

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.

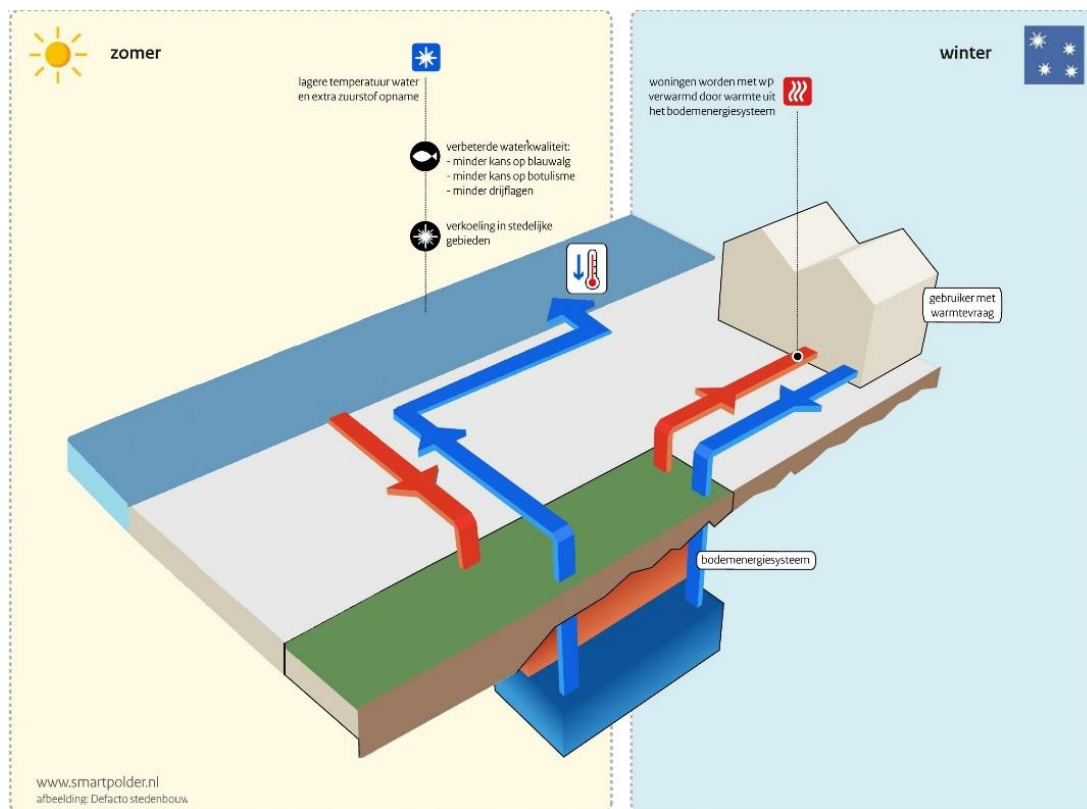
Het oppervlaktewater wordt verkregen uit een nieuw aan te leggen singel/vijver aan de noordkant van het gebied. Het oppervlaktewater nabij de locatie is ~ 1 meter diep en toereikend om de 660 woningen van warmte te kunnen voorzien.



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 ($-18 - 25^{\circ}\text{C}$) 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 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 $180\text{ m}^3/\text{h}$ 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 $130\text{ m}^3/\text{h}$ nodig. Er zijn verschillende systeemconcepten mogelijk. In de huidige business case is een concept met individuele warmtepompen voor ruimte verwarming 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 geïnterpreteerd. 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

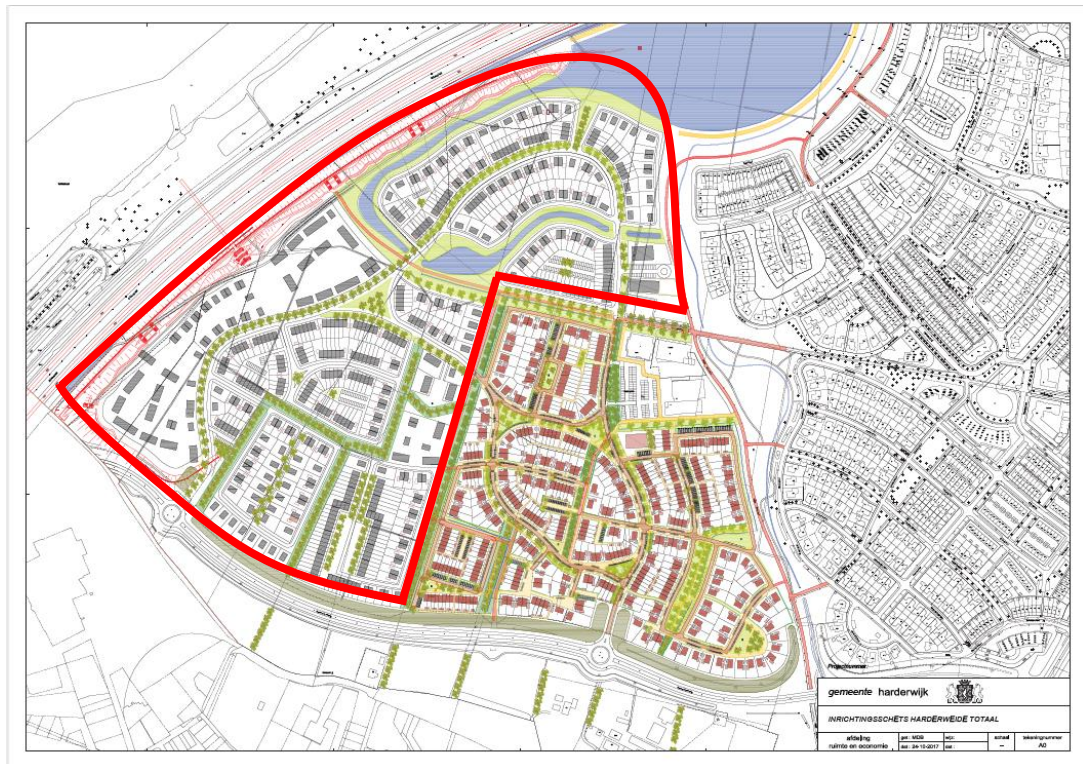
Gebied

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 oppervlakttes 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

