Witteveen + Bos



Beleidsdocument
Warmtevisie
Bijlage 2

Aquathermie en MCA aardgasvrij Gouderak

Technisch -financieel onderzoek

Gemeente Krimpenerwaard

24 juli 2020

Project	Aquathermie en MCA aardgasvrij Gouderak
Opdrachtgever	Gemeente Krimpenerwaard
Document	Technisch-financieel onderzoek
Status	Definitief
Datum	24 juli 2020
Referentie	118568/20-011.534
Projectcode	118568
Projectleider	J.J.C.Janse MSc
Projectdirecteur	K.A.Haans MSc
Auteur(s)	E.J. van Druten MSc, J.A. van den Houten MSc, J.J.C. Janse MSc
Gecontroleerd door	C.G.J. Hügel MSc, T.M. Postma MSc
Goedgekeurd door	J.J.C. Janse MSc
Paraaf	

Adres

Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V.
Leeuwenbrug 8
Postbus 233
7400 AE Deventer
+31 (0)570 69 79 11
www.witteveenbos.com
KvK 38020751

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

1 INLEIDING EN LEESWIJZER 5

1.1 Aanleiding 5
1.2 Doel van dit onderzoek 5
1.3 Leeswijzer 5

2 GEBIEDSANALYSE GOUDERAK 6

2.1 Algemeen 6
2.2 Eerder uitgevoerde onderzoeken 7
2.3 Woningkarakteristieken Gouderak 8
2.4 Warmtevraag en piekvermogen 9
2.5 Bestaande energie-infrastructuur 10
2.6 Benodigde woningverbeteringen en warmtevraag na isolatie 11

3 AQUATHERMIE 14

3.1 Warmteonttrekking bij gemaal Verdoold 14
3.1.1 Thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) 14
3.1.2 Warmteonttrekkingscapaciteit Gemaal Verdoold 15
3.1.3 Inpassing warmtewisselaar 16
3.2 Warmte- en koudeopslag (WKO) in de bodem 16
3.2.1 Bodemopbouw 17
3.2.2 Beleidskader 18
3.2.3 Globale dimensionering systeem 19
3.3 Warmtedistributie via warmtenet: 4 varianten en 2 individuele referentie varianten 21
3.3.1 Variant 1 collectieve warmte: TEO + WKO + LT-warmte- en koudenet 21
3.3.2 Variant 2 collectieve warmte: TEO + WKO + MT-warmtenet; 22
3.3.3 Variant 3 collectieve warmte: TEO + WKO + MT-warmte- en koudenet 23
3.3.4 Variant 4 collectieve warmte: TEO + WKO + HT-warmtenet 23
3.3.5 Variant 5 individuele warmte: Bodem-waterwarmtepomp 24
3.3.6 Variant 6 individuele warmte: Lucht-waterwarmtepomp 25
3.4 Benodigde maatregelen en componenten per energiesysteem 26
3.5 Verdere aandachtspunten 27
3.5.1 Ecologisch effecten 27
3.5.2 Juridisch en organisatorisch 28

4 MULTI-CRITERIA ANALYSE (MCA) 29

4.1 Toelichting op de gehanteerde criteria 29

4.2 Vergelijking van de scores van de energiesystemen 30

5 CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN 34

Laatste pagina 35

Bijlage(n) Aantal pagina's

I Vergelijking thermische onttrekkingscapaciteit en pompenergie 1

II Kaarten warmte, koude en vermogensvraag 2

III Bodemopbouw 3

IV Afwegingstabellen 3

V Uitwerking Criteria 18

VI Uitgangspunten Business-case 3

1

INLEIDING EN LEESWIJZER

1.1 Aanleiding

De gemeente Krimpenerwaard wil in 2050 CO_2-neutraal zijn. Voor 2050 schakelen alle woningen en gebouwen van het aardgas af en gaan over op alternatieve, duurzame warmtevoorzieningen. De gemeente beschrijft dit proces in de Transitievisie Warmte, waarvan de oplevering eind 2021 klaar moet zijn. In het kader van de Transitievisie Warmte (TVW) wil de gemeente ervaring opdoen door middel van een pilot rondom de warmtetransitie in één van haar dorpen.

Uit eerder uitgevoerde onderzoeken van de Omgevingsdienst Midden-Holland, CE Delft en de gemeente Krimpenerwaard blijkt dat het dorp Gouderak interessant is voor het uitvoeren van een pilot (zie 2.1). Een warmtenet gevoed met lagetemperatuurwarmte door middel van aquathermie lijkt een kansrijke optie. De gemeente heeft Witteveen+Bos daarom gevraagd oplossingen met aquathermie voor het dorp Gouderak technisch en financieel uit te werken en dit te vergelijken met individuele warmteopties als referentiescenario.

1.2 Doel van dit onderzoek

Witteveen+Bos is gevraagd:
- een technisch-financieel onderzoek uit te voeren naar de kansen die het gemaal Verdoold biedt voor thermische energieopwekking uit oppervlaktewater (TEO);
- vier energiesystemen in Gouderak met elkaar te vergelijken door middel van een Multi-criteria analyse (MCA);
- mee te denken over een mogelijke indiening van een proeftuinaanvraag binnen het BZK-programma Programma Aardgasvrije Wijken (PAW).

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt eerst het gebied (dorpskern Gouderak) geanalyseerd op basis van de eerder uitgevoerde onderzoeken, nieuwe gegevens en gegevens uit openbare databronnen. In hoofdstuk 3 worden de drie onderdelen (opwek, opslag, distributie) van de aquathermie oplossing verder uitgewerkt. In hoofdstuk 4 worden de verschillende alternatieven aan de hand van een Multi criteria-analyse met elkaar vergeleken. In hoofdstuk 5 volgen de conclusie en aanbevelingen.

2

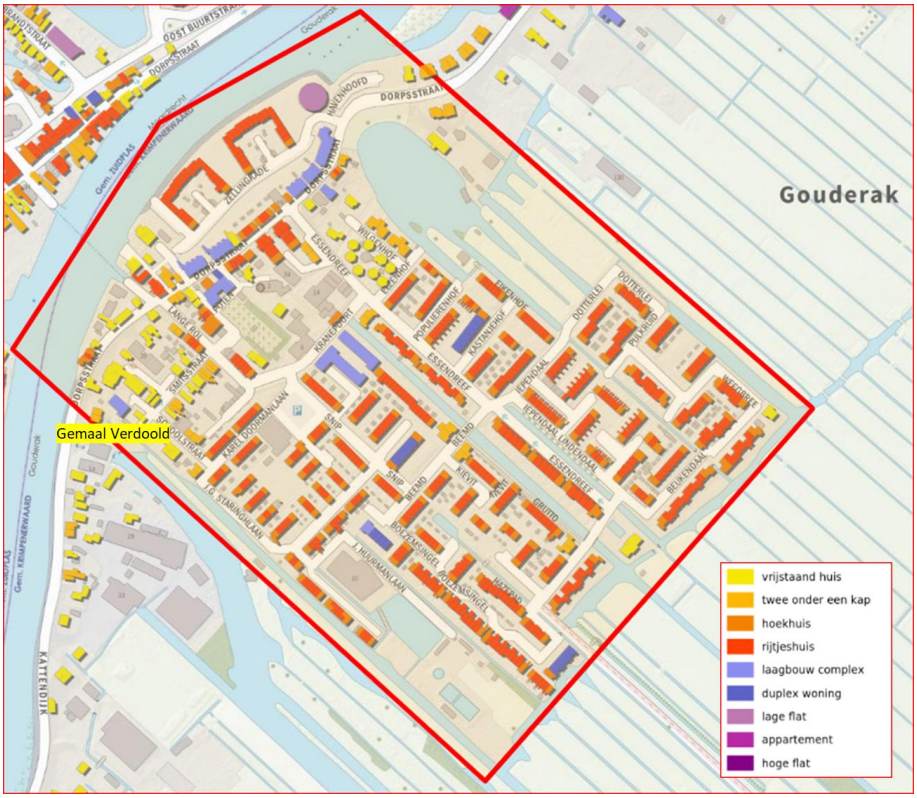
GEBIEDSANALYSE GOUDERAK

2.1 Algemeen

Gouderak is een dorp in de gemeente Krimpenerwaard, gelegen langs de Hollandse IJssel en omgeven door agrarisch gebied.

Gouderak is door gemeente Krimpenerwaard uitgekozen als pilotlocatie om ervaringen op te doen in de warmtetransitie. Een aantal kenmerken zijn daarbij voordelig:
- de bebouwing in het dorp is redelijk homogeen, alleen de bebouwing in het centrum heeft andere karakteristieken;
- het dorp kent relatief veel corporatiebezit;
- de gemeente ziet meekoppelkansen met de renovaties van de woningcorporaties;
- gemaal Verdoold biedt kansen voor een toepassing van Thermische Energie uit Oppervlaktewater (TEO).

Afbeelding 2.1 Projectgebied met woningtypen en locatie gemaal Verdoold



2.2 Eerder uitgevoerde onderzoeken

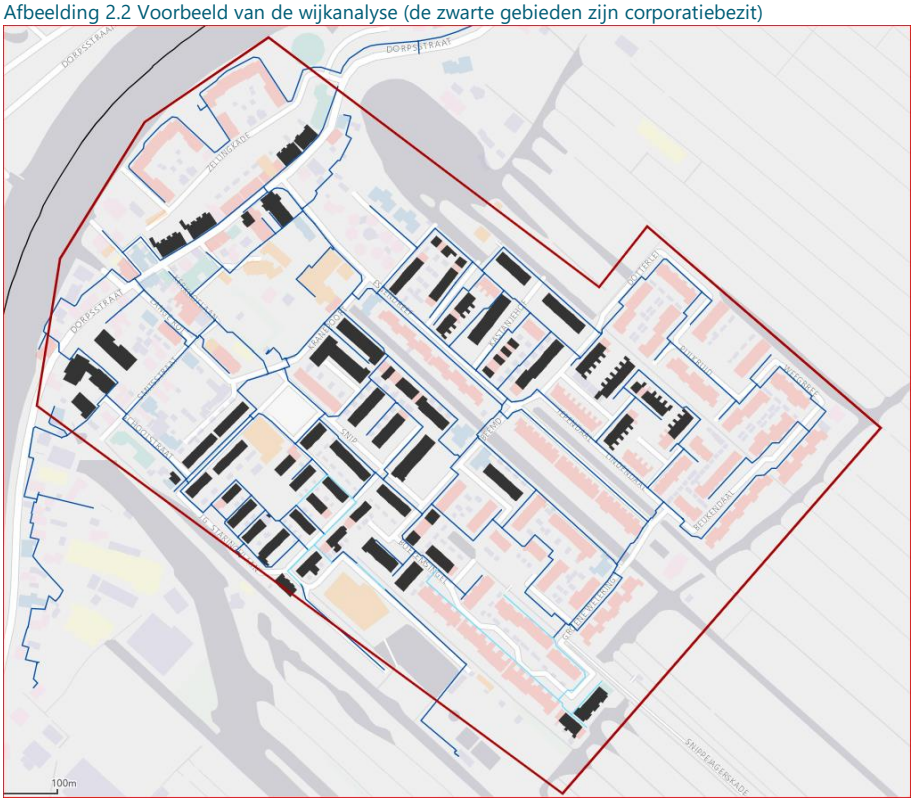
De volgende, al eerder uitgevoerde, onderzoeken bieden een goede basis voor dit onderzoek:

1 onderzoek Motivaction:
Mensen in Gouderak zijn structuurzoekers: men is niet intrinsiek gemotiveerd om te verduurzamen. Wil men verduurzaming stimuleren, dan moet het persoonlijk voordeel benadrukt worden en alle verduurzamingsopties zo toegankelijk mogelijk gebracht worden;

2 warmteanalyse CE Delft en Merosch:
Onderzoek naar de goedkoopste (duurzame)warmteoplossing per buurt op basis van CEGOIA model. In Gouderak is dat de elektrische warmtepomp (buitenlucht), maar het kostenverschil met de tweede optie, een LT-warmtenet, is marginaal (tussen 0 en 5 %) Uitgangspunten binnen het onderzoek zijn onder andere de CBS-buurtindeling en een verduurzaming tot NOM-woningen bij gebruik van warmtepompen;

3 warmte en wijkanalyse omgevingsdienst Midden-Holland:
Omgevingsdienst Midden-Holland heeft voor de gemeente Krimpenerwaard aan hand de studie van CE Delft en Merosch gekeken welke buurten het meest geschikt zijn voor een warmtenet. Dat is gedaan op basis van verschillende indicatoren[1]:
- status gasleidingen Stedin;
- geregistreerde en voorlopige energie labels;
- corporatiebezit woningen;
- type woningen en panden;
- woningdichtheid;
- bouwjaar woningen en gebouwen;
- onderhoudsplanning Openbare Ruimte (Zuidoosten gedeelte);
- gemiddeld gas en elektraverbruik;
- Motivaction-lagen.

Afbeelding 2.2 Voorbeeld van de wijkanalyse (de zwarte gebieden zijn corporatiebezit)



[1] Zie ook de webapp: https://arcg.is/0ifDqi

2.3 Woningkarakteristieken Gouderak

De tabellen 2.1 en 2.2 geven een overzicht van de woningtypologie, het bouwjaar en de energie labels van de woningen in Gouderak:

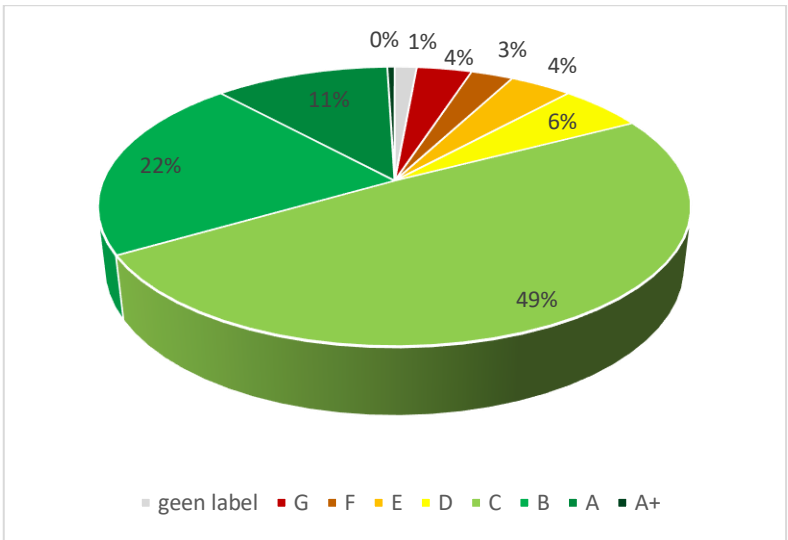
Tabel 2.1 Woning-typologieën en bouwjaren

Woningtype	voor 1946	1946-1964	1965-1974	1975-1991	1992-2005	2006-2019	Totaal
vrijstaande woning	23	4	0	9	2	2	40
twee-onder-één kap woning	14	4	6	6	2	2	34
rijwoning	17	75	251	114	97	49	603
gestapelde woning	0	1	13	13	7	4	38
totaal	**54**	**83**	**270**	**142**	**108**	**57**	**715**

Tabel 2.2 Energie labels woningen

Woningtype	Onbekend	G	F	E	D	C	B	A of beter
vrijstaande woning	2	19	2	0	3	8	2	4
twee-onder-één-kapwoning	2	11	4	1	5	7	2	2
rijwoning	3	0	15	11	29	368	129	48
gestapelde woningen	5	0	2	22	9	29	47	45
totaal	**12**	**30**	**23**	**34**	**46**	**412**	**180**	**99**

Afbeelding 2.3 Aantal verblijfsobjecten (woningen) in Gouderak per energielabel



Ongeveer een derde van de woningen in Gouderak heeft energielabel B of beter. Een groot deel van het resterende aantal huizen (49 %) heeft energielabel C. Een kleine minderheid van de woningen heeft label D of slechter. Voor een deel van de woningen in deze laatste categorie zal de toepassing van lage temperatuur alternatieven voor aardgas (zoals warmtepompen) kostbaar of zelfs onhaalbaar zijn als gevolg van de benodigde woningverbeteringen (zie paragraaf 2.6).

Woningstichting Gouderak heeft aangegeven midden in een fusie te zitten met Mozaïek Wonen. Grootschalige renovatieplannen zijn op de lange termijn geschoven.

Tabel 2.3 Oppervlak (in m^2) utiliteitsgebouwen Gouderak per type en bouwjaar

Gebouwtype	voor 1920	1921-1975	1976-1990	1991-1995	1996-2019	totaal
winkel	0	0	1196	0	287	1483
gezondheidszorg	118	443	0	0	0	561
bijeenkomst	300	995	122	431	2340	4188
sport	0	0	24	0	0	24
overige gebruiksfunctie	104	243	0	0	47	394
totaal	**522**	**755**	**1318**	**431**	**2306**	**5332**

2.4 Warmtevraag en piekvermogen

Op basis van de woning- en gebouwvoorraad, alsmede hun karakteristieken, zoals beschreven in 2.3, is de warmtevraag voor ruimteverwarming en tapwatergebruik met behulp van het VESTA-MAIS model te bepalen. Dit is gedaan voor de huidige situatie en voor de situatie indien alle woningen geïsoleerd worden tot label B. Ook is het piekvermogen bepaald voor beide situaties. In bijlage II is deze warmtevraag ook op kaarten uitgewerkt.

Tabellen 2.4 en 2.5 tonen de gemodelleerde warmtevraag voor de kern Gouderak voor de huidige situatie en na isolatie naar minimaal energielabel B.

Tabel 2.4 Gemodelleerde energievraag gebouwvoorraad Gouderak (huidig). Bron: Vesta MAIS

Categorie	Ruimte-verwarming		Tapwater		Koude		Vermogen warmte	
	GWh/jr	*Aandeel*	*GWh/jr*	*Aandeel*	*GWh/jr*	*Aandeel*	*MW*	*Aandeel*
woningen	6,6	88 %	1,8	97 %	0,3	72 %	8,4	87 %
utiliteit	0.9	12 %	0,05	3 %	0,1	28 %	1,2	13 %
totaal	**7,5**	**100 %**	**1,8**	**100 %**	**0,4**	**100 %**	**9,7**	**100 %**

Woningen vormen 88 % van de vraag naar ruimteverwarming en 97 % van de vraag naar warmtapwater in Gouderak. Eenzelfde verhouding (88 % aandeel woningen in het totaal) geldt voor het benodigde piekvermogen voor warmtelevering.
Utiliteit heeft een groter aandeel in de vraag naar koude (28 %), maar de totale vraag naar koude (0,4 GWh/jr) in Gouderak is significant kleiner dan de totale warmtevraag (9,3 GWh/jr).

Regeneratie van warmte- koudeopslag noodzakelijk

De onbalans tussen warmtevraag en koudevraag in Gouderak heeft tot gevolg dat een systeem voor warmte- koudeopslag elk jaar geregenereerd zal moeten worden. Er is dus een extra warmtebron nodig. Dit is nodig om te voldoen aan vigerende wetgeving voor gebruik van de ondergrond voor energieopslag, en om de efficiëntie van het systeem te waarborgen. Het gemaal Verdoold is de beoogde bron voor (laag temperatuur) warmte. De benodigde hoeveelheid warmte voor regeneratie hangt onder meer af van de volgende drie aspecten:

- de totale energievraag (warmte, koude) van de aangesloten panden;
- het wel of niet leveren van koude aan de woningen;
- het temperatuurniveau van de warmtelevering.

De totale warmte- en koudevraag van de aangesloten panden is doorgaans in onbalans; er is meer warmte nodig dan koude. De grootte van deze onbalans kan worden beperkt door warmtevraag te verlagen en koudevraag te verhogen, bijvoorbeeld door isolatie. De (zomer-)warmte die de levering van koude aan aangesloten panden oplevert en wordt opgeslagen in de WKO draagt ook bij om de regeneratiebehoefte te beperken. Een hoger temperatuurniveau van warmtelevering ten slotte heeft tot gevolg dat warmtepompen minder efficiënt zijn. Daarmee wordt een groter aandeel van de geleverde warmte uit elektriciteit geleverd, en dus niet uit de ondergrond

2.5 Bestaande energie-infrastructuur

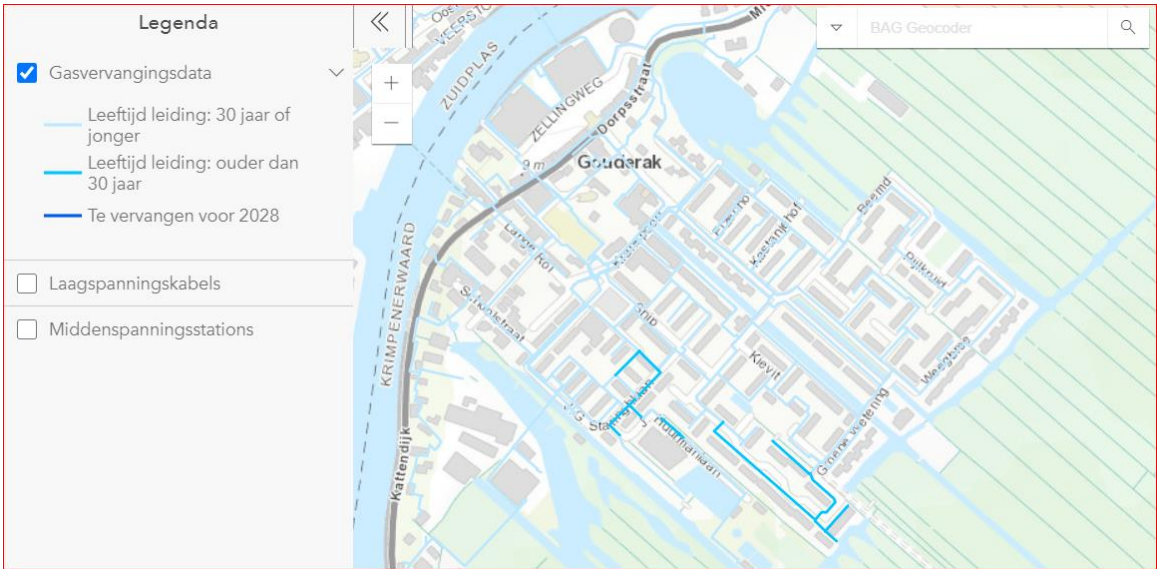
Elektriciteit

In het gebied is beperkte netcapaciteit beschikbaar. Dit is een aandachtspunt bij een keuze voor systemen met een hoge elektriciteitsvraag, zoals luchtwarmtepompen. Het kan ook gevolgen hebben voor de realisatieduur van alternatieve energiesystemen, als deze afhankelijk worden van uitbreiding van het elektriciteitsnetwerk in Gouderak door de netbeheerder.

