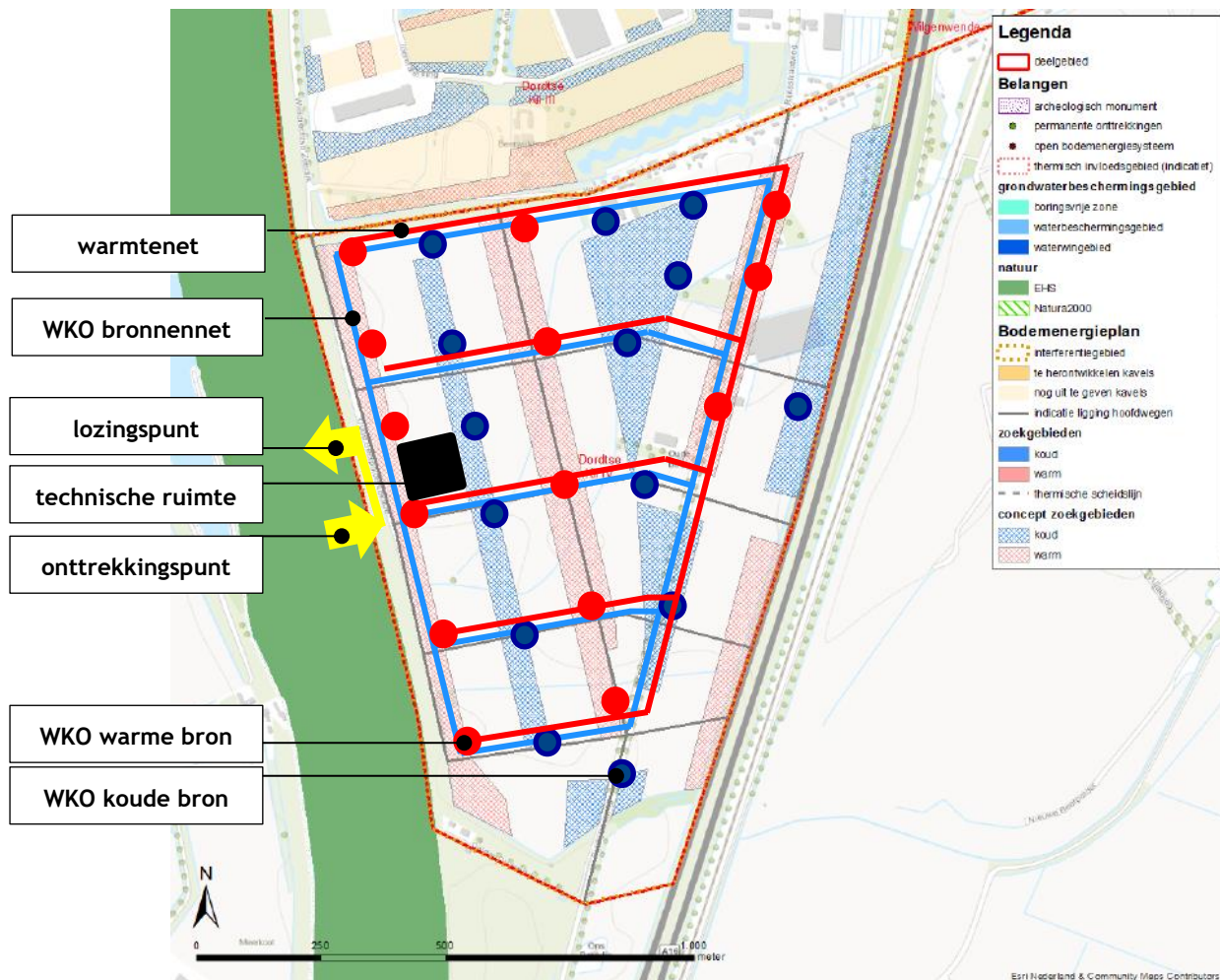
Voor realisatie van het systeem moeten onder meer de volgende onderdelen worden ingepast:

- in- en uitlaat oppervlaktewatersysteem:
 - scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal: 780 m³/h;
 - scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw: 58 m³/h.
- WKO doubletten:
 - scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal: 1075 m³/h (14 doubletten);
 - scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw: 75 m³/h (1 doublet).
- technische ruimte (warmtepomp(en) 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 van concept centraal voor scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal, die hieronder is beschreven, in Figuur 4.5 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 Dordtsche Kil en de wensen met betrekking tot uitkoeling van de waterloop. In paragraaf 3.3 is aangenomen dat de Dordtsche Kil stromend water is ten gevolge van het getij met een gemiddelde stroming van 0,2 m/s noordwaarts. Met het verwachte onttrekkingsdebiet, de afmetingen van het kanaal, de stroming en het temperatuurverschil tussen onttrekkings- en lozingspunt is een minimale afstand van 200 m berekend tussen onttrekkings- en lozingspunt. Daarom is het onttrekkingspunt aan de zuidkant en het lozingspunt aan de noordkant geplaatst. In Figuur 7.3 en Figuur 7.4 van Bijlage 1 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 leidingnet van het onttrekkingspunt naar de technische ruimte en van de technische ruimte naar het lozingspunt wordt gezien als onderdeel van het oppervlaktewatersysteem. De juridische en civieltechnische mogelijkheden en knelpunten voor plaatsen van de distributieleidingen dienen in detail te worden uitgezocht. Een leiding door een dijk kan wellicht lastig zijn.
- **WKO doubletten:** de doubletten zijn proportioneel verdeeld over het totale gebied. De WKO doubletten dienen afgestemd te worden op de warmte- en koudevraag in het gebied. Daarnaast is de afstand tussen het WKO bronnennet en de doubletten geminimaliseerd om de kosten van het leidingwerk te kunnen reduceren. Warme- en koudebronnen dienen minimaal 150 m uit elkaar te liggen. Wanneer de verkaveling van het gebied definitief is vastgesteld, kunnen ook de zoekgebieden aangepast en/of vastgesteld en verankerd worden.
- **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



Figuur 4.5 | Schetsontwerp concept centraal WKO + TEO systeem voor scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal van de Dordtse Kil IV in Dordrecht met het warmtenet (rode leidingen), WKO bronnennet (blauwe leidingen), WKO warme (rood) en koude (blauw) bronnen, TEO systeem (geel), technische ruimte (zwart). De leidingen van de WKO bronnen naar het bronnennet zijn niet getekend, evenals de aansluitleidingen naar de gebouwen. Technische ruimte is niet op ware grootte.

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 centraal in het gebied geplaatst. De locatie heeft effect op de business case, omdat het leidingwerk van en naar de technische ruimte een significante investeringspost is. De technische ruimte bevat in dit geval onder andere 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.

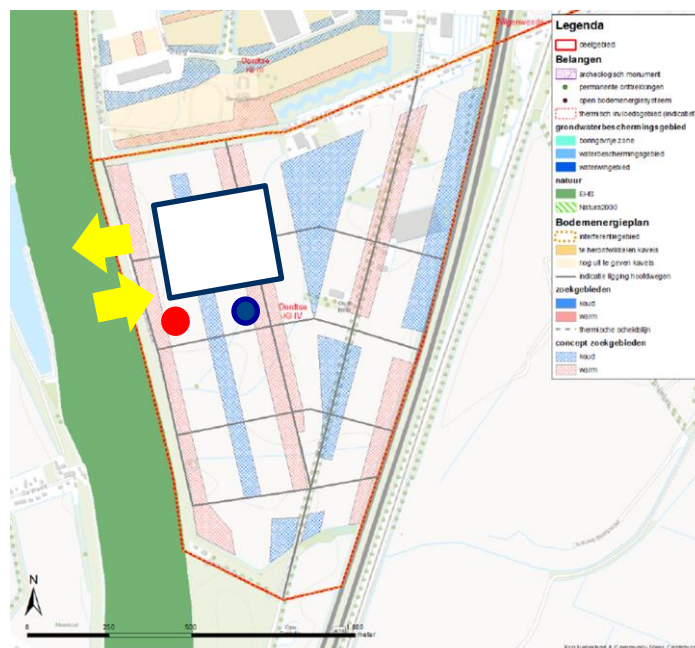
- **Distributieleidingen warmte en koude naar gebouwen:** (zie Figuur 4.5. rode leidingen) omdat er in het gebied meerdere afnemers van warmte en koude zijn én het systeemconcept van

centrale opwekking uitgaat, is er een centraal distributienet nodig (zie Figuur 3.8). Elke rode 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:** (zie Figuur 4.5. blauwe leidingen) het distributienetwerk van het WKO systeem loopt tussen de warme- en koudebronnen en de TR op de kortst mogelijke manier. De leidingen vallen in Figuur 4.5 deels samen met het distributienetwerk voor de gebouwen. De capaciteit van deze leidingen moet minimaal overeenkomen met de capaciteit van 2 WKO doubletten, namelijk 150 m³/h, en maximaal overeenkomen met het totale WKO debiet, namelijk 1050 m³/h.
- **Distributieleidingen TEO systeem:** het distributienetwerk van het TEO systeem loopt tussen het onttrekkingspunt en het lozingspunt en de TR op de kortst mogelijke manier. De capaciteit van deze leidingen moet overeenkomen met de capaciteit van het TEO systeem, namelijk 780 m³/h.
- **Aansluitleidingen ten behoeve van de aan te sluiten gebouwen:** deze lopen van het gebouw naar het distributienetwerk.

Het concept decentraal voor scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal is een variant op concept centraal. In concept decentraal is er geen warmtenet aanwezig. Het WKO bronnennet fungeert als warmte en koude distributienet. Elk gebouw heeft een eigen warmtepomp om de warmte op te waarden. De koude wordt direct uit het WKO bronnennet geleverd.

Het schetsontwerp van scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw is in Figuur 4.6 te zien. Alle onderdelen hierboven beschreven zijn in dit scenario ook nodig, de schaalgrootte zal echter significant kleiner zijn. Hoewel er distributieleidingen voor het WKO systeem zijn, zal er geen bronnennet benodigd zijn om één gebouw aan te sluiten op bodemenergie. Het gebouw is naast het oppervlaktewater in de Dordtsche Kil geplaatst om de investeringskosten voor leidingwerk zo laag mogelijk te houden.



Figuur 4.6 | | Schetsontwerp scenario 2 Dordtse Kil IV - groot.

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 WKO + TEO systeem vergeleken met een referentiesysteem. Het referentiesysteem bestaat uit:

- all-electric warmte- en koude voorziening;
- decentraal concept (elk gebouw is apart aangesloten);
- lucht/water warmtepomp ten behoeve van de warmtevraag;
- compressiekoelmachine ten behoeve van de koudevraag.

Het verschil met de WKO + TEO scenario's is dat er geen distributienet tussen WKO, TEO, TR en gebouwen nodig is. Het is belangrijk om te vermelden dat gebouwzijdige aanpassingen in verband met deze concepten niet zijn meegerekend in de financiële analyse. Er wordt aangenomen dat de warmte en koude binnen de gebouwen op eenzelfde manier wordt verzorgd. De investeringskosten (CAPEX), operationele kosten (OPEX) en eventuele subsidies zijn met elkaar vergeleken. Vervolgens is de terugverdientijd van WKO + TEO systeem berekend ten opzichte van het referentiesysteem.

Uitgangspunten financiële analyse

Voor de financiële berekeningen is rekening gehouden met de uitgangspunten gegeven in Tabel 4.2. In navolgende tabellen zijn de te verwachten kosten inzichtelijk gemaakt. Alle genoemde bedragen zijn exclusief BTW en gebaseerd op prijspeil 2017.

Tabel 4.2 | Uitgangspunten financiële analyse.

Parameter	Eenheid	Waarde
CAPEX		
Indexering investeringskosten	%	1,8
Project looptijd	jaar	30
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	-	Stedin

Investeringskosten

In Tabel 4.3 en Tabel 4.4 zijn de eenmalige investeringskosten van de 2 WKO + TEO concepten (centraal en decentraal) voor scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal in beeld gebracht. De investeringskosten van het referentiesysteem zijn gegeven in Tabel 4.5. De ontwerp, advies en vergunningen, en onvoorziene kosten zijn 8% en 15% van de investeringskosten in het geval van de WKO + TEO concepten, respectievelijk. Bij het referentiesysteem zijn deze kosten 10% en 20% van de investeringskosten. Dit wordt veroorzaakt door de grootte van de investeringskosten.

Tabel 4.3 | Investeringskosten realisatie WKO + TEO concept centraal scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal.

Investeringskosten WKO + TEO concept centraal scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal	Eenheid	Kosten
Bodemenergie voorzieningen	€	2.680.000
Oppervlaktewater voorzieningen	€	1.640.000
Distributie voorzieningen	€	5.240.000
Warmtepomp	€	3.510.000
Afgifteset	€	215.000
Ontwerp, advies en vergunningen (8%)	€	1.060.000
Onvoorzien (15%)	€	1.990.000
Totaal	€	16.340.000

Tabel 4.4 | Investeringskosten realisatie WKO + TEO concept decentraal scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal.

Investeringskosten WKO + TEO concept decentraal scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal	Eenheid	Kosten
Bodemenergie voorzieningen	€	2.710.000
Oppervlaktewater voorzieningen	€	1.560.000
Distributie voorzieningen	€	3.440.000
Warmtepomp	€	4.690.000
Ontwerp, advies en vergunningen (8%)	€	1.000.000
Onvoorzien (15%)	€	1.860.000
Totaal	€	15.260.000

Tabel 4.5 | Investeringskosten realisatie referentiesysteem: decentrale lucht/water warmtepomp en compressiekoelmachine.

Investeringskosten referentiesysteem scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal	Eenheid	Kosten
Warmtepomp	€	4.680.000
Compressiekoelmachine	€	300.000
Ontwerp, advies en vergunningen (10%)	€	570.000
Onvoorzien (20%)	€	1.130.000
Aansluitvergoeding elektriciteit	€	800.000
Totaal	€	7.510.000

In Tabel 4.6 zijn de eenmalige investeringskosten van het WKO + TEO concept decentraal en het referentiesysteem voor scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw in beeld gebracht.

Tabel 4.6 | Investeringskosten realisatie WKO + TEO concept decentraal en referentiesysteem scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw.

Investeringskosten WKO + TEO concept decentraal en referentiesysteem scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw	Eenheid	WKO + TEO systeem	Referentie systeem
Bodemenergie voorzieningen	€	250.000	
Oppervlaktewater voorzieningen	€	110.000	
Distributie voorzieningen	€	70.000	
Warmtepomp	€	250.000	250.000
Compressiekoelmachine	€		20.000
Afgifteset	€	5.000	
Ontwerp, advies en vergunningen (10%)	€	70.000	32.000
Onvoorzien (20%)	€	140.000	63.000
Aansluitvergoeding elektriciteit	€		45.000
Totaal	€	900.000	410.000

Eenmalige inkomsten

In Tabel 4.7 en Tabel 4.8 zijn de eenmalige inkomsten in beeld gebracht voor het WKO + TEO systeem bij een centraal en decentraal concept voor scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal, respectievelijk. In Tabel 4.9 zijn de eenmalige inkomsten in beeld gebracht voor het WKO + TEO systeem bij een decentraal concept voor scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw. 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 € 2000 excl. BTW per gebouw.

De investeringssubsidie duurzame energie (ISDE) is in dit geval niet van toepassing. De ISDE is van toepassing op warmtepompen tot 70 kW. De kleinste warmtepomp in de huidige studie is groter dan 100 kW.

Het referentiesysteem, met een lucht/water warmtepomp en compressiekoelmachine, komt niet in aanmerking voor de bijdrage aansluitkosten (BAK) omdat de gebouwen niet op een warmtenet worden aangesloten. De EIA geldt ook niet, omdat er geen energiezuinige investering plaatsvindt. In geval van de ISDE geldt hetzelfde als bij het WKO + TEO systeem.

Tabel 4.7 | Eenmalige inkomsten realisatie WKO + TEO concept centraal scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal.

Inkomsten WKO + TEO concept centraal scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal	Eenheid	Waarde
Energie-investeringsaftrek (EIA) 13,5%	€	1.480.000
Bijdrage aansluitkosten (BAK)	€	86.000
Investeringssubsidie duurzame energie (ISDE)	€	n.v.t.

Tabel 4.8 | Eenmalige inkomsten realisatie WKO + TEO concept decentraal scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal.

Inkomsten WKO + TEO concept decentraal scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal	Eenheid	Waarde
Energie-investeringsaftrek (EIA) 13,5%	€	1.640.000
Bijdrage aansluitkosten (BAK)	€	86.000
Investeringssubsidie duurzame energie (ISDE)	€	n.v.t.

Tabel 4.9 | Eenmalige inkomsten realisatie WKO + TEO concept decentraal scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw.

Inkomsten WKO + TEO concept decentraal scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw	Eenheid	Waarde
Energie-investeringsaftrek (EIA) 13,5%	€	86.000
Bijdrage aansluitkosten (BAK)	€	2.000
Investeringssubsidie duurzame energie (ISDE)	€	n.v.t.

Tarieven

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 Stedin. De vaste kosten voor elektriciteit bestaan uit een aansluittarief, vastrecht transport, kW contract en kW max tarief. De variabele kosten voor elektriciteit zijn gebaseerd op een landelijk gemiddelde voor zakelijk gebruik. Alle concepten zijn all-electric, dus gas is buiten beschouwing gelaten. De variabele kosten bestaan uit de energieprijis, energiebelasting en opslag duurzame energie. De elektriciteitskosten zijn afhankelijk van het concept. Bij concept centraal, is het tarief gebaseerd op de totale elektriciteitskosten benodigd voor de bronpompen, distributiepompen en warmtepompen. Bij concept decentraal en het referentiesysteem zijn de tarieven gebaseerd op het elektriciteitsverbruik per gebouw.

Jaarlijkse exploitatiekosten

In Tabel 4.10 en Tabel 4.11 zijn de jaarlijkse exploitatiekosten weergegeven voor het WKO + TEO systeem concept centraal en concept decentraal voor scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal, respectievelijk. De jaarlijkse exploitatiekosten voor het referentiesysteem voor scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal zijn weergegeven in Tabel 4.12. De jaarlijkse exploitatiekosten voor het WKO + TEO systeem en het referentiesysteem concept decentraal voor scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw zijn gepresenteerd in Tabel 4.13.

Tabel 4.10 | Jaarlijkse exploitatiekosten WKO + TEO concept centraal scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal.

Exploitatiekosten WKO + TEO concept centraal scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal	Eenheid	Kosten
Inkoop		
Elektriciteit (vast en variabel)	€/jaar	684.000
Onderhoud en beheer		
Opwekking (WKO en TEO)	€/jaar	85.000
Distributienet	€/jaar	52.000
Warmtepompen	€/jaar	70.000
Afgifteset	€/jaar	4.000
Totaal	€/jaar	898.000

Tabel 4.11 | Jaarlijkse exploitatiekosten WKO + TEO concept decentraal scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal.

Exploitatiekosten WKO + TEO concept decentraal scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal	Eenheid	Kosten
Inkoop		
Elektriciteit (vast en variabel)	€/jaar	795.000
Onderhoud en beheer		
Opwekking (WKO en TEO)	€/jaar	85.000
Distributienet	€/jaar	34.000
Warmtepompen	€/jaar	187.000
Totaal	€/jaar	1.008.000

Tabel 4.12 | Jaarlijkse exploitatiekosten referentiesysteem: decentrale lucht/water warmtepomp en compressiekoelmachine concept decentraal scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal.

Exploitatiekosten referentiesysteem scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal	Eenheid	Kosten
Inkoop		
Elektriciteit (vast en variabel)	€/jaar	990.000
Onderhoud en beheer		
Warmtepompen	€/jaar	187.000
Compressiekoelmachine	€/jaar	12.000
Elektriciteitsaansluiting	€/jaar	32.000
Totaal	€/jaar	1.220.000

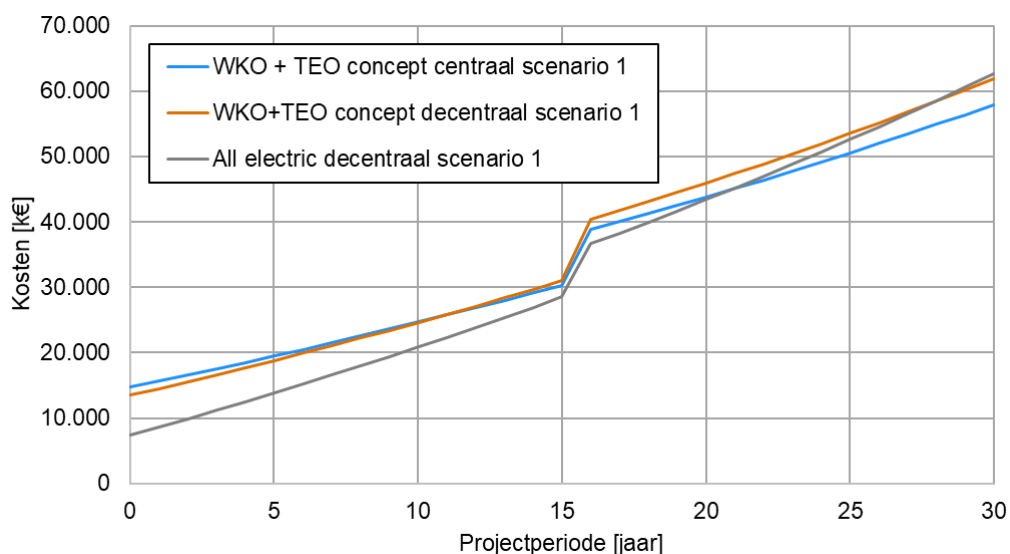
Tabel 4.13 | Jaarlijkse exploitatiekosten WKO + TEO concept decentraal en referentiesysteem scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw.