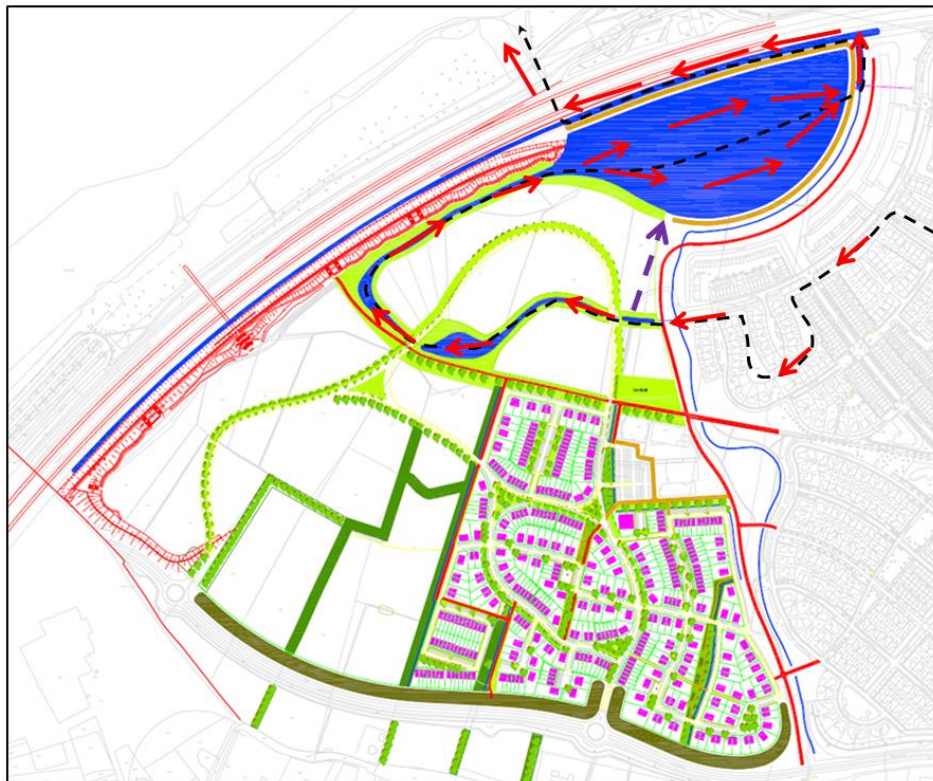
Om te kunnen beoordelen of een TEO systeem haalbaar is, zijn de gegevens van het aanwezige oppervlaktewater belangrijk. Hiermee kan een inschatting worden gemaakt van de hoeveelheid energie die onttrokken kan worden. Verder kan de minimale afstand tussen het onttrekkings- en lozingspunt berekend worden.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

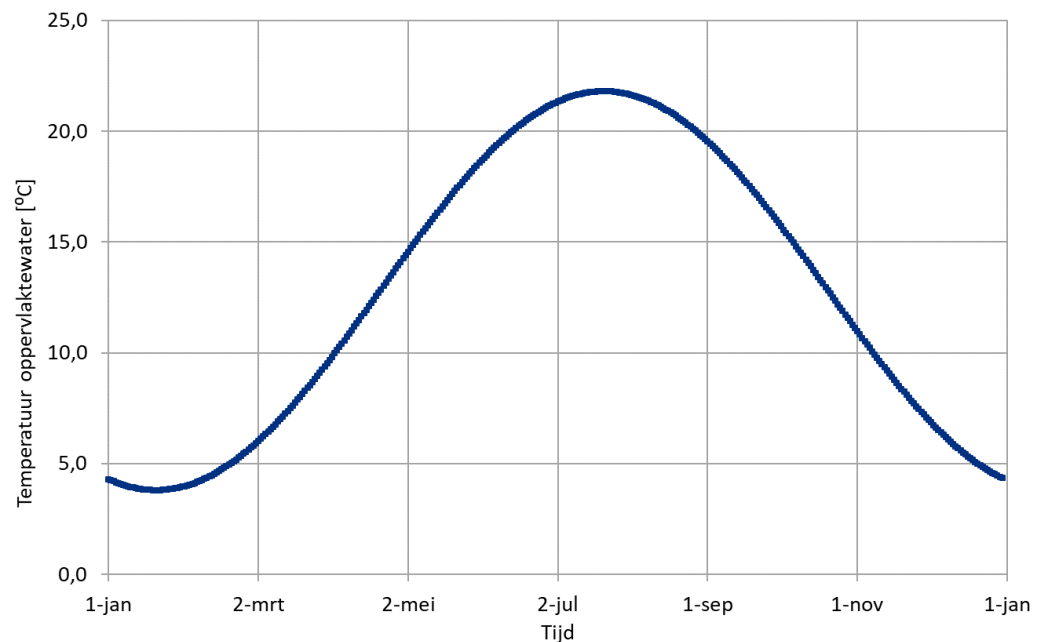
In de huidige business case wordt uitgegaan van een gemiddeld doorstroomdebiet van de vijver dat fluctueert tussen 1,5 m³/min in het zomerhalfjaar en 5 m³/min in het winterhalfjaar. In de praktijk kan het zo zijn dat er perioden in de zomermaanden zijn dat het afvoerdebiet ordegrootte 0,5 m³/min is.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