Gas

Op afbeelding 2.4 is de gasinfrastructuur weergegeven. Er is geen enkel gedeelte dat dient vervangen te worden voor 2028. Er is dus beperkte urgentie voor een alternatieve energievoorziening vanuit het perspectief van de netbeheerder.

Afbeelding 2.4 Leeftijd van de gasinfrastructuur (Bron: Stedin)



Riolering

De riolering in Gouderak is in het algemeen vrij nieuw, er zijn geen specifieke problemen ook geen concrete plannen voor (grootschalige) vervanging. Het combineren van de warmteopgave met een rioolvervanging is geen optie. Er is dus ook vanuit riolering geen urgentie voor het aanleggen van een warmtenetwerk, in de vorm van een meekoppelkans met lagere kosten tot gevolg.

2.6 Benodigde woningverbeteringen en warmtevraag na isolatie

In tegenstelling tot hoge temperatuur warmte uit een warmtenet of CV-ketel, bieden alternatieven voor aardgas zoals warmtepompen onvoldoende vermogen om woningen met een energielabel lager (minder goed) dan label B te verwarmen. Voor die woningen met een energielabel C of lager zijn dus woningverbeteringen in de vorm van isolatiemaatregelen noodzakelijk. De kosten hiervan kunnen aanzienlijk zijn, en wegen mee in de aanlegafweging voor de verschillende alternatieven.

Energievraag na isolatie tot energielabel B

Met behulp van het Vesta MAIS-model is isolatieopgave voor Gouderak in beeld gebracht. Zowel de energievraag na isolatie als de kosten voor woningverbeteringen zijn hiermee bepaald. Tabel 2.5 toont de energievraag van woningen en utiliteit na isolatie naar minimaal label B van gebouwen met een label slechter dan B.

Tabel 2.5 Gemodelleerde energievraag gebouwvoorraad Gouderak (na isolatie naar label B). Bron: Vesta MAIS

Categorie	Ruimteverwarming		Tapwater		Koude		Vermogen warmte	
	GWh/jr	*Aandeel*	*GWh/jr*	*Aandeel*	*GWh/jr*	*Aandeel*	*MW*	*Aandeel*
woningen	5,9	88 %	1,8	97 %	0,3	72 %	8,4	87 %
utiliteit	0,8	12 %	0,05	3 %	0,1	28 %	1,2	13 %
totaal	**6,6**	**100 %**	**1,8**	**100 %**	**0,4**	**100 %**	**9,7**	**100 %**

Ook na isolatie van gebouwen vormen woningen zo'n 88 % van de vraag naar ruimteverwarming. De totale vraag naar koude is ook na isolatie nog significant kleiner dan de warmtevraag. Isolatie heeft geen invloed op de vraag naar warm tapwater: dit hangt namelijk vooral af van het aantal inwoners van Gouderak, en minder van de energieprestaties van de gebouwen.

Kosten van woningverbeteringen: aanpassingen aan isolatie, afgifte en ventilatie

Hieronder gaan we in op de benodigde woningverbeteringen. Omdat de utiliteit beperkt is in Gouderak en variabel, laten we deze hier buiten beschouwing. Tabel 2.6 toont de gemiddelde gemodelleerde kosten voor woningverbeteringen in Gouderak per woningcategorie: grondgebonden en gestapeld. Deze kosten zijn gebaseerd op gemiddelde kosten voor labelstappen voor woningen in Nederland, onder andere voor benodigde dak- en vloerisolatie. Meer achtergrondinformatie is terug te lezen in de documentatie van het Vesta MAIS-model[1]. Ook inbegrepen zijn de kosten voor aanvullende ventilatie-installaties, aangezien die nodig zijn voor toepassingen met lage-temperatuurafgifte. .

[1] Zie https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2019-ce-delft-functioneel-ontwerp-vesta-4.0_4085.pdf

Tabel 2.6 Gemodelleerde kosten voor woning(schil)verbeteringen, isolatie naar label B. (Bron: Vesta MAIS)

Categorie	Energielabel D of lager	Energielabel C	Energielabel B of hoger	Totaal
grondgebonden woningen	1.661 kEUR	2.731 kEUR	125 kEUR	4.516 kEUR
gestapelde woningen	287 kEUR	143 kEUR	82 kEUR	512 kEUR
totaal	**1.948 kEUR**	**2.874 kEUR**	**206 kEUR**	**5.029 kEUR**

De totale cumulatieve kosten voor benodigde woningschilverbeteringen naar label B zijn circa EUR 5.000.000,--. De resterende kosten bij woningen met Energielabel B of hoger zijn gerelateerd aan woningen waarvan een (klein) deel van de verblijfsobjecten nog niet aan de labelvereiste voldoet.

Afgiftesysteem: noodzaak en kosten van lage temperatuur verwarming

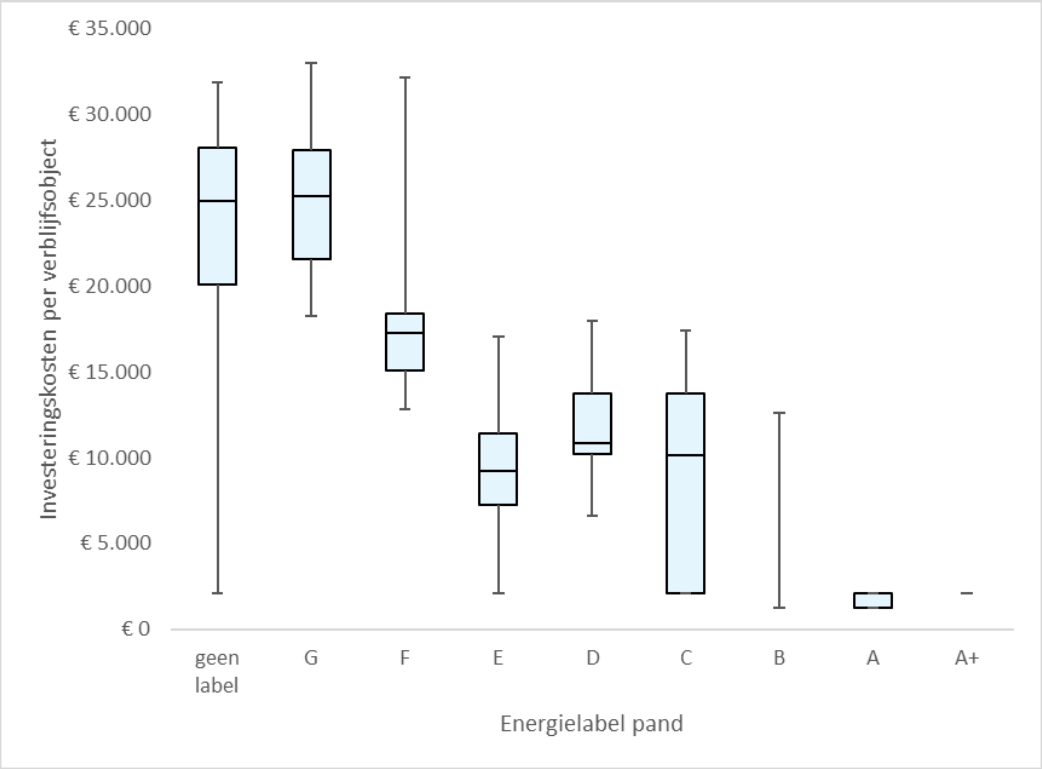
Naast verbeteringen van de woningschil zijn ook veranderingen aan de warmte-afgiftesystemen noodzakelijk wanneer lage temperatuur-alternatieven worden toegepast in woningen. Te denken valt hierbij aan vloerverwarming of lage-temperatuur-radiatoren. Conventionele radiatoren behoeven een hoger temperatuurniveau om voldoende warmte aan de woning af te geven, die met warmtepompen niet (of alleen met extreem lage efficiëntie) behaald kan worden. In sommige gevallen kunnen de bestaande radiatoren ook bij lagere aanvoertemperaturen voldoende warmte afgeven. Ook kan de prestatie worden verbeterd met booster-ventilatoren. Per woning zal moeten worden beoordeeld of dit het geval is.
De investering voor lage temperatuur afgiftesystemen (LTAS) kan per woning oplopen tot meer dan EUR 3.000,--. Voor alle woningen in Gouderak opgeteld betekent dit nog een aanvullende investering van circa EUR 1.600.000,--

Ventilatie: noodzaak en kosten van mechanische ventilatie

Naast verbeteringen van de woningschil en aanpassingen aan de afgiftesystemen is toepassing van mechanische ventilatie noodzakelijk om voldoende frisse lucht in de woonruimtes te krijgen. Dit geldt met name voor oudere woningen van voor 1980-1990 die nog niet werden uitgerust met een mechanisch ventilatiesysteem. Mechanische ventilatie is noodzakelijk, omdat door isolatie van de schil, kieren in de schil worden gedicht, waardoor onvoldoende frisse lucht de woonruimtes op een natuurlijke manier kan binnendringen. De investering in mechanische ventilatie bedraagt per woning circa EUR 2.000-4.000,-- inclusief installatie en omzetbelasting. Deze kosten zijn dus met name van toepassing op oudere woningen van voor 1980. Nieuwere woningen, zeker na 1990 beschikken vaak al over vormen van mechanische ventilatie.
De kosten hiervoor zijn onderdeel van de bovenstaande berekende kosten voor woning(schil)verbeteringen.

Afbeelding 2.5 toont de variatie in kosten voor woningschilverbeteringen en lage temperatuurverwarming, per labelgroep (woningen) in Gouderak. De kosten voor isolatie naar label B kan aanzienlijk verschillen per woning. Voor woningen met energielabel B of hoger worden nog wel kosten gerekend voor het lage temperatuur afgiftesysteem, of wanneer een deel van de verblijfsobjecten in het pand nog geen label B heeft.

Afbeelding 2.5 Verdeling in investeringskosten voor isolatie naar energielabel B en lage temperatuurverwarming Gouderak, per pandlabel. Bron: Vesta MAIS.



In totaal komen de investeringskosten voor het geschikt maken van woningen voor de lage-temperatuur-alternatieven op zo'n EUR 6.600.000,--. Dat is nog exclusief de kosten voor warmtepompen, afleversets, eventuele bodemlussen, en elektrische kookplaten. Dit is in lijn met eerder onderzoek naar de kosten van verduurzaming van de kern Gouderak (Buurtanalyse Krimpenerwaard).

3

AQUATHERMIE

In dit hoofdstuk worden de mogelijkheden voor aquathermie uitgewerkt. Het bestaat uit de volgende onderdelen:
- warmteonttrekking bij gemaal Verdoold;
- WKO als opslagmedium;
- varianten warmtenet.

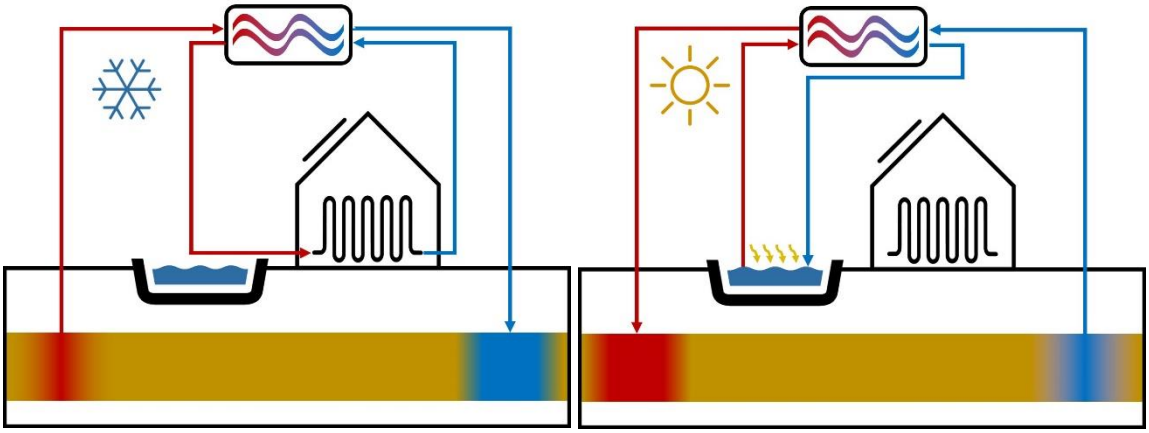
3.1 Warmteonttrekking bij gemaal Verdoold

3.1.1 Thermische energie uit oppervlaktewater (TEO)

Bij thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) wordt warmte uit oppervlaktewater onttrokken, opgeslagen in de bodem en gebruikt om woningen duurzaam te verwarmen.

De warmte wordt tijdens de zomerperiode uit een plas, een watergang of een rivier via een warmtewisselaar onttrokken. Deze warmte kan direct worden afgenomen, maar wordt bijna geheel opgeslagen in de bodem, in een Warmte en Koude Opslagsysteem (WKO). Dit proces wordt ook wel regeneratie genoemd. De warmte (≈ 20°C) wordt in de winter uit de WKO opgepompt en met behulp van een warmtepomp opgewaardeerd voor het verwarmen van woningen (≈ 50°C) en het tapwatergebruik in deze woningen (≈ 60°C). Door het opslaan van relatief warm water (≈ 20°C) kan een beter rendement worden behaald dan met traditionele bodemenergiesystemen.

Afbeelding 3.1 Werking van TEO: verwarming in de winter (links) en regeneratie in de zomer (rechts)



De pomp(en) van een poldergemaal kunnen worden gebruikt voor de onttrekking van warm oppervlaktewater. Door de aanwezigheid van een gemaal, hoeft er geen waterinnamepunt en pomp (inclusief leidingnetwerk) aangelegd te worden. Door een warmtewisselaar voor of achter de gemaalpomp te plaatsen, kan de warmte vervolgens worden getransporteerd naar de WKO. Doordat er - energetisch gezien

- per m^3 water veel minder pompenergie nodig is dan dat er thermische energie uit onttrokken kan worden, kan het geen kwaad extra pompuren te maken ten behoeve van warmteonttrekking (zie bijlage I).
Gemaal Verdoold, gelegen aan de rand van het dorp Gouderak, zorgt voor het op peil houden van het waterpeil in het achterliggende gebied van de Krimpenerwaard. Gemaal Verdoold in een interessant gemaal voor de toepassing van TEO omdat het gemaal relatief veel draaiuren in de zomer maakt, voor de doorstroming in het achterland ten behoeve van de waterkwaliteit. Juist die draaiuren in de zomer maakt het gemaal interessant, omdat dan de warmte uit de watergang onttrokken kan worden.

3.1.2 Warmteonttrekkingscapaciteit Gemaal Verdoold

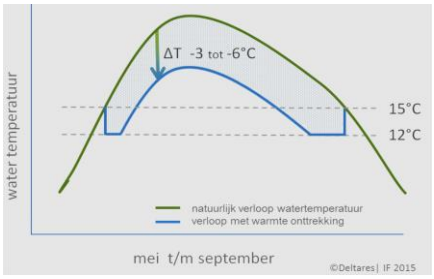
Hoeveel warmte er gedurende een zomerperiode onttrokken kan worden bij gemaal Verdoold hangt af de watertemperatuur en het opgepompte water binnen het aantal draaiuren. Afbeelding 3.2 toont rechts de historische data van de watertemperatuur bij Verdoold. In mei/juni komt de temperatuur boven de 15 °C graden uit, de temperatuur piekt rond de 20 à 25 graden, en daalt rond september weer onder de 15 °C. De periode van warmteonttrekking is dus ongeveer juni tot en met september[1]. In 2017 werd er in die periode 2,3 miljoen m^3 verpompt, in de droge zomer van 2018 maar liefst 10,4 miljoen m^3 en 5,9 miljoen m^3 in 2019.

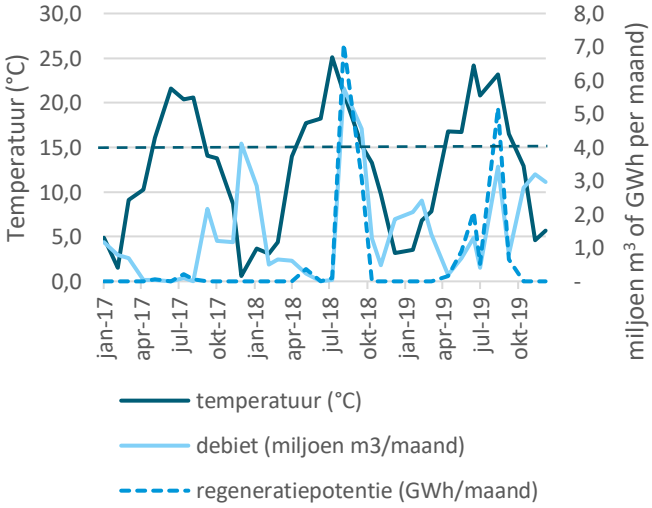
Water heeft als eigenschap dat er veel thermische energie in opgeslagen, of aan onttrokken kan worden. De temperatuurdaling over warmtewisselaar (ΔT) is begrensd door de temperatuur van het oppervlaktewater en ligt tussen de -3 en -6 °C. De onttrekkingscapaciteit dat uit water bij een bepaald gemaaldebiet onttrokken kan worden is:

$$P_{th} = C\ [kWh/(m^3 * °C)] * Q\ (m^3/h)\ *\ \Delta T\ [°C]$$

Met C als de volumetrische warmtecapaciteit $C = 1.16\ [kWh_{th}/(m^3 * °C)]$. Dit is de thermische energie die uit één kubieke meter (m3) water kan worden gehaald door deze met één graad (°C) in temperatuur te verlagen is.

Afbeelding 3.2 Toelichting warmteonttrekking (links) en historische meetdata gemaal Verdoold (rechts)



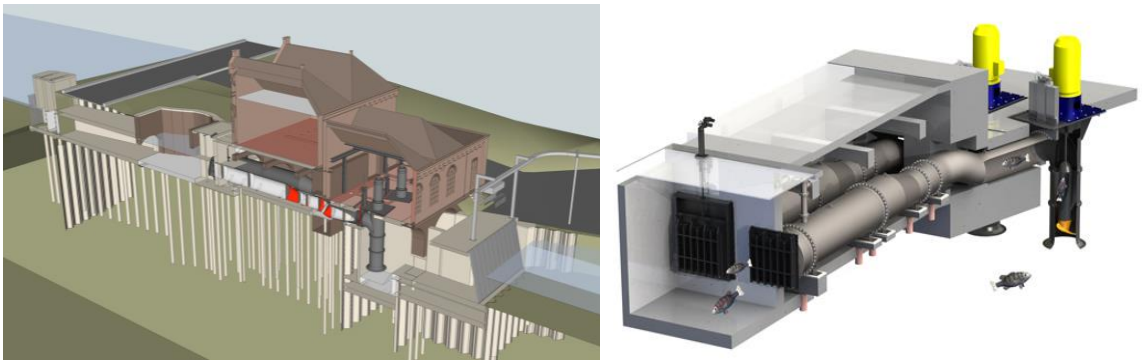


In 2012-2014 is een renovatie van het gemaal uitgevoerd. Het gebouw is opnieuw gefundeerd, de elektrische aandrijving is vernieuwd en de capaciteit van het gemaal is uitgebreid van 319 naar 450 m^3/min en er is gebruik gemaakt van twee nieuwe, visvriendelijke pompen. De situatie dat beide pompen tegelijk draaien komt niet vaak voor, dus het licht voor de hand om de warmteonttrekking te dimensioneren op het debiet van één pomp. Afbeelding 3.4 laat zien dat het gemaal vaak rond de 175 m^3/min of 10.000 m^3/h

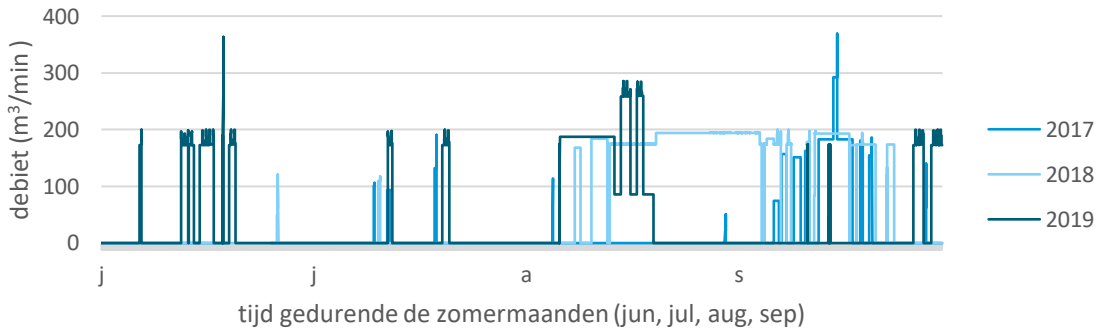
[1] De temperatuur van 15 ° is nodig om de grondwatertemperatuur in de WKO niet af te laten koelen.

draait (tevens het gemiddelde debiet). Dit betekent dat de theoretische beschikbare warmteonttrekkingcapaciteit rond de 35 MW_{th} ligt. De totale hoeveelheid onttrokken warmte per jaar volgt vervolgens uit het totaal aantal draaiuren van het gemaal in een jaar.

Afbeelding 3.3 doorsnede renovatieontwerp gemaal Verdoold (link) en visvriendelijke oppomplijn (rechts)



Afbeelding 3.4 Debiet gemaal Verdoold in de zomer van 2019 (resolutie 5 min)



3.1.3 Inpassing warmtewisselaar

Er zijn drie mogelijke plekken waar een warmtewisselaar in de maalstroom[1] gehangen zou kunnen worden:
1 in de pompkelder tussen het krooshek en de pomp;
2 in de persleiding;
3 in de maalkolk achter de persleiding.

Om deze keuze te maken moet rekening gehouden worden met onder andere de efficiëntie van de warmteoverdracht, het onderhoud en vispasseerbaarheid. Deze keuze heeft weinig effect op andere delen van het systeem en kan in een later ontwerpstadium genomen worden.

3.2 Warmte- en koudeopslag (WKO) in de bodem

Bodemenergiesystemen zijn er in twee vormen, open en gesloten systemen. Gesloten systemen, ook wel bodemlussen genoemd, zijn meest geschikt voor één of enkele woningen. Een open systeem, ook wel warmte- en koudeopslag (WKO) genoemd, is geschikt wanneer enkele honderden woningen worden aangesloten. Vanwege de schaalgrootte van Gouderak, is een open WKO-systeem meest logisch. Tevens is

[1] Het meest voor de hand liggende type warmtewisselaar is een buis die tot een spiraal is gebogen, en in de maalstroom gehangen is. Dit zorgt voor de minste weerstand in de stroming.

een WKO bij uitstek geschikt om in de zomerperiode warmte uit oppervlaktewater via gemaal Verdoold op te slaan voor gebruik in de winterperiode.

3.2.1 Bodemopbouw

Het maaiveld nabij het gemaal ligt net onder NAP. In tabel 3.1 is de bodemopbouw vanaf het maaiveld schematisch weergegeven. De bodemopbouw heeft een verloop naar alle richtingen. Nabij Gouderak lijkt zich een lokaal minimum te bevinden waarbij de dikte van de watervoerende pakketten dunner is dan in omliggend gebied. Voor meer informatie zie Afbeelding 3.5 en Bijlage III.