Exploitatiekosten WKO + TEO concept decentraal en referentiesysteem scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw	Eenheid	WKO + TEO systeem	referentie systeem
Inkoop			
Elektriciteit (vast en variabel)	€/jaar	45.000	67.000
Onderhoud en beheer			
Opwekking (WKO en TEO)	€/jaar	7.000	
Distributienet	€/jaar	1.000	
Warmtepompen	€/jaar	8.000	8.000
Compressiekoelmachine			1.000
Elektriciteitsaansluiting			2.000
Afgifteset	€/jaar	100	
Totaal	€/jaar	60.000	80.000

Terugverdientijd

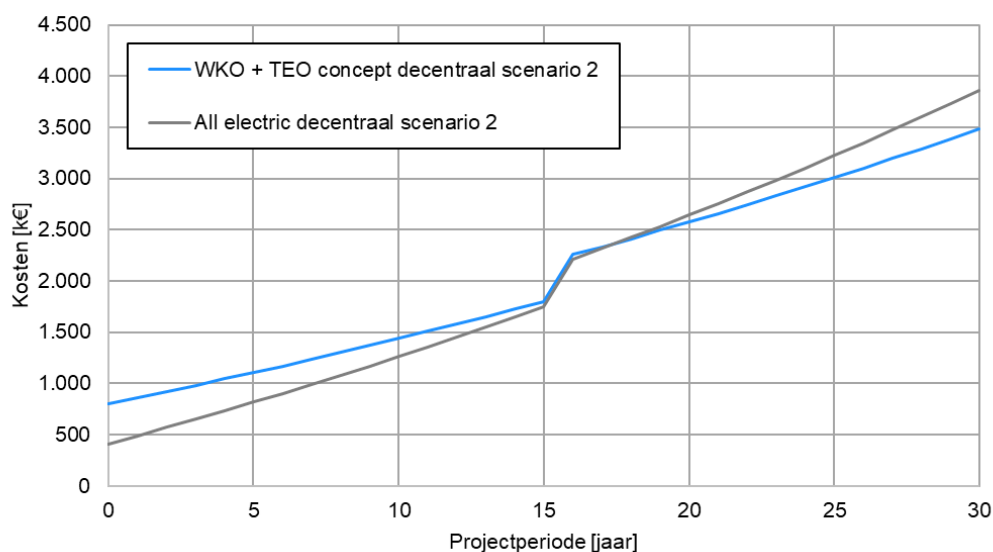
In Figuur 4.7 zijn de kosten en baten van het WKO + TEO concept centraal (blauw) uitgezet tegen het WKO + TEO concept decentraal (oranje) en tegen het referentiesysteem (grijs) met een decentrale warmtepomp en koelmachine over een projectperiode van 30 jaar voor scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal. De 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 4.2.

De terugverdientijden van het WKO + TEO concept centraal en het WKO + TEO concept decentraal zijn ongeveer 21 jaar en 28 jaar ten opzichte van het referentiesysteem, respectievelijk.



Figuur 4.7 | Kosten-batenanalyse WKO + TEO systeem concept centraal (blauw), WKO + TEO systeem concept decentraal (oranje) en het referentiesysteem (grijs) voor scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal.

In Figuur 4.8 zijn de kosten en baten van het WKO + TEO concept decentraal (blauw) uitgezet tegen het referentiesysteem (grijs) met een decentrale warmtepomp en koelmachine over een projectperiode van 30 jaar voor scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw. De terugverdientijden van het WKO + TEO concept decentraal is ongeveer 17 jaar ten opzichte van het referentiesysteem bij scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw.



Figuur 4.8 | Kosten-batenanalyse WKO + TEO concept decentraal (blauw) en het referentiesysteem (grijs) voor scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw.

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 all-electric referentiesysteem met decentrale warmte- en koude opwekking na 17 jaar in het geval er wordt uitgegaan van een groot gebouw dicht in de buurt van oppervlaktewater. Bij het referentiesysteem wordt warmte geleverd door middel van een lucht/water warmtepomp en koude door middel van een compressiekoelmachine. In het geval dat het gehele gebied van warmte en koude wordt voorzien met behulp van een WKO + TEO systeem is de terugverdientijd minimaal 21 jaar. De energiedichtheid van het totale gebied is relatief laag, daardoor brengt het distributienetwerk grote investeringskosten met zich mee. De onzekerheid in de kosten van het distributienetwerk heeft een grote invloed op de terugverdientijd van het systeem. In de huidige business case is de lengte van het leidingwerk overgenomen uit het rapport van Innoforte (2015). De capaciteit van het leidingwerk is bepaald op de berekende debieten in de huidige studie. De berekende debieten zijn wellicht over gedimensioneerd en kunnen worden geoptimaliseerd. Daarnaast leert ervaring dat de kosten van een distributienetwerk in de praktijk lager kunnen worden.

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.

Het ligt in de lijn der verwachting dat wanneer het systeem wordt opgeschaald langs de waterlijn, dat de exploitatiekosten en de terugverdientijd nog verder verlaagd kunnen worden in verhouding tot het all-electric concept.

4.5 DUURZAAMHEID

Rendement en emissie

In Tabel 4.14 en *Deze is opgebouwd uit een component warmte emissie van de compressiekoelmachine in het warme seizoen en een component warmte onttrekking oppervlaktewater in het warme seizoen.

Tabel 4.15 is een overzicht gegeven van enkele prestatiefactoren op het gebied van duurzaamheid voor scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal en scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw. 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 (hittestress) is opgebouwd uit een component warmte emissie van de compressiekoelmachine in het warme seizoen en een component warmte onttrekking oppervlaktewater in het warme seizoen. De CO₂ emissie van WKO + TEO voor het totale gebied ligt tussen de 0 - 3.270 ton/jaar. De CO₂ emissie van het referentiesysteem voor het totale gebied ligt tussen de 0 - 3.802 ton/jaar. Voor één groot gebouw zijn de emissies lager, maar dezelfde trend is zichtbaar. Het verschil in warmte emissie wordt veroorzaakt door de warmte die in het warme seizoen uit het oppervlaktewater wordt gehaald plus de warmte die in het warme seizoen door koelmachines aan de omgeving worden afgegeven. Voor het totale gebied is dit een significante hoeveelheid. 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). Tot slot zijn de NO_x en de SO₂ emissies gegeven (CE Delft, 2015).

Tabel 4.14 | Prestatiefactoren WKO + TEO systeem en referentiesysteem (all-electric) voor scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal.

Prestatiefactor	WKO + TEO (groen)	WKO + TEO (grijs)	referentie all- electric (groen)	referentie all- electric (grijs)
Equivalent opwekkingsrendement (EOR)	1,63	1,63	1,40	1,40
Warmte emissie (hittestress) [GJ _{th}]	0	0	68.000*	68.000*
CO ₂ emissie [ton _{CO2} /jaar]	0	3.270	0	3.802
NO _x emissie [kg/jaar]	0	1.140	0	1.266
SO ₂ emissie [kg/jaar]	0	3.230	0	3.587

*Deze is opgebouwd uit een component warmte emissie van de compressiekoelmachine in het warme seizoen en een component warmte onttrekking oppervlaktewater in het warme seizoen.

Tabel 4.15 | Prestatiefactoren WKO + TEO systeem en referentiesysteem (all-electric) voor scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw.

Prestatiefactor	WKO + TEO (groen)	WKO + TEO (grijs)	referentie all- electric (groen)	referentie all- electric (grijs)
Equivalent opwekkingsrendement (EOR)	1,63	1,63	1,40	1,40
Warmte emissie (hittestress) [GJ _{th}]	0	0	4.900	4.900
CO ₂ emissie [ton _{CO2} /jaar]	0	234	0	272

NOx emissie [kg/jaar]	0	81	0	90
SO ₂ emissie [kg/jaar]	0	231	0	256

Energieverbruik

In Tabel 4.16 is het energieverbruik (exclusief het opwekkingsrendement van elektriciteit) gepresenteerd voor scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal. 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 54.800 GJ, terwijl het referentiesysteem een primair energieverbruik van 64.400 GJ heeft. Deze verhouding van primair energieverbruik is ook terug te vinden in de verhouding van de EOR in Tabel 4.14. Bij scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw is het primair energieverbruik 3.910 GJ en 4.600 GJ, voor het WKO + TEO systeem en het referentiesysteem, respectievelijk.

Tabel 4.16 | Energieverbruik van WKO + TEO systeem en referentiesysteem bij scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal.

Energieverbruik	WKO + TEO	Referentie
Elektriciteit		
Warmtepomp [GJ _e]	20.000	31.800
Bronpomp [GJ _e]	3.000	-
Oppervlaktewaterpomp [GJ _e]	1.100	-
Distributiepomp [GJ _e]	3.200	-
Compressiekoelmachine [GJ _e]	-	320
Totaal systeem[GJ]	27.400	32.200

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, 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.

Met een jaargemiddeld debiet van $440 \text{ m}^3/\text{s}$ ($1.600.000 \text{ m}^3/\text{h}$) noordwaarts zal de invloed van afkoeling van het oppervlaktewater in de Dordtse Kil minimaal zijn. De afkoeling in de zomer van $3 - 6 \text{ }^\circ\text{C}$ met een debiet van $780 \text{ m}^3/\text{h}$ in het concept TEO systeem in de huidige studie, komt overeen met een jaargemiddelde afkoeling van $1 \text{ }^\circ\text{C}$ met een debiet van $1800 \text{ m}^3/\text{h}$. Dit is $\sim 0,1\%$ van het totale debiet. Hoewel dit procentueel weinig lijkt is de energiehoeveelheid die uit het oppervlaktewater gehaald wordt significant. Er wordt $\sim 68.000 \text{ GJ}_{\text{th}}$ in de zomer geladen vanuit het oppervlaktewater. Deze energiehoeveelheid komt overeen met een waterhoeveelheid, vergelijkbaar als de Dordtsche Kil van 250 m breed en 9 m diep en 6.500 m lang, van 14 miljoen m^3 met $1 \text{ }^\circ\text{C}$ te doen afkoelen.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 TECHNISCHE EN ENERGETISCHE HAALBAARHEID

Uitgangspunten en opwekkingspotentieel

Voor de Dordtse Kil IV in Dordrecht zijn de energetische uitgangspunten bepaald (zie paragraaf 3.2 en 4.1). Daarnaast zijn de bodem- en oppervlaktewaterkenmerken uitgewerkt om het thermische potentieel en de technische haalbaarheid te bepalen (paragrafen 3.3 en 3.4). Dit is gebeurd voor 2 scenario's:

- 1 scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal;
- 2 scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw.

Het eerste scenario geldt voor het totale gebied de Dordtse Kil IV, terwijl het tweede scenario voor een groot gebouw aan de rand van de rivier de Dordtsche Kil en het gebied de Dordtse Kil IV geldt. De resultaten zijn kort samengevat in Tabel 5.1.

Tabel 5.1 | Kern uitgangspunten, technische haalbaarheid en thermisch potentieel voor de Dordtse Kil IV in Dordrecht.

Parameter	Scenario 1	Scenario 2
	Dordtse Kil IV - totaal	Dordtse Kil IV - groot gebouw
Kern uitgangspunten		
Gebouwen	Mix van logistiek, opslag en industrie	Mix van logistiek, opslag en industrie
Warmtevraag	24.400 MWh _{th} (87.750 GJ _{th}) per jaar	1.750 MWh _{th} (6.300 GJ _{th}) per jaar
Koudevraag	360 MWh _{th} (1.290 GJ _{th}) per jaar	33 MWh _{th} (92 GJ _{th}) per jaar
Doelstellingen	Duurzaam en all-electric	Duurzaam en all-electric
Technische haalbaarheid		
Capaciteit bodem: benodigd	17.000 MWh _{th} , 1.075 m ³ /h	1.230 MWh _{th} , 75 m ³ /h
	14 doubletten van 75 m ³ /h	1 doublet van 75 m ³ /h
Capaciteit oppervlaktewater: benodigd	18.400 MWh _{th} , 780 m ³ /h	1330 MWh _{th} , 58 m ³ /h

Er kan worden geconcludeerd dat op de onderzochte locatie (Dordtse Kil IV en de rivier de Dordtsche Kil) duurzame energieopwekking uit het oppervlaktewater in combinatie met energieopslag, technisch en energetisch haalbaar is.

Stelsysteemconcept

Voor de levering van de opgewekte energie aan de afnemers zijn 2 systeemconcepten geselecteerd en uitgewerkt: 1) concept centraal en 2) concept decentraal. De overwegingen bij de concepten zijn toegelicht in paragraaf 4.1. Voor scenario 1 zijn beiden concepten doorgerekend, voor scenario 2 is concept decentraal doorgerekend. 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 Dordtsche Kil.

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:
 - scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal: 780 m³/h;
 - scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw: 58 m³/h.
- WKO doubletten:
 - scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal: 1075 m³/h (14 doubletten);
 - scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw: 75 m³/h (1 doublet).
- technische ruimte (warmtepomp(en) 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 4.2 staan de onderdelen en inpassingsmogelijkheden benoemd. In Figuur 4.5 is de inpassing van de onderdelen grafisch weergegeven. Aandachtspunt is onder meer de inpassing van de technische ruimte, doublet, distributienet en het oppervlaktewatersysteem bij een waterkering (dijk). 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 in pandig). 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 Dordtsche Kil.

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 1,63 verwacht. De vergelijking is gemaakt met een all-electric systeem (lucht/water warmtepomp en compressiekoelmachine) die voor een vergelijkbare warmte- en koudevraag een EOR van 1,40 heeft. Door duurzaam te koelen kan er 1.609 GJ_{th} warmte emissie aan de atmosfeer voorkomen worden. Daarnaast wordt er in het warme seizoen meer dan 66.000 GJ_{th} aan het oppervlaktewater onttrokken bij scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal. Bij scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw is dit

naar verhouding 115 GJ_{th} en ~4.800 GJ_{th} voor duurzame koeling en oppervlaktewater, respectievelijk.

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 3.270 ton/jaar alsnog significant lager dan een all-electric systeem (lucht/water warmtepomp en compressiekoelmachine) met 3.802 ton/jaar voor scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal. In het geval van scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw is de CO₂ uitstoot 234 ton/jaar voor WKO + TEP en 272 ton/jaar voor de all-electric oplossing.

5.3 FINANCIËLE HAALBAARHEID

De investeringskosten, inkomsten en jaarlijkse exploitatiekosten van de WKO + TEO concepten zijn vergeleken met een all-electric systeem (lucht/water warmtepomp en compressiekoelmachine (decentraal)). Er kan worden geconcludeerd dat een individueel WKO + TEO systeem in de buurt van oppervlaktewater de meest interessante oplossing biedt en de haalbaarheid van een collectief systeem voor het totale gebied een beperkte financiële haalbaarheid heeft. Dit wordt veroorzaakt door de relatief lage energiedichtheid van het totale gebied. De financiële haalbaarheid van scenario 2 Dordtse Kil IV - groot gebouw is het meest aantrekkelijk gebleken. De terugverdientijd van dit scenario is ~17 jaar ten opzichte van het all-electric referentie systeem. Bij scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal centraal en decentraal zijn de terugverdientijden ongeveer 21 jaar en 28 jaar ten opzichte het referentiesysteem. De terugverdientijd is afhankelijk van meerdere factoren. Belangrijke parameters die het resultaat kunnen beïnvloeden zijn de energiekosten voor elektriciteit, herinvesteringskosten en de investeringskosten van het distributienet bij WKO + TEO. Er wordt verwacht dat er ruimte in de kosten van het leidingwerk zit, omdat het systeem nu op maximale capaciteit is doorgerekend. Daarnaast kan er een optimalisatie plaatsvinden bij de definitieve indeling van het bedrijfsgebied ten gunste van WKO + TEO door de afhankelijkheid van het leidingnet. Verder kan een opschaling van het systeem in de buurt van oppervlaktewater zorgen voor daling van de terugverdientijd. Er wordt verwacht dat de terugverdientijd van ~17 jaar lager wordt in het geval er meer bedrijven langs de rand van de rivier de Dordtsche Kil worden aangesloten.

Naast dat het oppervlaktewater van de rivier de Dordtsche Kil gebruikt kan worden om de warme bron te laden, kan oppervlaktewater (bijv. watergangen, sloten en rioolwater) in het gebied de Dordtse Kil IV een uitkomst bieden. Dit zorgt ervoor dat er geen oppervlaktewatersysteem bij de waterkering hoeft te worden aangelegd. Tevens is het oppervlaktewater in het gebied veel gevoeliger voor opwarming en lokale knelpunten met de waterkwaliteit.

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 de Dordtse Kil IV 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 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. Een belangrijke vraag voor het vervolg in het geval van scenario 1 Dordtse Kil IV - totaal is wie de exploitatie van het collectieve systeem kan gaan doen. Hiervoor zijn verschillende opties, die direct invloed zullen hebben op het project rendement. Dit komt doordat een groot deel van de kosten in de infrastructuur zit die over langere termijn kan worden afgeschreven, als dit past binnen het verdienmodel van de exploitant.

6 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 (2015). Bodemenergieplan gemeente Dordrecht - Plan voor stimulering en ordening van bodemenergie.

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>.

Innoforte (2015). Energievisie Dordtse Kil IV. Roosmarijn Sweers, persoonlijke communicatie, 9 juni, 2017.

KNMI (2015). KNMI klimaatscenario's voor Nederland '14. Verkregen op 29 juni, 2017 van http://www.klimaatscenarios.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>.

7 Afkortingen

BAK	bijdrage aansluitkosten
BC	business case
BVO	bruto-vloeroppervlakte
CAPEX	capital expenditures
EIA	energie-investeringsaftrek
EOR	equivalent opwekkingsrendement
ISDE	investeringssubsidie 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

Bijlage 1

Conceptbeschrijvingen

TEO/Smart polder

7.1 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>

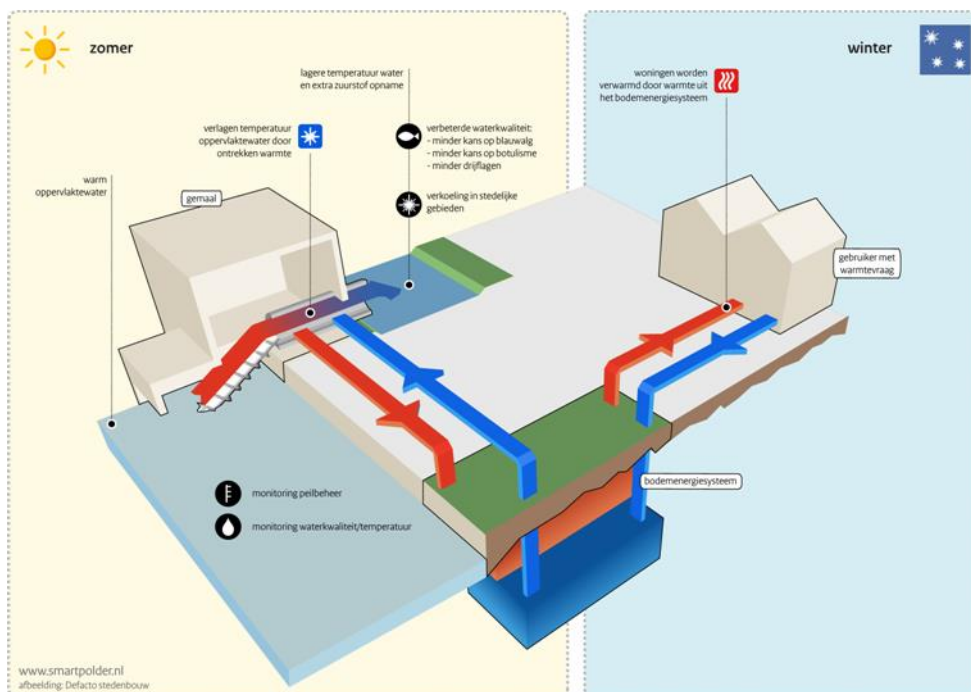
Daar waar energievraag en oppervlaktewater samenkomen is een economische rendabel project te maken. Op basis van de huidige energievraag is het economisch winbare potentieel 12% van de landelijke warmtevraag (42 PJ) en 54% van de landelijke koudevraag (3,8 PJ).

