



Onderzoek Verduurzaming

Angerlo

Colofon

Versie: V1.0 concept
Datum: 19-11-2020

Contact persoon: Rogier Berndsen
Auteur(s): Rogier Berndsen / Ben Tubben
e-mail: rogier.berndsen@qirion.nl
Telefoon nummer: +31 6 11776983

Qirion

Wij zijn expert in het ontwikkelen, realiseren en onderhouden van veranderende energienetten.

Qirion
Bezoekadres
Dijkgraaf 4, 6921 RL Duiven
Telefoon: (088) 191 00 00
www.qirion.nl
info@qirion.nl

Postadres
Locatiecode 2NA8120
Postbus 50, 6920 AB Duiven

© 2020, Qirion,

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, in enige vorm of enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Qirion.

Inhoudsopgave

1. Concretiseren energieoplossing Angerlo.....	5
1.1 Aanleiding.....	5
1.2 Concrete vraag.....	5
1.3 Betrokkenen	5
2. Plan van aanpak.....	6
2.1 Producten	6
3. Nota van uitgangspunten	7
4. Bouwstenen	9
4.1 Bruto lijst bouwstenen	9
4.1.1 Individueel	9
4.1.2 Collectief.....	9
4.2 Bouwsteenanalyse en keuze.....	10
5. Plangebied en kansen.....	12
5.1 Gebied	12
5.2 Woningtypering	12
5.3 Energiegebruik.....	13
5.4 Warmtekansen.....	14
5.4.1 Warmte uit het Bevermeer gemaal.....	15
5.5 Grootschalige duurzame opwek	16
5.6 Netbeheeraspecten.....	17
6. Scenario definitie en uitwerking.....	18
6.1 Inleiding individuele energieconfiguraties	20
6.2 Individueel: Lucht-water warmtepomp per woning.....	20
6.2.1 Uitleg technisch concept	20
6.2.2 Afwegingscriteria.....	21
6.3 Individueel: Water-water verticale grondwisselaar per woning	22
6.3.1 Uitleg technisch concept	22
6.3.2 Afwegingscriteria.....	23
6.4 Individueel: Hybride warmtepomp per woning.....	24
6.4.1 Uitleg technisch concept	24
6.4.2 Afwegingscriteria.....	24
6.5 Individueel: Zon thermisch (PVT), warmtepomp en innovatieve warmtebatterij per woning	25
6.5.1 Uitleg technisch concept	25
6.5.2 Afwegingscriteria.....	26

6.6	Individueel: Referentiescenario huidige HR-gasketel	28
6.6.1	Uitleg technisch concept	28
6.6.2	Afwegingscriteria.....	28
6.7	Inleiding collectieve energieconfiguraties.....	29
6.7.1	Tracé warmtenet Angerlo.....	31
6.8	Collectief: TEO, warmtepomp en WKO centraal in/naast de wijk	33
6.8.1	Uitleg technisch concept	33
6.8.2	Afwegingscriteria.....	34
6.9	Collectief: lucht-water warmtepomp centraal in/naast de wijk.....	35
6.9.1	Uitleg technisch concept	35
6.9.2	Afwegingscriteria.....	37
7.	Analyse energieconfiguraties.....	38
7.1	Betaalbaarheid.....	38
7.1.1	TCO totaal zonder subsidie	40
7.1.2	TCO totaal met subsidie.....	42
7.1.3	TCO per energieconfiguratie per woningtype zonder subsidie	44
7.1.4	TCO per energieconfiguratie per woningtype met subsidie	46
7.2	Duurzaamheid.....	48
7.2.1	Impact op CO ₂ -uitstootreductie van de verschillende energieoplossingen.....	48
7.2.2	Duurzame opwek in Angerlo.....	50
7.3	Zonopwek technische potentie	52
7.4	Wind opwek technische potentie	52
8.	Conclusies en aanbevelingen.....	53
8.1	Vergelijkingsmatrix energieconfiguraties	53
8.2	Conclusie	55
8.3	Aanbevelingen	55
9.	Bijlagen.....	56
9.1	Revitalisering Angerlo (gemeente Zevenaar)	57
9.2	Warmtebronnen Angerlo en omgeving	58
9.3	Energiepotentieel Angerlo.....	59
9.4	Mogelijkheden zonneparken Angerlo	60
9.5	Eigen opwek uit zonne-energie Angerlo	61
9.6	Mogelijkheden windenergie Angerlo	62
9.7	Eigen opwek uit windenergie Angerlo	63
9.8	Globaal warmtetracé geheel Angerlo	64
9.9	Globaal warmtetracé woonkern Angerlo.....	65
9.10	Afgevallen energieconfiguraties	66
9.11	Overzicht technische uitgangspunten energieconfiguraties	67
9.12	Overzicht gegevens per woning.....	68

1. Concretiseren energieoplossing Angerlo

In dit rapport zijn de mogelijkheden onderzocht om tot een energieoplossing te komen voor het energieneutraal maken van Angerlo.

1.1 Aanleiding

Begin 2020 heeft Qirion de vraag gekregen van de regiegroep Angerlo hoe wij hen kunnen helpen met de zoektocht om Angerlo duurzaam en zelfvoorzienend te maken. Op 13 mei heeft een online kennismaking plaatsgevonden waarbij Qirion zich heeft voorgesteld en heeft laten zien wat de missie, ambitie en het werkveld van Qirion inhoudt. Vervolgens heeft de techniekwerkgroep over de ambitie naar verduurzaming van Angerlo verteld, ons meegenomen welke onderzoeken reeds zijn verricht en welke technische onderdelen op dit moment als relevant kunnen worden bestempeld. In een vervolgoverleg is gesproken over een samenwerking waarbij Qirion een vervolgstudie uitvoert voor Angerlo om een onderzoek naar energie-opties voor het verduurzamen van Angerlo in beeld te brengen. Deze opdracht is verstrekt door de techniekwerkgroep Angerlo, Spectrum, Woningcorporatie Plavei, Gemeente Zevenaar en wordt financieel ondersteund door een voucher van Oost NL.

De uitkomsten van het onderzoek zijn samengevat in deze rapportage.

1.2 Concrete vraag

De centrale vraag van het onderzoek is als volgt geformuleerd:

Op welke wijze kan Angerlo verduurzamen middels beschikbare en nader te ontwikkelen voorzieningen om te komen tot duurzame energie voor geheel Angerlo. Dit initiatief is opgestart door inwoners van Angerlo, aangevoerd door de techniekwerkgroep Angerlo. De techniekwerkgroep Angerlo heeft reeds een voorstudie uitgevoerd en uitgangspunten gedefinieerd, dit dient als vertrekpunt van deze studie die Qirion samen met de techniekwerkgroep Angerlo uitvoert.

1.3 Betrokkenen

De bij de studie betrokken organisaties zijn:

- Bewoners Angerlo
- Techniekwerkgroep Angerlo
- Gemeente Zevenaar
- Wooncorporatie Plavei
- Spectrum
- Qirion
- Liander

2. Plan van aanpak

Om te komen tot een inzicht in de mogelijkheden voor de duurzame energie-oplossing in Angerlo, met als doel de energietransitie van Angerlo te realiseren zijn de volgende stappen uitgevoerd.

Allereerst is een nota van uitgangspunten opgesteld. Hierin zijn de resultaten van eerdere eigen berekeningen, opgesteld door de techniekwerkgroep Angerlo, geverifieerd. Dit heeft het uitgangspunt gevormd voor de randvoorwaarden van de technische, financiële en juridische aspecten van een lokaal duurzaam energiesysteem. Hierbij hebben wij kort uitgezoomd om de mogelijke kansen van het gebied in kaart te krijgen, waar mogelijk nog niet reeds expliciet in eerdere verkenning naar gekeken was. Vanuit hier is het gezamenlijk vertrekpunt bepaald.

De geschikte bouwstenen van het energiesysteem zijn vervolgens vastgesteld en is een aantal scenario's gedefinieerd die invulling geven aan de energieoplossing. De scenario's zijn samen met de werkgroep beoordeeld, waarop de geselecteerde scenario's verder zijn uitgewerkt. Deze scenario's zijn technisch, financieel en juridisch (organisatorisch) onderbouwd. Hierbij is uiteraard ook naar tarifiering en subsidies gekeken om de haalbaarheid te verbeteren.

Op basis van de uitgewerkte scenario's is een kostenraming opgesteld. Waar mogelijk zijn koppelkansen benut. De resultaten zijn vastgelegd in een wegingsmatrix.

Deze fase is afgerond met een projectrapportage, waarbij de belangrijkste bevindingen op 2 oktober 2020 opgeleverd zijn in de vorm van een overzicht van onderzochte scenario's. In de bespreking met de werkgroep Techniek is verder richting gegeven aan de op te zetten rapportage zoals verwoord in dit document. Op basis van deze rapportage kan de werkgroep Angerlo verder werken aan draagvlak.

Het rapport geeft tevens een globaal beeld van vervolgstappen naar realisatie.

2.1 Producten

In deze rapportage zijn de volgende producten opgeleverd:

- nota van uitgangspunten;
- overzicht bouwstenen;
- scenario definitie en vergelijking;
- wegingsmatrix scenario's;
- kostenraming (+/- 50%);
- rapportage scenariovergelijking;
- stappenplan vervolgtraject richting realisatie en exploitatie.

3. Nota van uitgangspunten

Bij het opstellen van deze rapportage zijn de te behalen doelstellingen van de techniekwerkgroep Angerlo ten aanzien van de energietransitie voorop gesteld.

Uitgangspunten vanuit de bewoners van Angerlo

Onze doelstelling voor de energietransitie:

- Wij willen als dorp zelfvoorzienend en duurzaam worden.
- Wij willen eigenaar zijn van de oplossing en collectief naar de oplossing werken.
- Wij willen wat betreft energiekosten op termijn zoveel mogelijk onafhankelijk zijn van marktontwikkelingen.
- Wij willen actief meedenken en zelf aan het stuur zitten.

Uitgangspunten voor de uitvoering van het onderzoek

- Er is maximaal 15% reductie van de warmtevraag te verwachten door isolatie van woningen;
 - tenzij isolatie een beargumenteerd haalbaar onderdeel is van de oplossing en berekening.
- Begrotingen zijn op basis van huidige marktconforme prijzen;
- Alsof het op dit moment gerealiseerd en geëxploiteerd moet gaan worden;
- Alle prijzen en kosten zijn excl. btw;
- Alle begrotingen zijn excl. contingency c.q. onzekerheidsmarge, excl. belastingvoordelen of dito toeslagen:
 - deze worden separaat inzichtelijk gemaakt.
- Kostprijs van elektriciteit is 10ct./kWh, excl. btw, excl. energiebelasting:
 - tenzij beargumenteerd een andere kostprijs gehanteerd dient te worden. Dan dient de kostprijs inzichtelijk gemaakt te worden.

Noot: In dit rapport is uitgegaan van de top 10 goedkoopste energietarieven voor consumenten (gaslicht.com / tarieven 2020)

 - een uitwerking van de verwachting van de ontwikkeling van de kostprijs van energie in de komende 20 jaar. Gezamenlijk stellen we de aannames vast.
- De financiering moet met en zonder subsidie(s) inzichtelijk gemaakt worden;
- Voor inwoners is het uitgangspunt dat ze in de toekomst minder energielasten hebben dan op dit moment.

Afstemming en planning

- Tweewekelijks overleg met leden van de werkgroep Techniek of regiegroep;
 - Eerste aanspreekpunt/contactpersoon is Ton Heurnink.
- De gemeente Zevenaar heeft reeds een tracéschets laten opstellen in relatie tot het vernieuwen van het riool en de wijze waarop een eventueel warmtenet in aanleg hierbij kan worden meegenomen. Deze informatie is door de gemeente ter beschikking gesteld.
- Globale werkeenheden en planning:
 - Juli: Uitgangspunten, bouwstenen en scenario definitie
 - Augustus: Scenario uitwerking
 - September/Okttober: Scenario analyse en voorkeuroplossing
 - Oktober/November: Rapportage

Beschikbare informatie

De techniekwerkgroep Angerlo heeft de volgende gegevens aangeleverd:

- Verkenning Samenvatting Aardgasvrij en duurzaam Angerlo (Angerlo - 2020 Verkenning Energietransitie V02.pdf);
- Investeringskosten van huidige schillabel naar schillabel B bij een voorbeeld woningoppervlakte en indicatie besparing door isolatie naar label B gebaseerd op gasverbruik (Isolatie indicatie Angerlo.pdf);

- Tracéschets opgesteld in opdracht van gemeente Zevenaar op 16 juli zijn deze gegevens aan Qirion aangeleverd.

Activiteiten

- Uitwerking van een aantal technische scenario's. Per scenario wordt een korte technische beschrijving, een projectbegroting, een begroting van de kapitaalslasten, een exploitatiebegroting, een berekening van de kostprijs per eenheid van energie (kWh en GJ) en de kosten op huishoudenniveau weergegeven;
- Een onderbouwd advies met businesscase van Qirion welk scenario de beste oplossing is voor Angerlo. Hierbij wordt rekening gehouden met de businesscase voor Angerlo als geheel en op huishouden niveau. Voor dit laatste wordt in afstemming met de werkgroep Techniek vier typerende huishoudens geselecteerd;
- De uitwerking van de technische scenario's wordt vergeleken met de resultaten van de verkenning van techniek groep Angerlo;
- De uitwerking van elk technisch scenario wordt vergeleken met ten minstens 1 scenario uit andere onderzoeken of uitvoeringscasus;
Noot: In dit rapport is bij het uitwerken van de technische scenario's gebruik gemaakt van ervaringscijfers van andere (Qirion) referentieprojecten.
- Het inschatten van de standaard deviatie van projectkosten, exploitatielasten, en kostprijs van de energie per scenario;
- De inschatting van de haalbaarheid van de scenario's in termen van betrouwbaarheid, financierbaarheid, en betaalbaarheid;
- Uitwerking van een voorstel voor een pilot van beperkte omvang in Angerlo als startpunt voor zichtbare actie;
- Een uitwerking van de visie voor Angerlo op de energietransitie in termen van technische, financiële en juridische fasering.

Welke scenario's uitwerken verwarming:

- Toepassen van waterstof;
- Het product van opties voor warmtebron en warmtedistributie. Hieronder zijn de scenario's weergegeven:
 - warmtebronnen zijn:
 - 1) WKO op bijvoorbeeld 80 meter diepte;
 - 2) WKO met horizontale warmtewisselaar op bijvoorbeeld 5 meter diepte;
 - 3) Warmte uit lucht met een warmtepomp.
 - warmtedistributie via:
 - 1) warmtenet voor hele dorp;
 - 2) warmtenet voor groepen huizen;
 - 3) geen distributie, dus oplossing per huishouden.
 - aangevuld met door Qirion aan te geven en te bespreken scenario's, zoals combinaties, e.a. maar zonder bijvoorbeeld biomassa.
- De uit te werken scenario's voor verwarming in het koudste seizoen van het jaar:
 - toepassen van aardgas;
 - toepassen van waterstof;
 - elektrische verwarming.
- De uit te werken scenario's voor tapwater zijn in aanvulling op de verwarming scenario's:
 - zonneboiler;
 - booster warmtepomp;
 - elektrische verwarming;
 - aangevuld met door Qirion aan te geven en te bespreken scenario's, zoals combinaties, e.a. maar zonder bijvoorbeeld biomassa.