Tabel 3.1 geohydrologische schematisatie

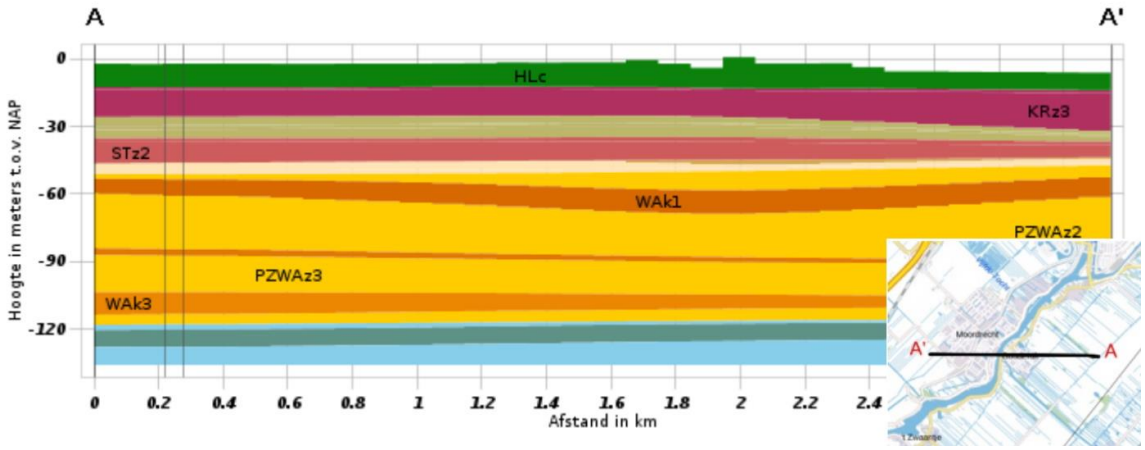
Traject (m-mv)	Materiaal	Geohydrologie	Afkortingen in afbeelding 3.5
maaiveld-13	klei, zand	freatisch watervoerende laag	HLc
13-43	zand, sporen van klei	1e WVP	KRz3
43-46	klei	scheidende laag	STz2
46-59	midden en grof zand	2e WVP	PZWEA1
59-69	klei	scheidende laag	WAk1
69-86	midden en grof zand	3e WVP	PZWEA2
86-89	klei	scheidende laag	WAk2
89-103	midden en grof zand	4e WVP	PZWEA3
103-110	klei	scheidende laag	WAk3
110-115	midden en grof zand	5e WVP	PZWEA2

Het 3e en 4e watervoerende pakket zijn meest geschikt om open bodemenergiesystemen te realiseren vanwege de dikte van het pakket, samenstelling en grootte van de zandkorrels. In het 3e en 4e watervoerende pakket kan een filter afgesteld worden van circa 10-15 m lang, waarmee de broncapaciteit voor beide pakketten uitkomt op circa 20 m^3/h.

In de praktijk zou kunnen blijken dat de dunne scheidingslaag tussen het 3e en 4e watervoerende pakket verwaarloosbaar dun is waardoor een filter afgesteld kan worden in het gecombineerde pakket. In deze situatie wordt een brondebiet van circa 50 m^3/h mogelijk geacht.

Dit is voor Nederlandse begrippen aan de lage kant, want 100 m^3/h is vrij gebruikelijk. Ter vergelijking, aan de overkant van de Hollandse IJsel bij Westergouwe is een watervoerend pakket van 30 m dik, waarbij een debiet van 120-150 m^3/h mogelijk is.

Afbeelding 3.5 doorsnede bodemopbouw met lokaal minimum in dikte van watervoerende pakketten



Het grondwater stroom in een noordnoordwestelijke richting Westergouwe met een snelheid van circa 20 m per jaar in het 3e watervoerende pakket (afwijking plusminus 30 %). Voor Nederlandse begrippen is deze stroomsnelheid gemiddeld tot hoog. Dit betekent dat opgeslagen warmte relatief snel 'wegspoelt'. Dit heeft een reductie van energetisch rendement tot gevolg.

Impact Hollandse IJssel op grondwaterstroming en -samenstelling

Een waterweg beïnvloed mogelijk de grondwaterstroming en samenstelling van het grondwater. Bovenstaande bevindingen ten aanzien van grondwatersamenstelling en -stroming zouden daarmee lokaal kunnen afwijken. Deze effecten zijn geen go/no-go voor de haalbaarheid van WKO in deze verkennende fase. Bij een vergunningaanvraag zal wel onderzocht moeten worden of, en zo ja hoe effecten van de waterweg een rol spelen.

3.2.2 Beleidskader

Uit het van toepassing zijnde beleidskader volgt:

- er is vanuit provinciaal en gemeentelijk beleid geen bodembeperking ten aanzien van het realiseren van open en gesloten bodemenergiesystemen[1];
- er is geen sprake van aandachtspunten, beperkingen of verboden vanwege een vastgestelde boringvrije zone, ambitiegebied bodemenergie, interferentiegebied of bodemenergieplan. Voor zover bekend worden er geen wijzigingen op korte termijn verwacht;
- een vergunning op basis van de Waterwet[2] voor de aanleg en het gebruik van een open bodemenergiesysteem is noodzakelijk. De provincie (vertegenwoordigd door de ODMH) is bevoegd gezag.

[1] Gouderak is geen ambitiegebied, gebruik van eerste watervoerende pakket is daarom toegestaan. Echter: vanwege nabijgelegen ambitiegebied en omdat Gouderak als veenweidegebied is aangemerkt, is het aan te raden om gebruik van eerste watervoerend pakket vooraf af te stemmen met de provincie en bevoegd gezag.

[2] http://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/wetgeving-beleid/waterwet/

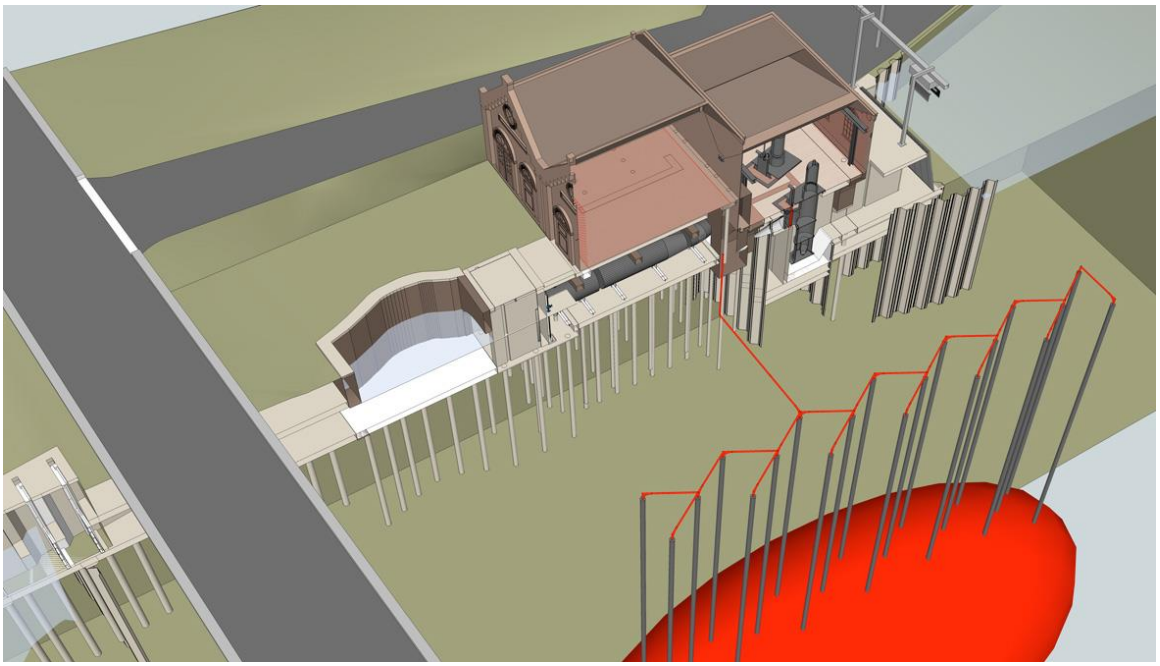
Aandachtpunten ten aanzien van vergunbaarheid

Met een effectenstudie zal in de vergunningaanvraag moeten worden aangetoond dat een nieuwe WKO-installatie verantwoord kan worden gerealiseerd en gebruikt. Deze punten moeten in overleg met bevoegd gezag worden afgestemd. Naast gebruikelijke aspecten zijn specifieke aandachtspunten:

- de gesaneerde bodemverontreiniging: wanneer er nog een restverontreiniging aanwezig is met monitoringsplicht, kan een open bodemenergiesysteem niet zonder meer in het onderliggende watervoerende pakket gerealiseerd worden;
- invloed van Hollandse IJssel: de Hollandse IJssel kan grondwaterstroming en zoutgehalte van het grondwater lokaal beïnvloeden;
- een nieuw te realiseren bodemenergiesysteem mag bestaande systemen niet negatief beïnvloeden. Een collectief bodemenergiesysteem voor Gouderak interfereert niet met bestaande energiesystemen behalve bij gemaal Verdoold. Hier zal in het ontwerp rekening mee gehouden moeten worden.
  De Omgevingsdienst Midden-Holland (ODMH) geeft aan dat er daarnaast nog twee andere bestaande bodemenergiesystemen bekend zijn: een gesloten systeem voor een enkele rijwoning aan het Elzenhof en een open systeem net ten noorden van Gouderak.

  NB: het bodemenergiesysteem bij gemaal Verdoold is bij de ODMH niet bekend.

Afbeelding 3.6 Schematische weergave bodemlussen bij gemaal Verdoold (rechts)



3.2.3 Globale dimensionering systeem

WKO alleen onder voorwaarden realistisch

De gehele warmte- en koudevraag van Gouderak is reeds uiteengezet in paragraaf 2.3. Als dit vertaald wordt naar bodemcapaciteit moet de bodem een debiet kunnen opbrengen van circa 900 m^3/h. Dat betekent een bodemenergiesysteem met bijna 45 doubletten. Deze monovalente systeemconfiguratie, wat wil zeggen een WKO zonder hulpverwarmingsinstallatie, is niet realistisch.

Anders dan in een monovalente opstelling wordt met een bivalente configuratie, dus met hulpverwarmingsinstallatie, de benodigde bodemcapaciteit gereduceerd tot circa 30 % van de maximaal gevraagde capaciteit. Deze systeemconfiguratie is meest gebruikelijk. Daarmee is circa 85 % van de tijd warmte en koude te leveren. Voor de overige 15 % van de tijd (tijdens de meest koude en warme dagen van het jaar) schakelt de hulpverwarmingsinstallatie bij. Deze installatie kan een gasketel zijn (gestookt op

hernieuwbaar gas) of een warmtepomp die lucht of water uit de Hollandse IJssel gebruikt als warmtebron. In deze bivalente configuratie zijn nog steeds 14 doubletten nodig, ook deze omvang van een bodemenergiesysteem lijkt onrealistisch.

Enkel wanneer het 3e en 4e watervoerende pakket gecombineerd kunnen worden, is er met de aangenomen bivalente configuratie een realistisch systeemontwerp denkbaar. Deze situatie betekent een bodemenergiesysteem bestaande uit zes doubletten met elk een capaciteit van 50 m^3/h. Met een proefboring kan worden vastgesteld wat er mogelijk is. Bijkomend voordeel van een proefboring is dat ter plekke bodemtemperatuur, grondwatersamenstelling, zoutgehalte etc. gemeten kan worden. Daarmee wordt ontstaat zekerheid over de te verwachten prestaties van de WKO en zekerheid richting de omgevingsdienst wat betreft de onderbouwing van de vergunningsaanvraag.

Samengevat: Een open bodemenergiesysteem voor de warmtevoorziening van Gouderak is alleen haalbaar in een bivalente configuratie en indien het derde en vierde watervoerende pakket gecombineerd kunnen worden. In andere gevallen zou het energiesysteem zou te groot uitgevoerd moeten om energetisch en financieel interessant te kunnen zijn.

Een kleinschaliger bodemenergiesysteem is wel denkbaar. Daarmee kan nog een behoorlijk aandeel van Gouderak van hernieuwbare energie worden voorzien. Bijkomend (technisch) voordeel is de mogelijkheid om een aan te sluiten gebouwcluster te selecteren waarvan de jaarlijkse warmte- en koudevraag enigszins in balans is.

Benutting van gemaal Verdoold

Zoals genoemd in paragraaf 3.1 zijn twee zaken belangrijk om de mogelijkheden van gemaal Verdoold in combinatie met een bodemenergiesysteem in te schatten: capaciteit en aantal draaiuren. Uit de analyse blijkt dat de opnamecapaciteit van de bodem de grootste beperkende factor is. Daarnaast is het aantal draaiuren beperkt, waardoor de regeneratiepotentie veel lager ligt dan de regeneratiebehoefte van de zes WKO doubletten:

- de regeneratiebehoefte volgt uit de totale warmtevraag (9,3 GWh/jr) en ligt in de orde van 5-7 GWh/jr. De regeneratiebehoefte hangt af van ontwerpkeuzes in het warmtenet en isolatiegraad van de gebouwen;
- de jaarlijkse regeneratiepotentie van het gemaal is berekend door het aantal draaiuren bij elkaar op te tellen waarvoor de minimale watertemperatuur 15°C of meer bedroeg. Bij een WKO systeem met 6 bronnen met ieder een capaciteit van 50 m^3/h zou de regeneratiepotentie van afgelopen jaren als volgt zijn geweest: 0,1 GWh (2017), 3,2 GWh (2018) en 2,9 GWh (2019);
- kortom: Gegeven de regeneratiebehoefte (5-7 GWh/jr) en regeneratiepotentie (0,1 - 3,2 GWh/jr) is er dus onvoldoende potentie om de bodembalans te herstellen en voldoende warmte te laden voor de volgende winter.

De capaciteit van het gemaal is, zoals eerder berekend,35 MW_{th}. Bij een WKO systeem met zes bronnen met ieder een capaciteit van 50 m^3/h en een oppervlaktewatertempartuur van 15 °C ligt de infiltraticapaciteit slecht op 2 MWh_{th} en bij een oppervlaktewatertemperatuur van 25 °C op 5,5 MWh_{th}. Slechts 6-16 % van de warmteonttrekkingcapaciteit zal daarom benut kunnen worden. Om voldoende warmte te regenereren zal het aantal zomerse draaiuren daarom verhoogd moeten worden, bij voorkeur in de warmste maanden. Dit kan eventueel door het gemaal meer uren op een lager debiet te laten draaien. Daarnaast kan tijdens deze uren ook warmte uit het verpompte water direct aan afnemers geleverd worden. Daarmee wordt de regeneratievraag beperkt, omdat per saldo minder warmte aan de bodem wordt onttrokken, waardoor de bodem ook minder hoeft te worden geregenereerd. Verder zou er kunnen worden gewerkt met een dag/nacht buffer, die overdag surplus warmte opslaat, en ‘s nachts warmte afstaat aan de WKO’s. Tot slot zou in gesprek met de Provincie en omgevingsdienst kunnen worden bekeken of plaatselijk de temperatuur van de bodem kan worden verhoogd tot bijvoorbeeld 35°C, waardoor per saldo meer warmte kan worden opgeslagen,

Kortom:
- een kleinschalig open bodemenergiesysteem voor een deel van Gouderak is mogelijk en meest realistisch geachte inzet van bodemenergie op deze plek;
- een grootschalig open bodemenergiesysteem kan, onder voorwaarde dat twee watervoerende pakketten in de bodem gecombineerd kunnen worden waardoor voldoende capaciteit per bron behaald wordt;
- gemaal Verdoold heeft een overcapaciteit wat betreft laden van warmte in de bodem of directe levering van warmte uit oppervlaktewater aan afnemers. Het gemaal kan hiervoor geschikt gemaakt worden.

Op basis van de voorgaande beschouwing is geen schetsontwerp van een bodemenergiesysteem uitgewerkt. De omvang van het systeem hangt af van de bodemcapaciteit of gewenste gebouwgroep die op een kleinschalig systeem kan worden aangesloten. Wel is er een viertal energiesystemen uitgewerkt. Hiermee ontstaat inzicht in de consequenties en haalbaarheid van verschillende systeemconfiguraties wanneer een gemiddelde bodemcapaciteit als uitgangspunt gesteld wordt.

3.3 Warmtedistributie via warmtenet: 4 varianten en 2 individuele referentie varianten

Tot aan hier is het TEO-deel en het WKO-deel van het aquathermie concept beschreven. In deze paragraaf komt de warmtedistributie via een warmtenet aan bod. We onderscheiden vier varianten:

1 collectieve warmte: TEO +WKO + LT-warmte- en koudenet;
2 collectieve warmte: TEO +WKO + MT-warmtenet;
3 collectieve warmte: TEO +WKO + MT-warmte- en koudenet;
4 collectieve warmte: TEO +WKO + HT-warmtenet.

Hiernaast zullen we in dit onderzoek als referentie nog twee varianten met individuele warmte beschouwen:
1 individuele warmte: Bodem-waterwarmtepomp;
2 individuele warmte: Lucht-waterwarmtepomp.

3.3.1 Variant 1 collectieve warmte: TEO + WKO + LT-warmte- en koudenet

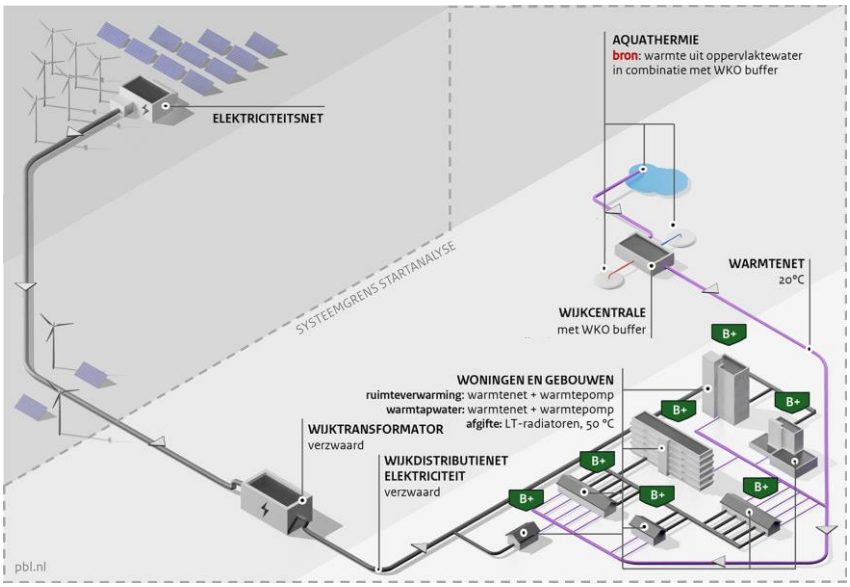
Variant 1 is een traditionele WKO met regeneratie uit oppervlaktewater. Dit betekent dat de temperatuur uit de bodem via een warmtewisselaar direct wordt overgedragen aan een lage temperatuur (LT) warmtenet zonder dat de temperatuur op een centraal niveau wordt opgewaardeerd middels een warmtepomp. Dit betekent dat de temperatuur in het warmtenet in de winter ongeveer gelijk is aan de temperatuur van de warmtebron (15 tot 20 °C) en in de zomer gelijk is aan temperatuur in de koude bron (7 tot 12 °C). Op gebouwniveau wordt in de winter een warmtepomp gebruikt om de aflevertemperatuur (van de warmte uit het warmtenet) op te waarderen naar een temperatuur waarmee het gebouw verwarmd kan worden. Voor de Seasonal Performance Factors (SPF) van de energiesystemen in de verschillende varianten, zie tabel
Tabel 3.3 Benodigde maatregelen en systeemcomponenten op woningniveau en gebiedsniveau bij de verschillende alternatieven. In de zomer is de temperatuur geschikt om direct gebouwen mee te koelen. De warmte die hierbij afgevangen wordt, kan weer in de bodem opgeslagen. Hierdoor hoeft enkel het verschil tussen de jaarlijkse warmtevraag en koudevraag geregenereerd te worden door het oppervlaktewater.

Zowel voor het verwarmen als koelen in de gebouwen zijn LT-radiatoren of vloerverwarming nodig. De warmtepomp wordt zomers enkel ingezet voor de tapwatervraag. Afhankelijk van de mate van isolatie en het afgiftesysteem zou in deze variant het temperatuurniveau per gebouw kunnen verschillen door de warmtepomp anders in te stellen.

Tabel 3.2 Uitgangspunten bepaling elektriciteitsvraag energiesystemen (Seasonal Performance Factors, SPF)

		Collectieve systemen WKO +warmtenet + TEO				Individuele systemen Warmtepomp	
Parameter	**Eenheid**	**LT warmte + koude**	**MT warmte**	**MT warmte + koude**	**HT warmte**	**energie uit bodem**	**energie uit lucht**
SPF ruimteverwarming	-	4.5	3	3	2,5	5	3
SPF warm tapwater	-	3	3	3	2,5	4	2,5
SPF koude	-	20	20 (regeneratie)	20	20	54	3

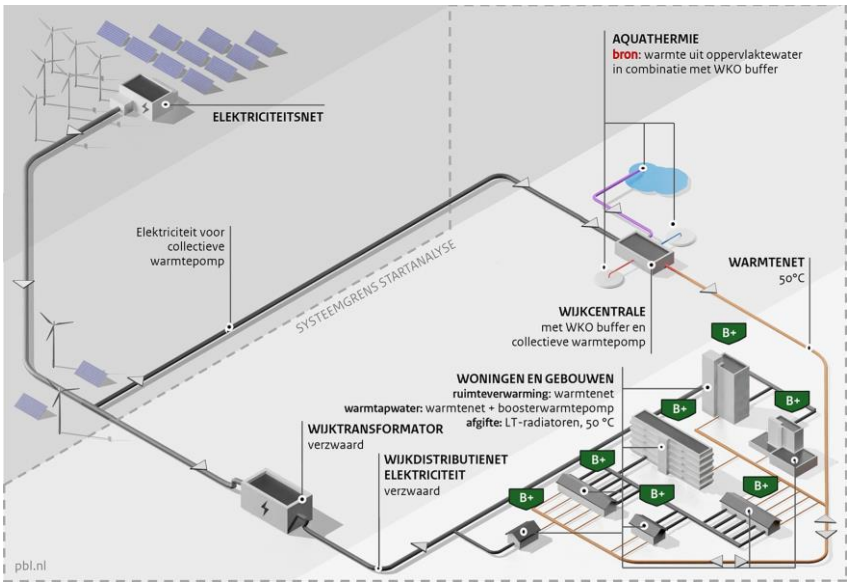
Afbeelding 3.7 Variant 1 collectieve warmte: WKO + TEO + LT-warmte- en koudenet



3.3.2 Variant 2 collectieve warmte: TEO + WKO + MT-warmtenet;

In variant 2 is een collectieve warmtepomp opgesteld in de wijkcentrale die warmte onttrekt uit de WKO en op een midden temperatuur (MT), circa 50 °C, afgeeft aan het warmtenet. Deze temperatuur kan in de gebouwen benut worden voor ruimteverwarming zonder dat hier nog een additionele warmtepomp voor nodig is. Wel is er op gebouwniveau lokale naverwarming nodig (zoals een boosterwarmtepomp of elektrische boiler) om het tapwater naar circa 60 °C te brengen zodat legionella voorkomen kan worden. Door de keuze voor een hogere temperatuur in het warmtenet komt de optie van koeling in de zomer te vervallen.