Het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden en Utrechtse gemeenten hebben deze landelijke verkenning uitgewerkt in een meer gedetailleerde regionale kanskaart (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.



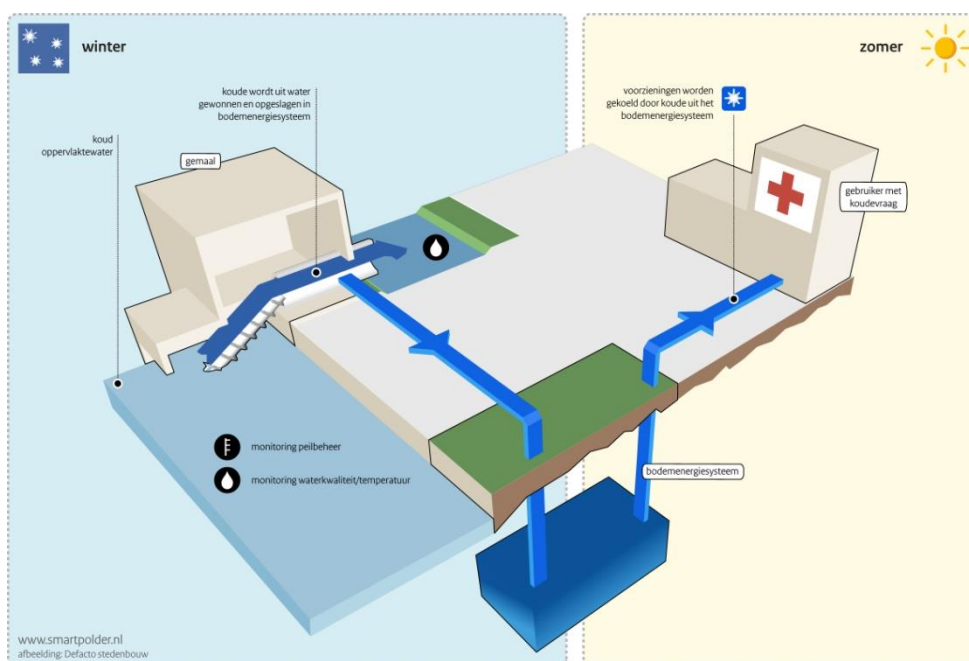
Figuur 7.1 | Gemaal als warmte centrale in combinatie met WKO.

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 7.2). 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 temperatuurverandering al een zeer groot koude vermogen beschikbaar en dat maakt thermische winning op gemalen erg interessant.



Figuur 7.2 | Gemaal als koudecentrale in combinatie met WKO.

Inlaat en uitlaat bij onttrekkingspunt TEO systeem

In Figuur 7.3 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 7.4 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 7.3 | Inlaat van een TEO systeem. De inlaat is boven water geplaatst onder een steiger.

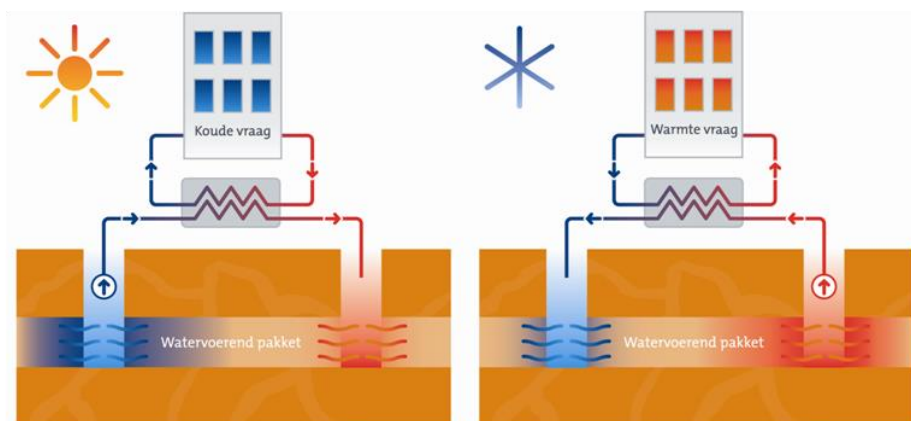


Figuur 7.4 | Inlaat van een TEO systeem. De inlaat is onder water geplaatst onder een steiger.

7.2 PRINCIPE WARMTE- EN KOUDE OPSLAG (WKO)

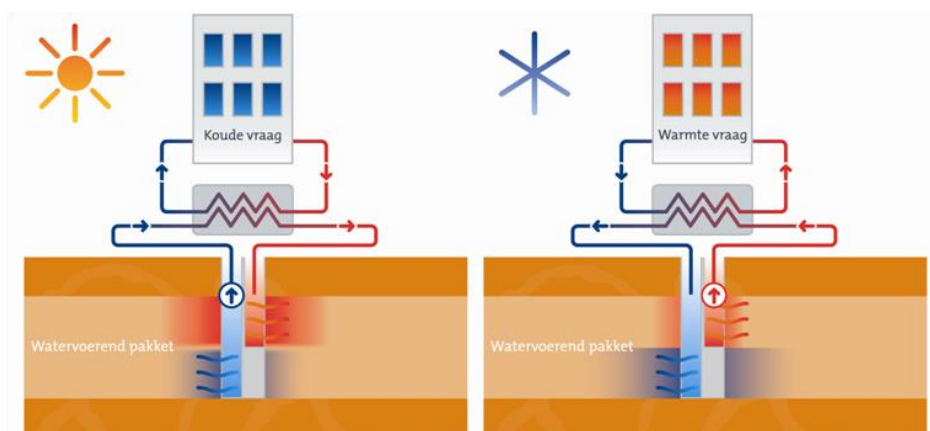
Het principe van een WKO met een open grondwatersysteem is dat in de winter het gebouw of proces wordt verwarmd met zomerwarmte en in de zomer wordt gekoeld met winterkoude. De warmte en koude worden door middel van open bronnen in een ondergrondse watervoerende laag opgeslagen en onttrokken.

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 7.5.



Figuur 7.5 | 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 7.6.



Figuur 7.6 | Principe van energieopslag met een monobron.

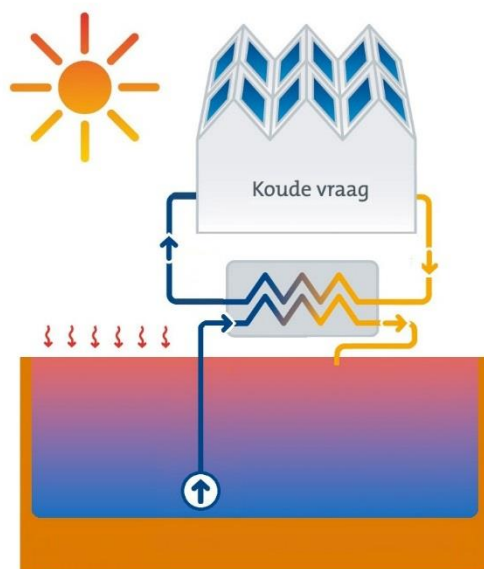
Een WKO dient in energiebalans te zijn, de hoeveelheid gewonnen koude dient doorgaans gelijk te zijn aan de gewonnen warmte. Indien er bij een afnemer een energieonbalans is (overwegende warmtevraag bij woningen en overwegende koudevraag bij datacenters en industrie) kan deze worden aangevuld met warmte of koude uit oppervlaktewater.

7.3 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 7.7 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 7.7 | 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-watergang 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.

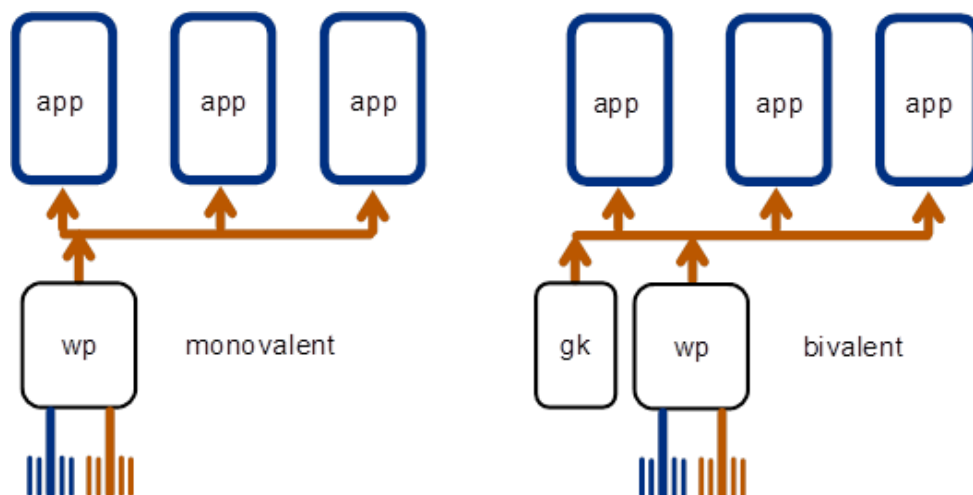
Gebouwinstallatie

Voor de gebouwsystemen kan gekozen worden voor monovalente of bivalente systemen. Beide systemen zijn schematisch weergegeven in Figuur 7.8. Een korte toelichting aan de hand van warmtelevering volgt hieronder:

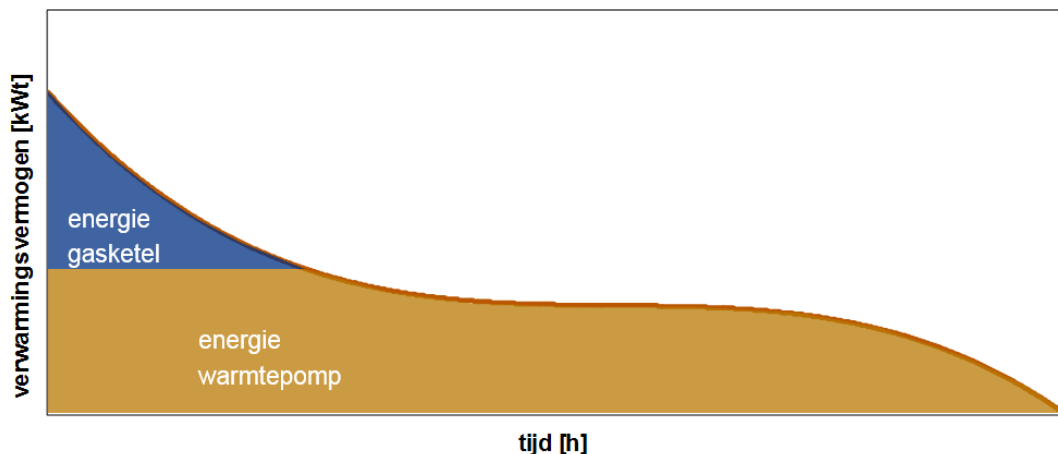
- Monovalent:** Appartementen (app) hebben een warmtevraag (ruimteverwarming en tapwaterbereiding). Bij een monovalent systeem wordt één omzetter gebruikt die alle warmte levert. In het voorbeeld (zie Figuur 7.8) is dit een warmtepomp (wp) in combinatie met energieopslagsysteem.
- Bivalent:** Bij een 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 7.9 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 7.8 | Monovalent vs. Bivalent systeem (schematisch)



Figuur 7.9 | Jaarbelastingduurcurve.

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.

IF Technology **Creating energy**



Velperweg 37
6824 BE Arnhem
Postbus 605
6800 AP Arnhem

T 026 35 35 555
E info@iftechnology.nl
I www.iftechnology.nl

NL60 RABO 0383 9420 47
KvK Arnhem 09065422
BTW nr. NL801045599B01

IF Technology **Creating energy**



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.

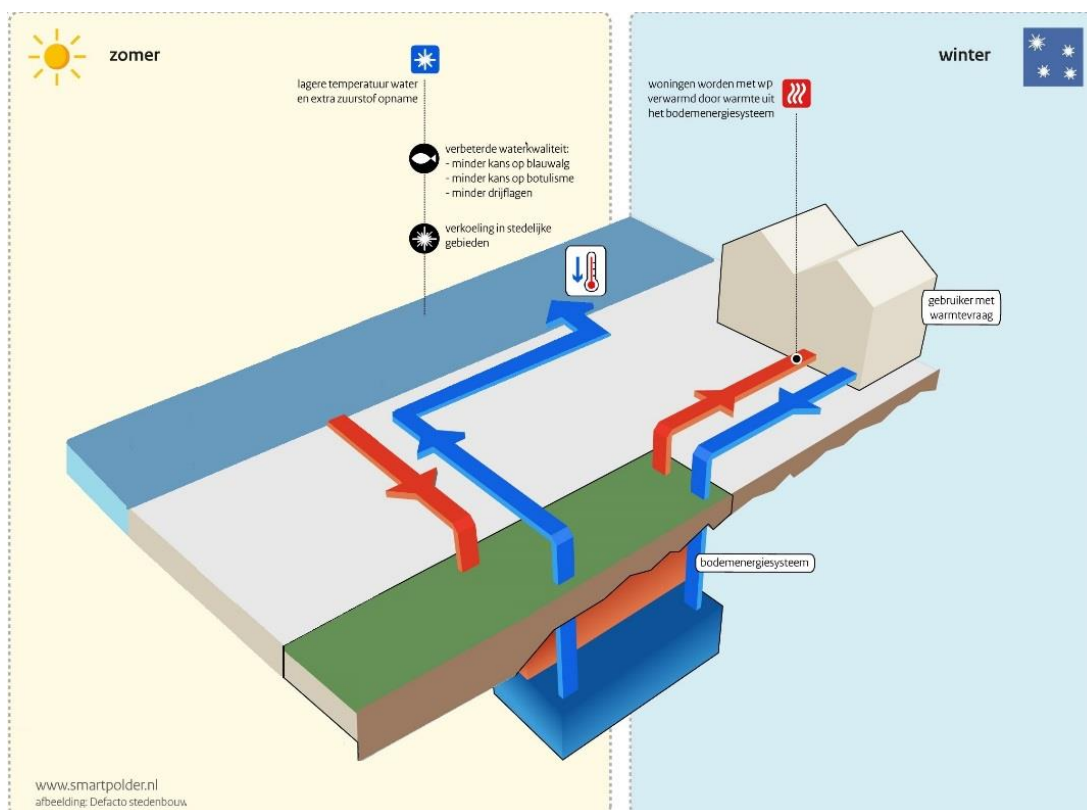
*Figuur 1
Fabriekskwartier aan
de Piushaven in
Tilburg.
Bron: Google Earth.*



Systemconcept

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 gebruik 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 gebouweigenaren.

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 Gebouwe 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.

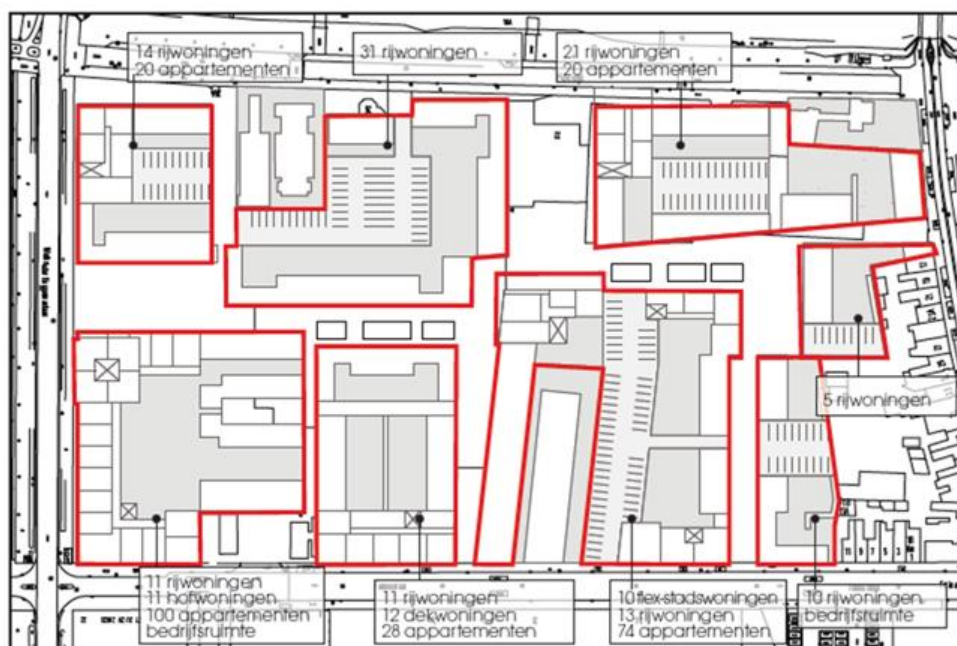
De exacte inrichting van het Fabriekskwartier is nog niet definitief. Daarom is er een inschatting gemaakt tijdens de huidige studie van de verdeling van woningen en utiliteit op basis van Figuur 4. Hierin is een voorlopige schatting gemaakt van de gebouwindeling in het Fabriekskwartier.

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	Apparte- menten	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	Commer- cieel + 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).



System 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

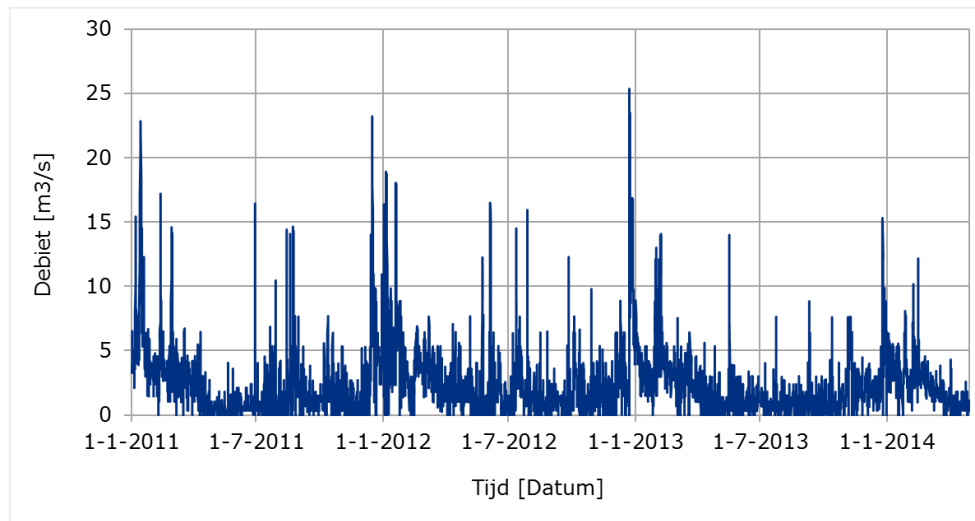
Gegevens van het debiet ter hoogte van de Piushaven zijn voor deze studie niet bekend. Het debiet ter hoogte van Sluis IV in het Wilhelminakanaal over de periode 1 januari 2011

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.

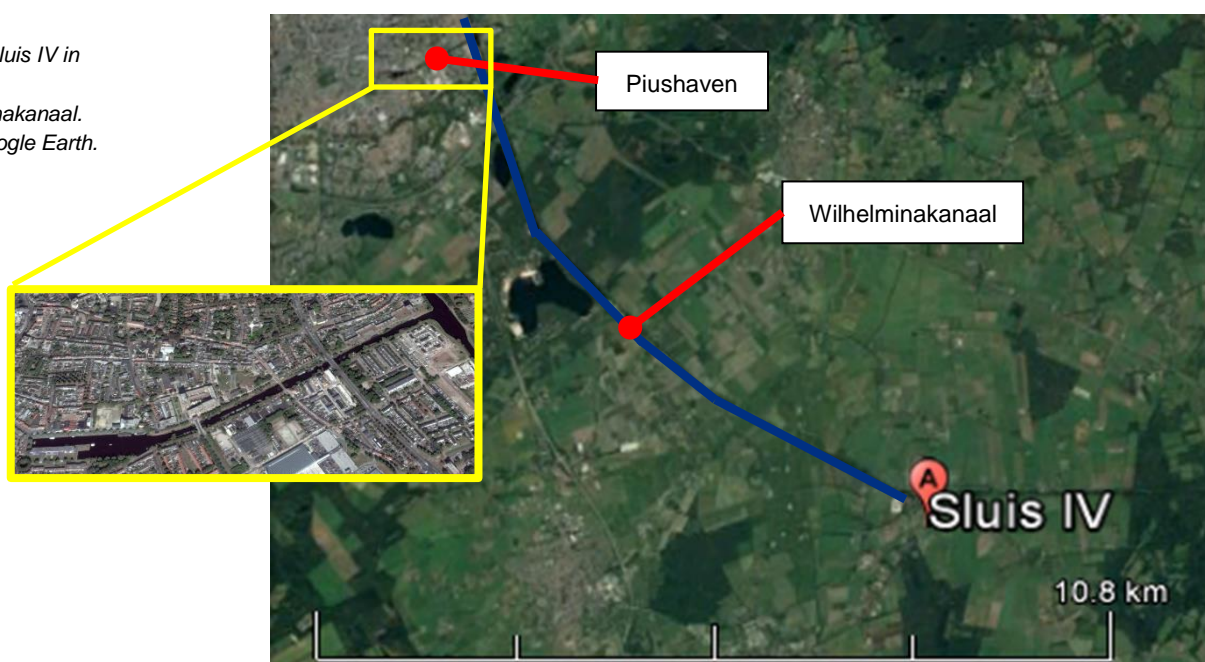
In de Piushaven ten westen van het Fabriekskwartier zit een rioolgemaal (Moerenburg). Het gemiddelde debiet van dit gemaal is 12.000 m³/dag met een capaciteit van 2.450 m³/h. Sinds de debieten relatief laag zijn t.o.v. de grootte van de Piushaven, wordt niet verwacht dat dit significante stroming veroorzaakt.