4. Bouwstenen

4.1 Bruto lijst bouwstenen

In eerste instantie is een bruto lijst van componenten opgesteld die mogelijk toegepast kunnen worden in het toekomstige duurzame energiesysteem. Hierbij is een verdeling gemaakt naar individuele oplossingen en collectieve oplossingen.

4.1.1 Individueel

Met individuele oplossingen worden die technieken bedoeld die in individuele woningen toegepast kunnen worden. Beoordeeld zijn onderstaande technieken op mogelijke toepassing voor individuele oplossingen:

- Lucht-water warmtepomp
- Water-water warmtepomp
- Hybride warmtepomp
- Horizontale grond warmtewisselaar
- Verticale grond warmte wisselaar
- Infrarood panelen
- Elektrische opslag (batterij (al dan niet auto))
- Waterstof
 - Lokaal geproduceerd met kleine electrolyser/fuellcell
 - Buffer
- Zonneboiler
- Warmteopslag

4.1.2 Collectief

Een collectief systeem kan op meerdere schaalniveaus uitgevoerd worden. Geheel Angerlo of specifieke clusters die om bepaalde redenen interessant zijn. In de riol aanpassing zijn 3 clusters zichtbaar, daar waar riol vervangen wordt, nieuwbouw (Oranje - oost) en "nieuwbouw" (Groen - west), zie bijlage 9.1: Revitalisering Angerlo gemeente Zevenaar. Afhankelijk van schaalniveau kan een lokaal bronsysteem opgebouwd worden door specifieke bouwstenen te gebruiken, passend bij de specifieke locatie.

Met de werkgroep Techniek uit Angerlo zijn globaal de verschillende bouwstenen besproken. Hieruit kwam naar voren dat oplossingen voor mobiliteit niet specifiek beoordeeld/meegenomen worden voor het nu te onderzoeken deel van het duurzame energiesysteem voor Angerlo. Focus ligt op warmtevoorziening. Hiervoor is een aantal bronsystemen benoemd, piekvoorziening, de rol van waterstof en benodigde opwek. Onderstaand is een lijst opgesteld van de verschillende bouwstenen.

Bronstelsysteem:

- Warmtepomp:
 - Warmte Koude Opslag (WKO gesloten)
 - Horizontaal (5 meter)
 - Thermisch energie uit oppervlakte water (TEO koppeling)
 - Thermische energie uit afval water (TEA/riothermie)
 - Restwarmte gebruik
 - Zon-thermisch (PVT)
- Waterstof:
 - Electrolyser
 - Buffer
 - Fuelcell
 - H₂-verwarmingsketel

Piekvoorziening:

- Aardgas (uitfasering scenario dan van belang)
- Waterstof
- Biogas

Opwek:

- Zon
- Wind
- Restwarmte uit de omgeving
- Geothermie

4.2 Bouwsteenanalyse en keuze

De bruto lijst van bouwstenen is globaal beoordeeld op toepasbaarheid voor Angerlo. Ook ambities vanuit Angerlo en de werkgroep Techniek zijn bepalend geweest voor keuze van bouwstenen. Kansen in het gebied zijn hierbij globaal onderzocht aan de hand van enkele modellen. Op deze wijze is inzicht ontstaan in restwarmtebronnen, duurzame opwekmogelijkheden voor zon en wind en TEO.

Om tot een netto lijst van bouwstenen te komen zijn de individuele bouwstenen op waarde ingeschat. Deze inschatting is door Qirion uitgevoerd op basis van ervaring in meerdere projecten. In afstemming met de werkgroep Techniek zijn vervolgens onderstaande bouwstenen benoemd om mee te nemen in de verschillende systeemconfiguraties (samenstellingen van bouwstenen).

Individuele energieconfiguraties:

- Hybride warmtepomp. Wordt gezien als een goede transitiebron, wetend dat op termijn ofwel een andere oplossing voor aardgas gevonden moet worden (waterstof, biogas) of op termijn een andere technische invulling geselecteerd moet worden.
- All-electric warmtepomp. In de uitvoering lucht-water of water-water warmtepomp.
- Waterstof. Waterstof wordt gezien als een “moet je wel meenemen” optie voor de toekomst.

- Bodem warmtewisselaar (horizontaal dan wel verticaal). Uitwisseling van bodemwarmte wordt gezien als grote kanshebber voor Angerlo, aangezien je hier ook voor particulier woningbezit keuze mogelijkheden biedt.

Collectieve energieconfiguraties:

- WKO. Warmte-koude opslag in de bodem, waarbij 's zomers de warme bron opnieuw geladen (geregenereerd) dient te worden.
- Collectieve warmtepomp (water-water warmtepomp eventueel gekoppeld met bovenstaande WKO).
- Waterstof. Als duurzaam gas richting woningen, danwel piekvoorziening in een collectief warmteconfiguratie.
- TEO: De werkgroep techniek staat in eerste instantie sceptisch tegenover het gebruik van TEO. Is er wel voldoende water in de directe omgeving waar je wat mee kunt? Toch lijkt met name TEO lijkt potentie te hebben aangezien een gemaal grenst aan het plangebied. Op basis van een eerste verkenning van energetische potentie lijkt toepassing van TEO kansrijk.

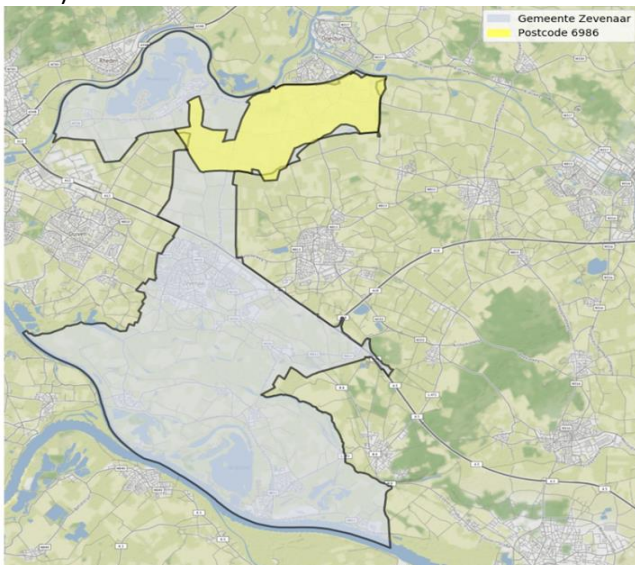
Mobiliteit is niet meegenomen in de studie, er is gefocust op de warmteoplossing.

5. Plangebied en kansen

Bij onderzoeken van de mogelijkheden om Angerlo te verduurzamen is een eerste stap uitgevoerd door de reeds aanwezige assets in het plangebied in beeld te brengen.

5.1 Gebied

Door de werkgroep Techniek is postcodegebied 6986 aangegeven als het plangebied. In dit postcodegebied bevinden zich 550 woningen. Voor de vergelijking tussen collectieve en individuele oplossingen wordt het grijs gearceerde focusgebied in figuur 5.1.2 beschouwd (473 woningen, waarvan 101 Plavei woningcorporatiewoningen). De woningen hierbuiten worden apart toegelicht (77 woningen). Het industrieterrein is niet verder meegenomen in de uitwerking omdat specifieke verbruiksgegevens niet beschikbaar zijn. Om die reden is het industrieterrein niet opgenomen in het grijs gearceerde gebied (fig. 5.1.2).



Figuur 5.1.1 Kaart van postcodegebied 6986



Figuur 5.1.2 Focusgebied collectieve oplossingen

5.2 Woningtypering

De woningen zijn in samenspraak met de werkgroep Techniek ingedeeld in 5 typen, te weten:

Aantallen woningen	Angerlo	Plavei	Totaal
vrijstaand	144		144
2 onder 1 kap	97	33	130
rijwoningen hoek	60	24	84
rijwoningen tussen	61	23	84
meergezins laag	10	12	22
meergezins hoog	0	9	9
	372	101	473

Deze aantallen hebben betrekking op het focusgebied voor de collectieve oplossingen, voor de woningen buiten dit gebied wordt uitgegaan van 77 vrijstaande woningen. Om de opgave helder te krijgen zijn de uitgangspunten ten aanzien van elektriciteits- en gasverbruik vastgesteld.

Aangezien het energiegebruik in Angerlo niet op woningniveau bekend is wordt voor de analyse gebruik gemaakt van onderstaande gemiddelde verbruiken per woningtype, gebaseerd op CBS gegevens die het daadwerkelijk verbruik in Angerlo bevat.

5.3 Energiegebruik

Elektriciteitsverbruik:

elektriciteitsverbruik [kWh/jaar]	CBS drie jaar gemiddelde (2016-2018)
vrijstaand	3.877
2 onder 1 kap	2.913
rijwoning hoek	2.960
rijwoning tussen	2.850
appartement	1.973

Figuur 5.3.1 Elektriciteitsverbruik per type woning

Gasverbruik:

Gasverbruik Angerlo [m3/jaar] ((gemiddelde 2016-2018 incl. graaddagen correctie en incl. 15% besparing)	Appartement*	Tussenwoning	Hoekwoning	Twee-onder-één-kap-woning	Vrijstaande woning
aandeel voor ruimteverwarming	824	824	1.005	1.027	1.623
aandeel voor tapwater	275	275	275	275	275
energie behoefte koken	30	30	30	30	30
Totaal gasverbruik	1.129	1.129	1.310	1.332	1.928

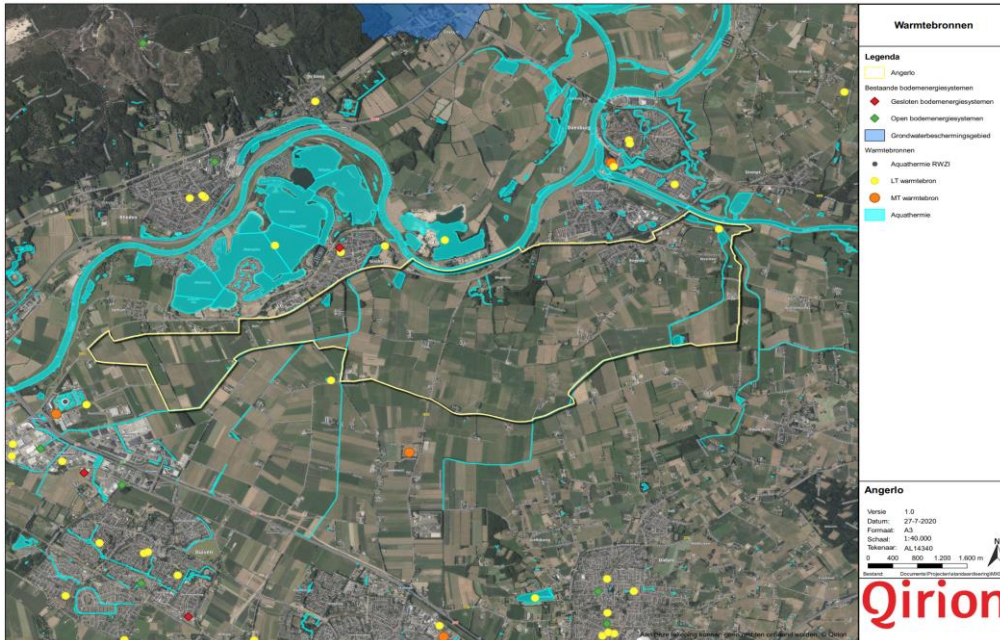
**CBS geeft geen gasverbruik voor appartementen, we hebben aangenomen dat deze ongeveer hetzelfde verbruiken als een tussenwoning.*

Figuur 5.3.2 Gasverbruik per type woning

Let op: in het bovenstaande overzicht inzake gasverbruik is reeds 15% besparing van het verbruik door toepassen van isolatie verwerkt. De onderverdeling van het aardgasverbruik naar verbruik voor ruimteverwarming, tapwater en koken zijn geschat en voor alle woningen gelijk aangenomen op basis van de publicatie van een marktonderzoek "Energieverbruik van particuliere huishoudens", CBS, 6-4-2018.

5.4 Warmtekansen

In onderstaande afbeeldingen zijn de mogelijk potentiële warmtebronnen in Angerlo en omgeving in kaart gebracht. Dit betreft naast bestaande bodemenergiesystemen ook restwarmtebronnen zoals LT en MT-restwarmtebronnen, RWZI en oppervlaktewater voor het onttrekken van warmte middels aquathermie.



Figuur 5.4.1 Warmtebronnen in Angerlo en omgeving. Zie bijlage 9.2

De kansrijke warmtebronnen voor inzet voor de verduurzaming van Angerlo: aquathermie vanuit oppervlakte water en het aanwezige Bevermeer gemaal zijn in onderstaande afbeelding weergegeven.

Naast aquathermie is er geen LT- of MT-restwarmtebron beschikbaar in Angerlo.