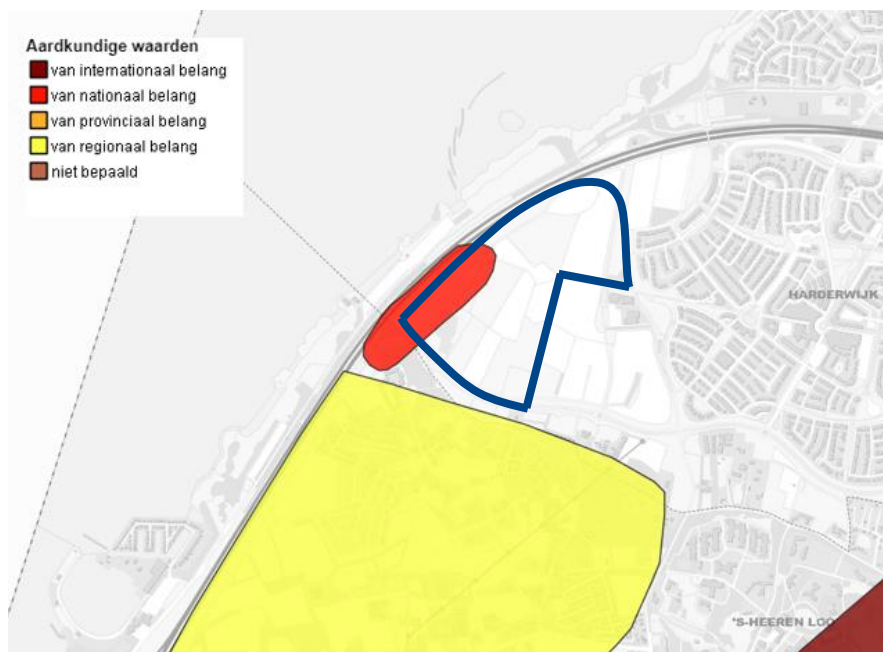
De grondwaterstroomsnelheid in het tweede watervoerende pakket is relatief hoog. Hierdoor zal opgeslagen warmte en koude afstromen. In het ontwerp moet rekening gehouden worden met extra afstroomverliezen. Ook moet bij de bronpositionering rekening gehouden worden met de stroomsnelheid door de bronnen 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 Zuiderzeestrandwallensysteem. 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 ⚠ aandachtspunt of risico ⊗ 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 dublet 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 verdiepingsfase.

3.5 KLIMAATADAPTIE

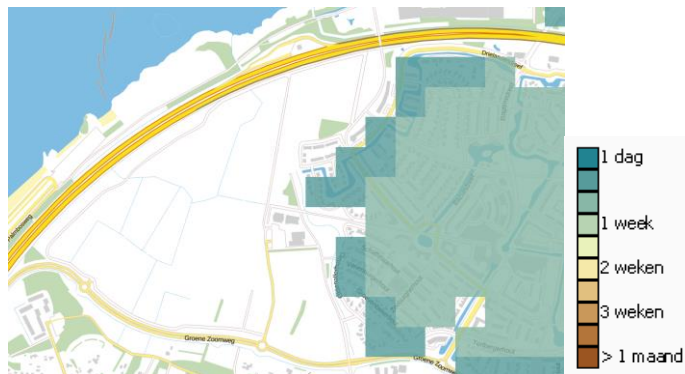
Het klimaat warmt op en veel van de sinds de jaren vijftig waargenomen veranderingen in het klimaatsysteem zijn in de afgelopen honderden tot duizenden jaren niet eerder voorgekomen. De concentratie van broeikasgassen is toegenomen, de atmosfeer en de oceanen zijn opgewarmd, de hoeveelheid sneeuw en 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 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.

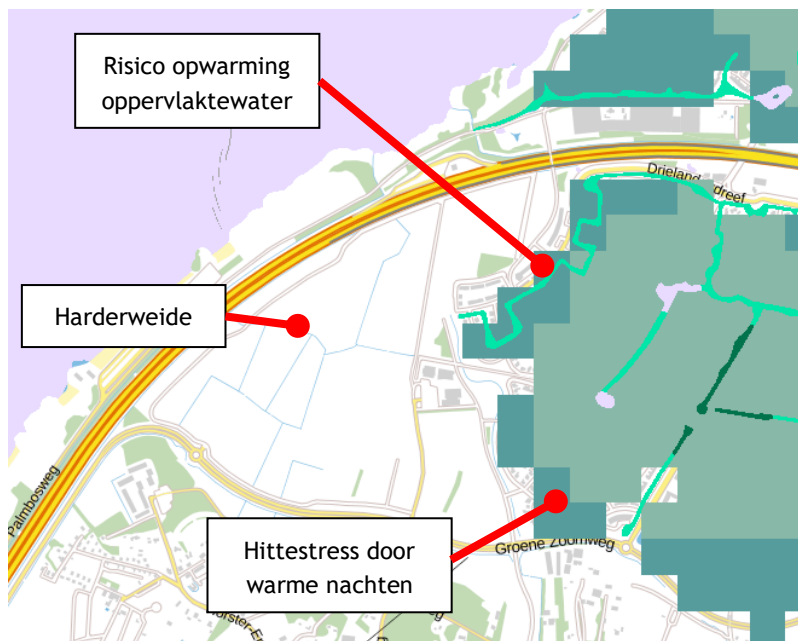


Figuur 3.6 | Hittekaart van het gebied rondom Harderweide met risico opwarming oppervlaktewater in de zomer voor de huidige situatie. De kaart toont de langste aaneengesloten periode van dagen per jaar waarin de watertemperatuur hoger is dan 20 °C. De klimaatverandering is gebaseerd op het WH-scenario 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.

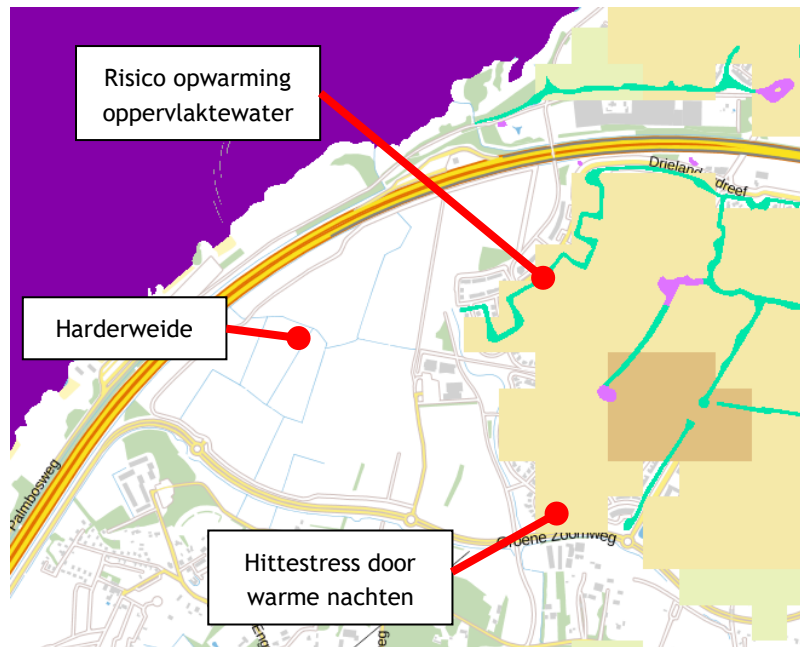


Figuur 3.7 | Hittekaart van het gebied rondom Harderweide met hittestress door warme nachten voor de huidige situatie. Tijdens een warme nacht daalt de temperatuur niet onder de 20 °C. De klimaatverandering is gebaseerd op het WH-scenario voor 2050. Bron: Klimateffectatlas. Verkregen op 11 december,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