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.

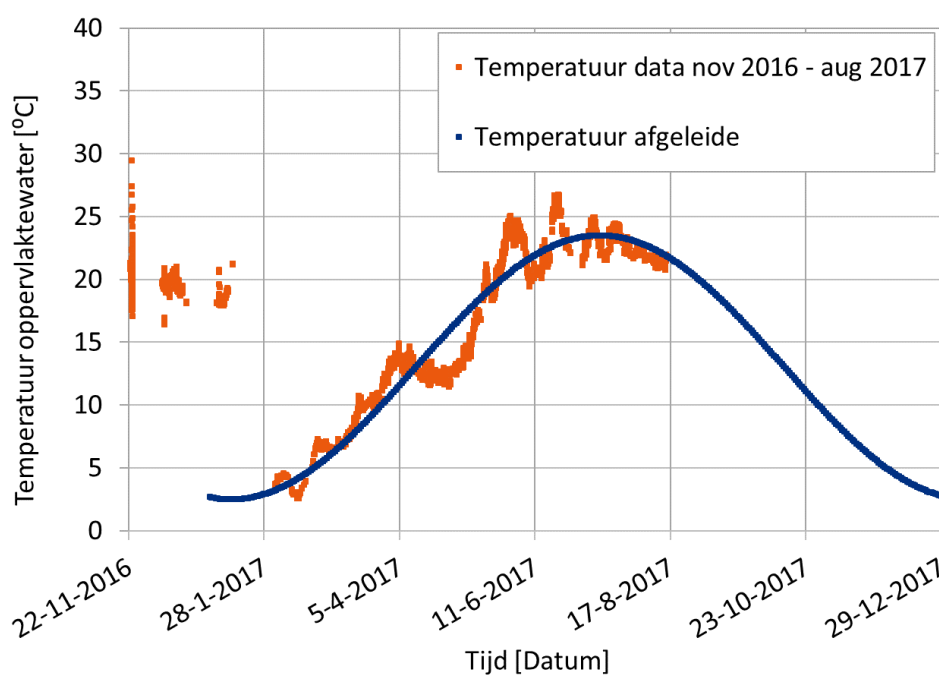


Temperatuur oppervlaktewater

De temperatuur van het oppervlaktewater in de Piushaven tussen 22 november 2016 en 15 augustus 2017 is weergegeven in Figuur 8 (oranje markering). 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 VOCl-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 gemeentegrond	✓	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.

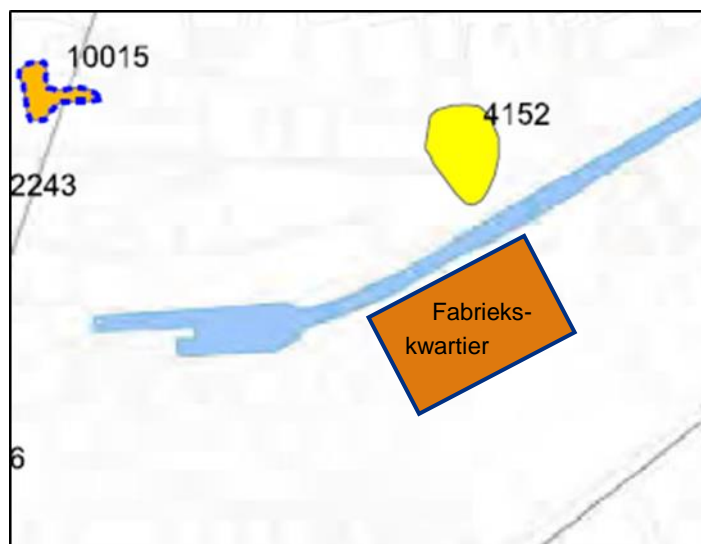
3) Verontreinigingen

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 watervoerende 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 Klimateffectatlas 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) doorgerekend. 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

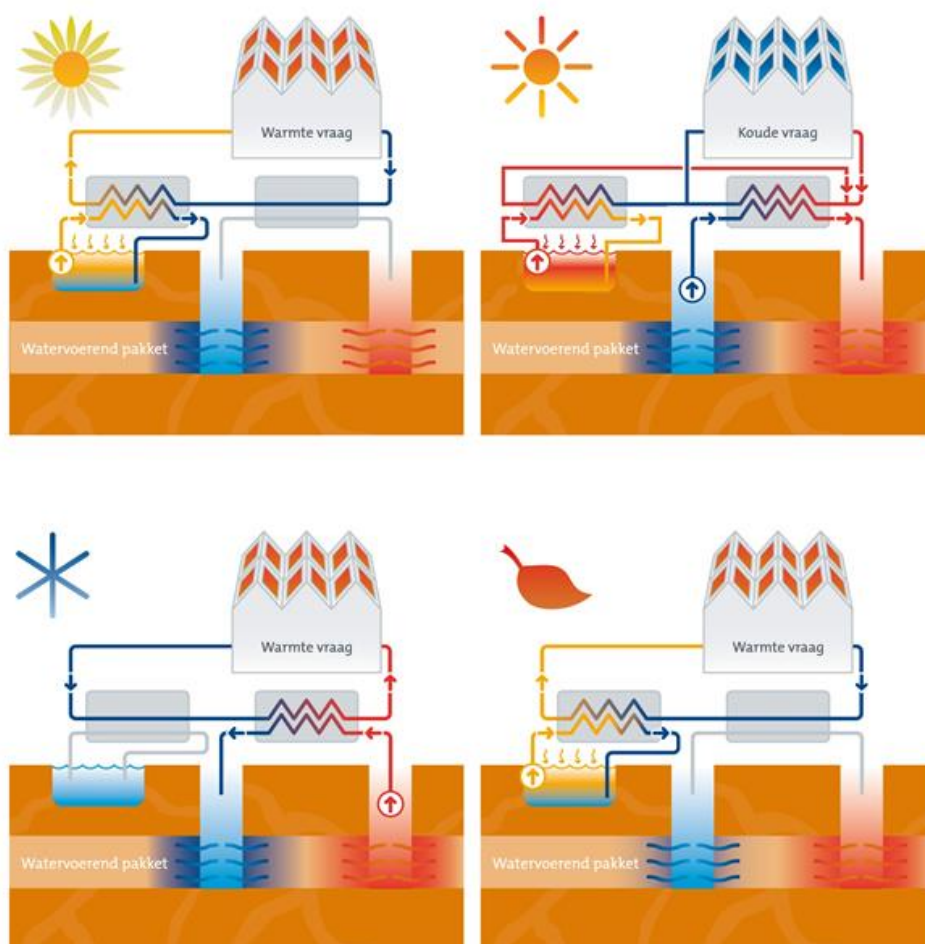
Bij de toepassing van TEO zijn er globaal twee concepten mogelijk: warmte uit oppervlaktewater of koude uit oppervlaktewater (zie Bijlage 1). Afhankelijk van de randvoorwaarden binnen een project bepaald het concept voor een groot deel de financiële, technische en juridische haalbaarheid. Belangrijke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

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

Systeme keuze 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 pieketels 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:

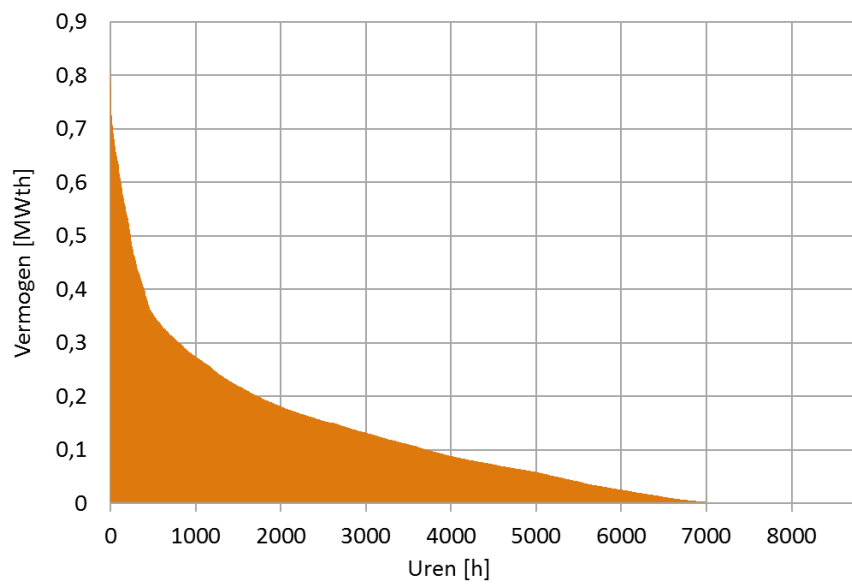
- duurzaamheid;
- financiën;
- leveringszekerheid;
- inpassing.

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 duurzaamheidoverwegingen 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.

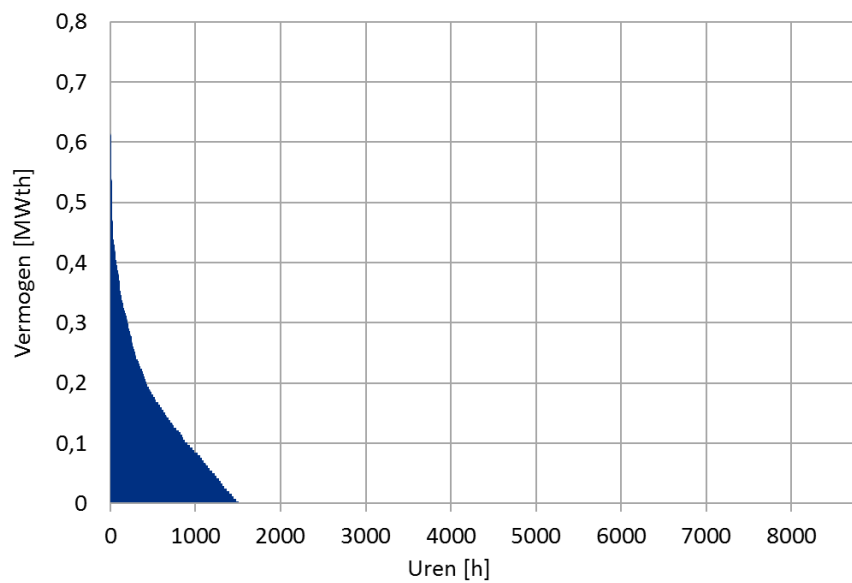
Uitwerking en resultaten energieconcept

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.

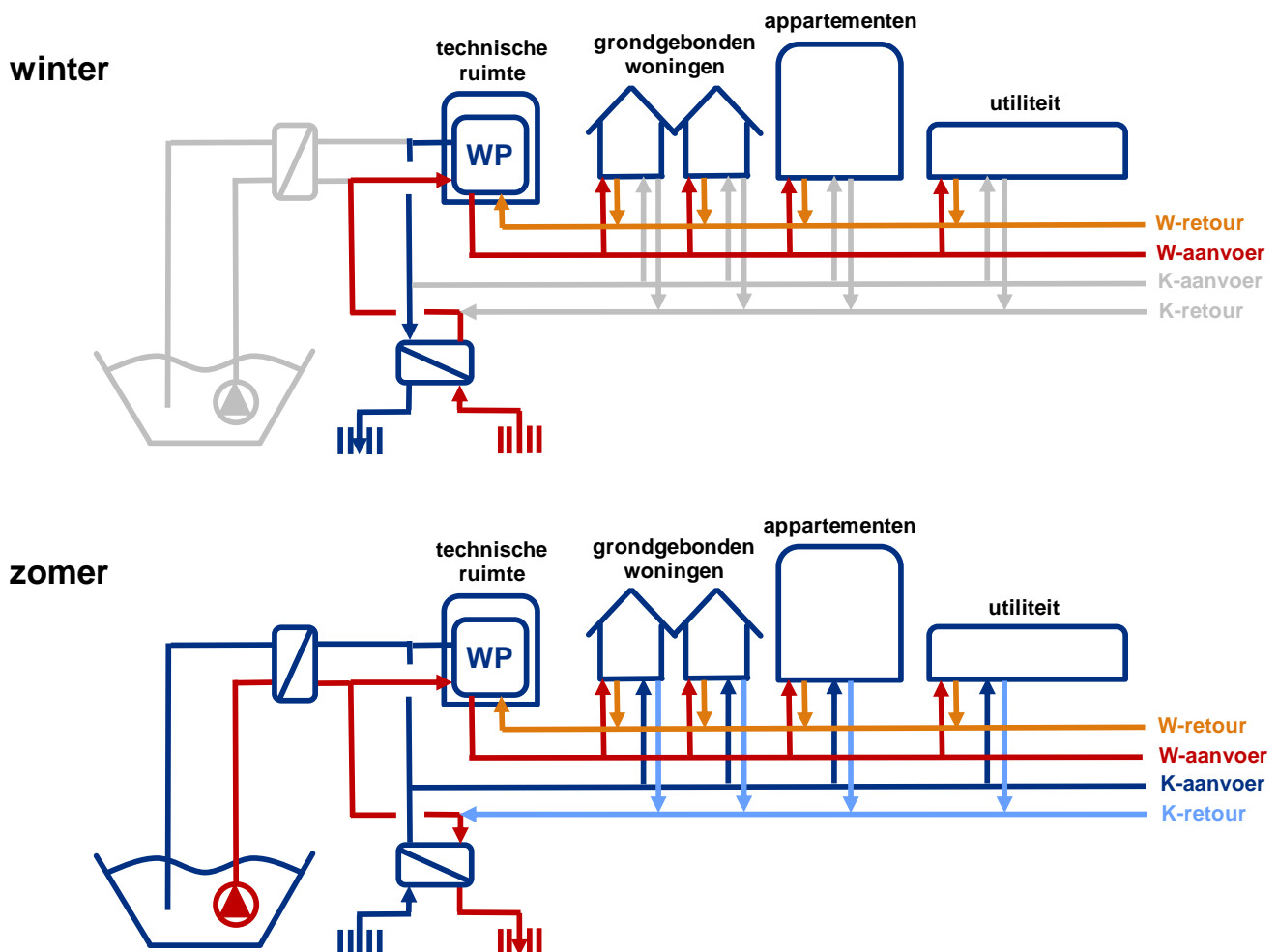
Een aantal belangrijke input en output gegevens van het energieconcept zijn te zien in Tabel 6. De maximaal benodigde debieten zijn belangrijk om het systeem te dimensioneren en om zo de investeringskosten te kunnen ramen. In Figuur 15 is het TEO systeem in een principeschema gepresenteerd gedurende 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.*

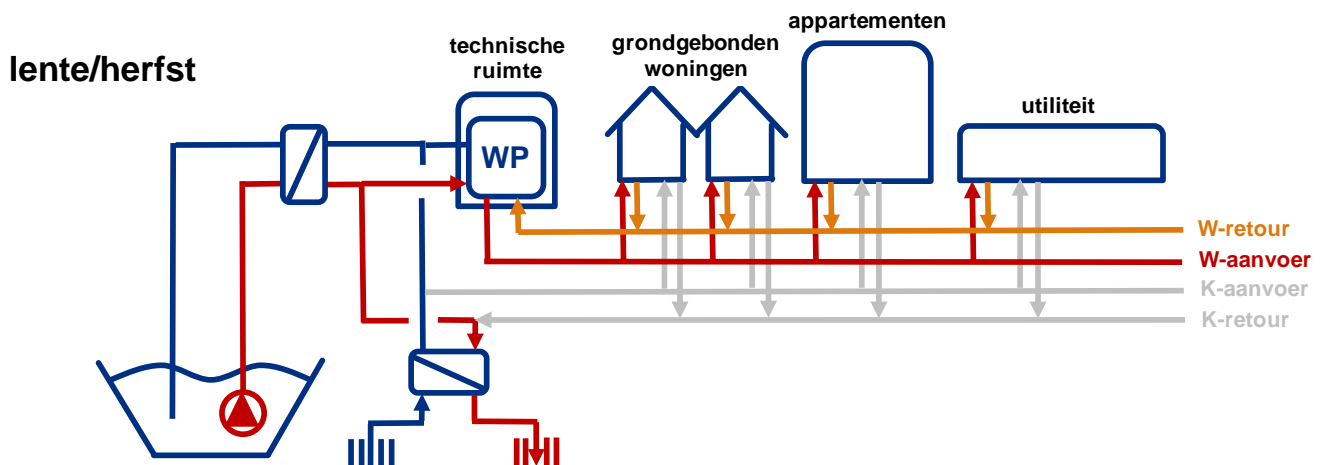
Input parameters	Eenheid	Waarde
Minimale uitkoeling oppervlaktewater	°C	3,0
Maximale uitkoeling oppervlaktewater	°C	6,0
Minimale lozingstemperatuur	°C	15,8
Minimale onttrekkingstemperatuur	°C	18,8
Infiltratietemperatuur koude	°C	7,0
Aanvoer temperatuur gebouwzijdig	°C	65,0
Output parameters	Eenheid	Waarde
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

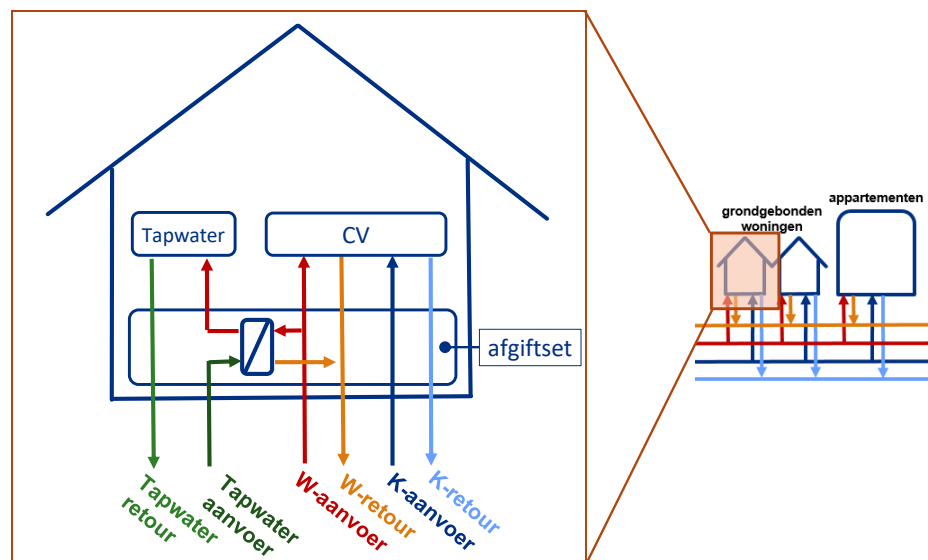
Principeschema TEO systeem in de winter, zomer en lente/herfst (Grijs = niet in bedrijf). **Winter:** het TEO systeem is uitgeschakeld in dit concept (grijs), omdat er een overwegende warmtevraag is. Er wordt geen koude geleverd aan de gebouwen (grijs). Het WKO systeem levert de warmte uit de warme bron, 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 vervolgd



Figuur 16
 Uitlichting mogelijk
 gebouwzijdig
 concept/afgiftset.
 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:

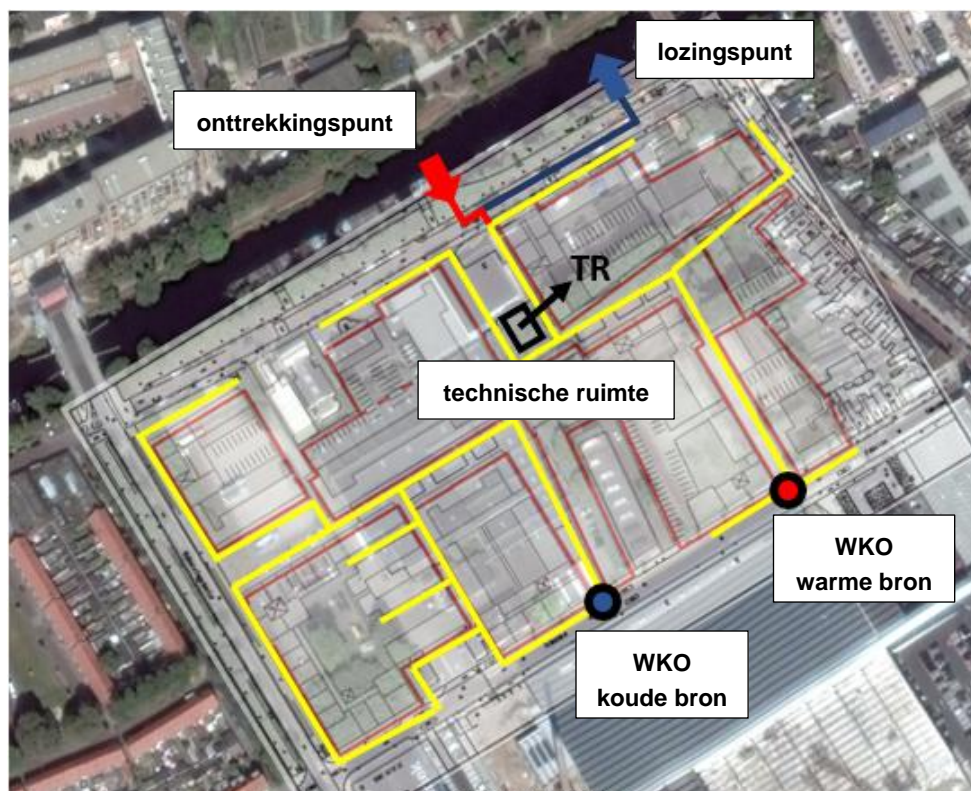
- **In- en uitlaat oppervlaktewatersysteem:** deze komen bij voorkeur centraal in het gebied te liggen, zodat de kortste route naar de technische ruimte kan worden gerealiseerd. De afstand tussen in- en uitlaat is afhankelijk van de stroomsnelheid en stroomrichting in de Piushaven en de wensen met betrekking 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.