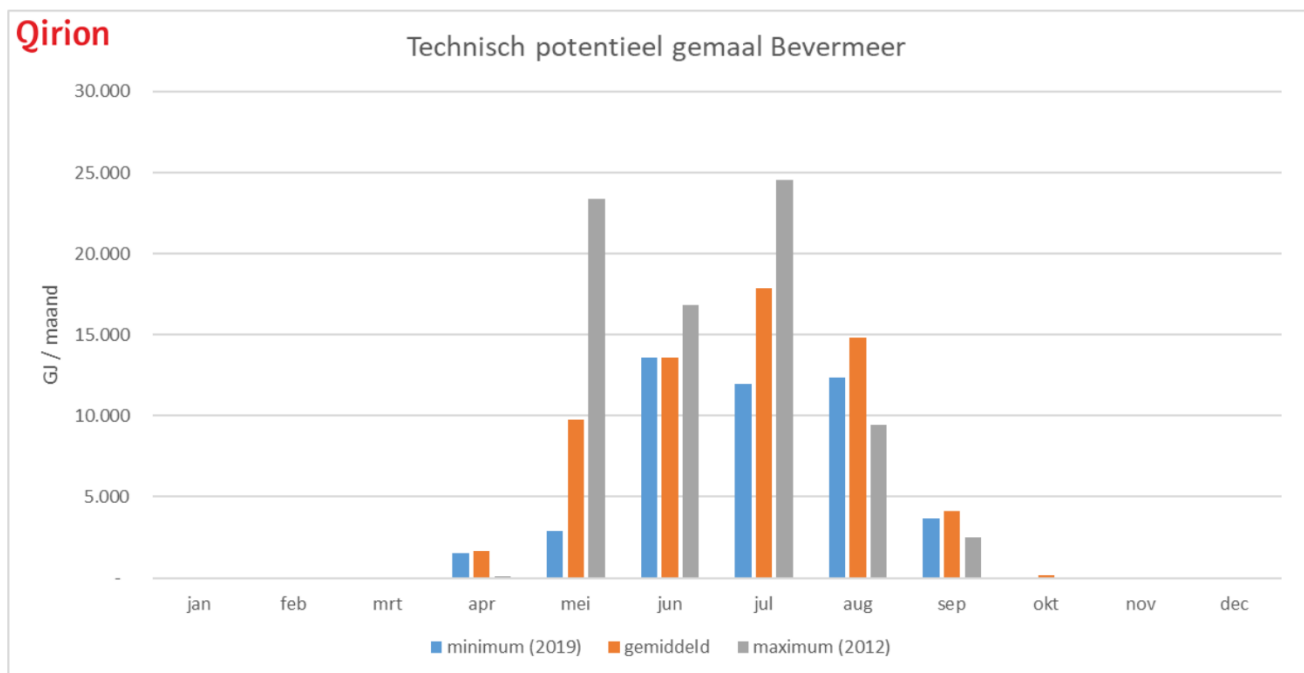


Figuur 5.4.2 Potentiële warmtebronnen in Angerlo. Zie bijlage 9.3

5.4.1 Warmte uit het Bevermeer gemaal

Om de potentie van het gemaal Bevermeer te achterhalen is de open databron¹ van Waterschap Rijn & IJssel geraadpleegd. Op basis van de beschikbare metingen van debieten en watertemperaturen is onderstaande beknopte analyse opgesteld. Hierbij is aangenomen dat er een warmtewisselaar bij het gemaal geplaatst kan worden, er een WKO realiseerbaar is en de ondergrond geschikt is. Daarnaast is enkel de warmte boven de 15 graden als bruikbaar aangemerkt. Wanneer de temperatuur van het water onder deze grens komt is het niet meer rendabel om warmte te "oogsten". Dit heeft te maken met de minimale temperatuur van de WKO en het temperatuurverval over de warmtewisselaar. Het wordt aanbevolen deze aannames in een volgende detailleringstap te verifiëren.

Uit de analyse blijkt dat er in het minst gunstige jaar (2019²) circa 46.000 GJ warmte beschikbaar was. Ter vergelijking, de gemiddelde jaarlijkse warmtevraag van de buurt Angerlo is circa 20.000 GJ. Dit lijkt dus ruim voldoende. De warmte van het Bevermeer is echter vooral in de zomerperiode beschikbaar. In onderstaande grafiek en tabel is dit goed terug te zien. Omdat de warmtevraag vooral in de winter aanwezig is, is het nodig om het aanbod van de zomer in een WKO op te slaan tot het in de winter kan worden benut.



Figuur 5.4.1.1 Technisch potentieel gemaal Bevermeer

Beschikbare warmte TEO Bevermeer (GJ)	jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dec	Totaal
minimum (2019)	-	-	-	1.502	2.906	13.585	11.984	12.348	3.696	46	-	-	46.066
gemiddeld	-	-	-	1.638	9.768	13.563	17.888	14.833	4.153	191	-	-	62.035
maximum (2012)	-	-	-	132	23.383	16.815	24.561	9.433	2.484	-	-	-	76.807

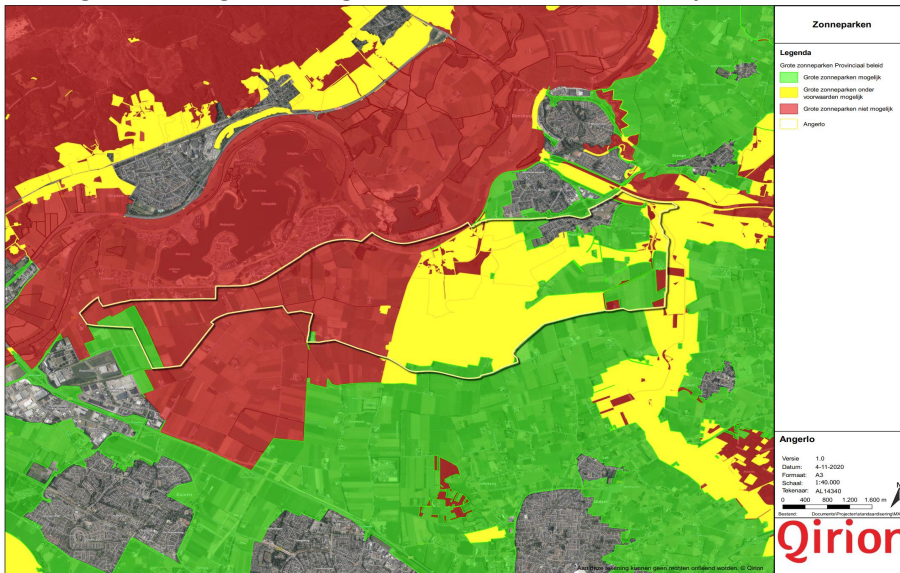
Figuur 5.4.1.2 Beschikbare warmte gemaal Bevermeer

¹ waterdata.wrij.nl

² Geanalyseerde jaren zijn 2008, 2009, 2011, 2012, 2013 & 2019, andere jaren ontbreken wegens datagaten.

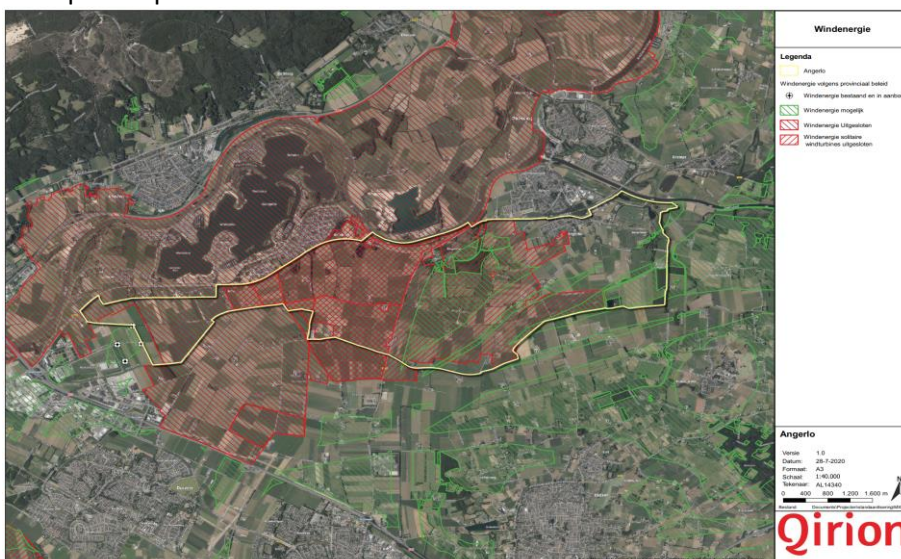
5.5 Grootschalige duurzame opwek

Onderstaand zijn de mogelijkheden voor duurzame opwek door zon en wind in Angerlo in kaart gebracht. Bij het uitwerken van de energieconfiguraties wordt eveneens aangegeven hoeveel zon- en windopwek benodigd is om Angerlo energieneutraal te kunnen laten zijn.



Figuur 5.5.1 Weergave mogelijkheden voor duurzame opwek (Zonneparken). Zie bijlage 9.4

In de rode gebieden is grootschalige zonopwek niet mogelijk, in de geel gemarkeerde onder bepaalde voorwaarden en in de groene gebieden is het mogelijk. Dit laat zien dat in de nabijheid van de kern van Angerlo redelijke gebieden zichtbaar zijn waar duurzame opwek in de vorm van zon PV mogelijk is. Dit staat dan nog los van opwek op de daken!



Figuur 5.5.2: Weergave mogelijkheden voor duurzame opwek (Windenergie). Zie bijlage 9.6

In de rood gearceerde gebieden is toepassen van wind niet toegestaan. De groen gearceerde in principe wel. Dit laat zien dat, zij het iets verder af van de kern, er wel mogelijkheden voor wind zijn. Bekend is dat momenteel tussen Angerlo en Loil een windpark aangelegd wordt.

5.6 Netbeheeraspecten

Uit de plangebiedsscan komen de volgende waarnemingen:

- Bij grootschalige toepassing van all-electric oplossingen zal het elektriciteitsnetwerk van Angerlo verzaagd moeten worden. Dit houdt in dat kabels vervangen moeten worden/extra kabels aangelegd, maar ook transformatorstations in de wijk aangepast dienen te worden. Liander heeft nog geen inschatting van deze kosten gemaakt. Liander geeft aan dat deze kosten niet specifiek ten laste voor Angerlo komen maar worden gesocialiseerd. Naast kosten voor verzwaring zal ook realiseerbaarheid hierbij beoordeeld moeten worden. Aangezien een grote druk op de netbeheerders ligt zullen werkzaamheden een lange doorlooptijd kunnen hebben en afhankelijk zijn van de prioriteit die de netbeheerder aan de lokale netverzwaring stelt. Het is niet de verwachting dat het gasnet op korte termijn vervangen hoeft te worden. Nader onderzoek naar de netbeheeraspecten wordt aanbevolen.

6. Scenario definitie en uitwerking

Op basis van de netto lijst van bouwstenen zijn scenario's gedefinieerd. De scenario's geven inzicht in een oplossingsrichting waarbij de impact vastgesteld wordt in termen van betaalbaarheid, betrouwbaarheid, toekomstvastheid, duurzaamheid en realiseerbaarheid op korte termijn. Deze vijf elementen worden de afwegingscriteria genoemd. De impact op de afwegingscriteria van de scenario's vormt de basis voor een afwegingsmatrix waarmee de verschillende scenario's met elkaar vergeleken worden.

Samen met de werkgroep Techniek is de keuze gemaakt om een selectief aantal scenario's verder uit te diepen en daarmee een gefundeerd inzicht te krijgen in de impact van de oplossingsrichting. Van de scenario's die niet meegenomen zijn in de detaillering zal onderbouwd worden waarom deze keuze gemaakt is.

In bijlage 9.10 staat de volledige scenariolijst weergegeven.

Bij de beoordeling van de scenario's is het ook belangrijk dat de basis op orde is, voordat er bijvoorbeeld in een warmtepomp wordt geïnvesteerd. Met de basis wordt bedoeld dat de schil minstens matig is geïsoleerd. Woningen die overal iets van isolatie (in dak, gevel én vloer- en dakisolatie van 5-7 centimeter) hebben en voorzien zijn van dubbel glas zijn direct geschikt voor de hybride warmtepomp. Eigenaren van woningen die dat niet of deels hebben, moeten rekenen op extra kosten. Zij doen er namelijk verstandig aan om eerst hierin te investeren alvorens wordt overgegaan tot aanschaf van een warmtepomp. Is het huis beter geïsoleerd, dan is dat mooi meegenomen. Is het huis goed tot zeer goed geïsoleerd, dan kan ook een volledige warmtepomp overwogen worden, in plaats van een hybride systeem. Behalve dat er mogelijk nog wat geld moet worden gestoken in de isolatie van het huis, is het ook mogelijk dat de radiatoren en of leidingwerk een upgrade nodig hebben. Een warmtepomp verwarmt het water in de radiatoren tot 45 à 55 (max. 60) graden. In vergelijking met een cv-ketel is dat een stuk lager. De cv-ketel staat meestal afgesteld op 60 tot 80 graden. Een warmtepomp werkt dus met een lagere temperatuur. De vraag is of de bestaande radiatoren hiervoor geschikt zijn. In oudere huizen is dat vaak het geval. Daar hebben de radiatoren een grote capaciteit, omdat de verwarming is ontworpen voor een huis zonder isolatie. Maar het is aan te bevelen om te kijken naar speciale laagtemperatuur-radiatoren; die hebben een groter oppervlak waardoor ze de warmte beter afgeven. Het advies is om hiermee te beginnen in de ruimtes die het meest worden verwarmd (woonkamer, keuken en badkamer). Dit kost al snel circa 2.500 euro.

Ten behoeve van de scenarioberekeningen is reeds rekening gehouden met een warmtevraagreductie van 15%. Deze reductie kan gerealiseerd worden door isolatiemaatregelen toe te passen, waarbij gangbare vormen zijn: dak-, vloer-, gevel- en glasisolatie.

Verwijderingsbijdrage van bestaande gasaansluitingen is niet verwerkt in de overzichten. De reden hiervoor is dat het onduidelijk is wat deze kosten zijn (er wordt gesproken over € 300,- tot € 700,- euro per woning) en of netbeheerders deze kosten wel in rekening kunnen brengen.

Onderstaand overzicht toont de gemiddelde kosten in euro per woningtype per isolatiemaatregel. De kosten zoals in de tabel weergegeven zijn niet meegenomen in de uitwerking van de scenario's. Dit omdat er in de praktijk grote verschillen te verwachten zijn in de mate waarin reeds maatregelen genomen zijn door de woningeigenaren.

	Tussen	Hoek/2-1kap	Vrijstaand
Gevel	800	2.100	3.100
Vloer	1.400	1.600	2.800
Dak	4.100	4.700	8.400
Glas	3.100	3.500	4.700
TripleGlas + kozijn	8.400	9.600	12.700

Figuur 6.1: Gemiddelde kosten per woningtype per maatregel (bron: www.verbeterjehuis.nl)

In onderstaande tabel staan de scenario's weergegeven die in de volgende paragrafen verder uitgewerkt zijn. Er wordt een onderverdeling gemaakt in individuele oplossingen (per woning) en collectieve oplossingen. Per scenario wordt inzicht gegeven in de toegepaste technieken en een onderbouwing op de afwegingscriteria.