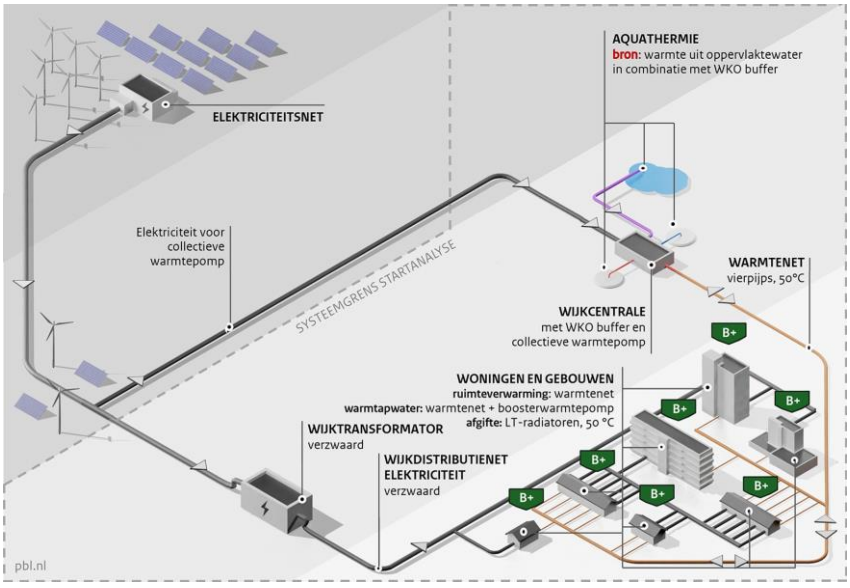
Afbeelding 3.8 Variant 2 collectieve warmte: WKO + TEO + MT-warmtenet



3.3.3 Variant 3 collectieve warmte: TEO + WKO + MT-warmte- en koudenet

Variant 3 lijkt sterk op variant 2, met de uitbreiding van een tweepijps naar en vierpijps warmtenet om zo ook koeling in de zomer mogelijk te maken. Een vierpijpssyteem neemt extra ruimte in de bodem in beslag en brengt ook extra kosten met zich mee. De extra twee buizen om koeling mogelijk te maken zijn waarschijnlijk niet voor heel Gouderak financieel aantrekkelijk. Een optie is om het koudenet enkel aan te leggen voor utiliteitsgebouwen in het gebied tussen het gemaal, het Dorpshuis en de COOP.

Afbeelding 3.9 Variant 3 collectieve warmte: WKO + TEO + MT-warmte- en koudenet



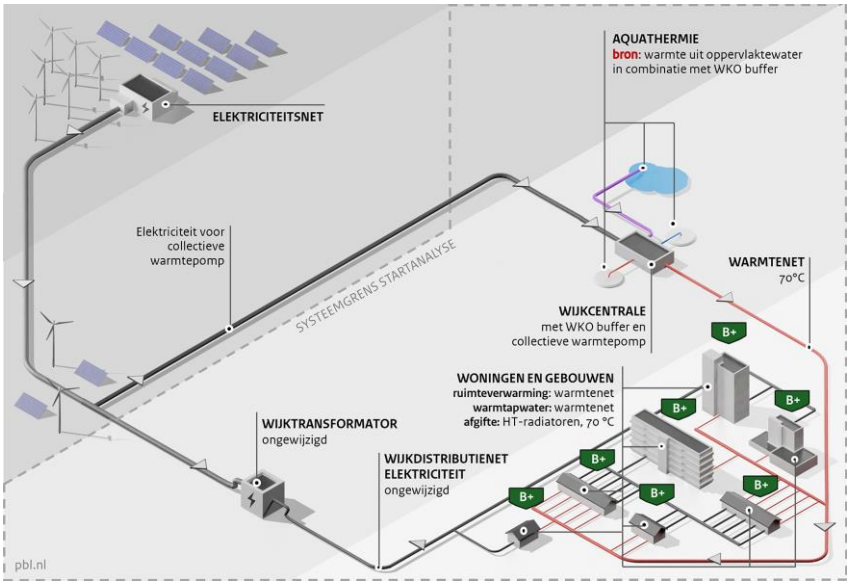
3.3.4 Variant 4 collectieve warmte: TEO + WKO + HT-warmtenet

Variant 4 lijkt sterk op variant twee, maar brengt door middel van een centrale warmtepomp de temperatuur in het warmtenet naar een hoge temperatuur (HT) van circa 70 °C. Hiermee kan ook het tapwater direct verwarmd worden zonder een boosterwarmtepomp. Ook zijn isolatie en aanpassingen aan het

afgiftesysteem (radiatoren) niet of nauwelijks noodzakelijk. Het aanbieden van koeling is in deze variant niet logisch, omdat het afgiftesysteem in de gebouwen daar ook niet voor geschikt gemaakt is.

De minimale aanpassingen lijken aantrekkelijk, maar het nadeel van deze variant is de hoge energievraag. Ten eerste, door het uitblijven van isolatiemaatregelen, blijft de warmtevraag van gebouwen hoger. Ten tweede, omdat het rendement van de warmtepomp, (in vaktermen coefficiënt of performance (COP)), lager wordt als deze een hoger temperatuurniveau moet maken. Ten derde, een HT-warmtenet heeft ondanks de beter geïsoleerde leidingen, een hoger warmteverlies dan een MT of LT-warmtenet.

Afbeelding 3.10 Variant 4 collectieve warmte: WKO + TEO+ HT-warmtenet



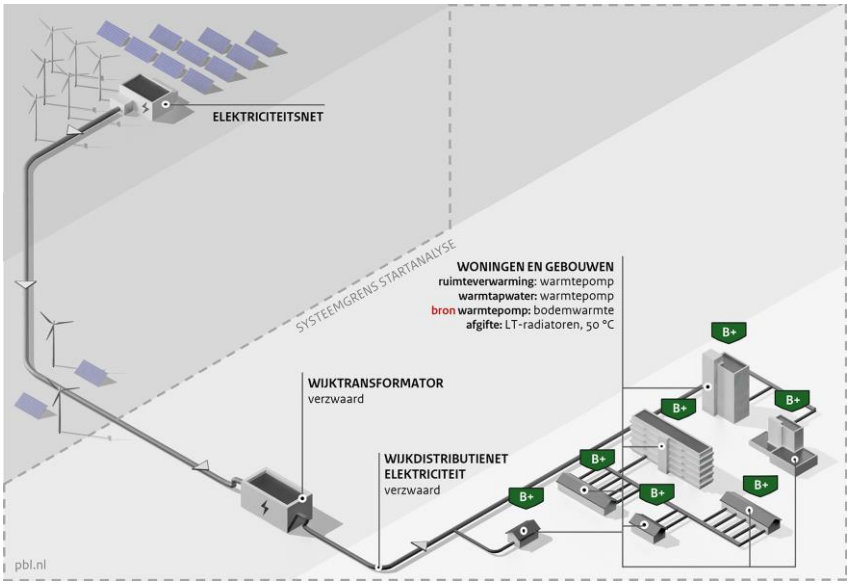
3.3.5 Variant 5 individuele warmte: Bodem-waterwarmtepomp

Variant 5 is een referentie variant om voorgenoemde collectieve varianten mee te vergelijken. Elke woning/gebouw krijgt in deze variant een verticale gesloten bodemlus. Deze kan met een boorstelling aangelegd worden in de voortuin van elke woning, zoals in Afbeelding 3.11**.** weergegeven is. De benodigde aanpassingen aan de woning zijn met variant 1 vergelijkbaar. Ook hier is er warmtepomp nodig die lage temperatuur bodemwarmte opwaardeert naar een hoger niveau en een LT-afgiftesysteem om deze warmte af te kunnen geven in de woning.

Afbeelding 3.11 Boorstelling voor aanleggen verticale gesloten bodemlus



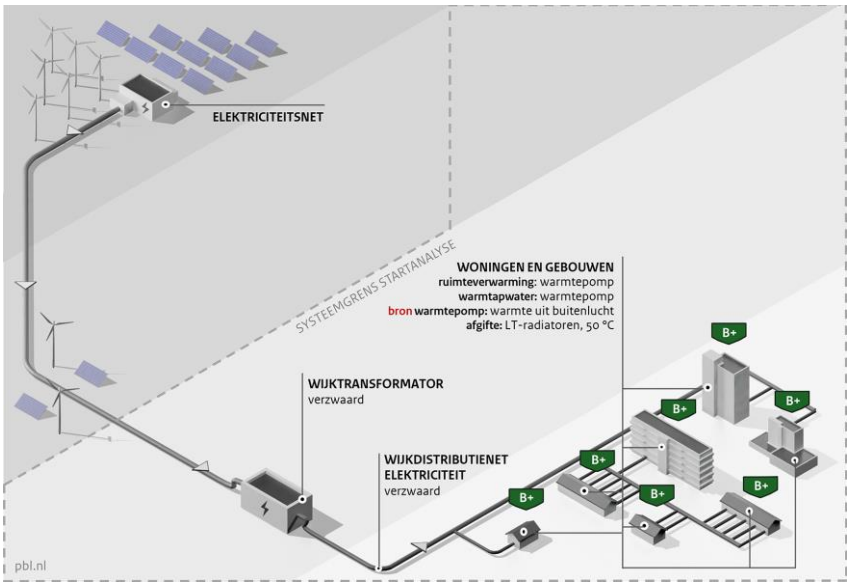
Afbeelding 3.12 Variant 5 individuele warmte: Bodem-waterwarmtepomp



3.3.6 Variant 6 individuele warmte: Lucht-waterwarmtepomp

Variant 6, de tweede individuele referentie variant, is de luchtwarmtepomp. Hiervoor is een buitenunit nodig, die warmte uit de lucht onttrekt. De uitdaging bij deze warmtepomp is het netjes inpassen van de buitenunit en de geluidsaspecten. Door regelgeving over geluidsbelasting door luchtwarmtepompen zal in veel gevallen ook nog een geluiddempende ombouwkast nodig zijn. Verbeterde isolatie en een LT-afgiftesysteem zijn in deze variant belangrijk, omdat de lucht-waterwarmtepomp niet genoeg warmte kan leveren op een koude winterdag.

Afbeelding 3.13 Variant 6 individuele warmte: Lucht-waterwarmtepomp



Afbeelding 3.14 Woning met een lucht-waterwarmtepomp



3.4 Benodigde maatregelen en componenten per energiesysteem

Zoals beschreven in de voorgaande paragrafen zijn niet voor alle alternatieven eenzelfde isolatiemaatregelen of infrastructuur noodzakelijk. Tabel 3.1 toont in een overzicht de maatregelen en systeemcomponenten die benodigd zijn per alternatief energiesysteem.

Tabel 3.3 Benodigde maatregelen en systeemcomponenten op woningniveau en gebiedsniveau bij de verschillende alternatieven

Categorie	Item	Variant 1 LT-net (warmte+koude)	Variant 2 MT-net	Variant 3 MT-net (warmte+koude)	Variant 4 HT-net	Variant 5 Bodem WP	Variant 6 Lucht WP
woningen	isolatie tot energielabel B	✔	✔	✔		✔	✔
	lage temperatuur afgiftesysteem	✔	✔	✔		✔	✔
	afleverset		✔	✔	✔		
	decentrale warmtepompen	✔ water/water	✔ water/water (booster)	✔ water/water (booster)		✔ water/water	✔ lucht/water

Categorie	Item	Variant 1 LT-net (warmte+koude)	Variant 2 MT-net	Variant 3 MT-net (warmte+koude)	Variant 4 HT-net	Variant 5 Bodem WP	Variant 6 Lucht WP
	bodemlussen					✔	
gebied	warmtenet	✔	✔ (geïsoleerd)	✔ (geïsoleerd) 4-pijps	✔ geïsoleerd		
	WKO-bronnen	✔	✔	✔	✔		
	centrale warmtepomp		✔	✔	✔		
	TEO-installatie	✔	✔	✔	✔		

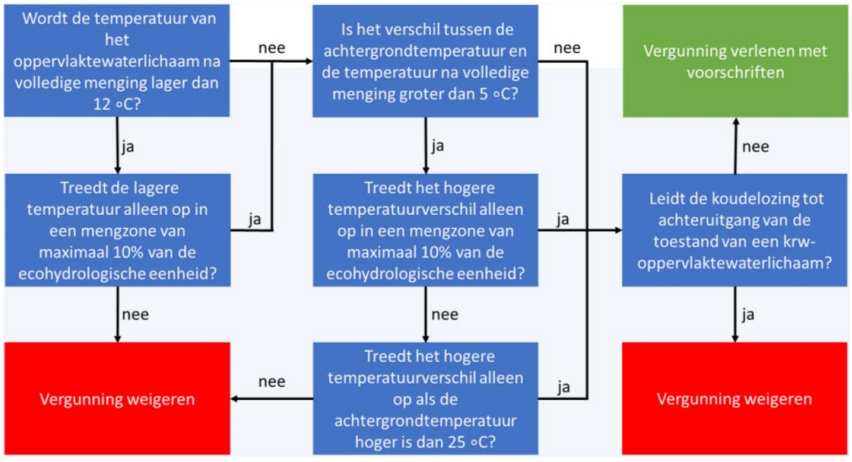
3.5 Verdere aandachtspunten

3.5.1 Ecologisch effecten

Het water wat via gemaal Verdoold wordt geloosd in de Hollandse IJssel heeft een lagere temperatuur door de onttrekking van warmte. In tegenstelling tot effecten van warmtelozing is er weinig bekend over het onttrekken van warmte uit oppervlaktewater, ofwel koudelozingen. De algemene denkrichting is dat waterkwaliteitsproblemen zomers versterkt worden door een hoge watertemperatuur. Het afkoelen van het water zou dus voordelen kunnen hebben voor de waterkwaliteit, maar mogelijk nadelige effect op de habitatgeschiktheid kunnen hebben. Dit moet nog nader onderzocht worden in een hiervoor gestart onderzoeksprogramma van STOWA en Rijkswaterstaat.

Voor koudelozingen bestaat op dit moment alleen een concept beleidsregel, die gebaseerd is op de methodiek van de beoordeling van warmtelozingen. De beoordelingsstappen uit deze concept beleidsregel staan in Afbeelding 3.5 weergegeven. Deze beleidsregel wordt herzien op basis van de onderzoeksresultaten van het onderzoeksprogramma in 2022.

Afbeelding 3.15 Stappen uit concept beleidsregel beoordeling koudelozingen



Indien er voor het ontwerp bij Verdoold uitgegaan wordt van warmteonttrekking met een ΔT van 3 °C vanaf een oppervlaktewatertemperatuur van 15 °C, kunnen de eerste twee stappen van de concept beleidsregel succesvol met nee beantwoord worden. In de laatste stap tot vergunningverlening moet nog worden aangetoond dat de koudelozing niet tot achteruitgang van de toestand van een oppervlaktewaterlichaam binnen de Kaderrichtlijn water (krw) leidt. Aangezien de Hollandse IJssel een krw-oppervlaktewaterlichaam is, zal dit ten tijde van een vergunningaanvraag waarschijnlijk beoordeeld en onderbouwd moeten worden.

3.5.2 Juridisch en organisatorisch

Bij alternatieven met een warmtenet is een exploitant van dat warmtenet een noodzakelijke projectpartner. Deze exploitant heeft een belangrijke rol in de realisatie en exploitatie van het systeem: de investeringen die vooraf benodigd zijn voor realisatie van het systeem worden (idealiter) terugverdiend met inkomsten uit de levering van warmte aan afnemers die aangesloten zijn op het warmtenet.

Op deze exploitatie van warmtenetten is wetgeving van toepassing die afnemers van warmte en koude moet beschermen tegen oneerlijke tarieven en aanverwante kosten voor warmtelevering: de warmtewet. De gereguleerde maximale tarieven voor warmtelevering zijn onder meer afhankelijk van de temperatuur van de geleverde warmte en het vermogen van de aansluiting. Voor de levering van lage temperatuur warmte gelden dus andere (lagere) tarieven dan voor hoge temperatuur warmte, die direct gebruikt kan worden voor verwarming van woningen.

De maximale tarieven voor warmtelevering hebben invloed op de businesscase van een warmtenet, omdat het een limiet stelt aan hoeveel kan worden verdiend met de levering van warmte en koude. Als de kosten voor een warmtenet hoger zijn dan de maximale (verdisconteerde) inkomsten over de levensduur van het warmtenet, dan resteert een onrendabele top die vooraf bekostigd moet worden middels subsidies en/of een verplichte bijdrage aansluitkosten. Deze bijdrage komt voor rekening van de toekomstige afnemers, en is een maat voor de financiële rendabiliteit van een warmtenet.

De tarieven welke zijn gehanteerd voor de berekening van businesscases in deze analyse zijn opgenomen in Bijlage VI.

4

MULTI-CRITERIA ANALYSE (MCA)

4.1 Toelichting op de gehanteerde criteria

De consequenties van de alternatieve energiesystemen voor Gouderak zijn in beeld gebracht middels een multicriteria-analyse (MCA). Daarin worden verschillende prestaties en aspecten van de systemen op objectieve wijze vergeleken. Op basis van de MCA is bepaald welk energiesysteem het beste past bij de wensen van de gemeente Krimpenerwaard, en welk systeem het meest kansrijk is voor realisatie.

De aardgasloze energiesystemen zijn vergeleken op basis van de volgende aspecten:
- impact op de maatschappij;
- technische haalbaarheid;
- impact op de organisatie van het project;
- impact op de organisatie van de gemeente;
- impact op een eventuele exploitant;
- impact op de bewoners van Gouderak, en
- totale kosten van het systeem.

De aspecten zijn verder specifiek gemaakt in een aantal criteria, weergegeven in tabel 4.1. Een uitgebreide beschrijving van de criteria en een onderbouwing van de resultaten is opgenomen in Bijlage V.

Tabel 4.1 Te hanteren criteria voor de MCA van warmtesysteem-varianten in Gouderak.

Categorie	Criterium	Eenheid	Toelichting
impact op maatschappij	1. CO_2-uitstoot	ton per jaar	wat is de jaarlijkse CO_2-uitstoot van alle technische systemen binnen het energiesysteem?
	2. aanvullende elektriciteitsvraag	MWh/jr	de benodigde aanvullende elektriciteitsvraag van de energieconcepten
	3. geluid	dB(A)	aan hoeveel decibel zijn bewoners onderhevig als gevolg van een systeem binnen het energiesysteem?
technische haalbaarheid	4. projectrisico's	kwalitatief	hoe groot is de kans en impact dat er problemen ontstaan bij de aanleg van een energiesysteem?
	5. ruimtelijke impact	m^2	hoeveel ruimte kost het systeem aan de oppervlakte?
	6. impact op netwerkkosten	EUR	wat zijn de kosten van het netwerk gelet op de vermogensvraag van een energiesysteem?
	7. inpassing ondergrond	kwalitatief	is er voldoende potentie in de ondergrond om het systeem zonder interferentie te realiseren?
	8. inpassing regeneratie oppervlaktewater	% van potentie	is er voldoende potentie voor warmte uit oppervlaktewater voor het systeem?
impact op de organisatie	9. bouwtijd energiesysteem	maanden	hoeveel maanden duurt het om het energiesysteem te realiseren?
impact op organisatie gemeente	10. beschikken en handhaven interferentie-voorwaarden	kwalitatief	hoe groot is de impact op de gemeente in het toetsen/handhaven/toezien op het interferentiegebied?

Categorie	Criterium	Eenheid	Toelichting
	11. controle waterkerende laag	kwalitatief	controleerbaarheid en intensiteit controle op handhaving waterkerende laag
impact op de exploitant	12. impact BAK door 10 % minder woningen	EUR	aansluitrisico: hoeveel euro stijgt de BAK door gederfde inkomsten bij 10% minder woningen?
	13. impact BAK door vijf keer langere ontwikkeltermijn	EUR	vollooprisico: hoeveel euro stijgt de BAK door gederfde inkomsten, wanneer de ontwikkelingstermijn vijf keer zo lang duurt?
impact op de bewoner	14. kosten woningaanpassing	EUR per woning	wat zijn de gemiddelde kosten voor aanpassingen aan de woning voor het systeem?
	15. bijdrage aansluitkosten (BAK) exclusief subsidies	EUR	wat is de BAK exclusief subsidies?
	16. impact energielasten	EUR per jaar	wat zijn de jaarlijkse kosten voor energie ten behoeve van de warmtevoorziening?
	17. Total Cost of Ownership (TCO) bewoner	EUR	hoeveel euro bedraagt de som van direct en indirecte kosten voor de bewoner?
totale maatschappelijk kosten (per individu, netbeheerder en overheid)	18. totale maatschappelijke kosten	EUR	totale maatschappelijke kosten van het energiesysteem over 30 jaar: investeringen en bijdragen in energiesysteem, woningaanpassingen, energielasten van bewoners, kosten netverzwaring, minus baten uit meekoppelkansen.

4.2 Vergelijking van de scores van de energiesystemen

Tabel 4.2 toont de scores van de verschillende energiesystemen op de toetsingsaspecten. De score op elk categorie is tot stand gekomen door de scores op de verschillende criteria (zie tabel 4.1) die vallen onder elke categorie bij elkaar op te tellen. Een overzicht van de complete afwegingstabellen van de verschillende criteria is te vinden in bijlage IV. Een toelichting op de scores is te vinden in bijlage V.