In navolgende tabellen zijn de te verwachten kosten inzichtelijk gemaakt. Alle genoemde bedragen zijn exclusief BTW en gebaseerd op prijspeil 2017.

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
compressiekoelmach
ine.

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
compressiekoelmach
ine.

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
compressiekoelmach
ine.

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

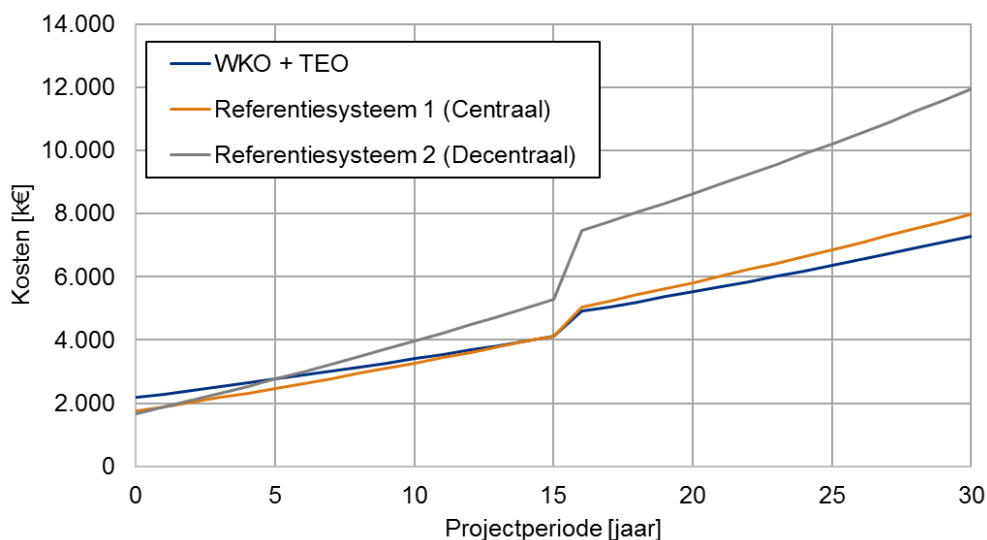
In Figuur 18 zijn de kosten en baten van het WKO + TEO systeem (blauw) uitgezet tegen het referentiesysteem 1 met een centrale gasketel (oranje) en tegen referentiesysteem 2 met een decentrale gasketel (grijs) over een projectperiode van 30 jaar. De trend van de kosten voor beide systemen wordt onder 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

jaar en 4 jaar voor een systeem met centrale gasketel en systeem met decentrale gasketel, respectievelijk. Er moet expliciet vermeld worden dat de CO₂-prijs op dit moment een onzekere factor is en dat de er wordt aangenomen dat elektriciteit volledig groen wordt opgewekt.

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.

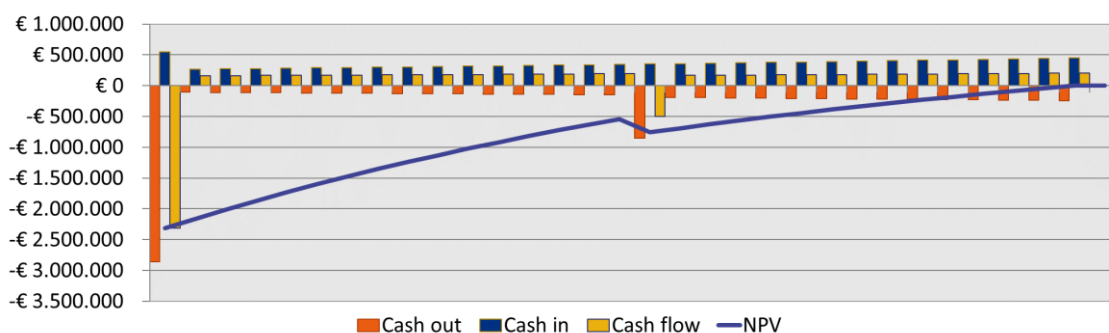
Omzet WKO + TEO	Eenheid	Kosten
Warmte	€/jaar	69.000
Vastrecht	€/jaar	79.000
Meetkosten	€/jaar	6.600
Afgifteset	€/jaar	57.000
Koude	€/jaar	52.000
Totaal	€/jaar	264.000

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

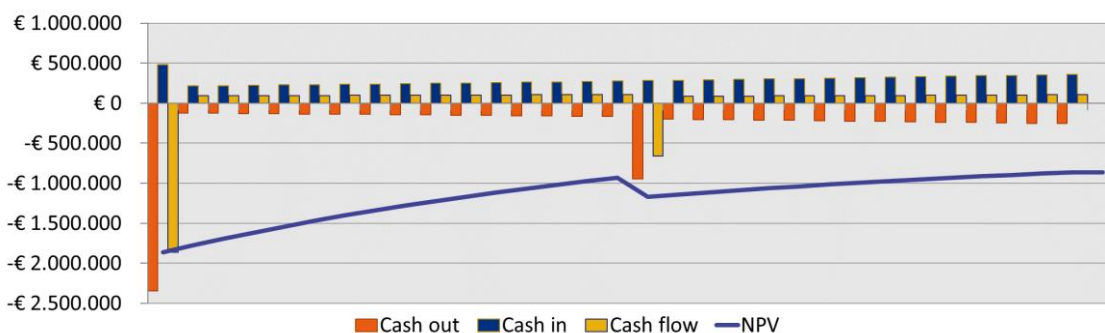
Omzet referentiesysteem 1	Eenheid	Kosten
Warmte	€/jaar	69.000
Vastrecht	€/jaar	79.000
Meetkosten	€/jaar	6.600
Afgifteset	€/jaar	57.000
Koude	€/jaar	-
Totaal	€/jaar	211.000

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
Kasstromen 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.

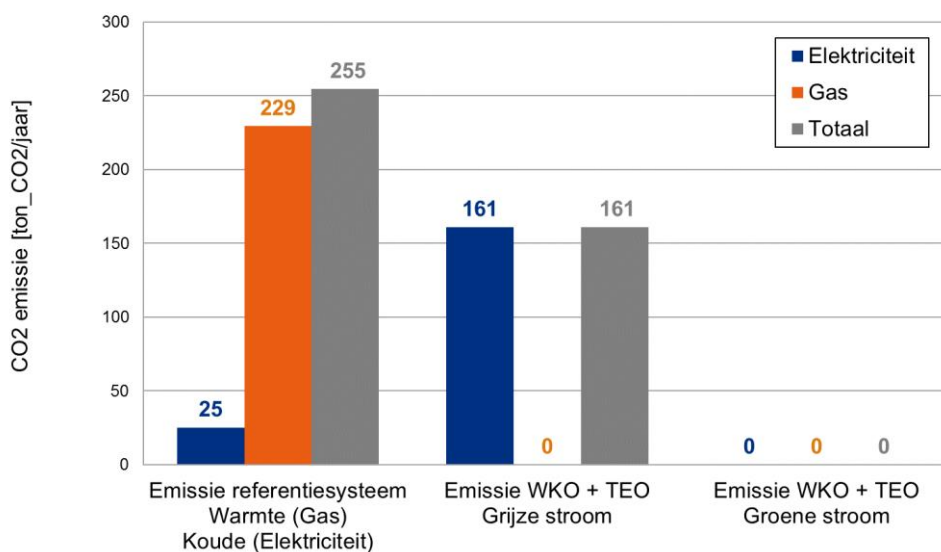
Tabel 19
Prestatiefactoren WKO + TEO systeem en referentiesysteem 1 en 2.

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 [tonCO ₂ /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
Elektricititeit		
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, 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.

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 voornamelijk 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-%202016%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
VOCI	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.

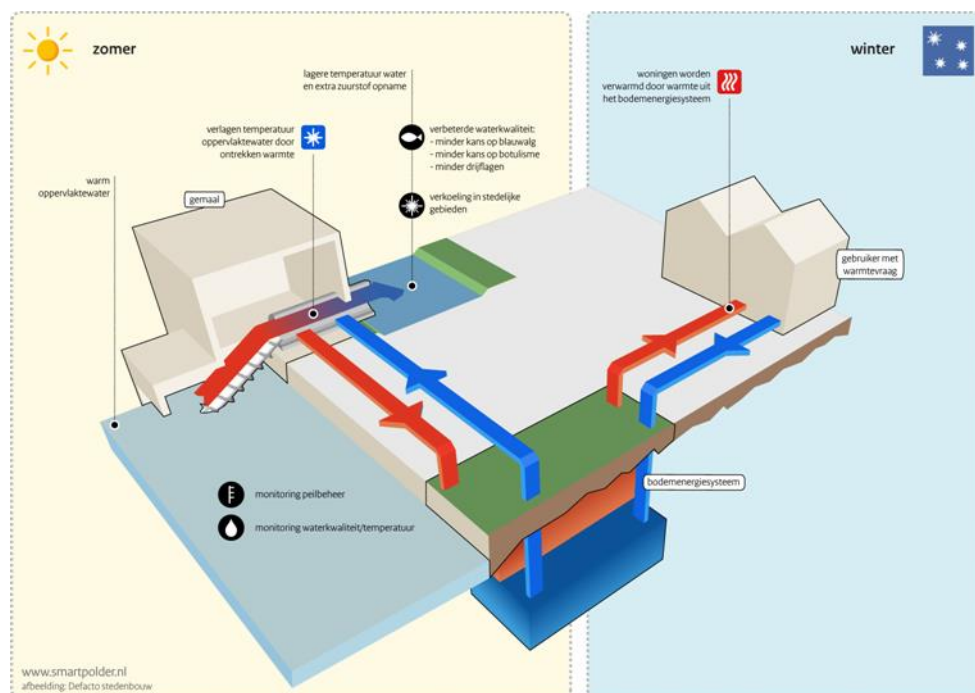
<https://www.hdsr.nl/werk/water-energiebron>

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.

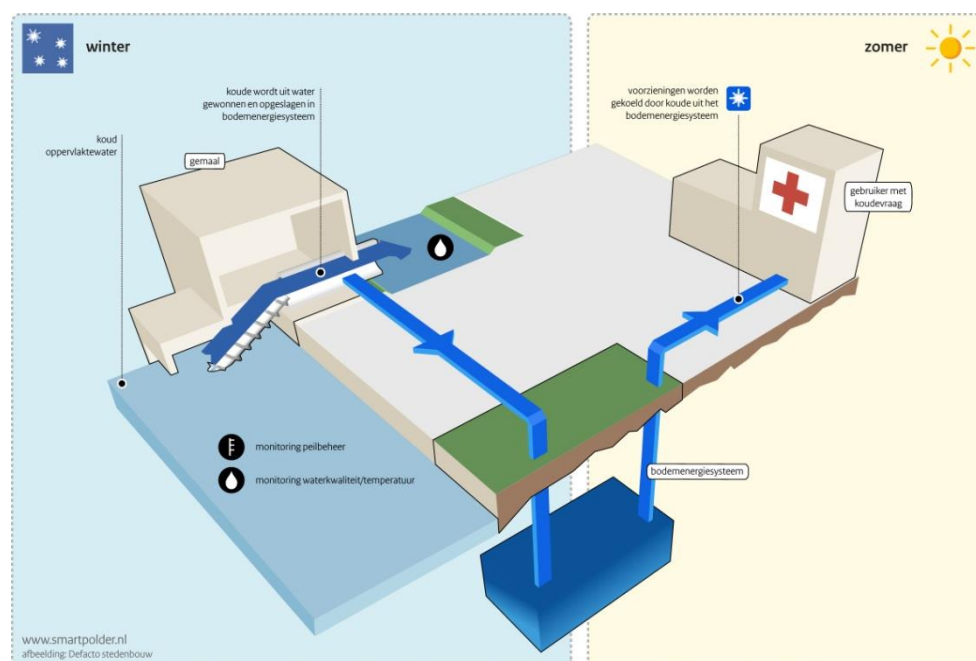
Dit zal niet alle problemen direct wegnemen, maar er zijn wel veel positieve effecten te benoemen te weten:

- 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.

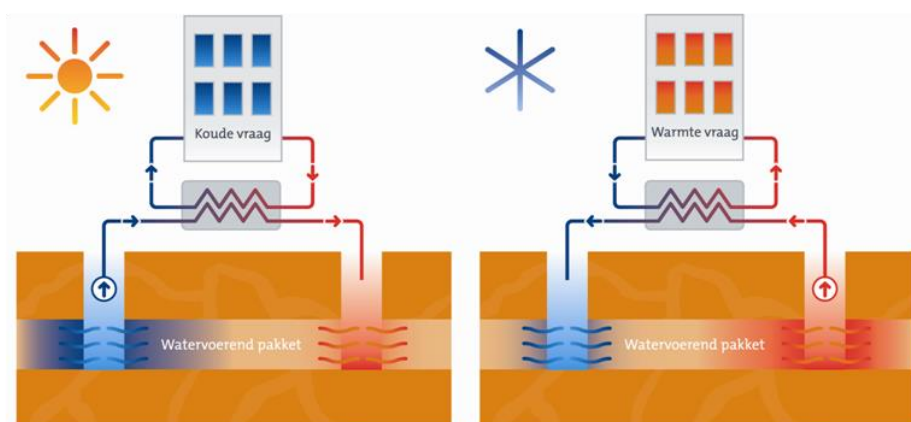


6.2 Principe Warmte- en Koude Opslag (WKO)

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.

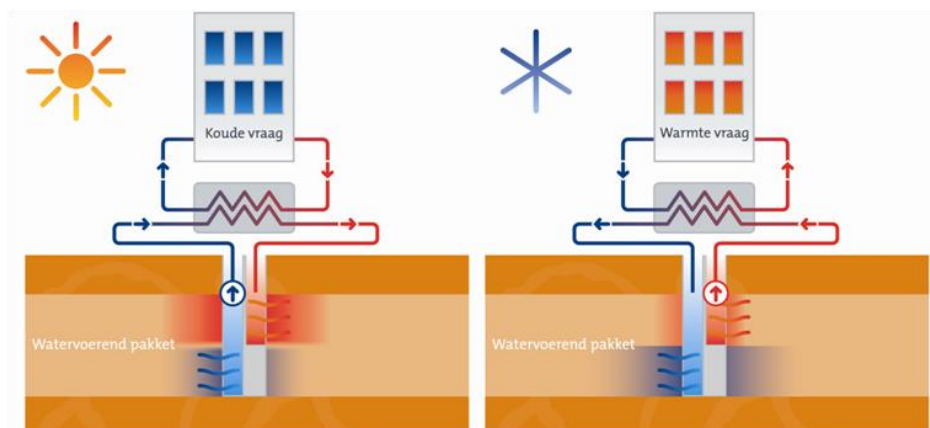
Toepassing van dit principe kan op meerdere manieren. Bijvoorbeeld met een aparte warme en koude bron (een doublet) in hetzelfde watervoerende pakket. Hierbij worden beide bronnen met voldoende onderlinge afstand gerealiseerd om negatieve invloed te beperken. Dit is schematisch weergegeven in Figuur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

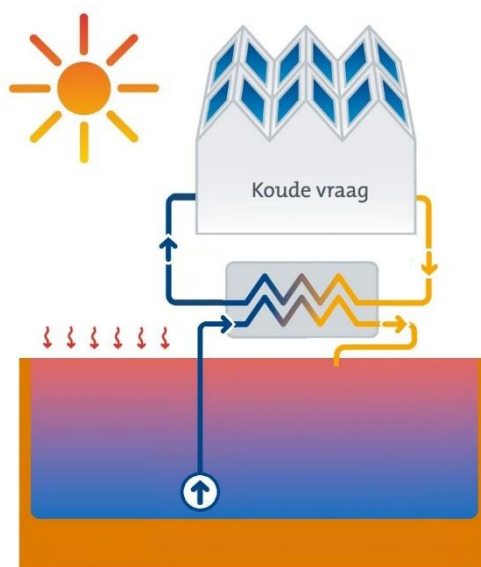
6.3 Koude uit diepe plassen

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.

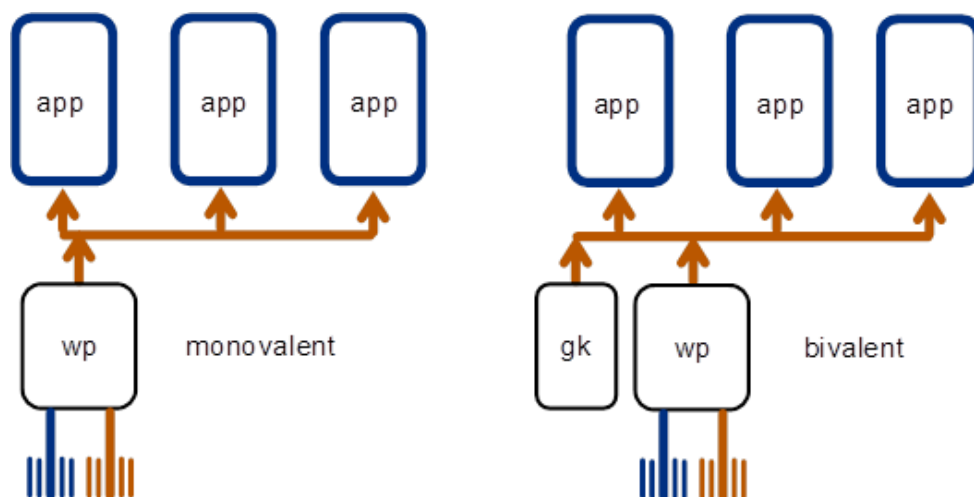
Gebouwinstallatie

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:

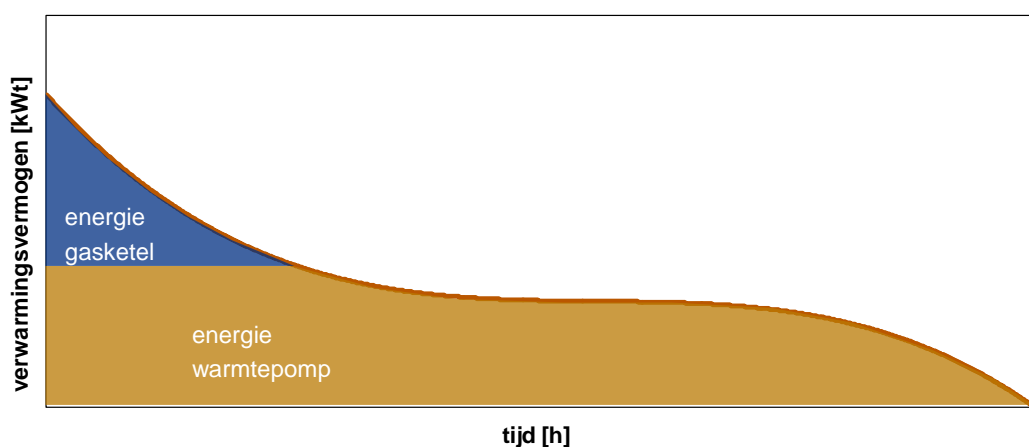
- | | |
|-------------|--|
| Monovalent: | Appartementen (app) hebben een warmtevraag (ruimteverwarming en tapwaterbereiding). Bij een monovalent systeem wordt één omzetter gebruikt die alle warmte levert. In het voorbeeld (Figuur 29) is dit een warmtepomp (wp) in combinatie met energieopslagsysteem. |
| Bivalent: | Bij een bivalent systeem wordt gebruik gemaakt van twee omzeters 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.