Energieconfiguraties

	basisbron	transportmedium/netwerk van bron naar woning	in de woning
1 L/W WP	Lucht-water WP per woning	elektriciteit / elektriciteitsnet	WP lucht-water
2 W/W WP	Water-water (verticale grondwarmtewisselaar) WP per woning	elektriciteit / elektriciteitsnet	WP brine water-water
3 Hyb WP	Hybride WP per woning (eerst met aardgas, later de mogelijkheid om het aardgas te verduurzamen)	waterstof&elektriciteit / bestaande gasnetwerk en elektriciteitsnetwerk	hybride WP
4 TEO	TEO (gemaal), WP en WKO centraal in/naast de wijk	water / warmtenet (70/40 graden)	afleverzet
5 L/W WP col.	Collectief lucht-water WP in de wijk	water / warmtenet (70/40 graden)	afleverzet
6 PVT	Zon-thermisch (PVT) WP + warmtebatterij (innovatieve warmtebuffer) per woning	elektriciteit / elektriciteitsnet	tapwatervoorziening met boiler
ref HR107	Referentie HR107 ketel per woning	bestaande aardgasnetwerk	aardgas cv-ketel

Figuur 6.2: Energieconfiguraties (gezamenlijk met werkgroep Techniek Angerlo bepaald)

6.1 Inleiding individuele energieconfiguraties

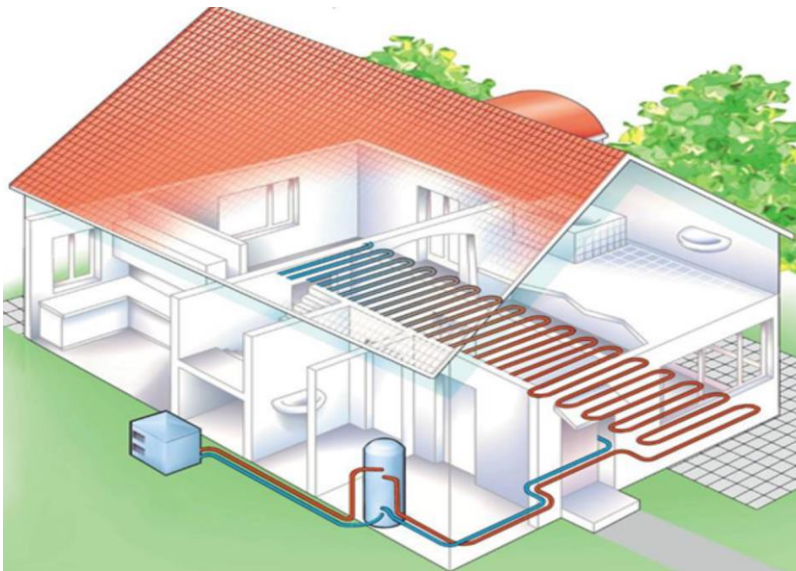
Bij een individueel energiesysteem wordt een warmteopwekker per woning toegepast, net als bij de traditionele cv-ketel. Bij een duurzaam alternatief voor de cv-ketel wordt zoveel mogelijk gebruik gemaakt van de bestaande installatie voor ruimteverwarming en warm tapwaterbereiding. Afhankelijk van het gekozen energieconcept dienen er bouwkundige en/of installatietechnische aanpassingen te worden uitgevoerd. Hierbij valt te denken aan aanpassen van het verwarmingssysteem naar LT-temperatuur en extra isolatiemaatregelen van de woning (bij lage cv-aanvoertemperatuur). Bij de keuze om een all-electric oplossing toe te passen kan dit betekenen dat de elektrische installatie aangepast dient te worden.

6.2 Individueel: Lucht-water warmtepomp per woning

6.2.1 Uitleg technisch concept

Een lucht/water warmtepomp zet warmte uit de buitenlucht om in bruikbare energie voor het verwarmen (en optioneel koelen) van je woning en het bereiden van warmtapwater. Een complete lucht-water warmtepompinstallatie bestaat uit een buitenunit, een binnenunit en/of een regelunit met een losse warm tapwaterboiler. Deze binnenopstelling vraagt om behoorlijk wat ruimte. Tevens dienen er afhankelijk van het type warmtepomp warmteleidingen of koudemiddelleidingen van de buitenunit naar de binnen opstelling te worden gebracht. Omdat de standaard warmtepomp een maximale aanvoertemperatuur voor verwarming van 55-60 graden kan produceren is het aannemelijk dat in de woning bouwkundige (isolatie) of installatietechnische (LT-verwarming) optimalisaties dienen worden uitgevoerd. Voor warm tapwaterbereiding kan het zijn dat elektrische naverwarming nodig is om de juiste warm tapwatertemperatuur te behalen. Een voordeel aan dit concept is dat het beproefde techniek betreft en betrouwbaar kan functioneren mits juist ontworpen. In deze analyse van Angerlo zijn we uitgegaan van een minimale isolatie van de woningen leidt tot een besparing van 15% zoals aangegeven door de werkgroep. De consequentie van isoleren tot een basisniveau is dat de benodigde aanvoertemperatuur hoog genoeg moet zijn om de woning op temperatuur te krijgen en houden. Hierdoor wordt gekozen voor een hoog temperatuur warmtepomp die 65 graden aanvoer kan leveren (in nieuwbouwwoningen zijn dit laagtemperatuur warmtepompen die 35 graden aanvoer hoeft te leveren), hierdoor is het rendement (sCOP) van deze oplossing een stuk lager dan een laagtemperatuur warmtepomp. Een laagtemperatuur warmtepomp kan een sCOP halen van tot 4, waar een hoog temperatuur warmtepomp een sCOP van 2,4 haalt. In bestaande bouw is het lastig om de woning met lage temperatuur te verwarmen, dit zal uiteindelijk een balans zijn tussen investeringen in isolatie en lage temperatuur verwarming zoals vloerverwarming.

Een aandachtspunt van deze lucht-water warmtepompoplossing is, dat op het moment dat een hele buurt overstapt dit resulteert in benodigde verzwaring van het elektriciteitsnetwerk, wat maatschappelijke kosten met zich meebrengt. In figuur 6.2.1 is als voorbeeld een laag temperatuur warmtepomp met vloerverwarming weergegeven. In Angerlo zullen in de huidige situatie hoofdzakelijk verwarmingsinstallaties met uitsluitend radiatoren te verwachten zijn. In de berekening is in geval van een individuele warmtepomp uitgegaan van een radiatoren installatie en een maximale aanvoertemperatuur van 65 graden voor ruimteverwarming.



Figuur 6.2.1: Voorbeeldopstelling lucht-water warmtepomp i.c.m. vloerverwarming (bron: warmtepompinstallateur.nl)

6.2.2 Afwegingscriteria

Betaalbaarheid

De technologie is standaard te koop. Wellicht is het noodzakelijk om het elektriciteitsnet te verzwaren in geval grootschalig in Angerlo toegepast (zie betrouwbaarheid).

Betrouwbaarheid

De kennis is aanwezig. Betrouwbaar systeem vanuit individuele woning. Voor groter energiesysteem probleem m.b.t. gelijktijdigheid. Als iedereen op zelfde moment grote gebruiker aanzet zal het elektriciteitsnetwerk dit niet aankunnen. Er zal ofwel een centraal sturend systeem moeten worden opgezet om dit op Angerlo schaal toe te kunnen passen (hoge kosten, ontwikkelingen op dit gebied nog erg pril) ofwel het net zal verzwared moeten worden. Eerste x aantal woningen zal goed gaan, daarna wordt het problematisch. Tusseloplossingen zijn mogelijk door bijvoorbeeld lokaal elektriciteit op te slaan in batterijen. Juist in de winterperiode met grootste aanspraak op energiegebruik is het dan lastig voldoende elektrische energie op te slaan om de warmtepomp voldoende te kunnen laten draaien.

Toekomstvastheid

Voor korte termijn zeker goed toepasbaar op individuele basis. Zodra grootschalig toepassing in Angerlo wordt het systeem minder betrouwbaar en daardoor minder toekomstvast, tenzij invulling gegeven wordt aan de gestelde randvoorwaarde zoals verwoord onder betrouwbaarheid.

Duurzaamheid

Een belangrijk deel van de energie zal uit het net onttrokken worden. Weliswaar wordt aardgas verdrongen, echter de CO₂-footprint correspondeert met de landelijke footprint voor elektriciteit. Naarmate deze vergroend wordt, zal ook het lokale systeem duurzamer worden.

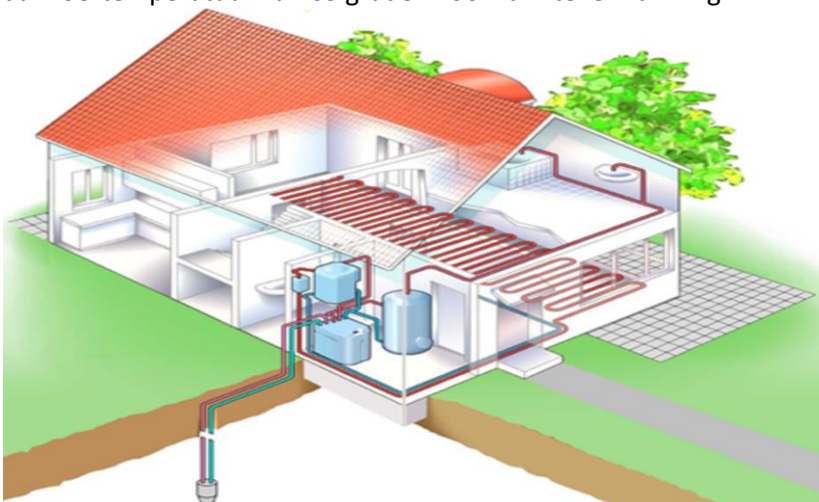
Realiseerbaarheid

Basistechnologie (warmtepomp) is voorhanden en kan direct besteld worden. Op Angerlo schaal zal beoordeeld moeten worden op welke balans gehandhaafd kan worden op korte en langere termijn. Voor de korte termijn op basis van simpel stuuralgoritme, voor toekomstvaste oplossing zal het net verzwaard moeten worden (zeer onzeker vanwege grote drukte bij netbeheerder) danwel lokaal sturend systeem worden geïmplementeerd.

6.3 Individueel: Water-water verticale grondwisselaar per woning

6.3.1 Uitleg technisch concept

Een water-water warmtepomp heeft dezelfde werking als een lucht-water warmtepomp, alleen wordt bij dit concept warmte onttrokken uit de bodem door een gesloten grondwisselaar. Deze wisselaar is gevuld met een mengsel van water en glycol (brine) om bevriezing tegen te gaan. Voor individuele woningen wordt vrijwel altijd een verticale bodemwarmtewisselaar toegepast. Een horizontale variant is vaak niet haalbaar omdat een groot grondoppervlak benodigd is die minimaal een meter moet worden afgegraven. Een complete water-water warmtepompinstallatie bestaat uit een bodemwisselaar, binnenunit met geïntegreerde of losse warm tapwaterboiler. Deze binnenopstelling vraagt om behoorlijk wat ruimte en kan geluid produceren. Omdat de warmtepomp een maximale aanvoertemperatuur voor verwarming van 65 graden (deze temperatuur is vrij hoog, de meeste gangbare warmtepompen hanteren lagere temperaturen) kan produceren het aannemelijk dat in de woning bouwkundige (isolatie) of installatietechnische (LT-verwarming) optimalisaties moeten worden uitgevoerd. De water-water warmtepomp heeft een hoger rendement (sCOP) dan een lucht-water warmtepomp, omdat bodemtemperatuur over het jaar heen een constanter hogere temperatuur heeft (gemiddeld rond de 10 graden) dan de buitenlucht. Een voordeel aan dit concept is dat het beproefde techniek betreft en betrouwbaar kan functioneren mits juist ontworpen. Een nadeel wat optreedt op het moment dat deze oplossing op grote schaal wordt uitgevoerd is de benodigde verzwaring van de elektravoorziening (en aansluiting) op wijkniveau en mogelijk ook in de woningen, deze oplossing heeft wel minder impact op het elektriciteitsnetwerk dan de lucht-water warmtepomp oplossing vanwege de betere sCOP. In figuur 6.3.1 is als voorbeeld een laag temperatuur warmtepomp met vloerverwarming weergegeven. In Angerlo zal in de huidige situatie hoofdzakelijk verwarmingsinstallaties met uitsluitend radiatoren te verwachten zijn. In de berekening is in geval van een individuele warmtepomp uitgegaan van een radiatoren installatie en een maximale aanvoertemperatuur van 65 graden voor ruimteverwarming.



Figuur 6.3.1: Voorbeeldopstelling water/water warmtepomp met brine in wisselaar i.c.m. vloerverwarming (bron: warmtepompinstallateur.nl)
Onderzoek Verduurzaming Angerlo - vV1.0 concept

6.3.2 Afwegingscriteria

Betaalbaarheid

Het gesloten systeem bevat relatief veel componenten waaronder de gesloten verticale bodemwisselaar die in de grond geboord moet worden.

Betrouwbaarheid

Het rendement van het systeem hangt voor een groot deel af van de hoeveelheid warmte die door de grond kan worden opgenomen. Het gaat daarbij niet alleen om de diepte maar ook om het soort grond. Het rendement bij een leemachtige ondergrond is maar liefst twee maal beter dan het geval is bij een droge zandgrond. Naast een geschikte ondergrond, is het nodig dat de woning zeer goed geïsoleerd is. Dat geldt natuurlijk voor alle systemen, maar bij een investering in een grondwater warmtepomp, moet natuurlijk wel, gezien de relatief hoge kosten, het op lange termijn ook rendement opleveren.

Toekomstvastheid

Net als bij de lucht-water warmtepomp zal individuele plaatsing zeer goed mogelijk zijn en biedt het een toekomst vaste oplossing. Echter op de schaal van geheel Angerlo zal gelijktijdigheid in gebruik leiden tot een te grote elektriciteitsvraag, waardoor of er een sturend systeem benodigd is, ofwel het elektriciteitsnetwerk verzaard moet worden.

Duurzaamheid

Er worden bij dit systeem diepteboringen gedaan die, afhankelijk van de bodemsamenstelling en het gewenste vermogen van het systeem, variëren van 25 tot 150 meter diep. Vanaf 50 meter diep is de temperatuur in de bodem constant. Seizoenswisselingen hebben dan nog nauwelijks invloed op deze temperatuur waardoor het rendement van de grondwater warmtepomp het hele jaar constant is. Hierdoor kan de warmtepomp ook in de winter zeer efficiënt ingezet worden (hoge COP waarde blijft behouden)

Realiseerbaarheid

De technologie is beschikbaar. Wel zal een bodemonderzoek uitgevoerd moeten worden om toepasbaarheid zeker te stellen. Zeker voor woningen buiten het focusgebied voor collectieve oplossingen, kan een gesloten bodemsysteem een oplossing bieden.