Tabel 4.2 Gewogen scores van de energieconcepten op de aspecten uit de multicriteria-analyse

		Collectieve systemen WKO + warmtenet + TEO				Individuele systemen Warmtepomp	
Categorie	**Weging**	**LT warmte + koude**	**MT warmte**	**MT warmte + koude**	**HT warmte**	**energie uit bodem**	**energie uit lucht**
impact op de maatschappij	2	3,2	2,8	2,8	2,0	4,5	1,4
technische haalbaarheid	1	2,5	2,5	2,0	2,5	3,3	3,5
impact op de organisatie	1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0
impact op organisatie gemeente	1	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	2,0
impact op de exploitant	1	0,7	0,5	0,2	0,3	20	2,0
impact op de bewoner	2	1,5	0,9	0,0	3,6	5,5	5,1
totale maatschappelijke kosten	2	0,6	0,4	0,0	1,1	2,0	1,8
totale score	-	**9,5**	**8,2**	**6,1**	**10,6**	**18,2**	**16,8**

Totaalbeeld: warmtenetten niet gunstiger dan individuele alternatieven

Op basis van de scores op de criteria en de gekozen wegingen wordt duidelijk dat de alternatieven met warmtenetten niet gunstiger scoren dan individuele alternatieven (varianten 5 en 6). Dit is vooral het gevolg van de aanzienlijke meerinvestering die deze alternatieven vergen voor de aanleg van de WKO en warmte-net-infrastructuur, en de introductie van een exploitant die warmte en koude tegen tarieven kan afzetten aan afnemers.

Individuele alternatieven scoren met name goed op kosten, zowel maatschappelijk als voor bewoners. Hoewel met het HT warmtenet een minder hoge investering voor isolatiemaatregelen gemoeid is, scoort het nauwelijks gunstiger dan andere warmtenetvarianten, omdat het gebrek aan isolatie hogere energielasten voor de bewoners laat bestaan. De LT-variant komt als minst gunstige optie uit de bus, omdat voor deze variant zowel isolatiekosten hoog zijn als de investeringskosten voor de infrastructuur.

Vergelijking van de energieconcepten op belangrijke criteria

Tabel 4.3 toont een vergelijking van de energieconcepten op de belangrijkste financiële aspecten.

Tabel 4.3 Vergelijking van de energieconcepten op belangrijke criteria

Criterium	**Eenheid**	**LT warmte + koude**	**MT warmte**	**MT warmte + koude**	**HT warmte**	**Bodem warmtepomp**	**Lucht warmtepomp**
14. Kosten woningaanpassing (isolatie, ventilatie, LT-verwarming)	EUR	6,6 miljoen	6,6 miljoen	6,6 miljoen	0	6,6 miljoen	6,6 miljoen
15. BAK/investering energiesystee	EUR/woning	26.300	32.000	32.400	28.000	18.200	12.900

Criterium	Een-heid	LT warmte + koude	MT warmte	MT warmte + koude	HT warmte	Bodem warmte-pomp	Lucht warmte-pomp
m (excl. Subsidies)							
Herinvestering na 15 jaar *(Zie tabel V33)*	EUR/ wo-ning	-	-	-	-	10.300	8.300
16. Jaarlijkse energielasten bewoners (gemiddelde woning)	EUR /jaar	1.550	1.450	1.700	1.450	650	1.000
18. Totale maatschappelijke kosten	EUR	67,1 miljoen	69,6 miljoen	75,8 miljoen	59,4 miljoen	46,6 miljoen	49,5 miljoen

Tabel 4.4 toont een vergelijking van de CO_2- reductie ten opzichte van het aardgasverbruik in ton CO_2 per jaar en in kosten. Verder worden er nog enkele samenvattend aandachtpunten opgesomd.

Tabel 4.4 CO_2-reductie en andere aandachtpunten

Criterium	Een-heid	LT warmte + koude	MT warmte	MT warmte + koude	HT warmte	**Bodem** warmte-pomp	**Lucht** warmte-pomp
CO_2-reductie ten opzichte van aardgas (Gouderak)	ton CO_2 /jr	1.424	1.411	1.411	1.319	1.476	1.373
	%	88 %	87 %	87 %	81%	91%	85 %
kosteneffect-iviteit CO_2-reductie (Gouderak)	EUR /kg CO_2 reductie	1,57	1,65	1,79	1,50	1,05	1,20
belangrijkste kwalitatieve aandachts-punten	-	inpassing WKO, warmtenet onder-grond, regeneratie -capaciteit. ruimtelijke impact openbare ruimte	inpassing WKO, warmtenet onder-grond, regeneratie - capaciteit ruimtelijke impact openbare ruimte	inpassing WKO, 4-pijps warmte-net onder-grond, regeneratie - capaciteit ruimtelijke impact openbare ruimte	inpassing WKO, warmtenet onder-grond, regeneratie -capaciteit ruimtelijke impact openbare ruimte	inpassing ondergrond (interferentie), beschik-baarheid boorbedrijven verzilting water-voerende laag, druk op gemeente-lijke organisatie	Geluids-overlast, inpassing in/rond woningen, prestatie-verlies bij kwalitatief onvoldoen-de installatie en isolatie.

Individuele systemen: financieel interessant maar kwalitatieve tegenargumenten

De bodemlussen zijn financieel gezien het meest interessant en bieden bovendien de meest kosteneffectieve reductie van CO_2-uitstoot. Daar staan wel wat kwalitatieve argumenten tegenover. Zo is de inpassing van een groot aantal bodemlussen een aandachtspunt. Het risico bestaat dat de systemen elkaar nadelig gaan beïn-vloeden, waardoor de efficiëntie van de systemen daalt, met hogere energielasten voor bewoners tot gevolg.

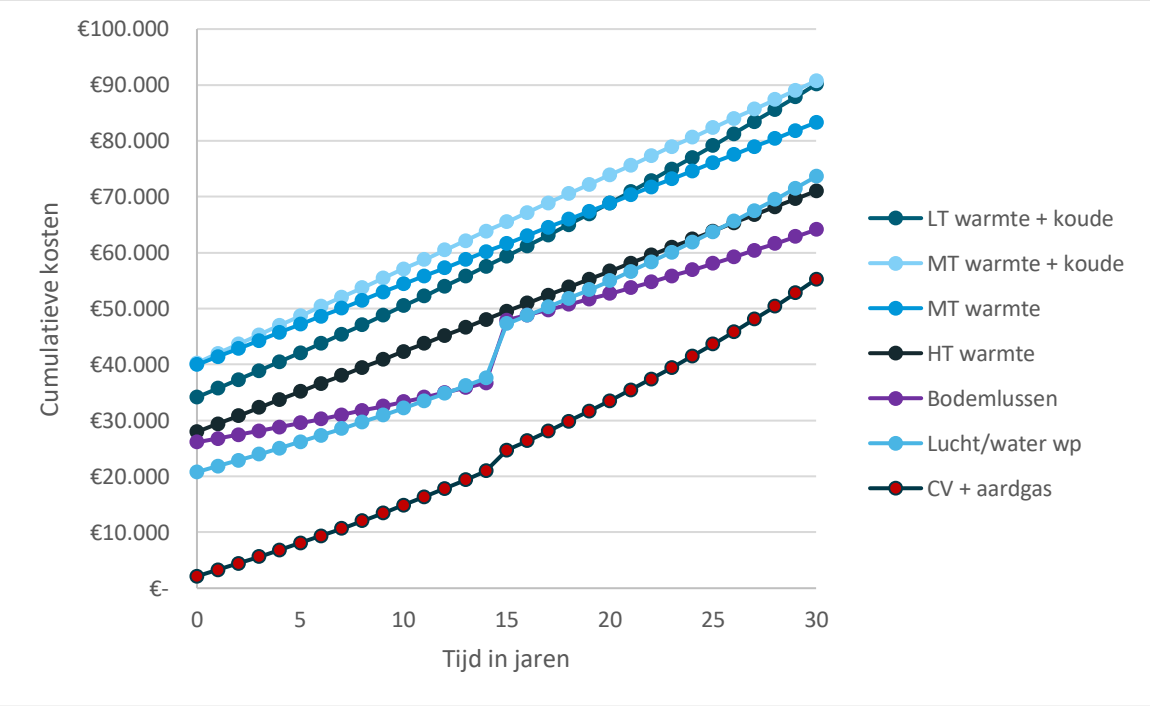
Daarnaast is er een mogelijk risico op verzilting van het watervoerende pakket door veelvuldige doorboring van waterkerende lagen en bij onzorgvuldige afdichting.
Ook voor luchtwarmtepompen gelden enkele kwalitatieve bezwaren die dit relatief goedkope alternatief minder interessant maken. Het geluid dat buitenunits van luchtwarmtepompen produceren is een aandachtspunt, zeker waar het dorp een dichtbebouwd én landelijk karakter heeft. In meer stedelijke omgeving is het geluid van dergelijke compressors minder opvallend aanwezig.

Laag- en hoog temperatuur warmtenet meest interessante collectieve opties

Van de collectieve systemen zijn het laagtemperatuur (LT) en het hoog temperatuur (HT) warmtenet het meest gunstige alternatief voor Gouderak. Het LT-net heeft een lagere BAK, maar een hogere TCO en voor het HT-net geldt dit precies andersom. Dat betekent dat het HT-net qua maatschappelijke kosten voordeliger is. Het heeft echter wel de minste CO_2-reductie. Mogelijk kunnen woningen met minder ingrijpende isolatiemaatregelen en zonder grote investeringen in lage temperatuur afgiftesystemen al voldoende verwarmd worden. Daarmee zouden de totale maatschappelijke kosten en kosten voor bewoners afnemen. Een woningschouw van specifieke referentiewoningen in Gouderak zou inzicht in kunnen geven in hoeverre dit voor Gouderak geldt.

Zonder bekostiging van de energieconcepten zijn de alternatieve energieconcepten echter niet rendabel. Dat betekent dat de investeringen zich gemiddeld genomen niet binnen de beoogde levensduur (30 jaar) terugverdienen, uitgaande van de huidige prijzen voor energie.

Afbeelding 4.1 Total Cost of Ownership energiesystemen, inclusief investeringen in isolatie, ventilatie en LT-radiators (per gemiddelde woning) bij 3 % per jaar stijgende gas- en elektriciteitsprijs.



5

CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

De gemeente Krimpenerwaard heeft gevraagd naar de technisch-financiële mogelijkheden voor Thermische Energie uit oppervlaktewater (TEO) middels warmteonttrekking uit gemaal Verdoold. De mogelijkheden zijn vergeleken met de individuele warmteopties. Uit het onderzoek volgen een aantal conclusies.

Conclusies omtrent inzet van gemaal Verdoold met een WKO.

Op basis van het uitgevoerde haalbaarheidsonderzoek wordt geconcludeerd dat dit systeem technisch haalbaar is, mits aan strikte voorwaarden wordt voldaan. Daarnaast moet worden geconstateerd dat de lokale bodemopbouw en grondwaterstroming toepassing van een WKO niet ideaal maken.
Het energieconcept is alleen realiseerbaar (1) indien het energiesysteem wordt ontworpen als bivalent energiesysteem (2), indien het derde en vierde watervoerende pakket kunnen worden gecombineerd en (3) indien de regeneratievoorziening zo kan worden vormgeven dat de bodemenergiebalans behouden blijft. De volgende conclusies liggen hieraan ten grondslag:

1 hierdoor heeft elke WKO een beperkte capaciteit en een lager rendement (warmte stroomt weg door de hogere stroomsnelheid). Om het systeem haalbaar en betaalbaar te maken is het daarom noodzakelijk om de te werken met een bivalent systeem. Daarbij voorziet de WKO in de basislast en een gasketel in piekvoorziening. Daarmee voorziet de gasketel naar schatting in circa 70 % van de piekvraag en draagt deze naar schatting 20 % bij aan de invulling van de warmtevraag;
2 om het aantal WKO doubletten tot een acceptabel minimum te beperken moet aangetoond worden dat watervoerende pakket drie en vier feitelijk 1 pakket vormen zonder scheidende grondlaag;
3 in alle gevallen (met/zonder isolatie) is de warmtevraag groter dan de koudevraag en zal door regeneratie de bodemenergiebalans moeten worden gehandhaafd. De regeneratiecapaciteit van warmte uit het gemaal is echter onvoldoende. Mogelijk is deze wel toereikend wanneer meer gelijkmatig wordt gepompt. Voor een regeneratievoorziening op basis van warmte uit oppervlaktewater moet eerst worden aangetoond dat A) het gemaal meer gelijkmatig water kan verpompen en B) dat gegeven een meer constant pompregime de bodemenergiebalans kan worden gehandhaafd. Met slimme aansturing, waarbij warmte direct wordt geleverd uit oppervlaktewater, kan de regeneratie behoefte verder worden beperkt. Daarnaast kan met aparte dag/nacht buffers extra warmte worden onttrokken, opgeslagen en later alsnog worden geïnfiltreerd in de bodem ten einde de bodemenergiebalans te handhaven.

Indien niet aan deze voorwaarden kan worden voldaan zou het energiesysteem te groot uitgevoerd moeten worden om energetisch en financieel interessant te kunnen zijn. Een kleinschaliger bodemenergiesysteem is in dat geval wel denkbaar. Daarmee kan in ieder geval een deel van Gouderak van hernieuwbare energie worden voorzien.

Financiële analyse - systeemvergelijking

Op basis van het uitgevoerde haalbaarheidsonderzoek wordt geconcludeerd dat:

- de collectieve energiesystemen met een warmtenet minder gunstig scoren dan de individuele energie-systemen. Dit is vooral het gevolg van de aanzienlijke meerinvestering die deze alternatieven vergen voor de aanleg van de WKO en warmtenet-infrastructuur, als ook de introductie van een exploitant die warmte en koude tegen commerciële tarieven kan afzetten aan afnemers;
- de eenmalige investering c.q. Bijdrage Aansluitkosten (BAK) substantieel is voor alle varianten. Het ver-schil tussen de beste scores, de LT-variant met koeling en een luchtwarmtepomp, is daarentegen relatief klein. Door de hogere energielasten van bewoners liggen de totale kosten (investering + herinvestering+ jaarlijkse kosten) van collectieve systemen echter hoger dan die van individuele systemen;

- een HT warmtenet minder hoge investering voor isolatiemaatregelen vergt, maar scoort nauwelijks gunstiger dan andere warmtenetvarianten, omdat het gebrek aan isolatie hogere energielasten voor de bewoners laat bestaan.

Algemene analyse - conclusies

Op basis van het uitgevoerde haalbaarheidsonderzoek volgen de volgende algemene conclusies:

- de CO_2 reductie is het grootste bij een bodemwarmtepomp, ook wanneer dit wordt afgezet tegen de kosten van deze variant. Echter, de inpassing van het groot aantal individuele bodemenergiesystemen vormt wel een belangrijk aandachtspunt. Zo bestaat er het risico dat de systemen elkaar nadelig gaan beïnvloeden, met hogere energielasten voor bewoners tot gevolg of verzilting in de ondergrond. Omdat de kern Gouderak geen extreem hoge bouwdichtheid kent zijn hier niet op voorhand problemen te verwachten, maar nadere modellering van bodemeffecten van individuele systemen is nodig om dit aan te tonen;
- de inpassing van lucht/water of water/water warmtepompen is met name qua jaarlijkse kosten het meest voordelig voor bewoners. Wel moet bij grootschalige inpassing van warmtepompen rekening worden gehouden met netverzwaringen (maatschappelijke kosten).

Advies

Geadviseerd wordt om eerst een afweging te maken tussen de inzet op een collectief of individueel systeem. Indien blijkt dat een collectief systeem nog steeds de voorkeur geniet dan ligt het voor de hand om technische haalbaarheid van het beoogde concept (WKO + Gemaal Verdoold) nader vast te stellen. Gelet op de conclusies uit dit rapport onderscheiden wij daartoe twee deelstappen:

1. onderzoek of de regeneratiecapaciteit van het gemaal kan worden vergroot door 1) water meer gelijkmatig te verpompen, 2) door slimme aansturing met directe warmtelevering in de zomer en 3) eventueel met tijdelijke warmteopslag in een dag/nacht buffer;
2. laat een proefboring uitvoeren om daarmee inzicht te krijgen in de bodemopbouw en mogelijkheden om het derde en vierde watervoerend pakket te combineren. Bijkomend voordeel van een proefboring is dat de lokale bodemtemperatuur, grondwatersamenstelling, zoutgehalte etc. gemeten kan worden. Daarmee ontstaat zekerheid over de te verwachten prestaties van de WKO en zekerheid richting de omgevingsdienst wat betreft de onderbouwing van de vergunningsaanvraag.

Vervolgstappen

Mogelijke vervolgstappen voor Gouderak zou kunnen zijn om een warmtenet op diepere bodemwarmte (geothermie) te onderzoeken. Dit is een nog innovatieve technologie en daarmee mogelijk duurder. Een alternatieve meer toegepaste techniek is een warmtenet met zonnecollectoren (mogelijk in combinatie met een technologie als Ecovat), of kleinschaliger warmtenetten met bodemlussen (klein-collectief). Deze opties hebben als eigenschap dat zij niet leunen op de bodemcapaciteit voor warmte- koudeopslag.
Om de kans die het gemaal Verdoold biedt wel te benutten, kan ook overwogen worden om een warmtenet met aquathermie kleinschaliger uit te voeren, voor de woningen en utiliteit nabij het gemaal. Daarmee kan een optimale scope worden onderzocht waarmee een dergelijk net toch mogelijk zou kunnen zijn voor een deel van de kern Gouderak

Bijlagen

BIJLAGE: VERGELIJKING THERMISCHE ONTTREKKINGSCAPACITEIT EN POMPENERGIE

Thermische onttrekkingscapaciteit

De thermische energie die uit één kubieke meter (m^3) water kan worden gehaald door deze met één graad (°C) in temperatuur te verlagen is:

$$E_t = 1.16\ [kWht/(m^3 * \mathrm{K})]$$

De temperatuurdaling over warmtewisselaar (ΔT) is begrensd door de temperatuur van het oppervlaktewater en ligt tussen de -3 en -6 . Daarmee komt de onttrekkingscapaciteit van één kubieke water uit op 3,5 tot 7,0 kWh_{th}/m^3. Voor -3 °C kan de warmtewisselaar kleiner uitgevoerd worden en zodoende gaan we in eerste uit van ΔT van -3 °C en 3,5 kWh_{th}/m^3.

Pompenergie

Het is hierbij goed om te beseffen dat er veel thermische energie uit één m^3 onttrokken kan worden, dan dat er nodig is om het een meter omhoog te pompen:

$$E_h = 0.00273 = \ [kWh/(m^3 * m)]$$

Bij gemaal Verdoold is, uitgaande van ontwerpwerkpunt 0, de statische opvoerhoogte 4,02 m en met nog 0,92 m dynamische verliezen door de instroom en de persleiding komt de manometrische opvoerhoogte op 4,94 m. De pomp doet dit met een efficiëntie van circa 82 %. Het kost dus uitgaande van bovengenoemde opvoerhoogte en rendement 0,013 kWh om een m^3 water te verpompen. Dit is een factor 215 lager dan de thermische onttrekkingscapaciteit van een m^3 bij een ΔT van -3 K. Wel zal het plaatsen van warmtewisselaar extra weerstand toevoegen, waardoor de manometrische opvoerhoogte een aantal centimeter zal toenemen en daarmee het energieverbruik van de pompen