Engineering the earth

Thermische Energie uit Oppervlaktewater
Business case voormalig Beursgebouw Leeuwarden



Engineering the earth

Thermische Energie uit Oppervlaktewater
Business case voormalig Beursgebouw Leeuwarden

Thermische Energie uit Oppervlaktewater

Business case voormalig Beursgebouw Leeuwarden

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 1.1
Gecontroleerd door: de heer B. Scholten
Vrijgegeven door: de heer M. Koenders

Inhoudsopgave

1	Samenvatting.....	5
2	Inleiding	8
	2.1 Algemeen.....	8
	2.2 Plan van aanpak	8
	2.2.1 Selecteren van kansrijke locaties.....	8
	2.2.2 Inventarisatie gebiedskenmerken en belanghebbenden.....	9
	2.2.3 Verkenning business case	9
	2.2.4 Verdiepingsfase	9
	2.2.5 Projectrealisatie en exploitatie	10
	2.3 Doelstellingen casussen	10
	2.3.1 Algemene doelstellingen.....	10
	2.3.2 Doelstellingen casus: Beursgebouw Leeuwarden	10
	2.4 Leeswijzer.....	10
3	Inventarisatie.....	12
	3.1 Stakeholderanalyse	12
	3.2 Klimaatadaptie	12
	3.3 Kenmerken afnemers energie.....	13
	3.4 Kenmerken watersysteem.....	15
	3.5 Kenmerken bodem.....	18
	3.6 Omgevingsbelangen	21
	3.6.1 Juridische belangen.....	21
4	Business case.....	22
	4.1 Energieconcepten	22
	4.2 Schetsontwerp	27
	4.3 Impact leefomgeving	29
	4.4 Financiële analyse	30
	4.5 Duurzaamheid.....	34
5	Conclusies en aanbevelingen	36
	5.1 Technische en energetisch haalbaarheid.....	36
	5.2 Ruimtelijke inpassing	37
	5.3 Financiële haalbaarheid	38
	5.4 Spoorboekje.....	38

Referenties	39
Afkortingen.....	40
6.1 Principe Smart polder – TEO	41
6.2 Principe Warmte- en Koude Opslag (WKO).....	44
6.3 Koude uit diepe plassen.....	46
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 warmte- en koude opslag (WKO) in combinatie met thermische energie uit oppervlaktewater (TEO). De business case is toegepast op het voormalig Beurs- en waagegebouw in Leeuwarden (in het voorgaande en vervolg van dit rapport “Beursgebouw” genoemd) (zie Figuur 1). Voor deze ontwikkeling is een inschatting gemaakt van het energieverbruik voor de warmtevraag van 790 MWh_{th} (2.840 GJ_{th}) per jaar en de koudevraag van 80 MWh_{th} (290 GJ_{th}) per jaar.

Het oppervlaktewater wordt verkregen uit de Zuider Stadsgracht. De gracht nabij de locatie is ca. 28 meter breed en ca. 2,1 meter diep. Uitgangspunt is dat de stroming in het kanaal afhankelijk is van het getijde. Daardoor kan de stroming zowel naar links als naar rechts plaatsvinden.

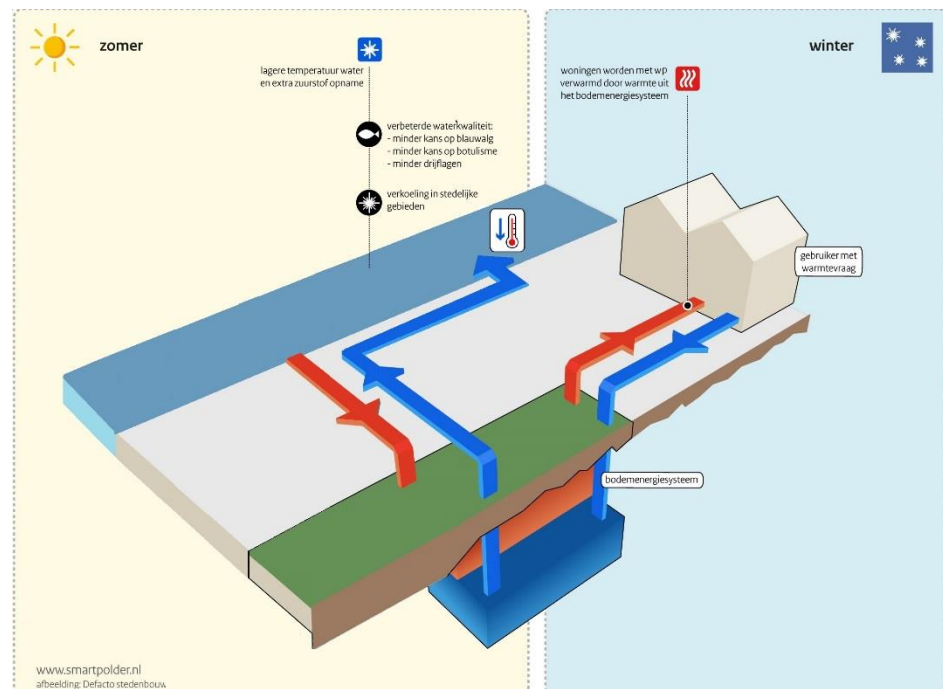
Figuur 1
Voormalig
Beursgebouw
Leeuwarden.
Bron: Google Maps.



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 overwegend 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 aangevuld wordt met een WKO systeem wordt gebruik gemaakt van het natuurlijke temperatuurverschil tussen het oppervlaktewater in de zomer (ca. 18 °C) en de stabiele grondwatertemperatuur (ca. 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 beursgebouw is de warmtevraag bijna tien maal 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 het gebouw te voorzien van de benodigde warmte en koude.

Op basis van de huidige uitgangspunten is een monobron met een maximaal debiet van 30 m³/h toereikend om het gebouw van voldoende warmte en koude te voorzien. Om de

bronnen in de zomer voldoende te kunnen laden is een oppervlaktewatersysteem van maximaal 30 m³/h nodig. Een grondwater gevuld distributienet en de oppervlaktewaterleidingen zijn beperkt, omdat het WKO systeem en het oppervlaktewater systeem dicht bij het gebouw geplaatst kunnen worden. Ook zijn er juridisch gezien geen knelpunten voor de realisatie van TEO en WKO.

Duurzaamheid

Door de toepassing van TEO met een oppervlaktewaterdebiet van 30 m³/h 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 360 GJ_{th} ten opzichte van traditionele koelers, waarmee extra hittestress wordt voorkomen. De CO₂ emissie reductie kan in het meest optimale geval (volledig groen opgewekte stroom) 186 ton/jaar bedragen.

Financiële haalbaarheid

De financiële haalbaarheid van een WKO + TEO systeem bij het Beursgebouw in Leeuwarden is getoetst door een vergelijking te maken met een conventioneel (gasketel en compressiekoelmachine) systeem. De verwachte terugverdientijd van een WKO + TEO systeem is ongeveer 19 jaar.

Vervolg

De plannen voor de renovatie van het Beursgebouw zijn al in een vergevorderd stadium. Hierbij is het toepassen van een warmtepomp in combinatie met WKO al onderdeel van het ontwerp. De integratie van TEO in dit ontwerp 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. Voor het vervolg is het van belang dat dit op korte termijn wordt afgestemd met de belanghebbenden.

2

Inleiding

2.1 Algemeen

De potentie van TEO is in 2016 door de Energiecoalitie Rijkswaterstaat & Unie van Waterschappen 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 de 7 regio's en deze in te kunnen brengen in 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.

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.

In dit rapport wordt de technische en financiële haalbaarheid van de casus Beursgebouw Leeuwarden 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 (PVA) 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

Ophalen kansrijke locaties via workshops met de belanghebbenden. 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 kanskaart 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.

Het Beursgebouw Leeuwarden is als één van de kansrijke locatie naar voren gekomen.

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

geïventariseerd. 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: Beursgebouw Leeuwarden

De doelstelling van deze specifieke casus is om de technische en financiële haalbaarheid inzichtelijk te maken voor de belanghebbenden. Dit is in dit geval de gebouweigenaar de Rijksuniversiteit Groningen.

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

Rijksuniversiteit Groningen

De Rijksuniversiteit Groningen is de gebouweigenaar.

Wetterskip Fryslân

Wetterskip Fryslân is verantwoordelijk voor het kwalitatieve en kwantitatieve beheer van het oppervlaktewater in Friesland.

Provincie Friesland

De provincie is bevoegd gezag voor de realisatie van WKO.

Gemeente Leeuwarden

De gemeente Leeuwarden is eigenaar van de kade van de Zuider Stadsgracht 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.

3.2 Klimaatadaptie

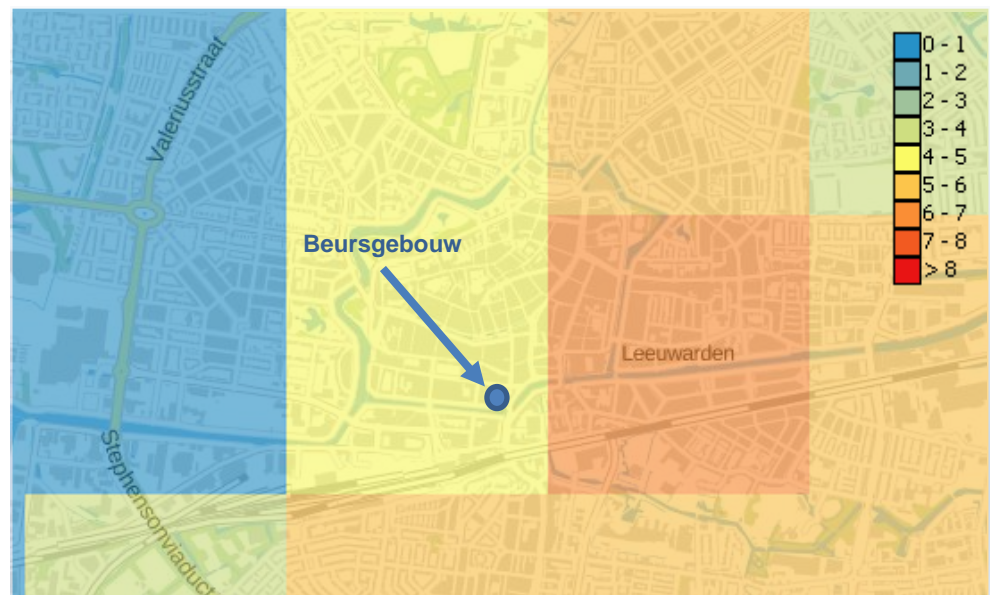
Het klimaat warmt op en veel van de sinds de jaren vijftig waargenomen veranderingen in het klimaatsysteem zijn in de afgelopen honderden tot duizenden jaren niet eerder voorgekomen. De concentratie van broeikasgassen is toegenomen, de atmosfeer en de oceaan zijn opgewarmd, de hoeveelheid sneeuw en ijs 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. Hierbij is voor Leeuwarden te zien dat de

temperatuur in stedelijk gebied wel 7-8 °C hoger kan zijn dan daarbuiten. 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.

Figuur 3
Hittekaart van
Leeuwarden,
Bron:
Klimaat-effectatlas.



3.3 Kenmerken afnemers energie

Energie afnemer(s)

De potentiële afnemer van warmte en koude is de Rijksuniversiteit Groningen. Het gebouw dat bestudeerd is in deze casus is het voormalig Beursgebouw in Leeuwarden. Het gebouw kan aangemerkt worden als utiliteitsbouw voor wetenschappelijk onderwijs in de functie die het gaat vervullen.

Eigenschappen gebouw(en)

De relevante gebouw eigenschappen zijn gepresenteerd in Tabel 1.

Tabel 1
Gebouw
eigenschappen
Beursgebouw
Leeuwarden.

Eigenschappen gebouw	Eenheid	Waarde
Bouwjaar	jaar	1880 ¹
Bruto-vloeroppervlakte (BVO)	m ²	5300
Isolatiewaarden bouwkundige schil ²		
Rc - begane grond vloer	m ² K/W	3,5
Rc - begane grond wanden	m ² K/W	3,5
U - beglazing HR++ glas	W/m ² K	1,1
Rc - 1e verdieping vloer	m ² K/W	Ongeïsoleerd
Rc - 1e verdieping wanden < 1,5 m boven de vloer	m ² K/W	3,5
Rc - 1e verdieping wanden > 1,5 m boven de vloer	m ² K/W	0,58
U - 1e verdieping beglazing HR glas	W/m ² K	1,3
Rc - plafond	m ² K/W	2,5
Rc - dakconstructie	m ² K/W	Ongeïsoleerd
Warmte en koude data gebouw ^{2,3}		
Energievraag warmte	MWh _{th}	790
Energievraag koude	MWh _{th}	80
Vermogensvraag warmte	kW _{th}	421
Vermogensvraag koud	kW _{th}	191
Tarieven gas/elektra ²		
Elektra ⁴	€/kWh _e	0,10

¹ Bron: [https://nl.wikipedia.org/wiki/Beurs- en_waaggebouw_\(Leeuwarden\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Beurs- en_waaggebouw_(Leeuwarden)).

² Bron: Kor Smit, persoonlijke communicatie, 24 mei 2017.

³ Bron: Kor Smit, persoonlijke communicatie, 22 juni 2017.

⁴ De RUG hanteert één geïntegreerd tarief voor elektra. Dit is inclusief transport, BTW, energiebelasting, vaste kosten.

Stelsel concept energielevering gebouw

Voor de opwekking van warmte wordt gebruik gemaakt van een elektrische warmtepomp. De warmtepomp is aangesloten op een WKO systeem. De koude wordt direct geleverd vanuit het WKO systeem en met behulp van een warmtewisselaar afgegeven aan het

distributienetwerk van het gebouw. Het werkingsprincipe van een WKO systeem is beschreven in Bijlage 1.

Op de begane vloer wordt gebruik gemaakt van laagtemperatuur vloerverwarming in de dekvloer. Op een aantal punten zijn werkplekken gesitueerd dicht bij de gevel. Hier zullen aanvullende radiatoren worden geplaatst (Kor Smit, persoonlijke communicatie, 24 mei 2017).

3.4 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 Zuider Stadsgracht. De afmetingen van de gracht ten westen van de Wirdumerpoortsbrug (zie Figuur 4) zijn (Arjan van den Hoogen, persoonlijke communicatie, 13 juni 2017):

- Breedte: 28 m
- Diepte: 2,1 m-NAP

*Figuur 4
Zuider Stadsgracht
en
Wirdumerpoortsbrug.
Bron: Google Maps.*



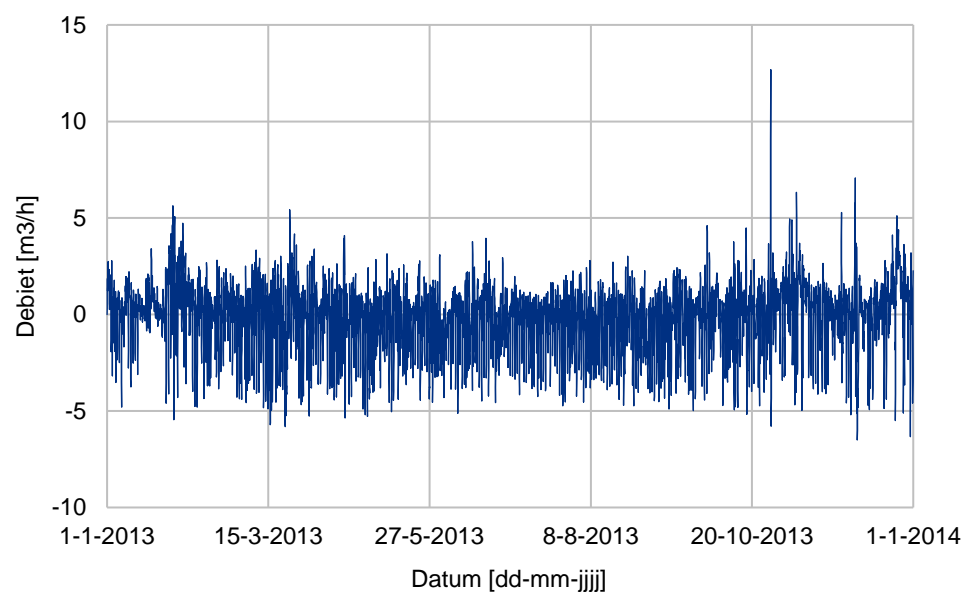
Debiet oppervlaktewater

Het verwachte debiet in de Zuider Stadsgracht is weergegeven in Figuur 5. Het moet expliciet vermeld worden dat het stromingspatroon is verkregen aan de hand van een simulatie met SOBEK. Het resultaat geeft een indicatie van de stroming voor het jaar 2013. Samenvattend kan Figuur 5 als volgt geïnterpreteerd worden (Arjan van den Hoogen, persoonlijke communicatie, 7 juni, 2017):

- Het beeld is dynamisch. Dit komt omdat de stroming continu wordt beïnvloed door zowel de Tjerk Hiddes sluizen bij Harlingen als de Dokkumer Nieuwe Zijlen sluizen bij het Lauwersmeer.
- Het gemiddelde debiet was $-0,1 \text{ m}^3/\text{s}$. De negatieve waarde geeft aan dat de stromingsrichting van oost naar west is.
- Het maximale debiet van oost naar west was $6,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Het maximale debiet van west naar oost was $12,7 \text{ m}^3/\text{s}$. Deze piekwaarde werd veroorzaakt door de storm van 28 oktober 2013.
- De wind heeft ook effect op de stroming in de Friese boezem.

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

*Figuur 5
Debiet Zuider
Stadsgracht 2013.
Bron: Arjan van den
Hoogen, persoonlijke
communicatie, 7 juni,
2017.*

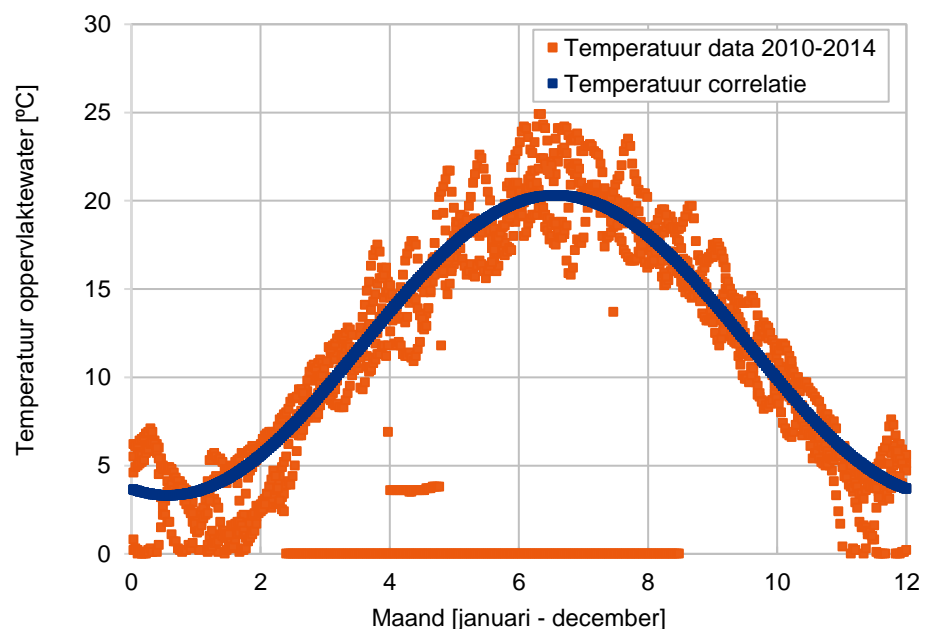


Temperatuur oppervlaktewater

De temperatuur van het oppervlaktewater tussen 2010 en 2014 is weergegeven in Figuur 6. Er moet vermeld worden dat het meetpunt nabij de Drachtsterbrug is. Dit water staat in korte verbinding met de Zuider Stadsgracht. Het is, in vergelijking met de Zuider Stadsgracht, boezemwater. Er mag worden aangenomen dat deze dataset representatief is voor de Zuider Stadsgracht.

Tussen 14 maart 2013 en 15 september 2013 is er geen data beschikbaar. Dit is te zien aan de reeks 0 waarden voor de temperatuur. Deze waarden zijn genegeerd in de temperatuur correlatie (blauwe lijn). De gebruikte temperaturen voor de correlatie zijn de gemiddelde dagtemperaturen. Deze correlatie wordt gebruikt in de energetische analyse om het moment van laden en de hoeveelheid energie die geladen kan worden te bepalen.

*Figuur 6
Temperatuur
oppervlaktewater,
locatie:
Drachtsterbrug.
Bron (temperatuur
data 2010-2014):
Arjan van den
Hoogen, persoonlijke
communicatie, 13
juni, 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. 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.

3.5 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 Leeuwarden is geschematiseerd in een aantal watervoerende pakketten en scheidende lagen. De verwachte bodemopbouw op de locatie is weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2
Bodemopbouw.

Diepte [m-mv]*	Lithologie	Geohydrologie
0 – 15	klei, veen en matig grof zand	deklaag
15 – 170	matig grof tot uiterst grof zand	1 ^e /2 ^e watervoerend pakket
170 – 180	klei en matig fijn zand	1 ^e scheidende laag
180 – 250	matig fijn tot matig grof zand	1 ^e /2 ^e watervoerend pakket
> 250	klei en fijn zand	hydrologische basis

* Het maaiveld bevindt zich op circa 3 m+NAP.