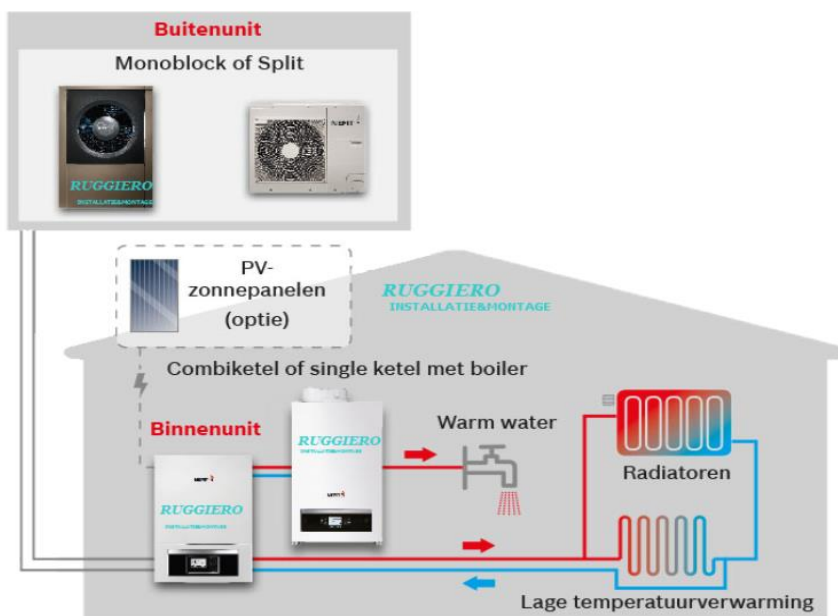
Optimalisering van het systeem

In plaats van boringen per individueel huis kan een systeemoptimalisatie wellicht doorgevoerd worden door voor een cluster van huizen een verticale warmtewisselaar te realiseren. In nader onderzoek zal dan beoordeeld moeten worden of meerkosten van de boring (grotere dimensies e.d.), warmtepompinstallatie en lokaal warmtenetwerk voor het cluster opwegen tegen de kosten reductie van het aantal boringen en grondlussen.

6.4 Individueel: Hybride warmtepomp per woning

6.4.1 Uitleg technisch concept

Een hybride warmtepomp heeft dezelfde werking als een lucht-water warmtepomp. De hybride warmtepomp wordt gekoppeld aan de binneninstallatie naast de bestaande cv-ketel. De hybride warmtepomp levert het basisvermogen voor ruimteverwarming, mocht de buitentemperatuur onder een bepaalde waarde komen, bijvoorbeeld 5 graden, dan neemt de cv-ketel de functie ruimteverwarming over. Ook voorziet de cv-ketel in warm tapwaterbereiding. De hybride warmtepompinstallatie bestaat uit een buitenunit, binnenunit en de bestaande cv-ketel. Dit concept verlaagt het gasverbruik op woningniveau, maar geeft geen opties tot gasloos. Dit concept is relatief eenvoudig uitvoerbaar en heeft minder invloed op de elektra-infrastructuur dan een stand-alone warmtepomp.



Figuur 6.4.1: Voorbeeldopstelling hybride warmtepomp (met optioneel PV) (bron: nefit.nl)

6.4.2 Afwegingscriteria

Betaalbaarheid

Met de subsidie meegerekend komt de investering van een hybride warmtepomp uit op een bedrag tussen de 2.100 en 3.100 euro. Er zijn veel factoren die een rol spelen in de uiteindelijke investering. Het is belangrijk dat de basis op orde is, voordat er in een warmtepomp wordt geïnvesteerd. Met de basis wordt bedoeld dat de schil minstens matig is geïsoleerd. Woningen die overal iets van isolatie (in dak, gevel én vloer en dakisolatie van 5-7 centimeter) hebben en voorzien zijn van dubbel glas zijn direct geschikt voor de hybride warmtepomp. Eigenaren van woningen die dat niet of deels hebben, moeten rekenen op extra kosten. Zij doen er namelijk verstandig aan om eerst hierin te investeren alvorens wordt overgegaan tot aanschaf van een warmtepomp. Is het huis goed tot zeer goed geïsoleerd, dan kan ook een volledige warmtepomp overwogen worden, in plaats van een hybride systeem. Behalve dat er mogelijk nog wat geld moet worden gestoken in de isolatie van het huis. Een warmtepomp verwarmt het water in de radiatoren tot 45 à 55 graden. In vergelijking met een cv-ketel is dat een stuk lager. Een cv-ketel staat meestal afgesteld op een temperatuur tot 80 graden.

In het najaar, wanneer het kouder wordt, is de aanvoer temperatuur van 45 tot 55 graden niet meer toereikend en neemt de cv-ketel het over.

Betrouwbaarheid

Zolang er (aard)gas beschikbaar is, is het systeem betrouwbaar. Op de (langere) termijn moet dus ofwel een vervangend groengas (biogas, waterstof) beschikbaar zijn of zal het systeem zelf aangepast/vervangen worden zodanig dat de gascomponent kan vervallen. Mogelijkheden hiertoe zijn volledig elektrisch (zie lucht – water warmtepomp), alsnog collectieve oplossing of beoordeling van dan beschikbare technieken.

Toekomstvastheid

Een hybride warmtepomp wordt vaak als tussenoplossing gezien op de weg naar volledig aardgasloos. Als centraal ten behoeve van Angerlo een duurzaam gas (bijvoorbeeld: waterstof of groen gas) gebruikt gaat worden kan de oplossing volledig duurzaam zijn in de toekomst. Worden andere oplossingen dan het toepassen van duurzaam gas op termijn toegepast, dan zal een nieuwe investering noodzakelijk zijn om het systeem hierop aan te laten sluiten. Tevens is er na de levensduur van de hybride oplossing de mogelijkheid om alsnog over te stappen naar de lucht-water warmtepomp oplossing in combinatie, mits er tegen die tijd een isolatiestap gemaakt is.

Duurzaamheid

Bij toepassen van een hybride warmtepomp daalt de CO₂-uitstoot met ongeveer 25%. Hiermee is de oplossing aanzienlijk duurzamer dan een standaard gasketel. Echter de oplossing is niet (aard)gasloos. Er zal dus ofwel een oplossing gevonden moeten worden om een duurzaam gas op termijn te gebruiken, ofwel een investering plaats moeten vinden in een duurzamere technologie om volledig (aard)gasloos te kunnen worden.

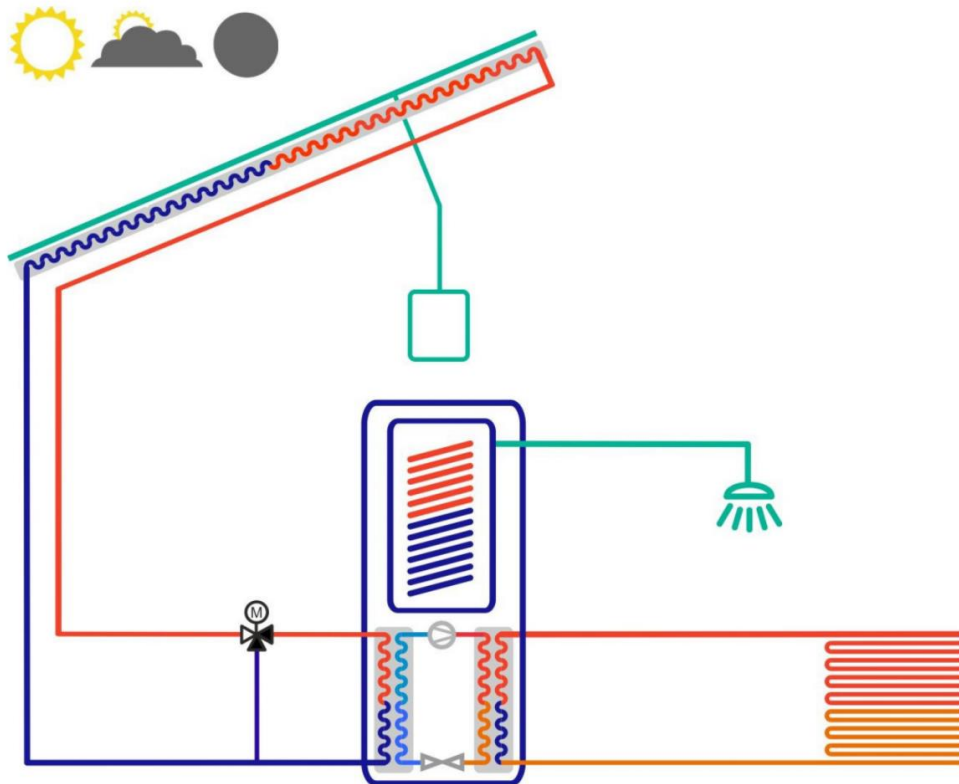
Realiseerbaarheid

Hybride warmtepompen kennen ondertussen een groot aanbod. Het systeem is dan ook op zeer korte termijn realiseerbaar. Bij grootschalige toepassing zal beoordeeld moeten worden in hoeverre het elektriciteitsnet verzaamd moet worden danwel een sturend systeem geïmplementeerd om pieken in de elektriciteitsvraag te voorkomen.

6.5 Individueel: Zon thermisch (PVT), warmtepomp en innovatieve warmtebatterij per woning

6.5.1 Uitleg technisch concept

Het innovatieve PVT-paneel wekt elektriciteit op via het zonnepaneel en wint daarnaast warmte uit daglicht, zonlicht en buitenlucht. Terwijl de elektriciteit naar het elektriciteitsnet gaat, wordt de warmte doorgegeven aan de warmtepomp. De warmte uit de bron, de PVT-panelen, is van relatief lage temperatuur. In de warmtepomp wordt de warmte omgezet in bruikbare, hogere warmte voor een woning; denk aan verwarming en warm tapwater. De warmtepomp, die op elektriciteit werkt, vervangt daarmee de cv-ketel op gas. Deze warmte kan bijvoorbeeld 's avonds in de woning worden afgegeven voor ruimteverwarming of warm tapwaterbereiding. Optioneel kan (op dat moment niet benodigde) warmte die tijdens een zonnige dag wordt geproduceerd worden opgeslagen in een warmtebatterij.

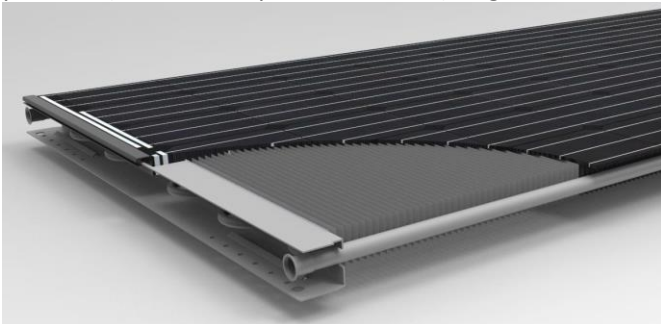


Figuur 6.5.1: PVT-panelen en warmtepompsysteem (bron: TripleSolar)

6.5.2 Afwegingscriteria

Betaalbaarheid

Zon-PVT panelen à € 720,- per stuk (bron: TripleSolar) zijn ten opzichte van gewone PV-zonnepanelen à € 250,- per stuk (bron: zonnepanelen-info.nl) ongeveer een factor 3 duurder.



Figuur 6.5.2: PVT-paneel (bron: TripleSolar), hierin is een zonnepaneel dat elektriciteit opwekt gecombineerd met een warmtewisselaar voor de warmteproductie.

Naast de PVT-panelen zelf zal er geïnvesteerd moeten worden in een boiler voor tapwater en een boiler voor ruimteverwarming voor de verschuiving van opwek naar de ochtend en avond en mogelijk van een zonnige dag naar een minder zonnige dag. Waar de warmtebuffer leeg raakt zal een piekvoorziening de warmteproductie het over moeten nemen. Juist de seizoensopslag is een interessante optimalisatie van dit systeem om het duurzamer te kunnen maken. Met een seizoensbuffer kan er meer warmtevraag in de winter van duurzame oorsprong ingezet worden. Een seizoensbuffer in de vorm van wateropslag zal te omvangrijk

worden (enkele kubieke meters), waar gezocht kan worden in meer innovatieve oplossingen zoals de warmtebatterij van TNO. De warmtebatterij bestaat uit Thermisch Chemische Materiaal (TCM) waar anders dan Phase Changing Material (PCM) geen gebruik wordt gemaakt van een faseovergang van een materiaal maar van een chemische verandering van het materiaal. De warmtebatterij kan hierdoor warmte vasthouden over langere periode zonder warmteverlies en in compactere vorm tot 3 maal minder ruimtebeslag dan wateropslag. Deze warmtebatterij zien we als innovatieve oplossing als uitbreiding op de systemen nu op de markt worden aangeboden.

Betrouwbaarheid

Op zich is een PVT-systeem betrouwbaar. Het experimentele karakter van de warmteopslag (afhankelijk van de technologie) maakt het totale systeem minder betrouwbaar. Indien alleen een boiler vat toegepast wordt is er uiteraard sprake van een betrouwbare beproefde technologie, en dus betrouwbaar.

Toekomstvastheid

Op dit moment zijn de technieken voor individuele warmteopslag in woningen nog experimenteel te noemen en zijn er nog geen uitgebreide toepassingen beschikbaar. Het is dan ook onzeker wat de ontwikkelingen naar de toekomst zullen brengen. Indien grootschalig beschikbaar, dalen prijzen en wordt toepassing interessant.

Duurzaamheid

Groot voordeel van een PVT-systeem is dat naast elektriciteit ook duurzame warmte gegenereerd wordt. De warmte wordt gebruikt om de warmtepomp ook in de winter efficiënt te laten werken. Bijna de helft van het energieverbruik voor warmwater kan met een zonneboiler bespaard worden. Door een warmtebatterij toe te voegen kan opgewekte warmte die niet direct verbruikt wordt opgeslagen worden.

Realiseerbaarheid

PVT-systemen zijn beschikbaar en kunnen gekocht worden. Warmtebuffers (kleinschalig) in de vorm van boiler vaten zijn er ook. Echter zodra warmte voor langere tijd opgeslagen dient te worden zijn er nog maar weinig echt commerciële systemen op de markt.

6.6 Individueel: Referentiescenario huidige HR-gasketel

6.6.1 Uitleg technisch concept

In vrijwel alle woningen in Angerlo is een aardgasgestookte cv-ketel aanwezig. De cv-ketel zet aardgas om in warmte middels verbranding. Deze warmte wordt gebruikt voor ruimteverwarming en warm tapwaterbereiding. Doordat Angerlo wil verduurzamen wordt in dit onderzoek naar een interessant alternatief of aanvulling gezocht voor de huidige cv-ketels.



Figuur 6.6.1: HR cv-ketel

6.6.2 Afwegingscriteria

Betaalbaarheid

De gas cv-ketel is vanwege de uitgekristalliseerde techniek een zeer betaalbaar apparaat. Echter de kans is groot dat het aanschaffen van een gas cv-ketel extra belast gaat worden, zowel in aanschaf als in gebruik doordat bijvoorbeeld betaald moet worden voor de CO₂-uitstoot, of een belastingmaatregel op de gasprijs. Ontwikkelingen in die richting zijn al in gang gezet. Wat de werkelijke extra kosten zullen zijn over bijvoorbeeld 15 jaar gerekend is lastig weer te geven. Dat deze kosten zullen stijgen is een zekerheid.

Betrouwbaarheid

De cv-ketel is een zeer betrouwbaar apparaat en heeft een grote toepassing in huishoudens.

Toekomstvastheid

De (aard)gas gestookte cv-ketel mag nu nog geïnstalleerd worden. Echter op korte termijn, mogelijk al per 2021, is het verplicht een duurzame maatregel te nemen en is het alleen aanschaffen van een cv-ketel niet meer mogelijk. In combinatie met een warmtepomp, waarbij de gas gestookte cv-ketel als piekvoorziening wordt ingezet (een hybride vorm) zal wel mogelijk zijn.