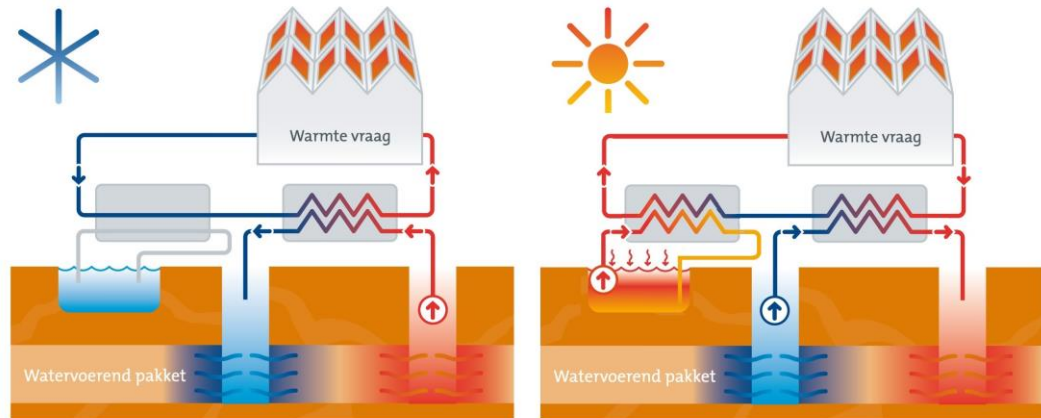
- energievraag (warmte en koude);
- afgiftesysteem;
- distributienet;
- tapwaterbereiding;
- geschiktheid bodem voor WKO;
- aanwezigheid van oppervlaktewater en/of kunstwerken;
- ruimtegebruik inpandig.

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 TEO 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).

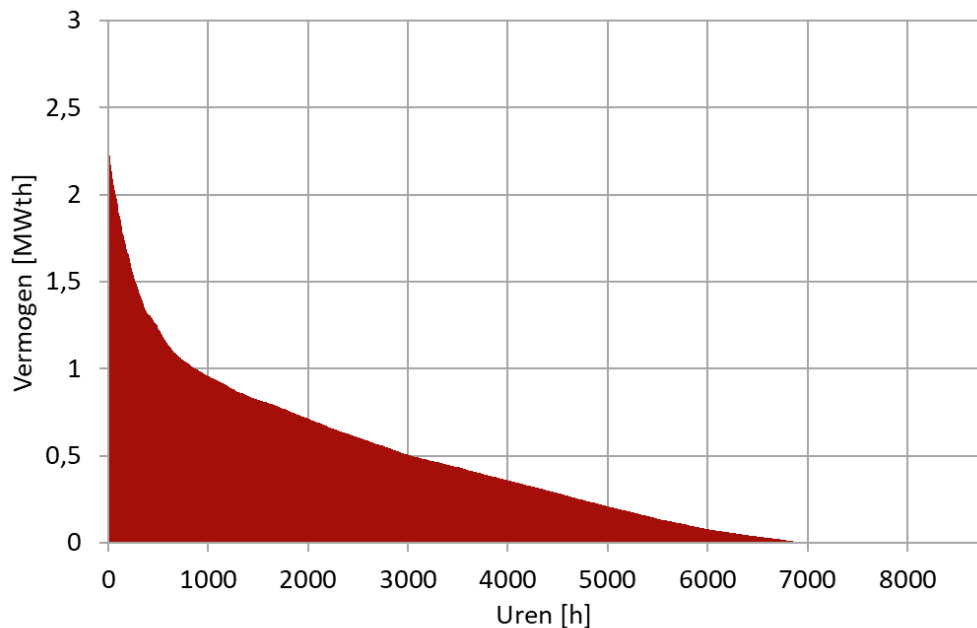
In Bijlage 1 wordt een overzicht gegeven van de overwegingen die spelen bij het maken van deze keuze. Het gaat hierbij om overwegingen op het gebied van:

- 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 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. Daarmee wordt bedoeld dat het systeem 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.



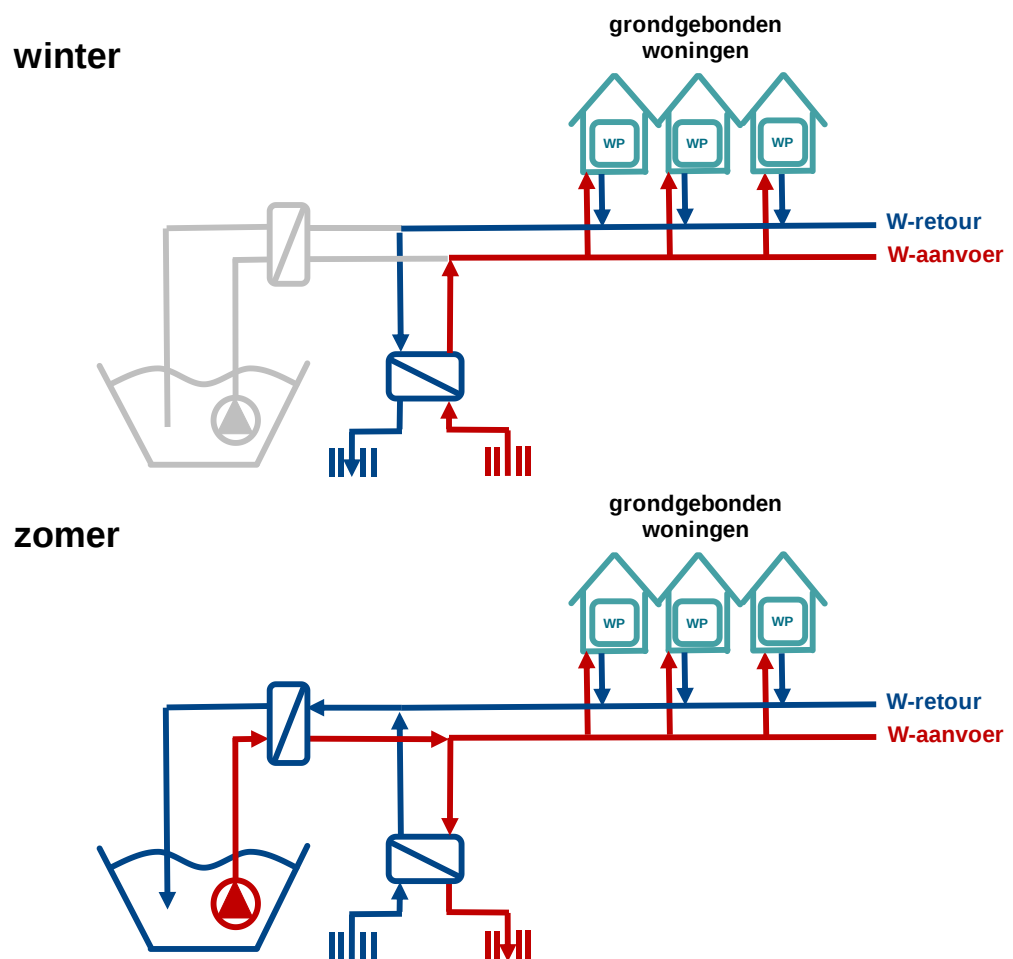
Figuur 4.2 | Jaarbelastingduurcurve verwachte warmtevraag voor Harderweide in Harderwijk.