Het bovenste deel van het gecombineerde eerste en tweede watervoerende pakket (15 – 170 m-mv) is zeer geschikt voor een open bodemenergiesysteem met een capaciteit van 250 m³/h per doublet.

Geohydrologie

In Tabel 3 zijn de relevante technische en juridische aspecten opgenomen die van invloed zijn op de werking van een bodemenergiesysteem in het gecombineerde eerste en tweede watervoerende pakket. In en onder de tabel zijn de aandachtspunten / risico's of belemmeringen nader toegelicht.

Tabel 3
Technische en
juridische aspecten
bodemenergiesysteem.

onderwerp		toelichting
bodemopbouw		
doorlaatvermogen	✓	geschikt
dikte pakket	✓	voldoende dik
grondwater		
grondwaterstand	✓	dieper dan 0,8 m-mv
stijghoogte 1 ^e /2 ^e watervoerend pakket	✓	geen risico op artesisch grondwater
grondwaterstroming	✓	5 m/jaar in noordwestelijke richting
zoet/brak/zout-overgangen	✓	overgangen op circa 5 m-mv
gas	✓	geen afwijkende gasdruk
deeltjes	✓	geen verhoogd risico op deeltjes
redox	✓	geen redoxovergang in opslagpakket
temperatuur	✓	11 °C
vergunbaarheid		
grondwatergebruikers	!	1 open bodemenergiesysteem van Fries Museum ten westen van locatie. Afstemming van bronlocaties/bronfilters 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	✓	enkele grond(water)verontreinigingen aanwezig in de omgeving. Verwacht wordt dat deze geen belemmering vormen voor een open bodemenergiesysteem.
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

Concept

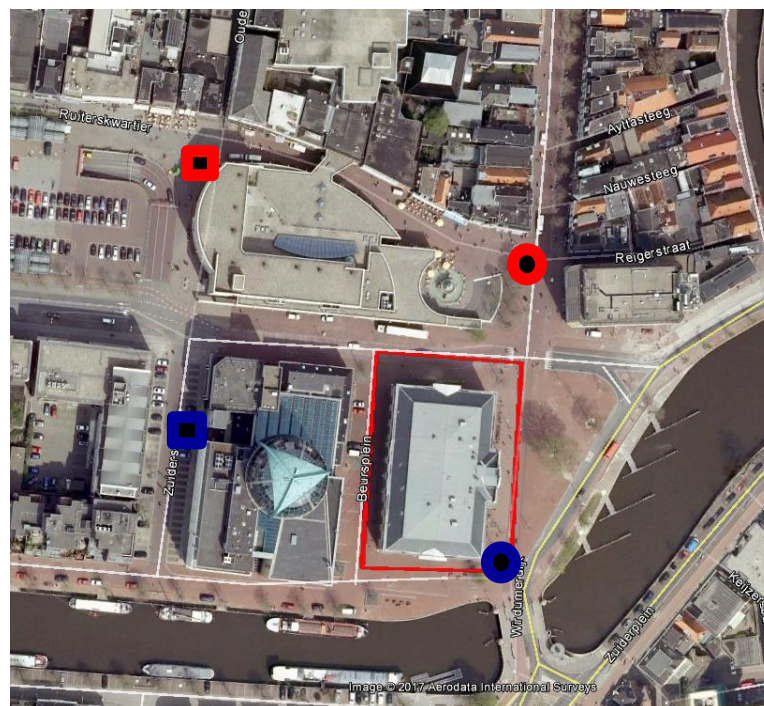
Het beoogde debiet is ca. 30 m³/uur. Dit debiet kan met een monobron of doublet gerealiseerd worden. Het theoretische principe van deze concepten is beschreven in Bijlage 1.

Tabel 3
Eigenschappen WKO bron(nen) voor de casus Beursgebouw Leeuwarden.

Eigenschap	Eenheid	Monobron	Doublet
Maximale boordiepte	m-mv	100	50
Boordiameter	mm	500-600	400-500
Bronafstand	m	n.v.t.	100

In Figuur 7 is een indicatie van de bronlocaties (rondjes) gegeven. Bij een monobron zou bijvoorbeeld de koude bronlocatie gekozen kunnen worden. Of een plek dicht bij de technische ruimte. Aandachtspunt is de afstemming met de bronnen van het Fries Museum (vierkantjes).

Figuur 7
Locaties bestaande WKO (vierkantjes) en potentiële WKO (rondjes). Blauw is koud, rood is warm. Bron: Google Maps.



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 Zuider Stadsgracht 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) doorgerekend. 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

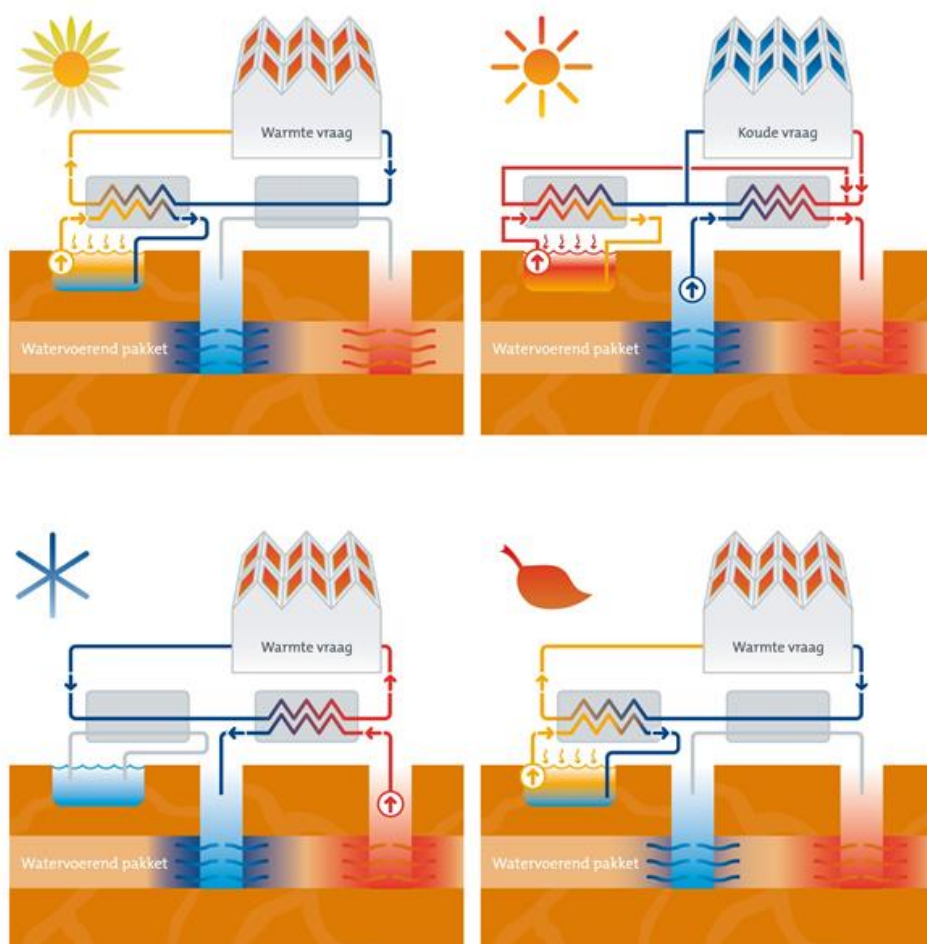
Bij de toepassing van TEO zijn er globaal twee concepten mogelijk: warmte uit oppervlaktewater of koude uit oppervlaktewater (zie Bijlage 1). Afhankelijk van de randvoorwaarden binnen een project bepaald het concept voor een groot deel de financiële, technische en juridische haalbaarheid. Belangrijke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

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

Systemkeuze energievraag

Het Beursgebouw Leeuwarden kenmerkt zich door een overwegende warmtevraag en een beperkte koelbehoefte. Hierbij is het toepassen van warmte uit oppervlaktewater in combinatie met WKO een voor de hand liggende oplossing (zie Bijlage 1, Figuur 14). 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 gebleken dat er geen gemaal in de directe omgeving aanwezig is, maar dat de Zuider Stadsgracht waarschijnlijk voldoende potentie biedt voor het winnen van warmte voor de locatie. De bodemcapaciteit is voldoende voor het toepassen van WKO (zie paragraaf 3.5). In Figuur 8 is het globale principe van de energiestromen in de verschillende seizoenen weergegeven.

*Figuur 8
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 kanaal. Door de combinatie met WKO kan ook duurzame koeling worden geleverd als comfortkoeling voor het gebouw. De koeling wordt rechtstreeks geleverd door middel van vloerkoeling.

Vanwege het relatief lage debiet wordt gekozen voor een monobron. De monobron is in dit geval een goedkopere variant. Een voordeel is dat er maar één bron geboord hoeft te

worden. Verder kan de bron dicht bij de technische ruimte gerealiseerd worden. Dit beperkt de kosten van het boren en van het distributienetwerk.

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 Beursgebouw 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 3.3 is een inventarisatie gemaakt van de energie- en vermogensvraag voor warmte en koude van het Beursgebouw. Om een nauwkeurige analyse te maken van het totale energieconcept zijn de uitgangspunten voor warmte geschaald naar een bestaande warmtevraag voor een soortgelijk utiliteitsgebouw 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 9 en Figuur 10, respectievelijk. Een belangrijk uitgangspunt hierbij is dat er nooit warmte en koude tegelijk geleverd wordt.

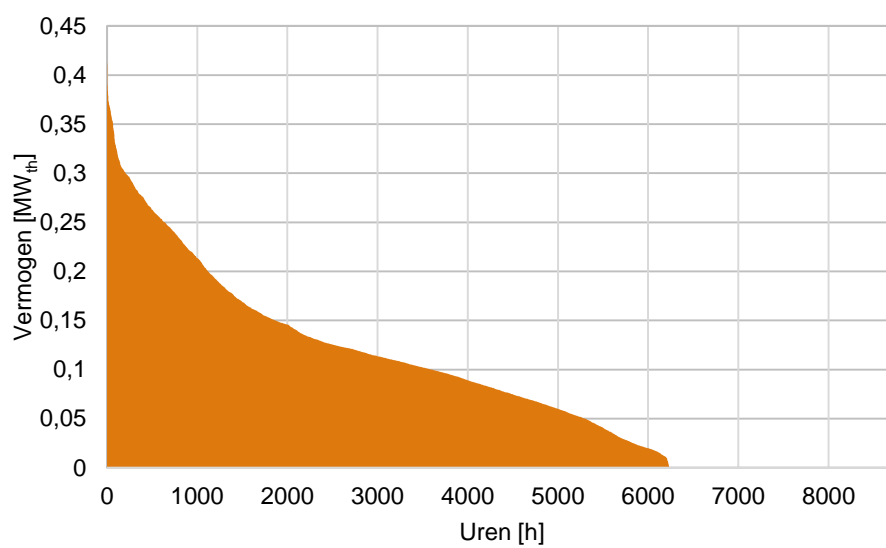
Door TEO toe te passen kan er een energiebalans gecreëerd worden voor het WKO systeem. Dit betekent dat er nagenoeg evenveel warmte geleverd wordt door de warme bron in de winter als dat er warmte geladen wordt in de warme bron tijdens de zomer. Om deze balans te creëren zijn het oppervlaktewater debiet 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 4. De maximaal benodigde debieten zijn belangrijk om het systeem te dimensioneren en om zo de investeringskosten te kunnen ramen. In de volgende twee paragrafen worden deze gegevens gebruikt voor het schetsontwerp en de financiële analyse.

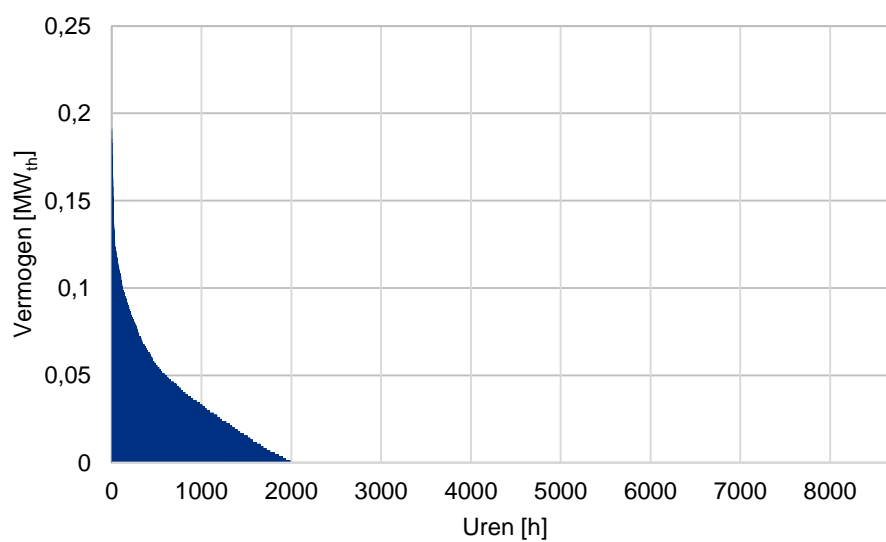
*Tabel 4
Input en output
parameters van het
energetische
concept.*

Input parameters	Eenheid	Waarde
Minimale uitkoeling oppervlaktewater	°C	3,0
Maximale uitkoeling oppervlaktewater	°C	6,0
Minimale lozingstemperatuur	°C	12,6
Minimale onttrekkingstemperatuur	°C	15,6
Infiltratietemperatuur koude	°C	7,0
Aanvoer temperatuur gebouwszijdig	°C	55,0
Output parameters	Eenheid	Waarde
Maximale COP	-	4,2
Seasonal Performance Factor (SPF)	-	3,8
Maximaal debiet oppervlaktewater	m ³ /h	27,2
Maximaal debiet WKO	m ³ /h	29,2
Gemiddelde infiltratietemperatuur warmte	°C	17,0

Figuur 9
Jaarbelastingduurcurve
verwachte warmtevraag
Beursgebouw
Leeuwarden.



Figuur 10
Jaarbelastingduurcurve
verwachte koudevraag
Beursgebouw
Leeuwarden.



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 monobron (30 m³/h);
- technische ruimte (warmtepomp, afgifteset, warmtewisselaars);
- distributieleidingen warmte en koude;
- aansluitleidingen ten behoeve van de aan te sluiten panden.

Locatie en invoeging

Ter verduidelijking is het schetsontwerp, die hieronder is beschreven, in Figuur 11 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 Zuider Stadsgracht en de wensen met betrekking tot uitkoeling van de waterloop. In paragraaf 3.4 is aangenomen dat de Zuider Stadsgracht in het slechtste geval 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. Gemiddeld was de stromingsrichting in 2013 van oost naar west. Daarom is het onttrekkingspunt ten westen van de Wirdumerpoortsbrug geplaatst en het lozingspunt ten oosten van deze brug. 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 impliceert de aanwezigheid van openbare grond. De juridische en civieltechnische mogelijkheden en knelpunten voor plaatsen van de distributieleidingen dienen in detail te worden uitgezocht.
- WKO monobron: deze kan dicht bij het Beursgebouw en de technische ruimte komen te liggen. 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.
- Technische ruimte: deze ruimte kan worden ondergebracht in een eigen ruimte. In dit specifieke geval is het wenselijk om de locatie van de technische ruimte en de monobron 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 en bron dicht bij het oppervlaktewater gekozen. In deze fase zal dit geen grote effecten op de business case hebben. De technische ruimte bevat in dit geval de warmtepomp, de afgifset 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 kunnen. Dit heeft minimale invloed op de kosten van het distributienet. Daarom is die keuze in deze business case achterwege gelaten.

- Distributieleidingen warmte en koude: omdat de bronput dicht bij de technische ruimte wordt gerealiseerd is en er één afnemer van warmte en koude is, is er geen centraal distributienet nodig. De leidingen die getekend zijn vallen onder het oppervlaktewatersysteem en de aansluitleidingen ten behoeve van het gebouw.
- Aansluitleidingen ten behoeve van de aan te sluiten panden: deze lopen van het gebouw direct naar de WKO.

Figuur 11
Schetsontwerp WKO
+ TEO systeem
Beursgebouw
Leeuwarden.



4.3 Impact leefomgeving

De voorzieningen worden deels ondergronds aangelegd (bronnen en leidingen) of in pandig (warmtepomp, afgifteset 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.

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 een referentiesysteem. Het referentiesysteem bestaat uit:

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

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.

Uitgangspunten financiële analyse

Voor de financiële berekeningen is rekening gehouden met de uitgangspunten gegeven in Tabel 5.

Tabel 5
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	-	Liander

In navolgende tabellen zijn de te verwachten kosten inzichtelijk gemaakt. Alle genoemde bedragen zijn exclusief BTW en gebaseerd op prijspeil 2017.

Investeringskosten

In Tabel 6 zijn de eenmalige investeringskosten voor WKO + TEO in beeld gebracht. De investeringskosten van het referentiesysteem zijn gegeven in Tabel 7.

Tabel 6
Investeringskosten
realisatie WKO +
TEO.

Investeringskosten	Eenheid	Kosten
Bodemenergie voorzieningen	€	127.000
Oppervlaktewater voorzieningen	€	102.000
Distributie voorzieningen	€	33.000
Warmtepomp	€	106.000
Ontwerp, advies en vergunningen (10%)	€	37.000
Onvoorzien (20%)	€	74.000
Totaal	€	475.000

Tabel 7
Investeringskosten
realisatie
referentiesysteem.

Investeringskosten	Eenheid	Kosten
Gasketel	€	43.000
Koelmachine	€	43.000
Ontwerp en advies (10%)	€	9.000
Onvoorzien (20%)	€	18.000
Totaal	€	111.000

Eenmalige inkomsten

In Tabel 8 zijn de eenmalige inkomsten in beeld gebracht. Deze regeling vanuit het ministerie van Economische Zaken is bedoeld om duurzaam ondernemen te stimuleren. De investeringssubsidie duurzame energie (ISDE) is in dit geval niet van toepassing. De ISDE is van toepassing op warmtepompen tot 70 kW.

Tabel 8
Eenmalige
inkomsten.

Inkomsten	Eenheid	Opbrengst
Energie-investeringsaftrek (EIA) 13,5%	€	45.000

Tarieven

In Tabel 9 zijn de tarieven voor elektra en gas weergegeven die gebruikt zijn in de huidige business case. Het tarief voor elektra is een geïntegreerd tarief die de RUG hanteert (zie paragraaf 3.3). Het tarief voor gas wordt toegepast op het referentiesysteem. De vaste

kosten zijn gebaseerd op de tarieven van netbeheerder Liander. De variabele kosten zijn gebaseerd op een landelijk gemiddelde.

Tabel 9
Tarieven elektra en gas.

Tarieven	Eenheid	Tarief
Elektra		
Vaste + variabele kosten	€/kWh	0,10
Gas		
Vaste kosten	€/jaar	1.820
Variabele kosten	€/kWh	0,05

Jaarlijkse exploitatiekosten

In Tabel 10 zijn de jaarlijkse exploitatiekosten weergegeven voor het WKO + TEO systeem. De jaarlijkse exploitatiekosten voor het referentiesysteem zijn weergegeven in Tabel 11.

Tabel 10
Jaarlijkse exploitatiekosten WKO + TEO systeem.

Exploitatiekosten	Eenheid	Kosten
Inkoop		
Elektriciteit (vast en variabel)	€	28.000
Onderhoud en beheer		
Opwekking (WKO en EOW)	€	10.000
Distributienet	€	1.000
Warmtepompen	€	5.000
Totaal	€	43.000

Tabel 11
Jaarlijkse exploitatiekosten referentiesysteem.

Exploitatiekosten	Eenheid	Kosten
Inkoop		
Elektriciteit (vast en variabel)	€	16.000
Gas (vast en variabel)	€	46.000
Onderhoud en beheer		
Gasketels	€	1.700
Koelmachine	€	1.800
Totaal	€	65.000

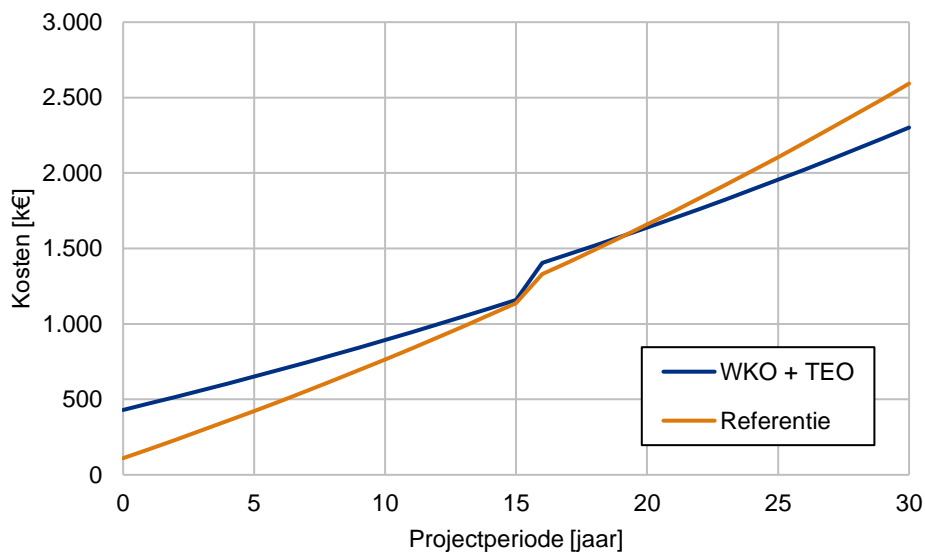
Resultaten

In Figuur 12 zijn de kosten en baten van het WKO + TEO systeem uitgezet tegen het referentiesysteem 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 5.