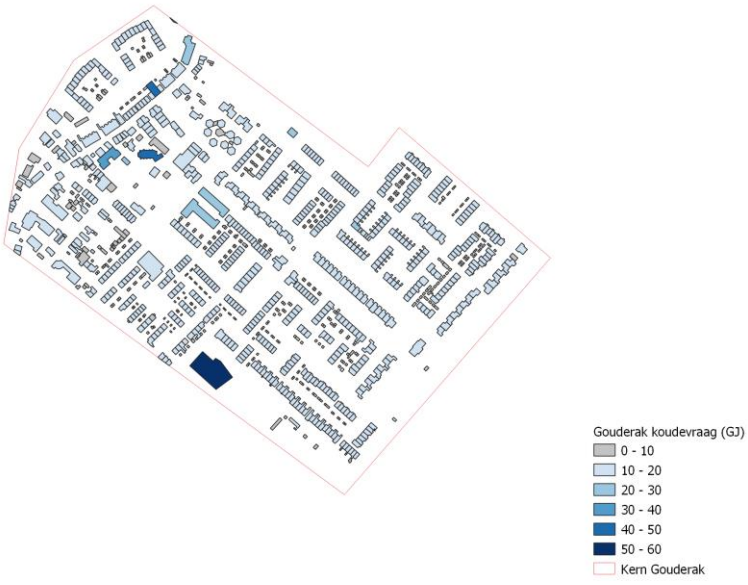
II

BIJLAGE: KAARTEN WARMTE, KOUDE EN VERMOGENSVRAAG

Afbeelding 1 Warmtevraag Gouderak



Afbeelding 2



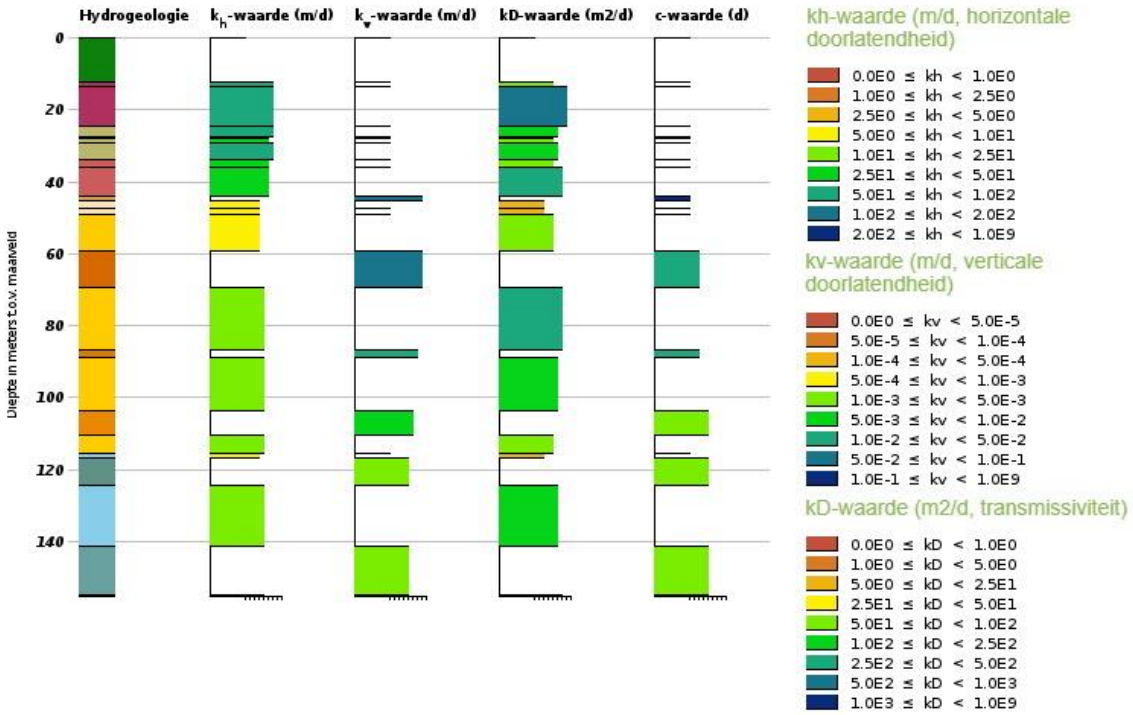
Afbeelding 3 Vermogensvraag Gouderak



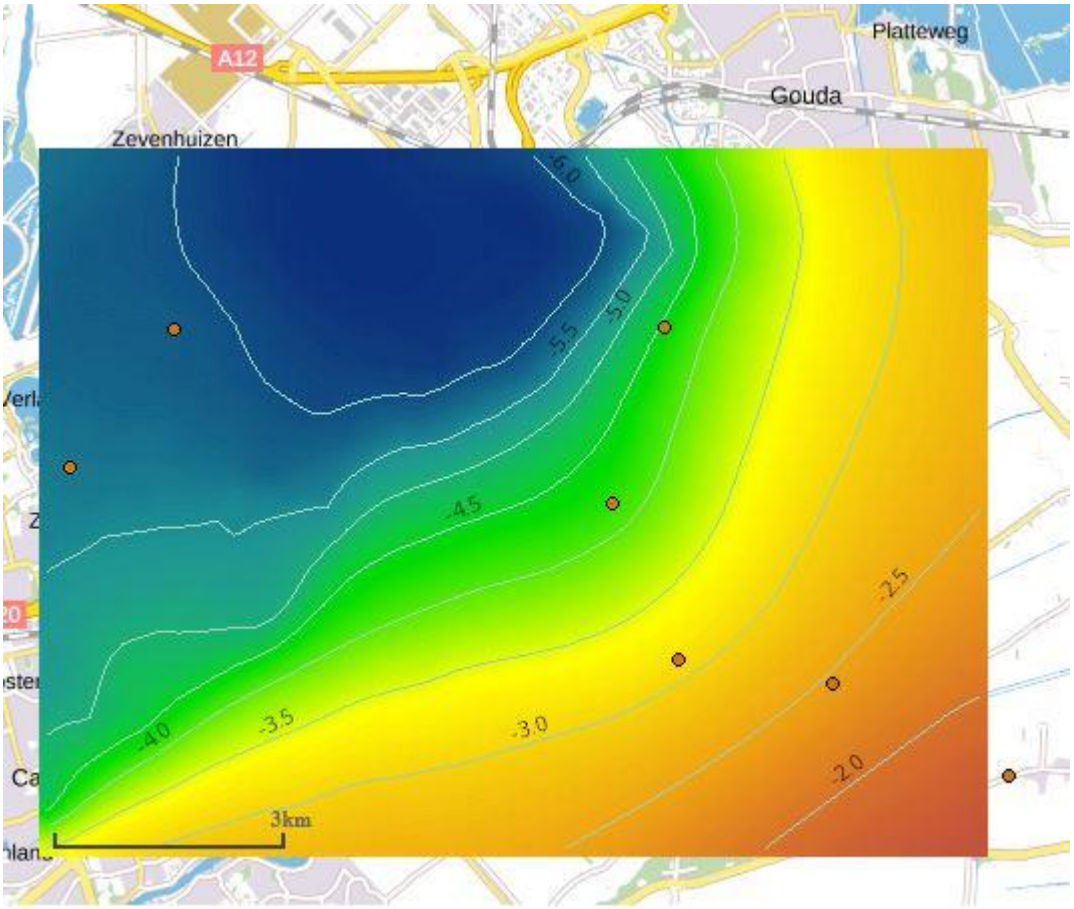
III

BIJLAGE: BODEMOPBOUW

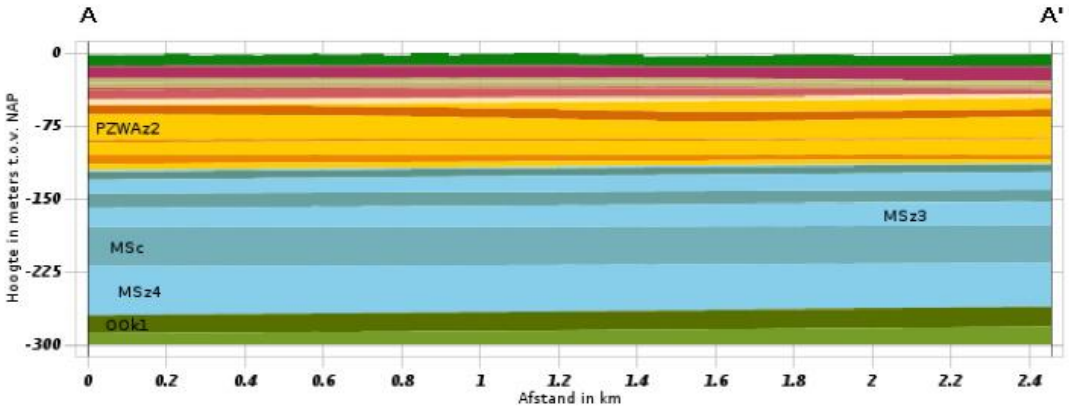
Afbeelding 1 Appelboor van bodemopbouw ter plaatse van gemaal Verdoold (bron: Dinoloket)

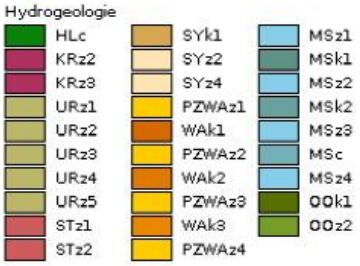


Afbeelding 2 Isohypsen met grondwaterstorming. Gouderak bevindt net onder het meetpunt rechtsboven



Afbeelding 3 Vertikale doorsnede van de bodem (bron Dinoloket)







IV

BIJLAGE: AFWEGINGSTABELLEN

Witteveen + Bos

Categorie	Criterium	Eenheid/ soort	Omschrijving	Energietechniek					
				Collectieve systemen WKO +warmtenet + TEO				Individuele systemen Warmtepomp	
				LT warmte + koude	MT warmte	MT warmte + koude	HT warmte	energie uit bodem	energie uit lucht
Impact op de maatschappij	CO2 uitstoot	ton/jaar	Wat is de jaarlijkse CO2 uitstoot van alle technische systemen binnen het energiesysteem?	197	210	210	302	145	247
	Aanvullende elektriciteitsvraag	MWh/jr	Welke aanvullende elektriciteitsvraag levert het systeem op?	2186	2335	2335	3351	1608	2749
	Geluid	dB(A)	Aan hoeveel decibel zijn bewoners onderhevig als gevolg van een systeem binnen het energiesysteem?	30	30	30	0	30	40
Technische haalbaarheid	Projectrisico's	overleg	Hoe groot is de kans en impact dat er problemen ontstaan bij de aanleg van een energiesysteem?	1. aanleg in bebouwd gebied 2. fasering 3. vezilting	1. aanleg in bebouwd gebied 2. fasering 3. vezilting	1. aanleg in bebouwd gebied 2. fasering 3. vezilting	1. aanleg in bebouwd gebied 2. fasering 3. vezilting	1. capaciteit uitvoerders 2. energieprestatie(norm) 3. verzilting	1. akoustische isolatie 2. geluidsproductie 3. inpassing woning
	Ruimtelijke impact	m2	Hoeveel ruimte kost het systeem aan de oppervlakte?	150	150	150	150	1	2
	Impact op netwerkkosten	euro	Wat zijn de kosten van het netwerk gelet op de vermogensvraag van een energiesysteem?	0	0	0	0	0	0
	inpassing ondergrond	kwalitatief	Is er voldoende potentie in de ondergrond om het systeem zonder interferentie te realiseren?	matig	matig	matig	matig	n.t.b.	n.v.t.
	inpassing regeneratie oppervlaktewater	kwalitatief	is er voldoende potentie voor warmte uit oppervlaktewater voor het systeem?	onzeker of gemaal aan behoefte voldoet	onzeker of gemaal aan behoefte voldoet	onzeker of gemaal aan behoefte voldoet	onzeker of gemaal aan behoefte voldoet	n.v.t.	n.v.t.
Impact op de organisatie	Bouwtijd energiesysteem	maanden	Hoeveel maanden duurt het om het energiesysteem te realiseren?	24	24	24	24	15	15
Impact op organistie gemeente	Beschikken en handhaven interferentie-voorwaarden	kwalitatief	Hoe groot is de impact op de gemeente in het toetsen/handhaven/toezien op het interferentiegebied?	gemeente is toezichthouder	gemeente is toezichthouder	gemeente is toezichthouder	gemeente is toezichthouder	gemeente verwerkt melding en is toezichthouder	n.v.t.
	Controle waterkerende laag	kwalitatief	Controleerbaarheid en intensiteit controle op handhaving waterkerende laag	gemeente is toezichthouder / een gecertificeerd boorbedrijf is een eis	gemeente is toezichthouder / een gecertificeerd boorbedrijf is een eis	gemeente is toezichthouder / een gecertificeerd boorbedrijf is een eis	gemeente is toezichthouder / een gecertificeerd boorbedrijf is een eis	gemeente is toezichthouder / een gecertificeerd boorbedrijf is een eis	n.v.t.
Impact op de exploitant	Impact BAK door 10% minder woningen	%	aansluitrisico: hoeveel euro stijgt de BAK door gederfde inkomsten bij 10% minder woningen?	10%	16%	15%	19%	0	0
	impact BAK door vijf keer langere ontwikkeltermijn	%	vollooprisico: hoeveel euro stijgt de BAK door gederfde inkomsten, wanneer de ontwikkelingstermijn 2 keer zo lang duurt?	3%	2%	3%	2%	0	0
Impact op de bewoner	kosten woningaanpassing	mln euro	wat zijn de totale kosten voor aanpassingen aan de woning voor het systeem?	6,6	6,6	6,6	0	6,6	6,6
	BAK (excl. subsidies) /investering energiesysteem	euro	Wat is de BAK exclusief subsidies?	26300	32000	32400	28000	18200	12900
	Impact energielasten	euro/jaar	Wat zijn de jaarlijkse kosten voor energie ten behoeve van de warmtevoorziening?	1550	1450	1700	1425	650	1000
	TCO (total cost of ownership)	euro	Hoeveel euro bedraagt de som van direct en indirecte kosten voor de bewoner (energiesysteem) (excl. ISDE)	72400	75400	82800	71000	47800	51300
Totale maatschappelijke kosten	Totale maatschappelijke kosten	mln euro	TCO energiesysteem, woningverbeteringen, netverzwaringskosten (excl. ISDE)	67,1	69,6	75,8	59,4	46,6	49,5
Totaalscore									

Witteveen + Bos

Categorie	Criterium	Eenheid/ soort	Omschrijving	Weight	Energietechniek					
					Collectieve systemen WKO +warmtenet + TEO				Individuele systemen Warmtepomp	
					LT warmte + koude	MT warmte	MT warmte + koude	HT warmte	energie uit bodem	energie uit lucht
Impact op de maatschappij	CO2 uitstoot	ton/jaar	Wat is de jaarlijkse CO2 uitstoot van alle technische systemen binnen het energiesysteem?	2	0,7	0,6	0,6	0,0	1,0	0,3
	Aanvullende elektriciteitsvraag	MWh/jr	Welke aanvullende elektriciteitsvraag levert het systeem op?	2	0,7	0,6	0,6	0,0	1,0	0,3
	Geluid	dB(A)	Aan hoeveel decibel zijn bewoners onderhevig als gevolg van een systeem binnen het energiesysteem?	2	0,3	0,3	0,3	1,0	0,3	0,0
Technische haalbaarheid	Projectrisico's	overleg	Hoe groot is de kans en impact dat er problemen ontstaan bij de aanleg van een energiesysteem?	1	1	1	0,5	1	0	0
	Ruimtelijke impact	m2	Hoeveel ruimte kost het systeem aan de oppervlakte?	1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,5
	Impact op netwerkkosten	euro	Wat zijn de kosten van het netwerk gelet op de vermogensvraag van een energiesysteem?	1	1	1	1	1	1	1
	inpassing ondergrond	kwalitatief	Is er voldoende potentie in de ondergrond om het systeem zonder interferentie te realiseren?	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	1
	inpassing regeneratie oppervlaktewater	kwalitatief	is er voldoende potentie voor warmte uit oppervlaktewater voor het systeem?	1	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1
Impact op de organisatie	Bouwtijd energiesysteem	maanden	Hoeveel maanden duurt het om het energiesysteem te realiseren?	1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0
Impact op organisatie gemeente	Beschikken en handhaven interferentie-voorwaarden	kwalitatief	Hoe groot is de impact op de gemeente in het toetsen/handhaven/toezien op het interferentiegebied?	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0	1
	Controle waterkerende laag	kwalitatief	Controleerbaarheid en intensiteit controle op handhaving waterkerende laag	1	0,5	0,5	0,5	0,5	0	1
Impact op de exploitant	Impact BAK door 10% minder woningen	euro	aansluitrisico: hoeveel euro stijgt de BAK door gederfde inkomsten bij 10% minder woningen?	1	0,5	0,2	0,2	0,0	1,0	1,0
	impact BAK door vijf keer langere ontwikkeltermijn	euro	vollooprisico: hoeveel euro stijgt de BAK door gederfde inkomsten, wanneer de ontwikkelingstermijn 2 keer zo lang duurt?	1	0,2	0,3	0,0	0,3	1,0	1,0
Impact op de bewoner	kosten woningaanpassing	euro	wat zijn de gemiddelde kosten voor aanpassingen aan de woning voor het systeem?	2	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
	BAK (excl. subsidies)	euro	Wat is de BAK exclusief subsidies?	2	0,3	0,0	0,0	0,2	0,7	1,0
	Impact energielasten	euro/jaar	Wat zijn de jaarlijkse kosten voor energie ten behoeve van de warmtevoorziening?	2	0,1	0,2	0,0	0,3	1,0	0,7
	TCO (total cost of ownership)	euro	Hoeveel euro bedraagt de som van direct en indirecte kosten voor de bewoner	2	0,3	0,2	0,0	0,3	1,0	0,9
Totale maatschappelijke kosten	Totale maatschappelijke kosten	mln euro	TCO energiesysteem, woningverbeteringen, netverzwaringskosten (excl. ISDE)	2	0,3	0,2	0,0	0,6	1,0	0,9
Totaalscore					**7,2**	**6,1**	**4,6**	**7,4**	**13,0**	**13,7**

		Collectieve systemen WKO + warmtenet + TEO				Individuele systemen Warmtepomp	
Categorie	**Weging**	**LT warmte + koude**	**MT warmte**	**MT warmte + koude**	**HT warmte**	**energie uit bodem**	**energie uit lucht**
Impact op de maatschappij	2	3,2	2,8	2,8	2,0	4,5	1,4
Technische haalbaarheid	1	2,5	2,5	2,0	2,5	3,3	3,5
Impact op de organisatie	1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0
Impact op organisatie gemeente	1	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	2,0
Impact op de exploitant	1	0,7	0,5	0,2	0,3	20	2,0
Impact op de bewoner	2	1,5	0,9	0,0	3,6	5,5	5,1
Totale maatschappelijke kosten	2	0,6	0,4	0,0	1,1	2,0	1,8
Totale score	-	**9,5**	**8,2**	**6,1**	**10,6**	**18,2**	**16,8**

V

BIJLAGE: UITWERKING CRITERIA

V

BIJLAGE: UITWERKING CRITERIA

V.1 CO_2-uitstoot

Het algemene beeld in deze analyse is dat de CO_2-uitstoot van collectieve energiesystemen hoger ligt dan die van de individuele systemen. De hogere CO_2-uitstoot wordt veroorzaakt door het energieverbruik van de WKO-energiecentrale, welke water rondpompt door de distributieleidingen en de WKO. Voor alle systemen geldt dat de CO_2-uitstoot samenhangt met het elektrische energieverbruik van de respectievelijke energiesystemen.

Het is theoretisch mogelijk om het collectief gebonden elektriciteitsverbruik te verduurzamen met groene stroom, wat een aanvullende CO_2-besparing voor collectieve systemen kan opleveren. Het is echter vanuit voorgenomen beleid vanaf 1 januari 2020 niet toegestaan dit als CO_2-besparing te beschouwen.

Gelet op het voorgenomen beleid en analyse van de Nederlandse elektriciteitsmix is daarom de CO_2-uitstoot berekend aan de hand van de CO_2-uitstoot behorende bij het Nederlandse elektriciteitsnetwerk c.q. de Nederlandse energiemix.

Uitgangspunten

De berekening van de CO_2-uitstoot gebruikt de volgende uitgangspunten:

- de warmte- en koudevraag zijn via het respectievelijke systeemrendementen omgezet in een elektriciteitsverbruik van het netwerk;
- voor de omrekening naar CO_2-uitstoot is een conversiefactor van 0,09 kg CO_2 per kWh_e aangenomen[1], de gemiddelde CO_2-uitstoot behorende bij de Nederlandse energiemix in 2030.

Resultaten

De berekening van de CO_2-uitstoot levert de volgende resultaten op voor de beschouwde systemen (zie Tabel I.1).

Tabel V.1 Berekende resultaten: jaarlijkse CO_2-uitstoot

		Collectieve systemen WKO +warmtenet + TEO				Individuele systemen Warmtepomp	
Criterium	**Eenheid**	**LT warmte + koude**	**MT warmte**	**MT warmte + koude**	**HT warmte**	**energie uit bodem**	**energie uit lucht**
CO_2-uitstoot	ton/jaar (Gouderak)	197	210	210	302	145	247

Genormaliseerde score

Bovenstaande prestaties leveren een volgende score in de MCA op voor de systemen op dit criterium:

[1] PBL, Klimaat en Energieverkenning 2019

Tabel V.2 Genormaliseerde score: jaarlijkse CO_2-uitstoot

Criterium	Collectieve systemen WKO +warmtenet + TEO				Individuele systemen Warmtepomp	
Criterium	LT warmte + koude	MT warmte	MT warmte + koude	HT warmte	energie uit bodem	energie uit lucht
CO_2-uitstoot	0.7	0.6	0.6	0.0	1.0	0.3

V.2 Aanvullende elektriciteitsvraag

De aanvullende elektriciteitsvraag van de energieconcepten bepaalt o.a. de CO_2-uitstoot, operationele kosten van de systemen en daarmee ook de energielasten voor bewoners.

Bij de bepaling van de elektriciteitsvraag zijn de volgende uitgangspunten aangehouden voor de prestaties van de energiesystemen (Tabel I.3).

Tabel V.3 Uitgangspunten bepaling elektriciteitsvraag energiesystemen (Seasonal Performance Factors, SPF)

		Collectieve systemen WKO +warmtenet + TEO				Individuele systemen Warmtepomp	
Parameter	**Eenheid**	**LT warmte + koude**	**MT warmte**	**MT warmte + koude**	**HT warmte**	**energie uit bodem**	**energie uit lucht**
SPF ruimteverwarming	-	4.5	3	3	2,5	6	4.5
SPF warm tapwater	-	3	3	3	2,5	4	3
SPF koude	-	20	20 (regeneratie)	20	20	54	4

Dat levert de volgende resultaten op voor de aanvullende elektriciteitsvraag van de energieconcepten. Merk op dat bij het HT-warmtenet geen isolatie tot energielabel B is meegerekend.

Tabel V.4 Berekende resultaten: aanvullende jaarlijkse elektriciteitsvraag

		Collectieve systemen WKO +warmtenet + TEO				Individuele systemen Warmtepomp	
Criterium	**Eenheid**	**LT warmte + koude**	**MT warmte**	**MT warmte + koude**	**HT warmte**	**energie uit bodem**	**energie uit lucht**
Elektriciteitsvraag	MWh/jr	2186	2335	2335	3351	1608	2749

Genormaliseerde score

Bovenstaande prestaties leveren een volgende score in de MCA op voor de systemen op dit criterium:

Tabel V.5 Genormaliseerde score: aanvullende jaarlijkse elektriciteitsvraag

Criterium	Collectieve systemen WKO +warmtenet + TEO				Individuele systemen Warmtepomp	
Criterium	LT warmte + koude	MT warmte	MT warmte + koude	HT warmte	energie uit bodem	energie uit lucht
Elektriciteitsvraag	0.7	0.6	0.6	0.0	1.0	0.3

1 = beste systeem. 0 = slechtste systeem genormaliseerd.

V.3 Geluid

Om het geluidsniveau van energiesystemen te vergelijken is het geluidsniveau dat zij produceren vergeleken met de geldende normen op dat gebied.

Geldende normen

Het ministerie van BZK is voornemens het geluidsniveau van warmtepompen als eis in het Bouwbesluit 2012 op te nemen[1]. In het voorstel zijn de volgende normeringen genoemd:

- buiten, op de erfgrens, geldt een geluidsniveau van maximaal 40 dB;
- binnen een woning geldt een geluidniveau van maximaal 30 dB.

Gegeven deze normering is de verwachting dat de bewoners geen hinder zullen ervaren van de geluidsproductie van de warmtepompen. De productie van 40 dB is het laagste niveau van omgevingsgeluid dat normaliter in een stad is te horen. Een geluidseis van 30 dB is vergelijkbaar met het omgevingsgeluid in landelijk gebied of gefluister op een aantal meter afstand[2].

Geluidsproductie

Een inventarisatie van de geluidsproductie van verschillende warmtepompen in de markt laat zien dat de meeste warmtepompen meer geluid produceren dan de norm toelaat en dat aanvullende geluidsisolatie nodig is:

- binnenunit van waterwarmtepomp: 39-45 dB
- binnenunit van luchtwarmtepomp: 35-47 dB
- buitenunit van luchtwarmtepomp: 55-57 dB

Meerkosten en impact op systeemkeuze

Gegeven dat de norm nagevolgd zal moeten worden is voor alle binnen en buiten units een zekere mate van isolatie noodzakelijk. Daarmee vervalt de onderscheidende factor tussen de systemen. De meerkosten van een isolatiekast voor de binnenuit worden voor elk systeem gelijk verondersteld. De meerkosten van een isolatiekast voor de buitenunit worden geraamd op EUR 2.000 exclusief omzetbelasting[3].

Kosten isolatiekast in TCO

De meerkosten van een isolatiekast voor de buitenunit van een luchtwarmtepomp (circa EUR 2.000)[4] zijn opgenomen in de total cost of ownership (TCO) van een luchtwarmtepomp.

---

1 Onderzoek geluideisen buitenopgestelde warmtepompen en airco's in bouwregelgeving, LBP|SIGHT (25 oktober 2018).

2 Sound Intensity and Sound Level, Lumen Learning (n.d.). Link: https://courses.lumenlearning.com/physics/chapter/17-3-sound-intensity-and-sound-level/

3 Effectmeting wijziging Bouwbesluit 2012 (zelfsluitende deuren, warmtepompen, veiligheidsafstanden): https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2019/01/31/effectmeting-wijziging-bouwbesluit-2012

4 Effectmeting wijziging Bouwbesluit 2012 (zelfsluitende deuren, warmtepompen, veiligheidsafstanden): https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2019/01/31/effectmeting-wijziging-bouwbesluit-2012

Twijfels aan haalbaarheid normen

In een recente reactie op de voorgestelde normen hebben branchevertegenwoordigers van warmtepompproducenten kenbaar gemaakt dat zij de voorgestelde geluidsnormen te streng en zelfs onhaalbaar achten[1]. Hiermee is het mogelijk dat de voorgestelde eisen niet behaald zullen gaan worden. Dit is meegenomen als een projectrisico voor lucht-water warmtepompen (zie criterium projectrisico's).