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 overeenkomen 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 ($130 \text{ m}^3/\text{h}$);
- WKO doublet ($180 \text{ m}^3/\text{h}$);
- 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:

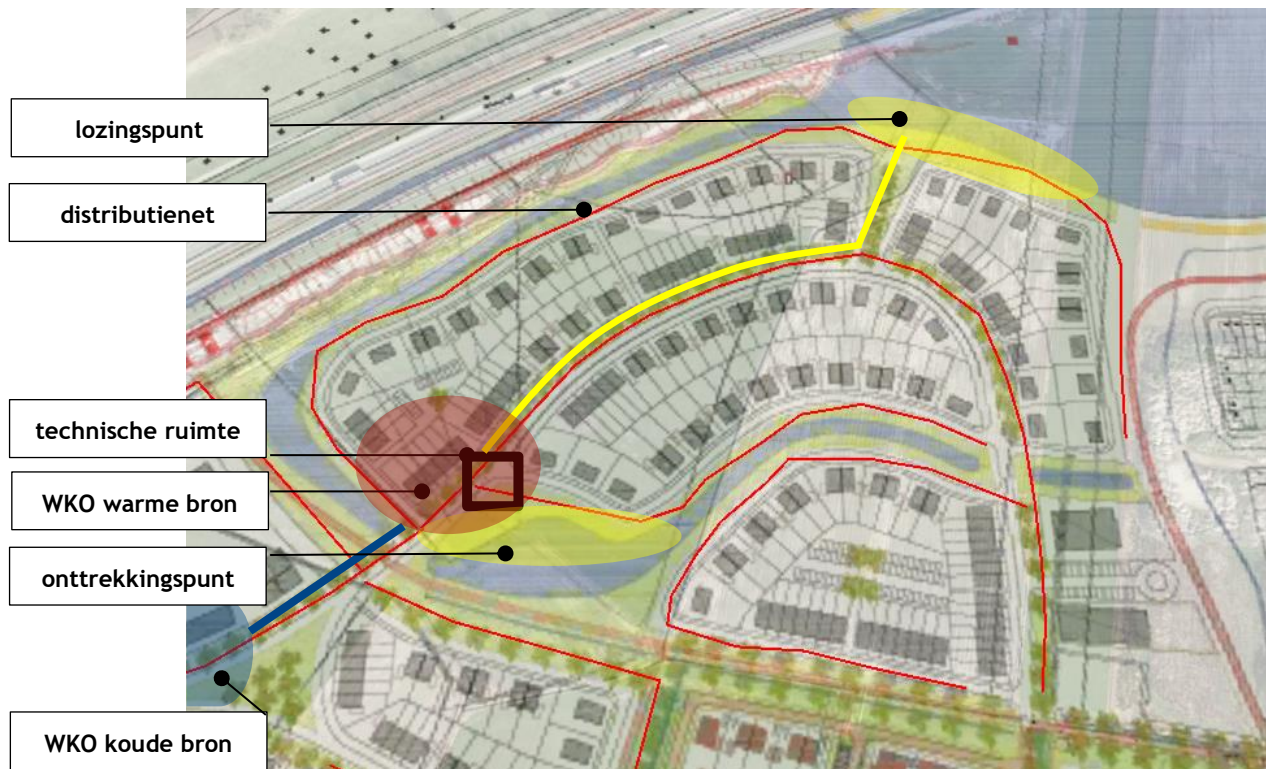
- **In- en uitlaat oppervlaktewatersysteem:** deze komen bij voorkeur centraal in het gebied te liggen, zodat de kortste route naar de technische ruimte kan worden gerealiseerd. De afstand tussen in- en uitlaat is afhankelijk van de stroomsnelheid en stroomrichting in de singel en de Crescentvijver en de wensen met betrekking tot uitkoeling van de waterloop. In paragraaf 3.3 is aangenomen dat het water in de singel met $1,5 \text{ m}^3/\text{min}$ 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 $2.800 \text{ MWh}_{\text{th}}/\text{jaar}$ 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 $\sim 2.700 \text{ MWh}_{\text{th}}/\text{jaar}$, en de waterverplaatsing is $\sim 240.000 \text{ m}^3/\text{jaar}$. 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 dublet, namelijk 180 m³/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 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 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
Investeringsubsidie duurzame energie (ISDE)	€	1.850.000
Totaal	€	3.160.000

De investeringsubsidie 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 energieprij, 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. gebouwszijdige 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