Duurzaamheid

De gewone (gas) cv-ketel wordt voor de toekomst als niet duurzaam beschouwd. Bij vervanging van aardgas door een duurzaam gas, zoals biogas of waterstof, spreken we wel over een duurzame oplossing. Echter in deze situatie (de referentie configuratie) beschouwen we de cv-ketel zoals die nu is: een aardgas gestookte cv-ketel.

Realiseerbaarheid

Voorlopig nog geen probleem om een cv-ketel aan te kopen. Direct leverbaar en te installeren.

6.7 Inleiding collectieve energieconfiguraties

In een collectief energiesysteem zal een centrale bron aanwezig zijn, waarbij warmte via een warmtenet gedistribueerd wordt naar de individuele woningen. De warmtebron wordt gevormd door het energiehuis. Het energiehuis is modulair op te bouwen, waarbij energiestromen ten behoeve warmte, elektriciteit en mobiliteit gecentraliseerd worden in de wijk. Toekomstige ontwikkelingen, zoals op het gebied van waterstof ten behoeve opslag, inzet t.b.v. mobiliteit kunnen hierbij op eenvoudige wijze ingepast worden.

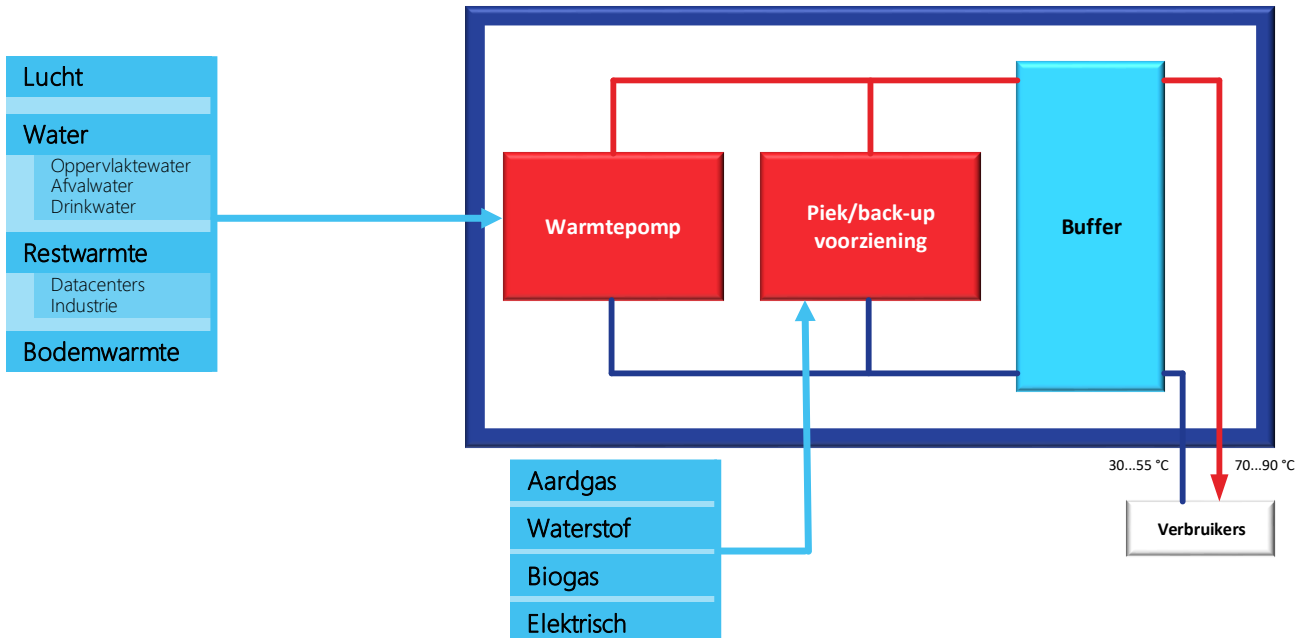


Figuur 6.7.1: Energiehuis als collectieve voorziening voor een wijk

Het energiehuis is opgebouwd uit een aantal componenten. De primaire energie wordt opgewekt uit een duurzame energiebron, dit kan bijvoorbeeld restwarmte, buitenlucht, oppervlaktewater en bodemenergie zijn. Ook biomassa kan als bron dienen echter is deze niet meegenomen in de studie voor Angerlo. Deze primaire energie wordt door een warmtepomp of ketel omgezet naar thermische energie, waarbij tijdens grote vraag een piekvoorziening in de vorm van een piekketel wordt bijgeschakeld. Deze piekketel kan worden gevoed met (aard)gas, waterstof of elektrisch worden aangedreven. Om een balans in vraag en aanbod te kunnen optimaliseren wordt een thermisch buffer toegepast. Vanuit het buffer worden de woningen voorzien van warmte.

Onder de motorkap

Wat vind je terug in het energiehuis

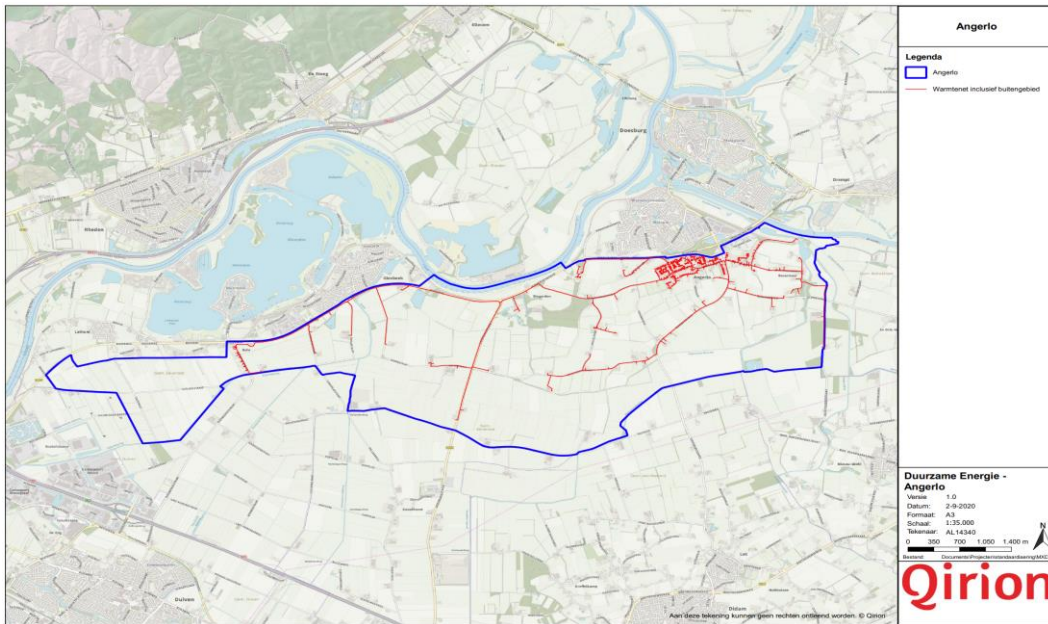


Figuur 6.7.12 Schematisch overzicht technische mogelijkheden energiehuis

Naast de centrale warmtebron voorziening is er ook een warmtenet nodig om de opgewekte warmte naar de woningen te transporteren. In de volgende paragraaf is een eerste globaal beeld van het warmtenet ingetekend.

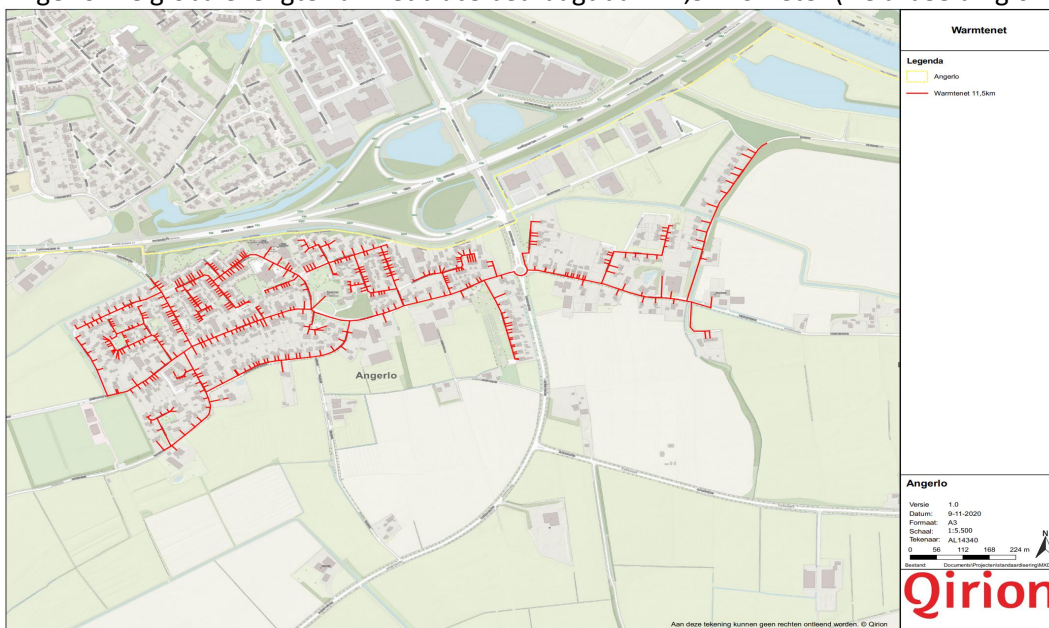
6.7.1 Tracé warmtenet Angerlo

Om de impact van de warmte-infrastructuur op de omgeving en kosten te kunnen bepalen is een globale tracéschets opgesteld. Op basis van dit inzicht is ook te bepalen wat een strategische locatie voor de warmtebron kan zijn. In de tracéschets zijn woningen in Angerlo aangesloten op het warmtenet (rode lijn). Zoals te zien is ontstaan er lange uitlopers naar de woningen buiten de woonkern, hierdoor is het realiseren van een warmtenet financieel niet haalbaar.



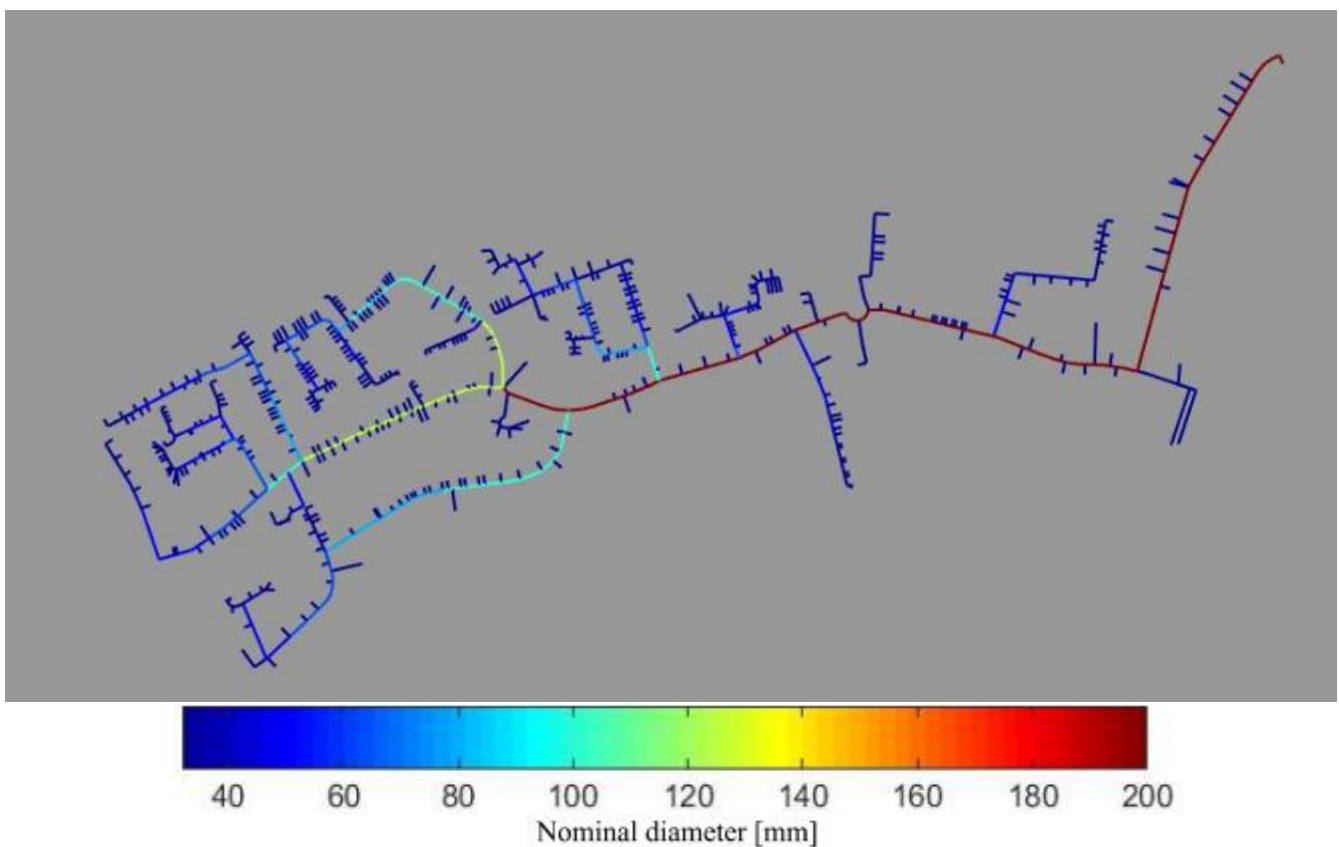
Figuur 6.7.1.1: Globale tracéschets warmtenet Angerlo inclusief uitlopers. Zie bijlage 9.8

Om het warmtenet financieel haalbaar te krijgen hebben we in het uiteindelijke ontwerp de aansluitingen van de woningen in het buitengebied achterwege gelaten en een knip gemaakt op de grens van de woonkern van Angerlo. De globale lengte van het tracé bedraagt dan 11,5 kilometer (zie afbeelding 6.7.1.2)



Figuur 6.7.1.2: Globale tracéschets warmtenet kern Angerlo. Zie bijlage 9.9

Het uitgangspunt voor het beoogde MT-warmtenet is een temperatuurregime van 70°C/40°C. De aanvoertemperatuur is zo gekozen dat zowel ruimteverwarming als tapwater bediend kan worden. Net als de andere energie-oplossingen wordt er uitgegaan van een standaard na-isolatie van alle woningen, waardoor een aanvoertemperatuur van 70 graden toereikend is. Het voordeel van een collectief systeem is dat de na-isolatie niet tegelijk met realisatie van het alternatief gereed hoeft te zijn. Bij bijvoorbeeld een individuele warmtepomp moet de woning meteen na-geïsoleerd worden omdat deze anders niet warm wordt met aanvoer temperatuur van 60-65 graden. Bij een collectief systeem kan er op echt koude winterdagen extra opgestookt worden met de piekinstallatie tot hogere temperaturen (80 graden) zodat de woningen warm worden, hierdoor kunnen de isolatiemaatregelen op een ander tempo verlopen wat woningeigenaren de mogelijkheid biedt om de investeringen te spreiden.