De terugverdientijd van een WKO + TEO systeem is ongeveer 19 jaar ten opzichte van het referentiesysteem. Het is ook te zien dat de extra investeringskosten ten opzichte van het referentiesysteem na 15 jaar bijna terugverdiend zijn. Maar door de extra herinvesteringen duurt het iets langer voordat alle investeringskosten volledig zijn terugverdiend.

*Figuur 12
Kosten-batenanalyse
WKO + TEO
systeem (blauw) en
referentiesysteem
(oranje).*



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 19 jaar. 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 bestaand gebouw, 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. Indien investeringen voor WKO + TEO op een later tijdstip plaatsvinden, zal de terugverdientijd korter worden.

4.5 Duurzaamheid

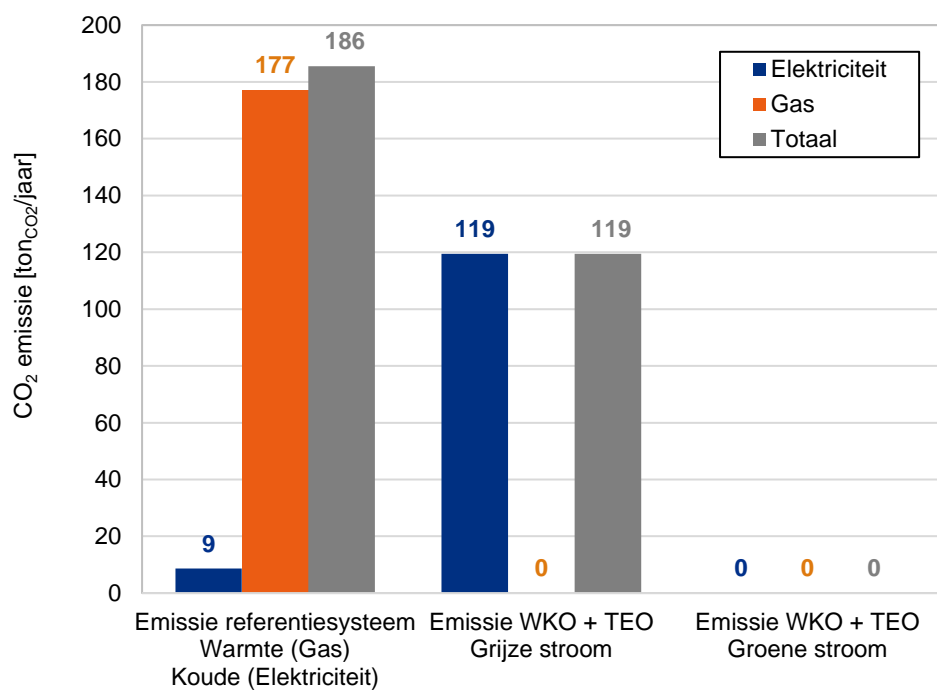
Rendement en emissie

In Tabel 12 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 – 119 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 elektriciteitsopwekking. De maximale uitstoot gaat uit van grijze elektriciteitsopwekking (RVO, 2016). De CO₂ emissies zijn grafisch weergegeven in Figuur 13. 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 12
Prestatiefactoren
WKO + TEO
systeem en
referentiesysteem.

Prestatiefactor	WKO + TEO	Referentie	Besparing/reductie
Equivalent opwekkingsrendement (EOR)	1,57	0,95	-
Warmte emissie (hittestress) [GJ _{th}]	0	360	360
CO ₂ emissie [ton _{CO2} /jaar]	0 – 119	186	67 – 186
NO _x emissie [kg/jaar]	0 – 197	214	17 – 214
SO ₂ emissie [kg/jaar]	0 – 108	9	-99 – 9

Figuur 13
CO₂ emissies van
referentiesysteem en
WKO + TEO
systeem.



5

Conclusies en aanbevelingen

5.1 Technische en energetische haalbaarheid



Uitgangspunten en opwekkingspotentieel

Voor het voormalig Beursgebouw in Leeuwarden zijn de energetische uitgangspunten bepaald (zie paragraaf 3.3 en 4.1). Daarnaast zijn de bodem- en oppervlaktewaterkenmerken uitgewerkt om het thermisch potentieel en de technische haalbaarheid te bepalen (paragrafen 3.4 en 3.5). De resultaten zijn kort samengevat in Tabel 13.

Tabel 13
Kern uitgangspunten,
technische
haalbaarheid en
thermisch potentieel.

Parameter	Waarde
Kern uitgangspunten	
Gebouw	Utiliteitsgebouw universiteit 5300 m ² BVO
Warmtevraag	790 MWh _{th} (2.844 GJ _{th}) per jaar
Koudevraag	80 MWh _{th} (288 GJ _{th}) per jaar
Doelstellingen gemeente Utrecht	Aardgasloos
Technische haalbaarheid	
Capaciteit bodem: benodigd	570 MWh _{th} , 29,2 m ³ /h 1 monobron
Capaciteit kanaal: benodigd	530 MWh _{th} , 27,2 m ³ /h, 90 meter kanaal

Er kan worden geconcludeerd dat op de onderzochte locatie (Beursgebouw Leeuwarden en de Zuider Stadsgracht) 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 WKO. 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 Zuider Stadsgracht.

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 monobron (30 m³/h);
- technische ruimte (warmtepomp, afgifteset, warmtewisselaars);
- distributieleidingen warmte en koude;
- aansluitleidingen ten behoeve van de aan te sluiten panden.

In paragraaf 4.2 staan de onderdelen en inpassingsmogelijkheden benoemd. In Figuur 11 **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** is de inpassing van de onderdelen grafisch weergegeven. Aandachtspunt is onder meer de inpassing van de technische ruimte, monobron 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 in het gebouw.



Juridische knelpunten

Op juridisch gebied worden voornamelijk 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 in pandig). 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 Zuider Stadsgracht. Dit zorgt voor stroming en temperatuurverlaging in de gracht, 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 1,57 verwacht. De vergelijking is gemaakt met een conventioneel systeem (gasketel en compressiekoelmachine) die voor een vergelijkbare warmte- en koudevraag een EOR van 0,95 heeft. Door duurzaam te koelen kan er 360 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 stroom. In dat geval kan de CO₂ uitstoot tot 0 gereduceerd worden. In het slechtste geval (100% grijze stroom) is de CO₂ uitstoot met 119 ton/jaar alsnog significant lager dan een conventioneel systeem (gasketel en compressiekoelmachine) met 186 ton/jaar.

5.3 Financiële haalbaarheid



De investeringskosten, inkomsten en jaarlijkse exploitatiekosten van een WKO + TEO systeem zijn vergeleken met die van een conventioneel systeem (gasketel en compressiekoelmachine). De terugverdientijd van een WKO + TEO systeem is ongeveer 19 jaar. De terugverdientijd is afhankelijk van meerdere factoren. Belangrijke parameters die het resultaat kunnen beïnvloeden zijn de energiekosten voor gas en elektriciteit en herinvesteringskosten.

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 renovatie van het Beursgebouw zijn al in een vergevorderd stadium. Hierbij is het toepassen van een warmtepomp in combinatie met WKO al onderdeel van het ontwerp. De integratie van TEO in dit ontwerp 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. Voor het vervolg is het van belang dat dit op korte termijn 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

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-geoordeelde stroom' inclusief upstream-emissies. Verkregen op 4 juli, 2017 van http://www.ce.nl/publicatie/emissiekentallen_elektriciteit/1599.

KNMI (2015). KNMI klimaatscenario's voor Nederland '14. Verkregen op 29 juni, 2017 van http://www.klimaatscenarios.nl/brochures/images/KNMI14_Klimaatscenarios_folder_2015.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-%202021%20september%202016.pdf>.

Afkortingen

BC	business case
BVO	bruto-vloeroppervlakte
CAPEX	capital expenditures
EOR	equivalent opwekkingsrendement
ISDE	investeringsubsidie duurzame energie
LSC	Lake Source Cooling
NCW	Netto Contante Waarde
OPEX	operating expenditures
SO	schetsontwerp
TEO	thermische energie uit oppervlaktewater
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.

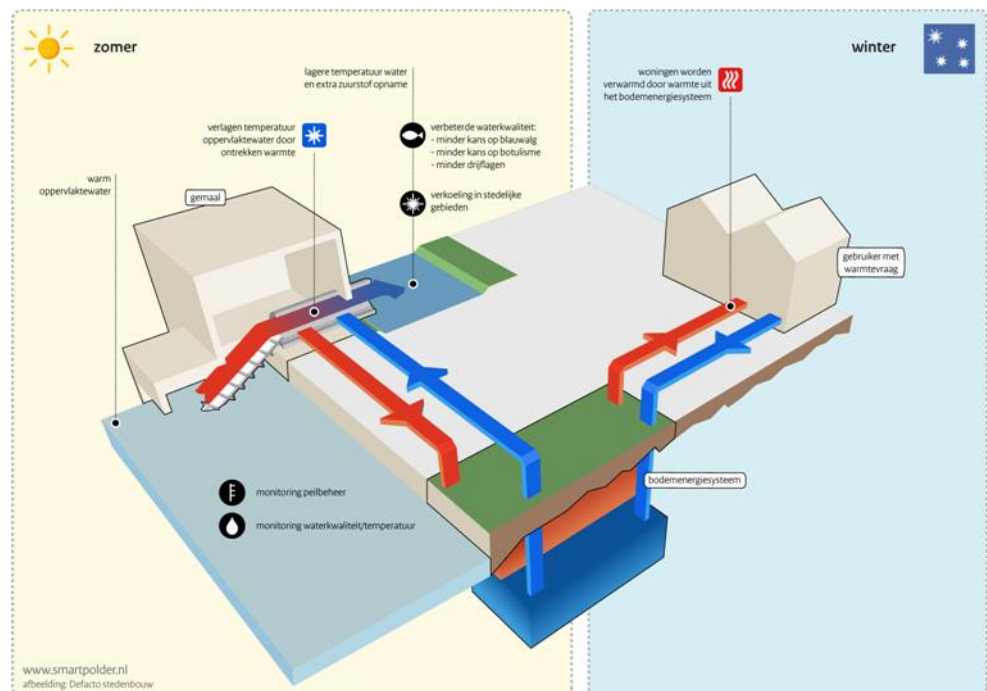
<https://www.hdsr.nl/werk/water-energiebron>

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 14). 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 14
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.

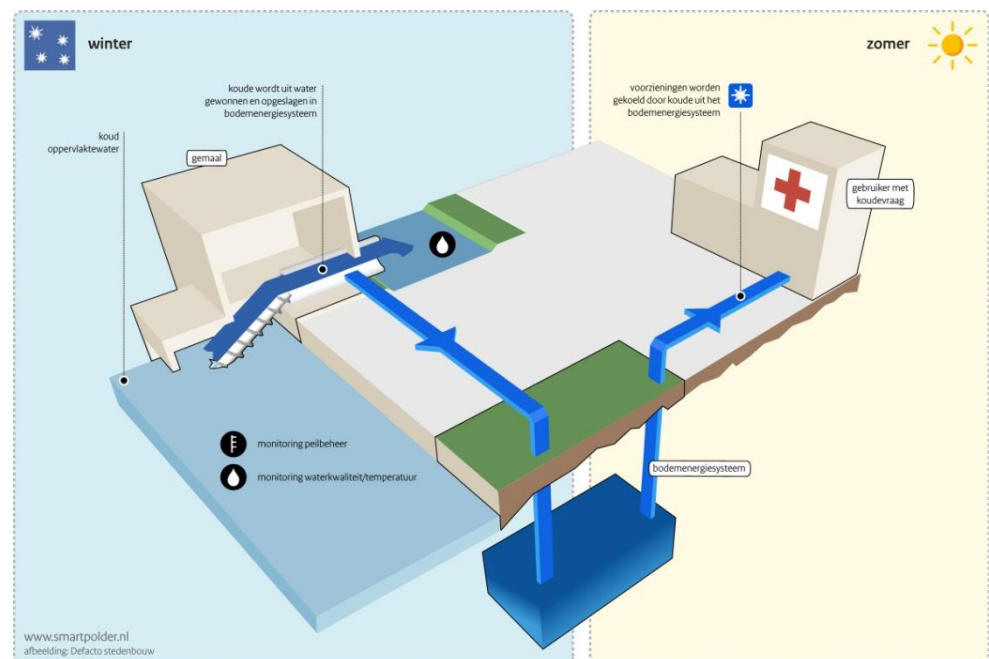
Dit zal niet alle problemen direct wegnemen, maar er zijn wel veel positieve effecten te benoemen te weten:

- 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 15). 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 15
Gemaal als koude-
centrale in
combinatie met
WKO.

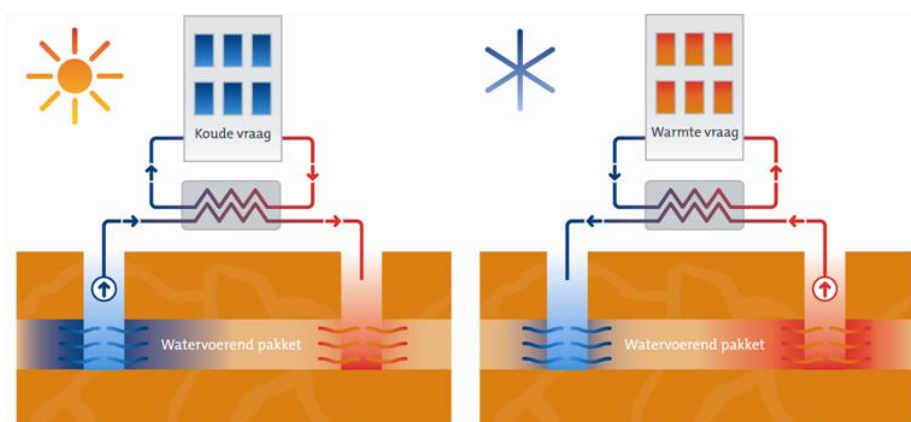


6.2 Principe Warmte- en Koude Opslag (WKO)

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.

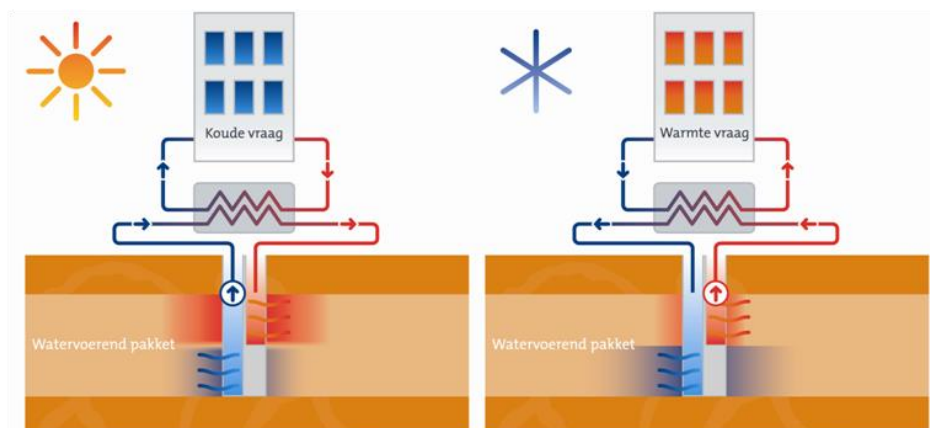
Toepassing van dit principe kan op meerdere manieren. Bijvoorbeeld met een aparte warme en koude bron (een doublet) in hetzelfde watervoerende pakket. Hierbij worden beide bronnen met voldoende onderlinge afstand gerealiseerd om negatieve invloed te beperken. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 16.

Figuur 16
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 17.

Figuur 17
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.

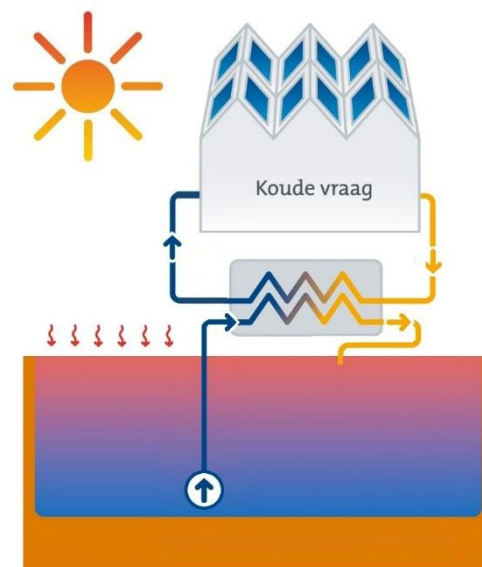
6.3 Koude uit diepe plassen

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 18 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 18
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.

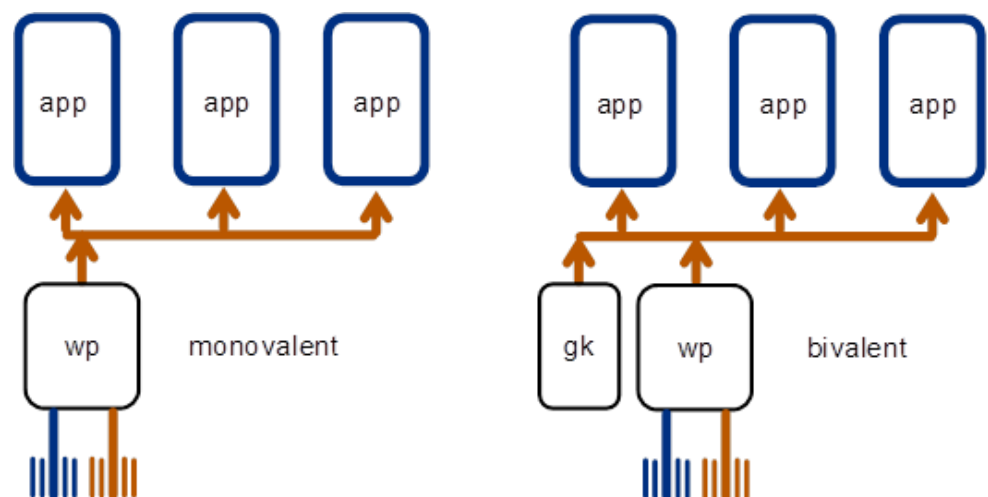
Gebouwinstallatie

Voor de gebouwssystemen kan gekozen worden voor monovalente of bivalente systemen. Beide systemen zijn schematisch weergegeven in Figuur 19. Een korte toelichting aan de hand van warmtelevering volgt hieronder:

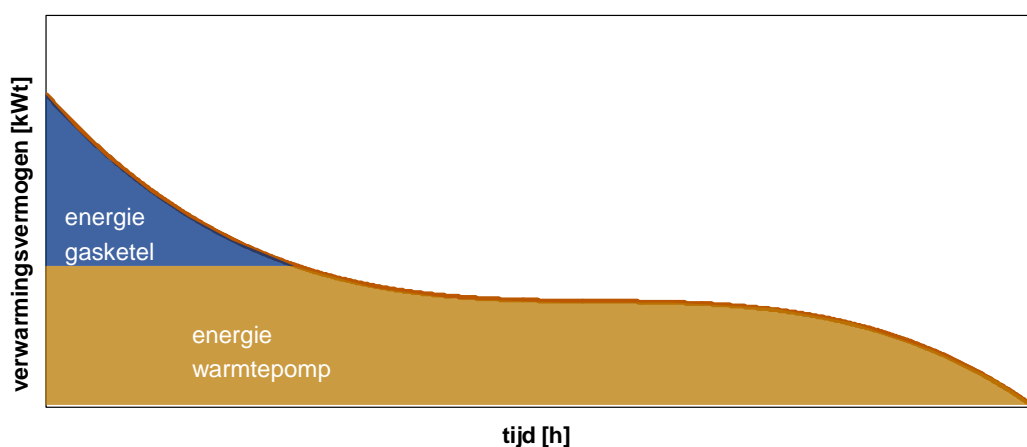
- | | |
|-------------|--|
| Monovalent: | Appartementen (app) hebben een warmtevraag (ruimteverwarming en tapwaterbereiding). Bij een monovalent systeem wordt één omzetter gebruikt die alle warmte levert. In het voorbeeld (Figuur 19) is dit een warmtepomp (wp) in combinatie met energieopslagsysteem. |
| Bivalent: | Bij een bivalent systeem wordt gebruik gemaakt van twee omzeters 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 20 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 19
Monovalent vs.
Bivalent systeem
(schematisch).*



Figuur 20
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.