Gehanteerde cijfers

De gehanteerde scores voor de geluidsproductie van de energiesystemen zijn gelijk aan de geluidsnormen (dus 30 dB en 40 dB voor respectievelijk de binnen- en de buitenunit). Dit omdat alle warmtepompsystemen aan de bron meer geluid maken dan de norm toelaat. Daarom is uitgegaan van een isolatiekast die het geluid terugbrengt naar de norm.

De scores in tabel I.6 representeren dus de maximale geluidsproductie van het energiesysteem rond de woning.

Tabel V.6 Vastgestelde resultaten: geluid

		Collectieve systemen WKO +warmtenet + TEO				Individuele systemen Warmtepomp	
Criterium	**Eenheid**	**LT warmte + koude**	**MT warmte**	**MT warmte + koude**	**HT warmte**	**energie uit bodem**	**energie uit lucht**
Geluidsproductie	dB(A)	30	30	30	0	30	40

Genormaliseerde score

Bovenstaande prestaties leveren een volgende score in de MCA op voor de systemen op dit criterium:

Tabel V.7 Genormaliseerde score: geluid

		Collectieve systemen WKO +warmtenet + TEO				Individuele systemen Warmtepomp	
Criterium	**Eenheid**	**LT warmte + koude**	**MT warmte**	**MT warmte + koude**	**HT warmte**	**energie uit bodem**	**energie uit lucht**
Geluid	-	0.3	0.3	0.3	1.0	0.3	0.0

1 = beste systeem. 0 = slechtste systeem genormaliseerd.

V.4 Projectrisico's

Een top-3 van projectrisico's waarbij: risico = kans × gevolg.

Onderstaande tabel (tabel I.8) geeft op basis van expert judgement per energieconcept een top-3 van projectrisico's. De kans en gevolg van het risico zijn aangeduid met klein (groen), aanwezig (oranje) of groot (rood).

[1] 'Geluidsnorm warmtepompen niet haalbaar' (Cobouw, 6 maart 2019): https://www.cobouw.nl/woningbouw/nieuws/2019/03/geluidsnorm-warmtepompen-niet-haalbaar-101270496

Tabel **Fout! Gebruik het tabblad Start om Heading 8 toe te passen op de tekst die u hier wilt weergeven.**.8 Top 3 projectrisico's per energieconcept waarbij risico = kans × gevolg

	Collectieve systemen WKO +warmtenet + TEO				Individuele systemen Warmtepomp	
	LT warmte + koude	**MT warmte**	**MT warmte + koude**	**HT warmte**	**energie uit bodem**	**energie uit lucht**
1	meerkosten aanleg warmtenet door archeologische vondsten, onderheiing	meerkosten aanleg warmtenet door archeologische vondsten, onderheiing	meerkosten aanleg warmtenet door archeologische vondsten, onderheiing	meerkosten aanleg warmtenet door archeologische vondsten, onderheiing	capaciteit of beschikbaarheid boorbedrijf	meerkosten akoestische isolatie t.g.v. strengere, moeilijke haalbare geluidseisen
2	vertraagde fasering aanleg en aansluiting	vertraagde fasering aanleg en aansluiting	vertraagde fasering aanleg en aansluiting	vertraagde fasering aanleg en aansluiting	ontwerp bodemlussen en locatie van boringen hangt direct samen met gestelde randvoorwaarden vanuit interferentie. Organische ontwikkeling individuele systemen kan efficiëntie verlagen	hogere geluidsproductie t.g.v. hogere warmtevraag door tekortschieten van bouwkwaliteit, geluidsisolatie
3	verzilting door slechte afdichting van waterkerende aardlagen	verzilting door slechte afdichting van waterkerende aardlagen	verzilting door slechte afdichting van waterkerende aardlagen	verzilting door slechte afdichting van waterkerende aardlagen	verzilting door slechte afdichting van waterkerende aardlagen	inpassing in/op de woning van binnen-unit en buiten-unit

risico groot
risico aanwezig
risico klein

Voor collectieve systemen worden minder, grotere bronnen gerealiseerd, waarmee de beschikbaarheid van boorbedrijven minder kritiek risico is. Een tekort aan boorbedrijven voor bodemlussen kan een gefaseerde overgang van de wijk op aardgasloze warmtevoorziening betekenen, maar individuele systemen bieden die flexibiliteit wel.

Genormaliseerde score

Een inschatting van de projectrisico's in tabel I.8 levert de volgende genormaliseerde scores op voor de energieconcepten.

Tabel V.9 Genormaliseerde score: projectrisico's

		Collectieve systemen WKO +warmtenet + TEO				Individuele systemen Warmtepomp	
Criterium	**Eenheid**	**LT warmte + koude**	**MT warmte**	**MT warmte + koude**	**HT warmte**	**energie uit bodem**	**energie uit lucht**
Projectrisico's	-	1	1	0.5	1	0	0

1 = gunstigste systeem. 0 = minst gunstige systeem genormaliseerd.

V.5 Ruimtelijke impact

Het ruimtebeslag van een energieconcept in openbaar gebied en in een individuele woning uitgedrukt in vierkante meter.

In onderstaande tabel (zie tabel I.10) zijn de ruimtereserveringen per beschouwd energieconcept uiteengezet.

Tabel V.10 Vastgestelde resultaten: ruimtelijke impact (oppervlakte)

		Collectieve systemen WKO +warmtenet + TEO				Individuele systemen Warmtepomp	
Criterium	**Eenheid**	**LT warmte + koude**	**MT warmte**	**MT warmte + koude**	**HT warmte**	**energie uit bodem**	**energie uit lucht**
Ruimtelijke impact	m^2	150 (+1)	150	150	150	1	2

Voor de collectieve systemen is ruimte in openbaar gebied voor een technische ruimte nodig met daarin warmtewisselaars, pompapparatuur en eventuele warmtepompen in het geval van een MT of HT warmtenet. Voor het LT-net is in elke woning ook een warmtepomp nodig om de aflevertemperatuur van warmte op te waarderen.

Voor de individuele systemen is per woning een ruimtereservering nodig voor de warmtepompen bij woningen. In het geval van een lucht-warmtepomp is ook aanvullende ruimte gerekend voor de buiten-unit van de warmtepomp. Voor sommige woningen kan dit een knelpunt opleveren, bijvoorbeeld als onvoldoende buitenruimte of vrije gevelruimte beschikbaar is.

Genormaliseerde score
Bovenstaande prestaties leveren een volgende score in de MCA op voor de systemen op dit criterium:

Tabel V.11 Genormaliseerde score: ruimtelijke impact

		Collectieve systemen WKO +warmtenet + TEO				Individuele systemen Warmtepomp	
Criterium	**Eenheid**	**LT warmte + koude**	**MT warmte**	**MT warmte + koude**	**HT warmte**	**energie uit bodem**	**energie uit lucht**
Ruimtelijke impact	-	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.5

V.6 Impact op netwerkkosten

Netbeheerder Stedin stelt dat geen aanvullende kosten voor netverzwaring kunnen worden toegekend aan de verschillende energieconcepten. Dat resulteert in de volgende resultaten voor de energieconcepten (tabel i.12).

Tabel V.12 Vastgestelde resultaten: impact op netwerkkosten

		Collectieve systemen WKO +warmtenet + TEO				Individuele systemen Warmtepomp	
Criterium	**Eenheid**	**LT warmte + koude**	**MT warmte**	**MT warmte + koude**	**HT warmte**	**energie uit bodem**	**energie uit lucht**
Impact op netwerkkosten	EUR	0	0	0	0	0	0

Genormaliseerde score

Bovenstaande prestaties leveren een volgende score in de MCA op voor de systemen op dit criterium:

Tabel V.13 Genormaliseerde score: impact op netwerkkosten

		Collectieve systemen WKO +warmtenet + TEO				Individuele systemen Warmtepomp	
Criterium	**Eenheid**	**LT warmte + koude**	**MT warmte**	**MT warmte + koude**	**HT warmte**	**energie uit bodem**	**energie uit lucht**
Impact op netwerkkosten	-	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

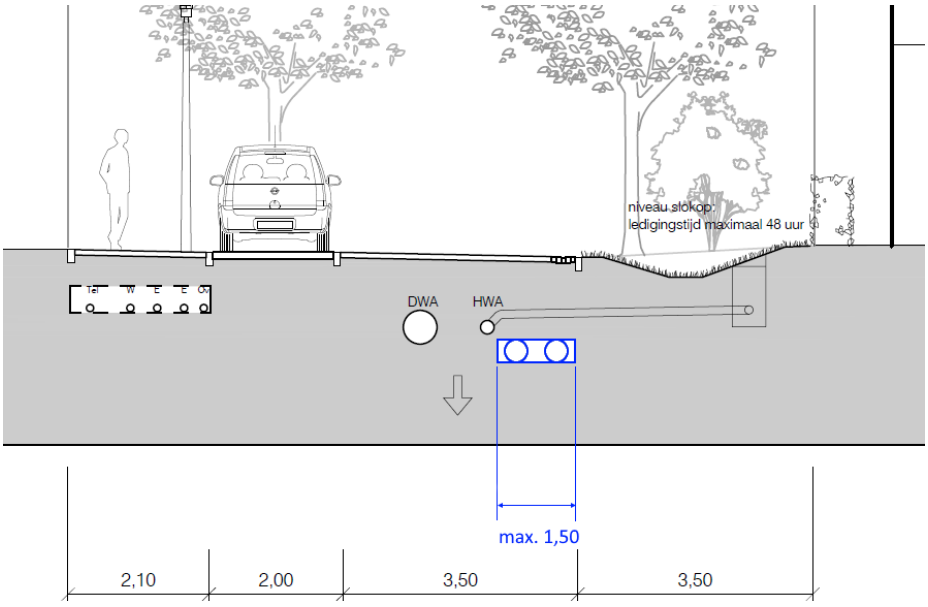
Alle systemen scoren even gunstig.
Mochten er met de opkomst van elektrische mobiliteit toch aanvullende netwerkkosten kosten ontstaan, dan zal een deel van deze kosten voor rekening van deze parallelle ontwikkeling komen.

V.7 Inpassing ondergrond

Dit criterium beschrijft het ondergrondse ruimtebeslag van de energiesystemen. Hierbij worden de inpassing in het straatprofiel van warmtenetinfrastructuur en de ondergrondse impact van bodemlussen kwalitatief beschouwd. De beperkte potentie van de ondergrond voor WKO heeft ook gevolgen voor de inpassing, en wordt ook in dit criterium gereflecteerd.

Afbeelding I.1 toont het indicatieve ruimtebeslag van de warmtenetinfrastructuur in het straatprofiel. Een conventioneel warmtenet heeft twee hoofdleidingen (een voor aanvoer, een voor retour). Daarbij komen aansluitleidingen naar de woningen. Hier kunnen mogelijk knelpunten ontstaan. Voor het MT-warmtenet met koeling zijn vier pijpleidingen nodig, wat een extra ruimtebeslag betekent.

Afbeelding V.1 Indicatief ruimtebeslag warmtenet (tweepijps)



Tabel V.14 Vastgestelde resultaten: inpassing ondergrond

		Collectieve systemen WKO +warmtenet + TEO				Individuele systemen Warmtepomp	
Criterium	**Eenheid**	**LT warmte + koude**	**MT warmte**	**MT warmte + koude**	**HT warmte**	**energie uit bodem**	**energie uit lucht**
Inpassing ondergrond	kwalitatief	warmtenet kan tot knelpunten leiden in straatprofiel, matige potentie ondergrond	warmtenet kan tot knelpunten leiden in straatprofiel, matige potentie ondergrond	Vierpijps uitgevoerd warmtenet kan sneller tot knelpunten leiden in straatprofiel, matige potentie ondergrond	Geïsoleerd warmtenet kan tot knelpunten leiden in straatprofiel, matige potentie ondergrond	Grootschalige aanleg van bodemlussen kan tot interferentie leiden	Geen knelpunten ondergrondse inpassing

Genormaliseerde score

Bovenstaande prestaties leveren een volgende score in de MCA op voor de systemen op dit criterium:

Tabel V.15 Genormaliseerde score: impact ondergrond

		Collectieve systemen WKO +warmtenet + TEO				Individuele systemen Warmtepomp	
Criterium	**Eenheid**	**LT warmte + koude**	**MT warmte**	**MT warmte + koude**	**HT warmte**	**energie uit bodem**	**energie uit lucht**
Inpassing ondergrond	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	1

Een vierpijps warmtenet levert aanvullende uitdagingen op door het grotere ruimtebeslag in bestaand gebied. Bodemlussen behoeven geen warmtenet-infrastructuur, maar hebben desondanks een ruimtebeslag in de ondergrond in de vorm van thermische straal (invloedssfeer). Gecoördineerde aanleg van bodemlussen

(bijvoorbeeld middels een bodeminterferentieplan) is nodig om te voorkomen dat systemen elkaar ondergronds beïnvloeden en efficiëntie van energievoorziening aangetast wordt.

V.8 inpassing regeneratie oppervlaktewater

Hoofdstuk 3 beschrijft dat er mogelijk onvoldoende potentie is voor regeneratie door middel van oppervlaktewater en gemaal Verdoold. Technisch is er geen bezwaar, maar als gevolg van de beperkte capaciteit van de ondergrond en de beperkte draaiuren van het gemaal kunnen knelpunten ontstaan.

Tabel V.16 Vastgestelde resultaten: inpassing regeneratie met oppervlaktewater

		Collectieve systemen WKO +warmtenet + TEO				Individuele systemen Warmtepomp	
Criterium	**Eenheid**	**LT warmte + koude**	**MT warmte**	**MT warmte + koude**	**HT warmte**	**energie uit bodem**	**energie uit lucht**
Inpassing regeneratie met oppervlaktewater	kwalitatief	onzeker of gemaal aan behoefte voldoet	onzeker of gemaal aan behoefte voldoet	onzeker of gemaal aan behoefte voldoet	onzeker of gemaal aan behoefte voldoet	n.v.t.	n.v.t.

Genormaliseerde score

Bovenstaande prestaties leveren een volgende score in de MCA op voor de systemen op dit criterium:

Tabel V.17 Genormaliseerde score: inpassing regeneratie met oppervlaktewater

		Collectieve systemen WKO +warmtenet + TEO				Individuele systemen Warmtepomp	
Criterium	**Eenheid**	**LT warmte + koude**	**MT warmte**	**MT warmte + koude**	**HT warmte**	**energie uit bodem**	**energie uit lucht**
Inpassing regeneratie met oppervlaktewater	-	0,5	0,5	0,5	0,5	1.0	1.0

Als gevolg van mogelijk tekort aan capaciteit van de ondergrond in relatie tot de beschikbare hoeveelheid regeneratie-uren scoren collectieve systemen minder gunstig op dit criterium.

V.9 Bouwtijd energiesysteem

Het aantal maanden dat nodig is om een energiesysteem te realiseren.

Tussen het keuzemoment en het moment van inbedrijfsnemen zitten grofweg de volgende stappen: aanbesteden/contracteren, ontwerp en realisatie.
Het tijdspad van een aanbesteding is 6 maanden verondersteld; voor contracteren is dat 3 maanden.

Tabel **Fout! Gebruik het tabblad Start om Heading 8 toe te passen op de tekst die u hier wilt weergeven.**.18 Overzicht bouwtijden

systeem	**Indicatie bouwtijd**	**Toelichting**
collectieve WKO + TEO		vergunningen en effectstudies: 3 maanden; aanbesteden of contracteren: respectievelijk 6 of 3 maanden;

systeem	Indicatie bouwtijd	Toelichting
		ontwerp: 6 maanden; realisatie: 9 maanden;
- collectieve WKO LT + TEO	21 - 24 maanden	"
- collectieve WKO MT + TEO	21 - 24 maanden	"
- collectieve WKO MT + koeling + TEO	21 - 24 maanden	"
- collectieve WKO HT + TEO	21 - 24 maanden	"
individueel systeem - bodemlussen	12 - 15 maanden	aanbesteden of contracteren: respectievelijk 6 of 3 maanden; ontwerp: 6 maanden; realisatie: 9 maanden;
individueel systeem lucht/waterwarmtepompen	12 - 15 maanden	idem als bij water/water warmtepompen

Naast de bouwtijd van het energiesysteem zelf, zijn voor alle systemen behalve het HT-warmtenet bovendien (ingrijpende) woningaanpassingen nodig. Deze zijn niet inbegrepen in de gestelde termijnen. De planning en realisatie hiervan kan tot aanvullende bouwtijd leiden voor deze systemen, omdat de woningaanpassingen een randvoorwaarde zijn voor het functioneren van de energiesystemen.

Genormaliseerde score

Bovenstaande prestaties leveren een volgende score in de MCA op voor de systemen op dit criterium:

Tabel V.19 Genormaliseerde score: bouwtijd energiesystemen

		Collectieve systemen WKO +warmtenet + TEO				Individuele systemen Warmtepomp	
Criterium	Eenheid	LT warmte + koude	MT warmte	MT warmte + koude	HT warmte	energie uit bodem	energie uit lucht
Bouwtijd energiesysteem	-	0	0	0	0	1	1

V.10 Beschikken en handhaven interferentievoorwaarden

Hoe groot is de impact op de gemeente in het toetsen/handhaven/toezien op een interferentiegebied?

Hier ligt een taak voor de gemeente. De taken van de gemeente staan beschreven in de Handhaving UitvoeringsMethode (HUM) deel 1 en deel 2 van het SIKB. Samengevat komt dit voor interferentiegebieden op het volgende neer:

- zowel de provincie als de gemeente kunnen interferentiegebieden aanwijzen;
- de gemeentelijke taken zijn met name toegespitst op gesloten bodemenergiesystemen. Voor open bodemenergiesystemen is de provincie bevoegd gezag;
- een samenwerking tussen toezichthouders van de provincie en de gemeente is van belang als gesloten bodemenergiesystemen (gemeente bevoegd) leidt tot interferentie met een open bodemenergiesysteem (provincie bevoegd);
- de gemeente heeft als taak om toezicht te houden op naleven van wettelijke verplichtingen en opsporen van strafbare feiten in het geval van gesloten systemen. Ook het opleggen van bestuurlijke sancties is een taak van de gemeente;

Samengevat levert dat de volgende scores op voor de energiesystemen (zie tabel I.19). De lucht/water warmtepompen hebben geen bodemcomponent en scoren dus positief als het aankomt op de impact op de

gemeentelijke organisatie in dat aspect. Bodemlussen scoren minder gunstig dan collectieve systemen omdat de gemeente het bevoegd gezag is en er meer boring mee gemoeid zijn.

Genormaliseerde score
Bovenstaande beschouwing levert een volgende score in de MCA op voor de systemen op dit criterium:

Tabel V.20 Genormaliseerde scores: beschikken en handhaven interferentievoorwaarden

		Collectieve systemen WKO +warmtenet + TEO				Individuele systemen Warmtepomp	
Criterium	**Eenheid**	**LT warmte + koude**	**MT warmte**	**MT warmte + koude**	**HT warmte**	**energie uit bodem**	**energie uit lucht**
Beschikken en handhaven interferentievoorwaarden	kwalitatief	0.5	0.5	0.5	0.5	0	1

V.11 Controle waterkerende laag

Dit criterium beschrijft de controleerbaarheid en intensiteit van controle op de handhaving van een goede waterkerende laag.

Het is de verantwoordelijkheid van de gemeente (gesloten systemen en i.s.m. provincie bij open systemen) om toezicht te houden op de naleving van wettelijke verplichtingen en het opsporen van strafbare feiten. De verantwoordelijkheden van de gemeente staan beschreven in de HUM deel 2 van het SIKB. Doorgaans hebben gemeente en provincie de taken van toezichthouden en handhaven (gedeeltelijk) bij de omgevingsdienst neergelegd.

Bij aanleg van de open en gesloten bodemenergiesystemen is een bronboorbedrijf verplicht om in bezit te zijn van de juiste BRL-certificering en te werken volgens het protocol mechanisch boren. Het bronboorbedrijf heeft tevens een auditplicht die moet stimuleren conform de regels te werken.

Genormaliseerde score
Voor de verschillende systemen is een genormaliseerde score vastgesteld (zie tabel I.21).

Tabel V.21 Genormaliseerde scores: controle waterkerende laag

		Collectieve systemen WKO +warmtenet + TEO				Individuele systemen Warmtepomp	
Criterium	**Eenheid**	**LT warmte + koude**	**MT warmte**	**MT warmte + koude**	**HT warmte**	**energie uit bodem**	**energie uit lucht**
Controle waterkerende laag	kwalitatief	0.5	0.5	0.5	0.5	0	1

De bodemlussen scoren daarbij lager dan de WKO, omdat hier de gemeente het bevoegd gezag is (al kan de uitvoering bij de omgevingsdienst zijn gelegd) en sprake is van een groter aantal doorboringen. De lucht/water warmtepompen hebben geen bodemzijdig element en scoren daarom gunstig op dit criterium.

V.12 Impact BAK door 10% minder woningen

Dit criterium beschrijft het aansluitrisico: hoeveel stijgt de BAK door gederfde inkomsten bij 10% minder aangesloten woningen?

Een daling in het aantal aangesloten woningen in Gouderak de financiële aantrekkelijkheid van het energiesysteem beïnvloeden. Dit is met name het geval voor collectieve energiesystemen, waar een grote voorinvestering en infrastructuur voor nodig is.

Dit criterium zet de gevoeligheid van de BAK op een rij voor 10 % vermindering van het aantal aan te sluiten (zie tabel I.22). Daarbij is aangenomen dat de voorinvestering gelijk blijft. Voor individuele systemen is geen stijging aangenomen, omdat deze volledig schaalbaar zijn naar het aantal woningen door het ontbreken van collectieve infrastructuur.

Tabel V.22 Vastgestelde resultaten: impact BAK door 10% minder woningen

		Collectieve systemen WKO +warmtenet + TEO				Individuele systemen Warmtepomp	
Criterium	**Eenheid**	**LT warmte + koude**	**MT warmte**	**MT warmte + koude**	**HT warmte**	**energie uit bodem**	**energie uit lucht**
Impact BAK door 10% minder woningen	%	10%	16%	15%	19%	n.v.t.	n.v.t.

Een verlaging van het aantal aangesloten woningen resulteert in een aanzienlijke stijging van de benodigde Bijdrage aansluitkosten voor de overgebleven woningen.