Figuur 6.7.1.3: Warmtenetwerk ontwerp met als uitgangspunt dat de bron, warmtepomp i.c.m. TEO, of de lucht warmtepomp, in het noordoosten geplaatst wordt, mogelijk op het bedrijventerrein om zo overlast minimaal te houden.

6.8 Collectief: TEO, warmtepomp en WKO centraal in/naast de wijk

6.8.1 Uitleg technisch concept

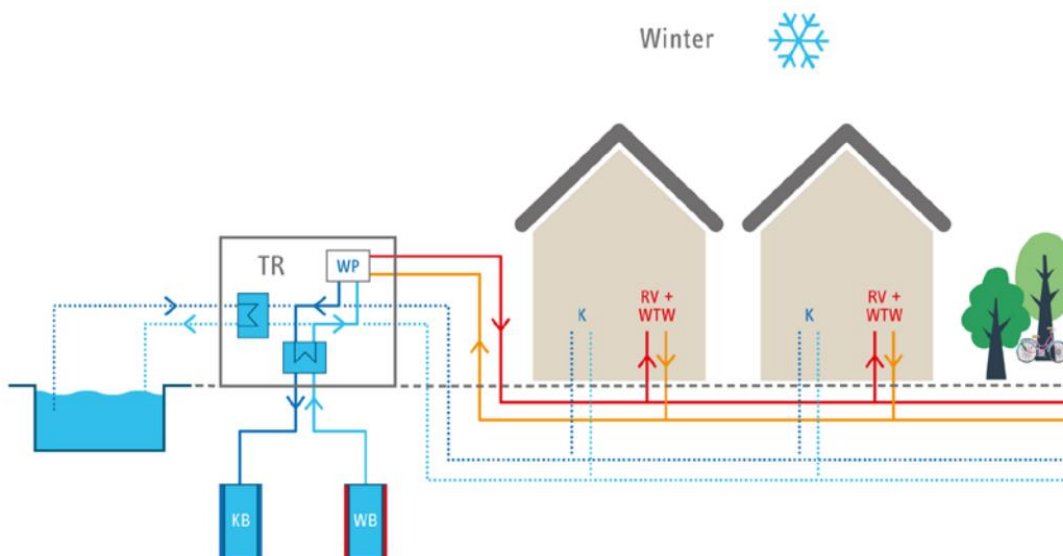
Bij toepassen van thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) wordt warmte uit water gebruikt om een collectieve warmtepompinstallatie te voorzien van primaire energie.

In de zomer wordt deze warmte uit het oppervlakte water opgeslagen in een warmte-/koudeopslag (WKO). De warmtepompen waarden de primaire warmte op tot een temperatuur die bruikbaar is voor het verwarmen van de woningen en warm tapwaterbereiding. Voor de piekmomenten wordt een gasketel ingezet, deze kan de temperatuur tot 70 graden (of desgewenst hoger) verhogen. Dit kan nodig zijn in koude perioden. Om de woningen te voeden wordt een warmtenet aangelegd naar de woningen. In de woningen wordt een afleverset geplaatst.

Aardgas als piekenergie kan op een zeker moment worden uitgefaseerd door een duurzaam gas, bijvoorbeeld waterstof of groen gas. Ook nieuwe energietechnieken kunnen worden gekoppeld aan het opweksysteem, dit maakt het systeem modulair en toekomstbestendig.

Voor het aandrijven van de warmtepompen en overige componenten wordt gebruik gemaakt van elektriciteit. Het is mogelijk om (toekomstige) duurzame opwek hieraan te koppelen.

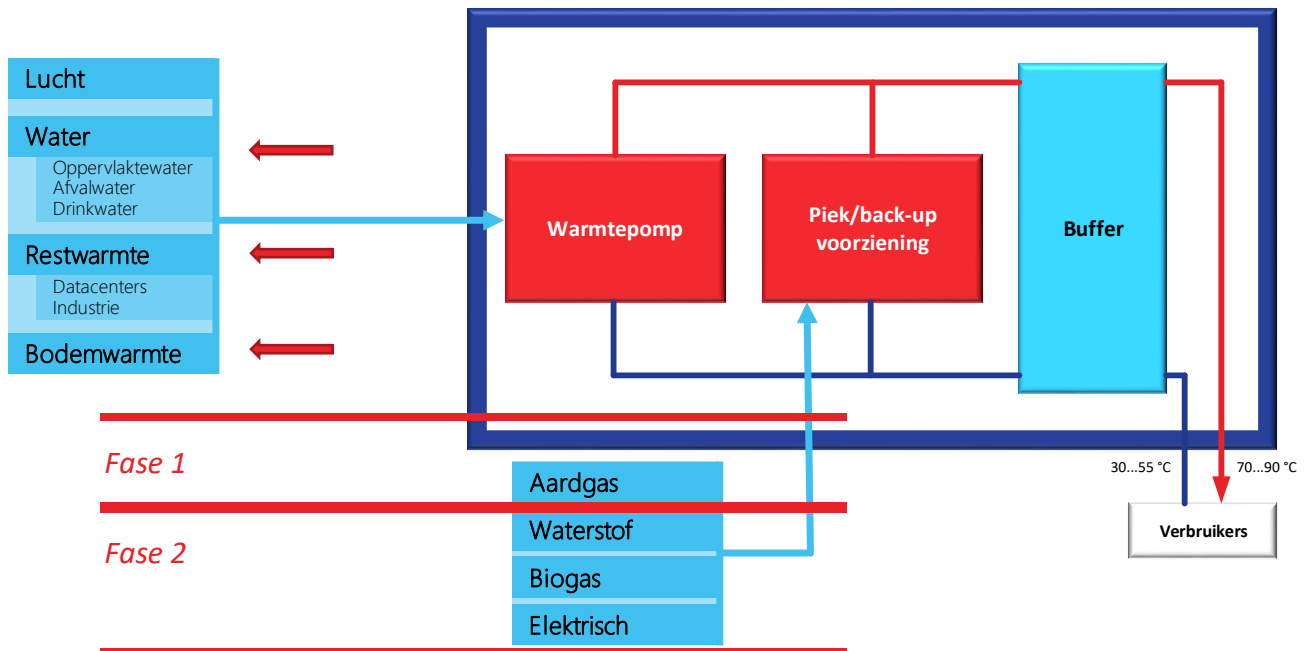
Omdat het een collectief systeem betreft ontstaat er voordeel vanuit schaalgrootte. Hierdoor staat de techniek op een centrale locatie in de wijk en niet in de woningen. Dit beperkt de mate van impact op het elektriciteitsnet en benodigde verzwaring van het net. En geeft de mogelijkheid om optimalisaties op één locatie te kunnen doorvoeren voor verdere verduurzaming van Angerlo. Bij de aanleg van het warmtenet in de wijk wordt gekeken naar koppelkansen om aanleg van het warmtenet gelijktijdig met bijvoorbeeld vervanging van de riolering uit te voeren.



Figuur 6.8.1.1: Collectief TEO/WKO en warmtepompsysteem (bron: Rom3D /project Heeg)

Onder de motorkap

Wat vind je terug in het energiehuis



Figuur 6.8.1.2: Schematisch overzicht energiehuis met water-water warmtepomp (met verschillende mogelijke primaire warmtebronnen)

6.8.2 Afwegingscriteria

Betaalbaarheid

Naast een grote centrale installatie staat de aanleg van een warmtenet. Hiermee wordt een netwerk van leidingen aangelegd die de woningen van warmte voorziet. Het netwerk wordt veelal gefinancierd door een investeerder die met een bepaald rendement op de investering over lange termijn terugbetaald wordt. Door middel van de warmtetarieven die per woning betaald worden aan de warmteleverancier voor gebruik van de warmte komt geld beschikbaar. Een ESCO (energyservice company) kan een middel zijn om geldstromen zoveel mogelijk lokaal te houden door zelf de warmte te verkopen en dus de exploitatie rol in te vullen.

Betrouwbaarheid

Het toepassen van TEO is in een situatie waarbij er voldoende oppervlakte water is een zeer betrouwbaar systeem. Gezien het meerjaren inzicht van het gemaal kan gesteld dat er ruim voldoende warmte uit het gemaal te winnen is. Met de klimaatveranderingen kan het zijn dat het meerjaren gemiddelde echter afwijkt van de toekomstige situatie. Als fall-back scenario kan op dat moment besloten worden de warmtewisselaar te verplaatsen naar de Oude IJssel die dicht bij het gemaal ligt. Daarnaast zal er goed gekeken moeten worden naar de ondergrond, of deze goed geschikt is voor het realiseren van een WKO, deze WKO is essentieel voor het systeem om optimaal te kunnen functioneren. De beschikbare warmte uit oppervlaktewater is alleen in de zomermaanden beschikbaar en zal opgeslagen moeten kunnen worden. De ondergrond is nog niet bestudeerd, dit zal door een gespecialiseerde partij onderzocht moeten worden. Wij zijn in deze studie uitgegaan van dat deze toepassing mogelijk is en dat dat tegen een gemiddelde prijs realiseerbaar is met behulp van een kental per kW.

Toekomstvastheid

Het systeem maakt voor de basislast (85% van energie) gebruik van een primaire bron, in veel oplossingen een warmtepomp. Daarnaast wordt een piekvoorziening voorzien die in de echt koude dagen bijschakelt en de overige 15% van de energie voorziet. Een piekbron bestaat in veel gevallen uit een elektrisch element of een gasketel. Deze verhouding komt tot stand vanwege het feit dat een basisbron duurder in investering is, goedkoper operationeel is. Daarentegen is de piekbron in investering goedkoop, maar operationeel duur. De balans tussen basis en piekbron ontstaat op het punt één derde basis en twee derde piek, welke zorgt voor een verdeling respectievelijk 85% en 15%. De wijze van toepassing is dat de piek voorlopig op aardgas gebaseerd zal zijn. De piek doormiddel van aardgasketel kan na bijvoorbeeld 15 jaar kan dan alsnog overgestapt worden op groengas (biogas, waterstof) of een dan gangbare oplossing voor piekvoorziening. Wel zal een bodemonderzoek uit moeten wijzen in hoeverre de bodem geschikt is voor een WKO nu en naar verwachting langere termijn. Juist vanwege de aanwezigheid van rivier de Oude IJssel zal de ondergrondse waterloop goed onderzocht moeten worden om aan te tonen dat de opgeslagen warmte in de WKO ook ter plekke beschikbaar blijft en niet “wegstroomt”.

Duurzaamheid

Een collectief systeem kan als zeer duurzaam gezien worden als de centrale voorziening, met name de piek voorziening een duurzame invulling heeft. Tijdens de transitieperiode (15 jaar) zou de pieksetel nog op basis van aardgas kunnen zijn. Daarna kan de keuze gemaakt worden voor waterstof, biogas of bijvoorbeeld verdere elektrificatie.

Realiseerbaarheid

Het systeem is zeer goed realiseerbaar, waarbij wel de dimensionering van de warmtewisselaar in het gemaal goed onderzocht/ontworpen moet worden en afgestemd op de warmtebehoefte. Voordeel van het centrale systeem is dat deze relatief dicht bij het gemaal geplaatst kan worden (richting industrieterrein) waardoor ruimtelijke inpassing goed lijkt te lukken.

6.9 Collectief: lucht-water warmtepomp centraal in/naast de wijk

6.9.1 Uitleg technisch concept

Bij toepassen van collectieve lucht/water warmtepompen wordt warmte uit de buitenlucht omgezet in bruikbare energie voor het verwarmen van de woningen en het bereiden van warmtapwater op een centrale plek in de wijk of naast de wijk. Voor de piekmomenten wordt een centrale gasketel ingezet, deze kan de temperatuur tot 70 graden (of desgewenst hoger) verhogen. Dit kan nodig zijn in koude perioden. Om de woningen te voeden wordt een warmtenet aangelegd naar de woningen. In de woningen wordt een afleverset geplaatst.

Aardgas als piekenergie kan op een zeker moment worden uitgefaseerd door een duurzaam gas, bijvoorbeeld waterstof of groen gas. Ook nieuwe technieken kunnen worden gekoppeld aan het opweksysteem, dit maakt het systeem modulair en toekomstbestendig.

Voor het aandrijven van de warmtepompen en overige componenten wordt gebruik gemaakt van elektriciteit. Het is mogelijk om (toekomstige) duurzame opwek hieraan te koppelen.

Omdat het een collectief systeem betreft ontstaat er voordeel vanuit schaalgrootte. Hierdoor staat de techniek op een centrale locatie in de wijk en niet in de woningen. Dit beperkt de mate van impact op het

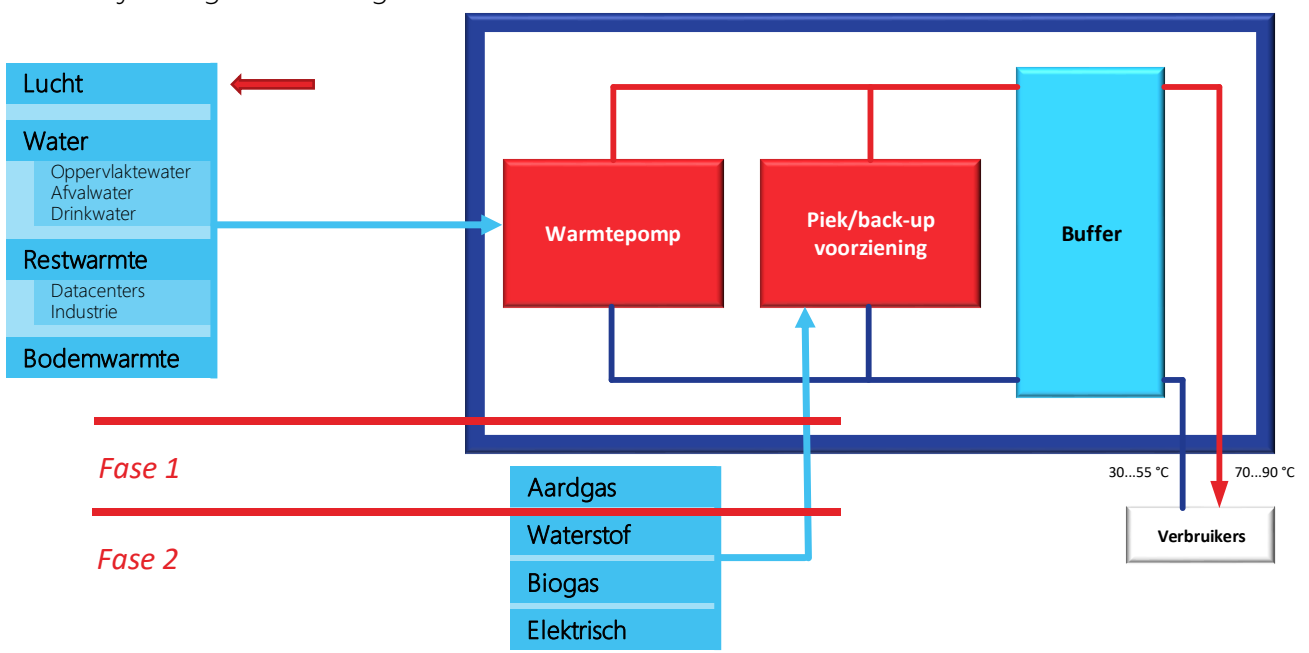
elektriciteitsnet en benodigde verzwaring van het net. Een nadeel van dit systeem kan de geluidsproductie van de ventilatoren (luchtverplaatsing) zijn. Om deze reden dient de locatie van het energiecentrale zorgvuldig te worden gekozen. Bij de aanleg van het warmtenet in de wijk wordt gekeken naar koppelkansen aanleg van het warmtenet gelijktijdig met bijvoorbeeld van vervanging van de riolering.