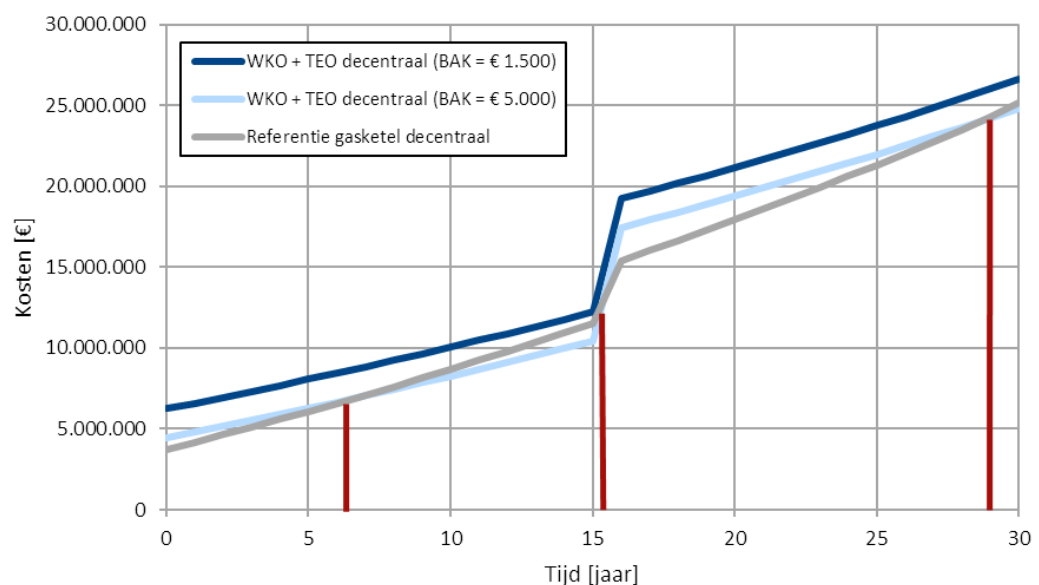
Tabel 4.8 | Jaarlijkse exploitatiekosten referentiesysteem: decentrale gasketel.

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 aannames 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

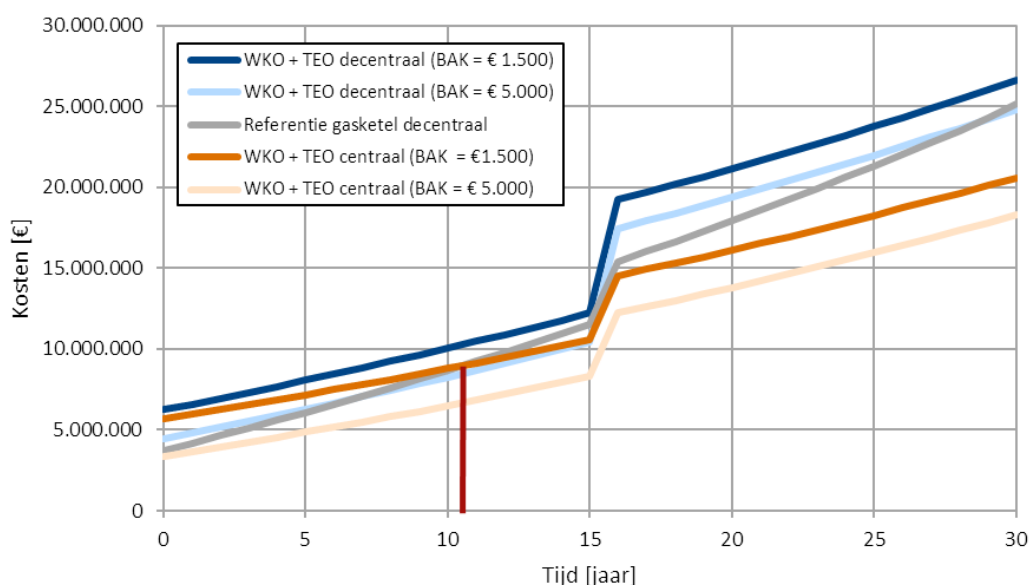
Op basis van de berekende resultaten kan geconcludeerd worden dat de kosten van het WKO + TEO systeem hoger uitvallen ten opzichte van het referentiesysteem met decentrale warmte opwekking. Bij het referentiesysteem wordt warmte geleverd door middel van een individuele gasketel. De BAK is een belangrijke 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°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. Omgevingsscan	Fase 1. Verkenning	Fase 2. Verdieping	Fase 3. Uitwerking
<i>Technisch</i>	- Karakteristieken bepalen ✓ - Schatting potentie ✓	Uitwerken grof technisch ontwerp ✓	Uitwerken voorlopig technisch ontwerp	- Uitwerken definitief technisch ontwerp - Aanbesteding voorbereiden
<i>Organisatorisch</i>	Identificeren stakeholders (potentiële partners en indirecte stakeholders) ✓	- Stakeholderanalyse ✓ - Benaderen partijen - Vaststellen rollen	- Rolinvulling uitwerken - Warmte/koudeleveringsvoorwaarden uitwerken	Onderlinge afspraken vastleggen in overeenkomsten
<i>Financieel</i>	'achterkant van sigarendoosje' berekening financiële haalbaarheid ✓	Scan financiële haalbaarheid ✓	- Uitwerking businesscase - Investeringsbereidheid partners vastleggen - Risico's uitwerken	- Definitieve businesscase per partner - Uitwerken financieringsconstructie
<i>Juridisch</i>		- Scan juridische voorwaarden (vergunningen, overeenkomsten, ...) ✓ - Opstellen intentieovk	- Juridisch kader opstellen - Opstellen samenwerkingsovk	- Overeenkomsten opstellen - Vergunningen aanvragen
Resultaat fase	- Lijst te benaderen potentiële partners - Inzicht in type project en grove potentie	- Gezamenlijk inzicht in belangen / wensen - Inschatting technische, juridische, financiële haalbaarheid - Inzicht in meekoppelkansen	- Voorlopig ontwerp - Rolinvulling - Leveringsvoorwaarden - Businesscase - Juridisch kader	- 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_Klimaatscenario's_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	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>