Genormaliseerde score

Bovenstaande prestaties leveren een volgende score in de MCA op voor de systemen op dit criterium:

Tabel V.23 Genormaliseerde score: impact BAK door 10% minder woningen

		Collectieve systemen WKO +warmtenet + TEO				Individuele systemen Warmtepomp	
Criterium	**Eenheid**	**LT warmte + koude**	**MT warmte**	**MT warmte + koude**	**HT warmte**	**energie uit bodem**	**energie uit lucht**
Impact BAK door 10% minder woningen	-	0,5	0,2	0,2	0	1	1

De individuele systemen scoren gunstig, omdat deze niet gevoelig zijn voor het aansluitrisico.

V.13 Impact BAK door vijf keer langere ontwikkeltermijn

Een vertraging van de aansluiting van woningen en daarmee de levering van warmte aan Gouderak kan de financiële aantrekkelijkheid van het energiesysteem beïnvloeden. Dit is met name het geval voor collectieve energiesystemen, waar een grote voorinvestering en infrastructuur voor nodig is.

Dit criterium zet de impact op de BAK op een rij van een vijf keer langere ontwikkeltermijn (5 jaar in plaats van 1 jaar aanleg) van volledige exploitatie van het warmtenet (zie tabel I.24). Daarbij is aangenomen dat de voorinvestering gelijk blijft. Voor individuele systemen is geen stijging aangenomen, omdat deze volledig schaalbaar zijn naar het aantal woningen door het ontbreken van collectieve infrastructuur.

Tabel V.24 Vastgestelde resultaten: impact BAK door vijf keer langere ontwikkeltermijn

		Collectieve systemen WKO +warmtenet + TEO				Individuele systemen Warmtepomp	
Criterium	**Eenheid**	**LT warmte + koude**	**MT warmte**	**MT warmte + koude**	**HT warmte**	**energie uit bodem**	**energie uit lucht**
Impact BAK door vijf keer langere ontwikkeltermijn	%	3 %	2 %	3 %	2 %	n.v.t.	n.v.t.

De stapsgewijze aansluiting van woningen over vijf jaar in plaats van een heeft een beperkte impact op de bijdrage aansluitkosten.

Genormaliseerde score

Bovenstaande prestaties leveren een volgende score in de MCA op voor de systemen op dit criterium:

Tabel V.25 Genormaliseerde score: impact BAK door vijf keer langere ontwikkeltermijn

		Collectieve systemen WKO +warmtenet + TEO				Individuele systemen Warmtepomp	
Criterium	**Eenheid**	**LT warmte + koude**	**MT warmte**	**MT warmte + koude**	**HT warmte**	**energie uit bodem**	**energie uit lucht**
Impact BAK door vijf keer langere ontwikkeltermijn	-	0,2	0,3	0	0,3	1	1

De individuele systemen scoren gunstig, omdat deze niet gevoelig zijn voor een vertraagde aanleg.

V.14 Kosten woningaanpassing

Het criterium *kosten woningaanpassing* beschrijft de totale geschatte kosten van aanpassingen aan de woningen in Gouderak. Dit omvat de volgende ingrepen:

- aanpassingen aan de woningschil (gevels, dak, vloer, ramen) voor isolatie tot energielabel B;
- kosten van lage temperatuur afgiftesystemen (vloerverwarming, lage temperatuurradiatoren).

Deze kosten zijn bepaald met behulp van het Vesta MAIS-model voor alle woningen in de kern Gouderak, en vervolgens opgeteld. De kosten voor utiliteit zijn hierbij niet inbegrepen.

De totale kosten voor isolatie naar energielabel B zijn geschat op ca. 5 miljoen EUR, gemiddeld zo'n 6.000 EUR per woning (verblijfsobject).
De totale kosten voor lage temperatuurverwarming zijn geschat op ca. 1,6 miljoen EUR, zo'n 1.900 EUR per woning (verblijfsobject).

Tabel V.26 Vastgestelde resultaten: kosten woningaanpassing

		Collectieve systemen WKO +warmtenet + TEO				Individuele systemen Warmtepomp	
Criterium	**Eenheid**	**LT warmte + koude**	**MT warmte**	**MT warmte + koude**	**HT warmte**	**energie uit bodem**	**energie uit lucht**
Kosten woningaanpassing	mln EUR	6.6	6.6	6.6	0	6.6	6.6

Voor het hoge temperatuur warmtenet zijn geen ingrepen aan de gebouwschil en verwarmingsafgiftesystemen nodig.

Genormaliseerde score

Bovenstaande prestaties leveren een volgende score in de MCA op voor de systemen op dit criterium:

Tabel V.27 Genormaliseerde score: kosten woningaanpassing

		Collectieve systemen WKO +warmtenet + TEO				Individuele systemen Warmtepomp	
Criterium	**Eenheid**	**LT warmte + koude**	**MT warmte**	**MT warmte + koude**	**HT warmte**	**energie uit bodem**	**energie uit lucht**
Kosten woningaanpassing	-	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0

V.15 BAK/investering energiesysteem (excl. ISDE subsidie)

De BAK (Bijdrage Aansluitkosten) per woning (verblijfsobject) is bepaald op basis van een financieel model met een exploitant, op basis van de volgende aspecten:
- Investeringskosten en herinvesteringskosten;
- Jaarlijkse operationele kosten (beheer, onderhoud, energielevering);
- Verwachte inkomsten uit warmtelevering aan woningen;
- Verwachte inkomsten uit vastrecht voor levering warmte (en koude waar relevant);
- EIA-subsidie (11 %);
- ISDE-subsidie op warmtepompen is niet meegenomen, omdat deze niet beschikbaar blijft na 2021.

De BAK is berekend op basis van de volgende uitgangspunten:
- Exploitatieperiode: 30 jaar;
- Herinvestering: na 15 jaar;
- Inflatie: 2.0 %;
- Disconteringsvoet: 6.0 %;
- Rentekosten (WACC): 6.0 %;
- Renteopbrengsten: 0.0 %.

De totale project-BAK is berekend als de benodigde som in het eerste jaar om bij de genoemde aannamen na een exploitatietermijn van 30 een Netto Contante Waarde van 0 EUR te bereiken. De project-BAK is vervolgens gelijk verdeeld over de 836 woningequivalenten in Gouderak om een gemiddelde BAK per woning te bepalen.

Voor deze studie is aangenomen dat voor individuele energiesystemen (bodemlussen en lucht/waterwarmtepompen) geen exploitatie plaatsvindt, en voor deze systemen dus geen Bijdrage Aansluitkosten van toepassing is maar gangbare investeringskosten. Deze zijn opgebouwd uit:
- de volledige investering voor het energiesysteem vooraf;
- de herinvestering na 15 jaar.

Bij beide aspecten zijn eventuele ISDE-subsidies meegenomen. De kosten voor woningaanpassingen en lage temperatuurverwarming zijn niet bij deze BAK/investeringskosten inbegrepen.

Tabel V.28 Vastgestelde resultaten: BAK/investering energiesysteem (exclusief subsidies). *Investering in plaats van BAK, exclusief herinvestering

		Collectieve systemen WKO +warmtenet + TEO				Individuele systemen Warmtepomp	
Criterium	**Eenheid**	**LT warmte + koude**	**MT warmte**	**MT warmte + koude**	**HT warmte**	**energie uit bodem**	**energie uit lucht**
BAK/investering energiesysteem (excl. subsidies)	EUR	26.300	32.000	32.400	28.000	18.200*	12.900*

De energieconcepten die gebruik maken van individuele warmtepompen (LT warmte + koude, bodemlussen en energie uit lucht), zijn in kosten gestegen.

Genormaliseerde score

Bovenstaande prestaties leveren een volgende score in de MCA op voor de systemen op dit criterium:

Tabel V.29 Genormaliseerde score: BAK/investering energiesysteem (exclusief subsidies).

		Collectieve systemen WKO +warmtenet + TEO				Individuele systemen Warmtepomp	
Criterium	**Eenheid**	**LT warmte + koude**	**MT warmte**	**MT warmte + koude**	**HT warmte**	**energie uit bodem**	**energie uit lucht**
BAK/investering energiesysteem (excl. subsidies)	-	0,3	0	0	0,2	0,7	1,0

Ondanks de aftrek van ISDE-subsidie blijft de lucht/waterwarmtepomp de laagste investeringskosten hebben. De onderlinge verhouding zijn wel wat verschoven door de hogere kosten van met name het LT-warmtenet en de bodemlussen.

V.16 Impact energielasten

Dit criterium beschrijft de impact op energielasten voor bewoners. Die energielasten zijn als volgt opgebouwd:

Tabel V.30 Aannamen jaarlijkse energielasten bewoner (incl. BTW)

Categorie	**Aspect**	**Waarde**	**Eenheid**	**Opmerking**
Kosten warmtelevering (collectieve systemen)	Vastrecht warmte	- LT: 261,03 + 66,05 EUR/kW opslag boven 3 kW per aansluiting. - MT, HT: 469,17	EUR/jaar	maximumtarief 2020 Warmtewet
	Vastrecht koude	- LT, MT + koude: 236,80 + 57,58 opslag boven 3 kW per aansluiting.	EUR/jaar	maximumtarief 2020 Warmtewet
	Meettarief	26,63	EUR/jaar	maximumtarief 2020 Warmtewet
	Variabel tarief levering warmte	26,06	EUR/GJ	maximumtarief 2020 Warmtewet
	Variabel tarief levering koude	0	EUR/GJ	maximumtarief 2020 Warmtewet

Categorie	Aspect	Waarde	Eenheid	Opmerking
Kosten voor elektriciteit (bewoners)	Elektriciteitsprijs (consumenten)	0,23	EUR/kWh$_e$	Systemen met decentrale warmtepompen (individuele systemen, LT warmenet)
Kosten onderhoud en beheer	Kosten onderhoud en beheer	systeemspecifiek	EUR/jaar	Individuele systemen

De kosten zijn bepaald op basis van het gemiddelde energiegebruik van een woning in Gouderak en de efficiëntie van de verschillende energieconcepten. De werkelijke energielasten kunnen dus uiteenlopen.

Dat levert de volgende resultaten op voor de energieconcepten:

Tabel V.31 Opbouw berekende gemiddelde jaarlijkse energielasten per woning

		Collectieve systemen WKO +warmtenet + TEO				Individuele systemen Warmtepomp	
Opbouw gemiddelde energielasten per woning	**Eenheid**	**LT warmte + koude**	**MT warmte**	**MT warmte + koude**	**HT warmte**	**energie uit bodem**	**energie uit lucht**
Inkoop warmte en koude	EUR/jaar	€ 1,025	€ 1,275	€ 1,525	€ 1,425	n.v.t.	n.v.t.
Kosten elektriciteit	EUR/jaar	€ 525	€ 175	€ 175	n.v.t.	€ 450	€ 750
Kosten onderhoud en beheer	EUR/jaar	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	€ 200	€ 250
Totaal jaarlijkse energielasten	**EUR/jaar**	**€ 1,550**	**€ 1,450**	**€ 1,700**	**€ 1,425**	**€ 650**	**€ 1,000**

Genormaliseerde score

Bovenstaande prestaties leveren een volgende score in de MCA op voor de systemen op dit criterium:

Tabel V.32 Genormaliseerde score: impact energielasten

		Collectieve systemen WKO +warmtenet + TEO				Individuele systemen Warmtepomp	
Criterium	**Eenheid**	**LT warmte + koude**	**MT warmte**	**MT warmte + koude**	**HT warmte**	**energie uit bodem**	**energie uit lucht**
Impact energielasten	-	0,1	0,2	0	0,3	1,0	0,7

Hoewel de bodemlussen de grootste investering betekenden, scoort dit systeem het gunstigst op de jaarlasten. De lucht/waterwarmtepompen scoren minder gunstig door de lagere efficiëntie. De collectieve systemen introduceren een exploitatiemodel, waarmee de energielasten hoger uitvallen. Bij het MT-warmte en HT-warmte systeem kan bovendien geen koude worden geleverd.

Relatie tarieven warmtelevering en Bijdrage Aansluitkosten

Het verlagen van de gebruikte warmtetarieven (door de exploitant) zou een verlaging van jaarlijkse energielasten van bewoners betekenen. Echter, omdat met de inkomsten uit energielevering de investeringen in het energiesysteem moeten worden terugverdiend, resulteren lagere energietarieven in een hogere Bijdrage Aansluitkosten vooraf en vice versa.

V.17 TCO (total cost of ownership)

De total cost of ownership van de energiesystemen voor bewoners (dus per woning) zijn bepaald door investeringskosten op te tellen bij de jaarlijkse lasten over de exploitatieperiode/levensduur van het energiesysteem. Om een vergelijking mogelijk te maken is deze termijn voor alle concepten vastgelegd op 30 jaar.

De aanvullende kosten voor woningverbeteringen, lage temperatuurverwarming en benodigde netverzwaringen zijn niet meegenomen in dit criterium (zie hiervoor het criterium *totale maatschappelijke kosten*).

Tabel V.33 Opbouw TCO (Total cost of Ownership) per woning (excl. ISDE subsidie) per gemiddelde woningequivalent

		Collectieve systemen WKO +warmtenet + TEO				Individuele systemen Warmtepomp	
Opbouw Total Cost of Ownership	**Eenheid**	**LT warmte + koude**	**MT warmte**	**MT warmte + koude**	**HT warmte**	**energie uit bodem**	**energie uit lucht**
Totale BAK/investering	EUR	26.300	32.000	32.400	28.000	18.200	12.900
Totale herinvestering	EUR	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	10.300	8.300
Jaarlijkse lasten per jaar	EUR/jaar	*1,550*	*1,450*	*1,700*	*1,425*	*650*	*1,000*
Jaarlijkse lasten over 30 jaar	EUR	46.100	43.300	50.450	43.100	19.300	30.200
Total cost of Ownership	**EUR/jaar**	**72.400**	**75.400**	**82.800**	**71.000**	**47.800**	**51.300**

Aannames en uitgangspunten:
- Gelijkblijvende energieprijzen (elektriciteit, gas) en tarieven warmtelevering (Warmtewet 2020);
- Herinvesteringen bij collectieve systemen zijn verrekend in de BAK vooraf;
- Bedragen zijn exclusief subsidies;
- bedragen in tabel V.35 zijn afgerond voor significantie, dat veroorzaakt kleine afwijkingen in de tabel.

Genormaliseerde score

Bovenstaande prestaties leveren een volgende score in de MCA op voor de systemen op dit criterium:

Tabel V.34 Genormaliseerde score: Total cost of Ownership (TCO)

		Collectieve systemen WKO +warmtenet + TEO				Individuele systemen Warmtepomp	
Criterium	**Eenheid**	**LT warmte + koude**	**MT warmte**	**MT warmte + koude**	**HT warmte**	**energie uit bodem**	**energie uit lucht**
Total Cost of Ownership (TCO)	-	0,3	0,2	0	0,3	1,0	0,9

De bodemlussen hebben de gunstigste score, als gevolg van de lage energielasten. De collectieve systemen scoren minder gunstig over de gehele exploitatietermijn als gevolg van de hoge BAK en de hogere jaarlijkse lasten.

V.18 Totale maatschappelijke kosten

De totale maatschappelijke kosten zijn als volgt gedefinieerd:

Kosten woningaanpassingen + Total Cost of Ownership energiesystemen
+ kosten verzwaring elektriciteitsnetwerk.

De kosten voor woningaanpassingen bestaan uit kosten voor isolatie naar energielabel B en kosten voor installatie van lage temperatuurverwarming (zie criterium *Kosten woningaanpassing*).

De Total Cost of Ownership over 30 jaar van de energiesystemen zijn hier de kosten voor alle woningen opgeteld, exclusief ISDE-subsidie (zie criterium *TCO (Total Cost of Ownership)*).

De aanvullende kosten verzwaring elektriciteitsnetwerk omvat de investeringen die benodigd zijn ter verzwaring van het elektriciteitsnetwerk in Gouderak om het gebruik van de energiesystemen mogelijk te maken (zie criterium *Impact op netwerkkosten*). Er zijn geen meekoppelkansen geïdentificeerd die zouden kunnen leiden tot potentiële verlaging van kosten (bijvoorbeeld door samenvallen van werkzaamheden in de openbare ruimte). Hiervoor zijn dus geen kortingen toegekend in de berekening van maatschappelijke kosten (Tabel V.37).

De totale maatschappelijke kosten zijn daarmee als volgt opgebouwd:

Tabel V.35 Opbouw Totale maatschappelijke kosten

		Collectieve systemen WKO +warmtenet + TEO				Individuele systemen Warmtepomp	
Opbouw Totale maatschappelijke kosten	**Eenheid**	**LT warmte + koude**	**MT warmte**	**MT warmte + koude**	**HT warmte**	**energie uit bodem**	**energie uit lucht**
Totale investering woningverbeteringen	EUR	6,6 miljoen	6,6 miljoen	6,6 miljoen	0	6,6 miljoen	6,6 miljoen
Total Cost of Ownership 30 jaar (alle woningen)	EUR	60,5 miljoen	63 miljoen	69,2 miljoen	59,4 miljoen	40,0 miljoen	42,9 miljoen
Aanvullende kosten netverzwaring	EUR	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*
Meekoppelkansen uit andere projecten	EUR	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*
Totale maatschappelijke kosten	**EUR**	**67,1 miljoen**	**69,6 miljoen**	**75,8 miljoen**	**59,4 miljoen**	**46,6 miljoen**	**49,5 miljoen**

Genormaliseerde score

Bovenstaande prestaties leveren een volgende score in de MCA op voor de systemen op dit criterium:

Tabel V.36 Genormaliseerde score: Totale maatschappelijke kosten

		Collectieve systemen WKO +warmtenet + TEO				Individuele systemen Warmtepomp	
Criterium	**Eenheid**	**LT warmte + koude**	**MT warmte**	**MT warmte + koude**	**HT warmte**	**energie uit bodem**	**energie uit lucht**
Totale maatschappelijke kosten	-	0,3	0,2	0	0,6	1	0,9

VI

BIJLAGE: UITGANGSPUNTEN BUSINESS-CASE

Tabel 1

Categorie	Variabele	Waarde	Eenheid en toelichting
technisch	lengte warmtetracé	5900	meter (kern Gouderak) (lengte wegnetwerk kern Gouderak, PDOK, GIS-bestand)
	potentiele draaiuren regeneratie	1000	uur per jaar
	CO2-emissie elektriciteit	0,09	kg CO2 / kWhe
	CO2-emissie aardgas voor verwarming	1,89	kg CO2 / m3 aardgas
	energie-inhoud aardgas per m3	35,17	MJ/m3
	CO2-emissie aardgas voor verwarming per GJ	53,7	kg CO2 / GJth
	kWh per GJ	277,7778	kWh/GJ
financieel	WKO (vaste kosten)	135.000	euro
	WKO (variabele kosten)	104	euro/kW
	TEO (vaste kosten)	90.000	euro
	TEO (variabele kosten)	198	euro/kW
	ISDE water/water warmtepomp	2800	euro
	ISDE lucht/water warmtepomp	1800	euro
	inflatie	2,0 %	
	disconteringsvoet	6,0 %	
	rentekosten (WACC)	6,0 %	
	renteopbrengsten	0,0 %	
	BTW	21,0 %	
	beheer en onderhoud warmtepompen en regeneratie	4,0 %	van initiële investering per jaar
	beheer en onderhoud bronnen	2,5 %	van initiële investering per jaar
	herinvestering warmtepompen en regeneratie	70 %	van initiële investering
	herinvestering bronnen	30 %	van initiële investering
	consumenten elektriciteitsprijs	0,23	EUR/kWh

Categorie	Variabele	Waarde	Eenheid en toelichting
	zakelijk tarief elektriciteit	0,13	EUR/kWh
	gasprijs per GJ	25	EUR/GJ
	gasprijs per m3	0,88	EUR/m3
	ACM warmtetariefstructuur 2020 incl BTW		
	maximum leveringstarieven warmte (individuele aansluitingen):		
	warmte direct geschikt voor rvw en tw		HT, MT
	--vaste kosten	469,17	EUR/jaar
	--variabele kosten	26,06	EUR/GJ
	--opslag vermogen individuele aansluiting > 3kW	0,00	EUR/kW boven 3 kW
	warmte direct geschikt voor alleen rvw		n.v.t.
	--vaste kosten	234,58	EUR/jaar
	--variabele kosten	26,06	EUR/GJ
	--opslag vermogen individuele aansluiting > 3kW	0,00	EUR/kW boven 3 kW
	warmte niet direct geschikt voor rvw en warm tw		LT
	--vaste kosten	261,03	EUR/jaar
	--variabele kosten	0,00	EUR/GJ
	--opslag vermogen individuele aansluiting > 3kW	66,05	EUR/kW boven 3 kW
	warmte direct geschikt voor alleen warm tapwater		n.v.t.
	--vaste kosten	234,58	EUR/jaar
	--variabele kosten	26,06	EUR/GJ
	--opslag vermogen individuele aansluiting > 3kW	0,00	EUR/kW boven 3 kW
	koude		
	--vaste kosten	236,80	EUR/jaar
	--opslag vermogen, per kW boven 2 kW	57,58	EUR per kW boven 2 kW
	-meettarief warmte	26,63	EUR/jaar

Categorie	Variabele	Waarde	Eenheid en toelichting
	aansluitbijdrage warmte	4510,73	EUR

Een overzicht van de investeringskosten per onderdeel van de verschillende energieconcepten is te vinden in tabel 2. Deze tabel laat zien hoe de initiële investeringskosten voor de verschillende energieconcepten zijn opgebouwd. Deze gegevens zijn resultaat van tabel 1 en invoer voor de afwegingmatrices.

Tabel 2 Overzicht geschatte initiële investeringen energieconcepten, per woning

demarcatie	Aspect	LT warmte + koude	MT warmte	MT warmte + koude	HT warmte	Bodem warmte-pomp	Lucht warmte-pomp
energie-systeem	WKO-bronsysteem met warmtewisselaars	1,26 miljoen	1,26 miljoen	1,26 miljoen	1,26 miljoen		
	warmtenet	5,9 miljoen	5,9 miljoen	8,85 miljoen	5,9 miljoen		
	warmtepomp(en) (incl. bodemlus) (collectief en/of individueel)	7,5 miljoen	8,8 miljoen	8,8 miljoen	5,9 miljoen	12,4 miljoen	8,9 miljoen
	regeneratie TEO	2,1 miljoen	2,1 miljoen	2,1 miljoen	2,1 miljoen		
	afleversets en laatste meter	3,4 miljoen	4,4 miljoen	4,4 miljoen	4,4 miljoen		
woningen	woningaanpassingen isolatie naar energielabel B, ventilatie	5,0 miljoen	5,0 miljoen	5,0 miljoen		5,0 miljoen	5,0 miljoen
	lage temperatuur verwarming	1,6 miljoen	1,6 miljoen	1,6 miljoen		1,6 miljoen	1,6 miljoen
totaal	**initiële investering**	**26,7 miljoen**	**29,1 miljoen**	**32,0 miljoen**	**19,5 miljoen**	**19 miljoen**	**15,5 miljoen**