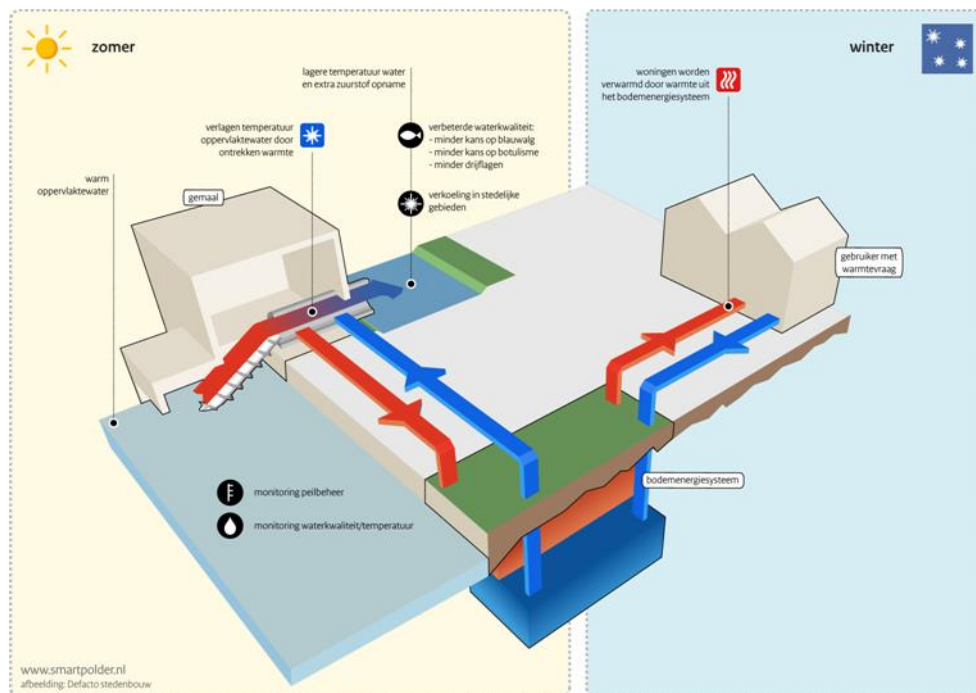
Daar waar energievraag en oppervlaktewater samenkomen is een economische rendabel project te maken. Op basis van de huidige energievraag is het economisch winbare potentieel 12% van de landelijke warmtevraag (42 PJ) en 54% van de landelijke koudevraag (3,8 PJ).

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



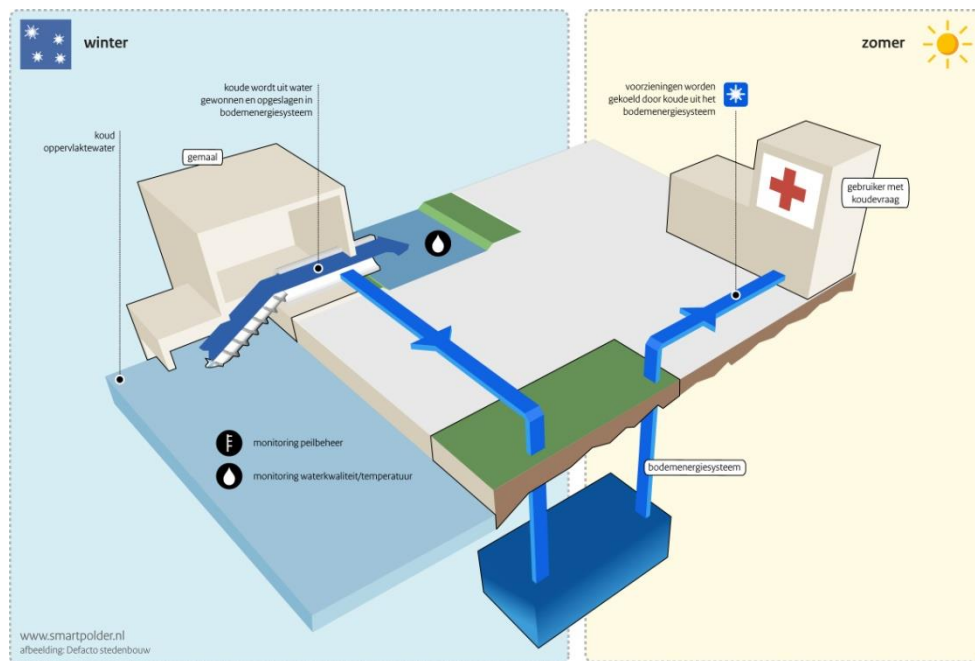
Figuur 7.1 | Gemaal als warmte centrale in combinatie met WKO.

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.

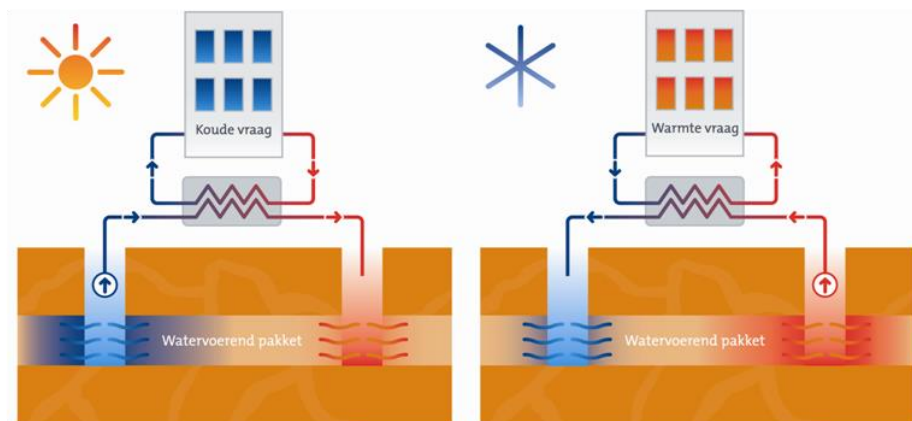


Figuur 7.4 | Inlaat van een TEO systeem. De inlaat is onder water geplaatst onder een steiger.

1.2 PRINCIPE WARMTE- EN KOUDE OPSLAG (WKO)

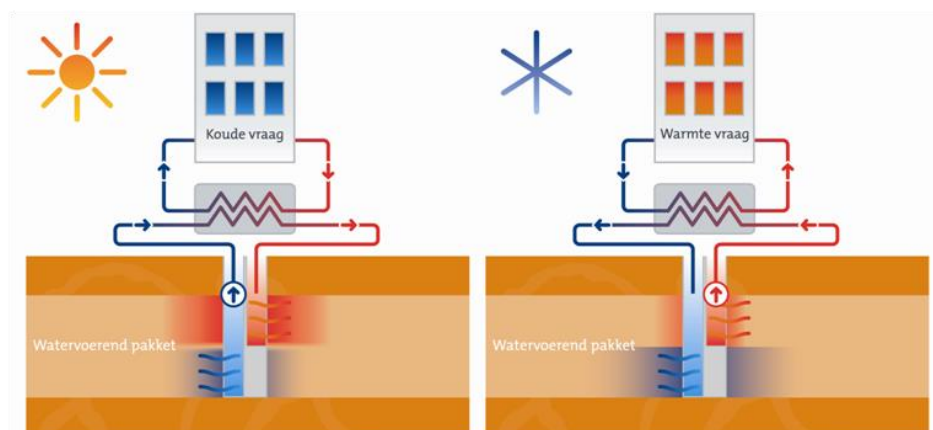
Het principe van een WKO met een open grondwatersysteem is dat in de winter het gebouw of proces wordt verwarmd met zomerwarmte en in de zomer wordt gekoeld met winterkoude. De warmte en koude worden door middel van open bronnen in een ondergrondse watervoerende laag opgeslagen en onttrokken.

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.

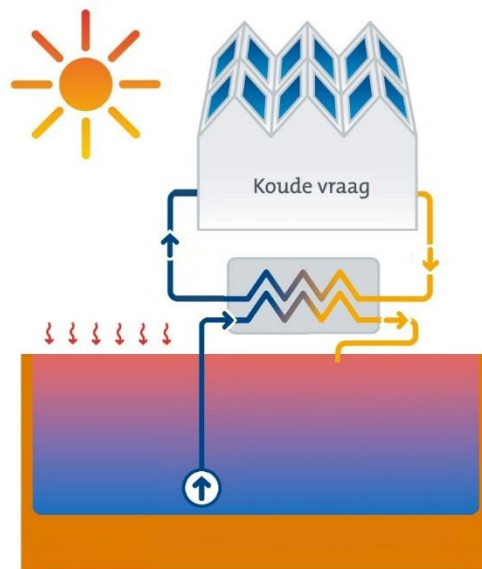
Een WKO dient in energiebalans te zijn, de hoeveelheid gewonnen koude dient doorgaans gelijk te zijn aan de gewonnen warmte. Indien er bij een afnemer een energieonbalans is (overwegende warmtevraag bij woningen en overwegende koudevraag bij datacenters en industrie) kan deze worden aangevuld met warmte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

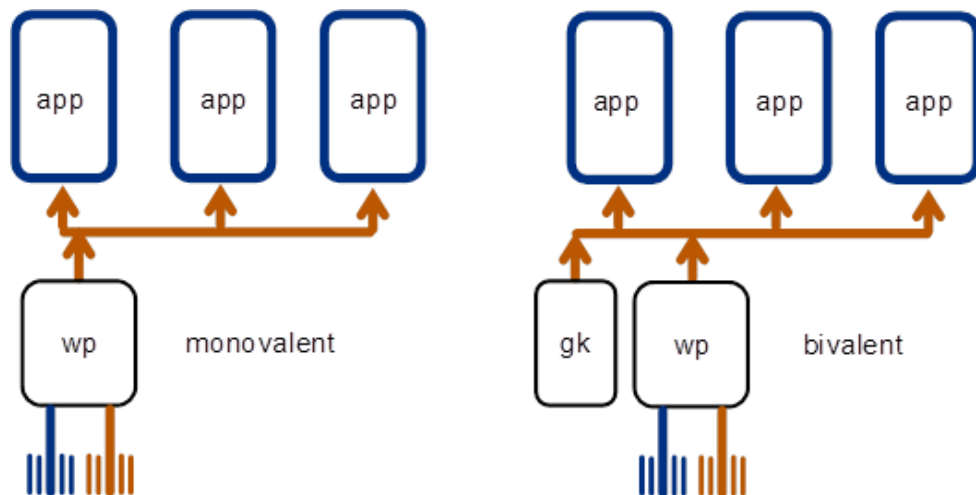
Gebouwinstallatie

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:

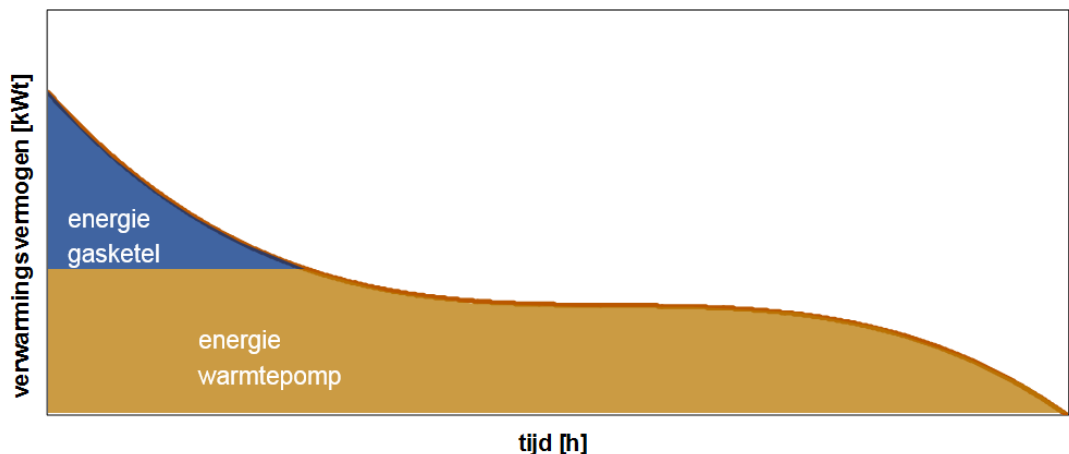
- Monovalent:** Appartementen (app) hebben een warmtevraag (ruimteverwarming en tapwaterbereiding). Bij een monovalent systeem wordt één omzetter gebruikt die alle warmte levert. In het voorbeeld (zie Figuur 7.8) is dit een warmtepomp (wp) in combinatie met energieopslagsysteem.
- Bivalent:** Bij een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