Figuur 6.9.1.1: Collectief Lucht/waterwarmtepompsysteem in een energiehuis (bron: Qirion/Alliander)

Onder de motorkap

Wat vind je terug in het energiehuis



Figuur 6.9.1.2: Schematisch overzicht energiehuis met lucht-water warmtepomp

6.9.2 Afwegingscriteria

Betaalbaarheid

Het systeem bestaat uit relatief weinig componenten, waarbij de warmte uit de lucht gehaald wordt, zonder gebruik te maken van een bodemopslag. Dit houdt in dat in de winter meer gebruik gemaakt zal worden van de piekvoorziening om aan de warmtevraag te kunnen voldoen.

Betrouwbaarheid

Het systeem is zeer betrouwbaar en wordt al veelvuldig toegepast. Het geluidsniveau is wel een aspect om rekening mee te houden. Daarnaast wordt vooralsnog gebruik gemaakt van aardgas.

Toekomstvastheid

De installatie kan gezien worden als een uit te breiden systeem waar na verloop van tijd meerdere componenten aan toegevoegd worden om het systeem verder te optimaliseren. Denk hierbij aan waterstof piekvoorziening. Het rendement van de installatie kan dan ook verbeteren naar mate technologie beschikbaar komt. Dit maakt het een modulair systeem en daarmee toekomstvast.

Duurzaamheid

In de winter zal er een groot beroep op de piekvoorziening gedaan worden. Zolang deze geen duurzame bron heeft (waterstof, biogas) zal hiervoor aardgas worden ingezet.

Realiseerbaarheid

Het systeem bestaat uit componenten die veel worden gebruikt. De technologie is volwassen en wordt in de praktijk veelvuldig toegepast. Wel moet rekening gehouden worden met het geluidsniveau van de lucht-water warmtepomp. Aangezien de centrale voorziening naar alle waarschijnlijkheid aan de rand van het dorp geplaatst kan worden lijkt ruimtelijke inpassing goed mogelijk.

7. Analyse energieconfiguraties

In dit hoofdstuk worden de geanalyseerde configuraties kwantitatief tegen elkaar afgewogen op de criteria betaalbaarheid en duurzaamheid. Hiermee kan de impact van een configuratie beoordeeld worden op kosten en CO₂-uitstoot.

Niet alle configuraties zijn in de analyse meegenomen. Samen met de werkgroep Techniek is een keuze gemaakt om een 6-tal configuraties verder uit te diepen. Dit in plaats van een globale analyse van alle onderkende scenario's. In bijlage 9.10 staat de volledige lijst van niet geselecteerde configuraties benoemd met hierbij aangegeven waarom een bepaalde configuratie niet meegenomen is in de analyse.

7.1 Betaalbaarheid

Om de configuraties met elkaar te kunnen vergelijken op basis van kosten is een TCO (Total Cost of Ownership) opgesteld. De kosten zijn opgebouwd uit:

- Investeringskosten, o.a.:
 - Investeringskosten in de individuele warmtetechniek of bijdrage aansluitkosten (BAK);
 - Herinvestering;
 - Investeringskosten voor elektrisch koken en/of lage temperatuur afgiftesysteem (65 graden).
- Operationele kosten, o.a.:
 - Energiekosten (variabele en vaste kosten), gemiddelde tarief aardgas en elektriciteit top10 gaslicht.com, warmte ACM maximum tarief 2020;
 - Netbeheerderskosten: elektriciteit en aardgas vastrecht Liander, vastrecht warmte ACM maximum tarief 2020;
 - Onderhoudskosten: er is gerekend met een 3% van de initiële investering van installaties als jaarlijkse terugkerende onderhoudspost.
- Subsidies
 - ISDE, in te zetten voor individuele installaties, deze wordt eenmalig toegekend voor bijvoorbeeld een warmtepomp. De omvang varieert van €1800 tot €3000. Deze kunnen door een particulier aangevraagd worden. RVO heeft lijsten met producten gepubliceerd hierin vernoemd het bedrag wat aan subsidie verstrekt wordt. <https://www.rvo.nl/subsidie-en-financieringswijzer/isde/particulieren>;
 - PVT subsidie: 50% BTW teruggave + €2800 voor warmtepompen;
 - PAW, programma aardgasloze wijken aan te vragen bij binnenlandse zaken. Deze subsidie wordt door een gemeente aangevraagd voor een oplossing voor een gehele wijk of buurt van circa 500 woningen. <https://aardgasvrijewijken.nl>;
 - SAH, Stimuleringsregeling aardgasvrije huurwoningen, bedoeld voor een subsidie per woning in het geval van aansluiten op een collectief warmtenet en voor aanpassingen binnen de woning omvang 30%, tot maximaal €3800 voor een aansluiting op een warmtenet en 40% tot een maximum van €1200 voor inpanidige aanpassingen;
 - <https://www.rvo.nl/subsidie-en-financieringswijzer/stimuleringsregeling-aardgasvrije-huurwoningen-sah-voor-verhuurders>;

- SDE++, Stimulering Duurzame Energie, bedoeld als operationele subsidie voor duurzame opwek, <https://www.rvo.nl/subsidie-en-financieringswijzer/stimulering-duurzame-energieproductie-en-klimaattransitie-sde/aanvragen-sde>.

Op basis van de energievraag en de toegepaste techniek wordt de balans opgemaakt voor de TCO voor 15 jaar en 30 jaar. Met de langere periode worden ook de effecten van herinvesteringen inzichtelijk in de totale kosten.

Er is een aantal nieuwe woningen in Angerlo die geen gasaansluiting hebben. Wel is het daadwerkelijke verbruik voor wat betreft gasverbruik over geheel Angerlo meegenomen. Er is gerekend met een aanname voor elektriciteitsverbruik voor de verschillende huistypen, waarbij het totaal elektriciteitsverbruik van Angerlo vastgesteld is door verbruik te vermenigvuldigen met het aantal woningen per woningtype. Indien reeds gasloze woningen (nu of nog toekomstig te realiseren) nog toegevoegd moeten worden, heeft dit vooral impact op de compensatie van het elektrisch verbruik, zoals dat in paragraaf 7.2 verder wordt uitgewerkt.

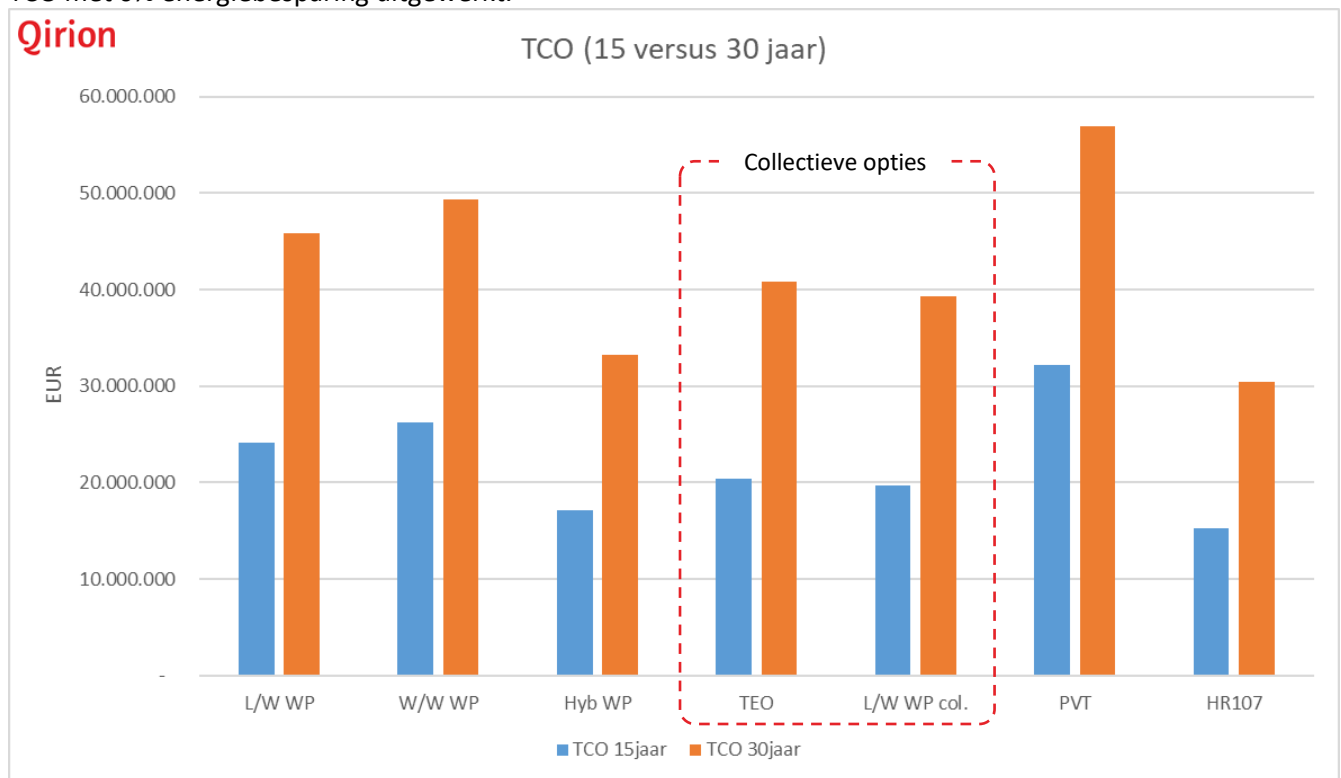
Indien meer woningen op het warmtenet aangesloten kunnen worden in de toekomst (nog te realiseren nieuwbouw) zal dit een gunstig effect hebben op de kosten voor de collectieve energieconfiguraties, doordat de kosten over meer aangeslotenen verdeeld kan worden.

Uitgebreide beschrijving van de financiële aannames staan in bijlage 9.12.

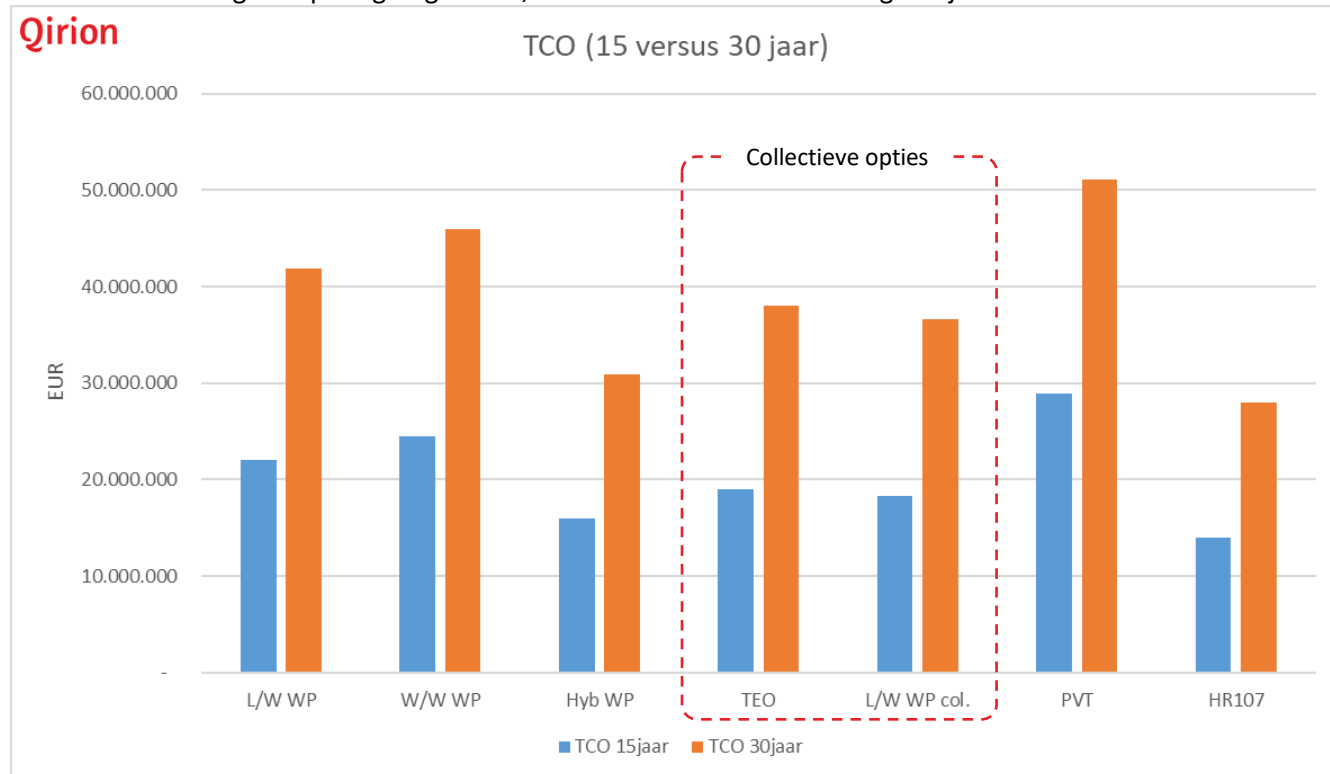
7.1.1 TCO totaal zonder subsidie

In onderstaande grafiek is het overzicht van de totale TCO per configuratie zonder subsidie zichtbaar. De TCO wordt berekend op basis van de operationele kosten gedurende de looptijd plus (her)investeringen verrekend met heffingskorting.

TCO met 0% energiebesparing uitgewerkt.



TCO met 15% energiebesparing uitgewerkt, de isolatiekosten voor woningen zijn niet in dit overzicht verwerkt.

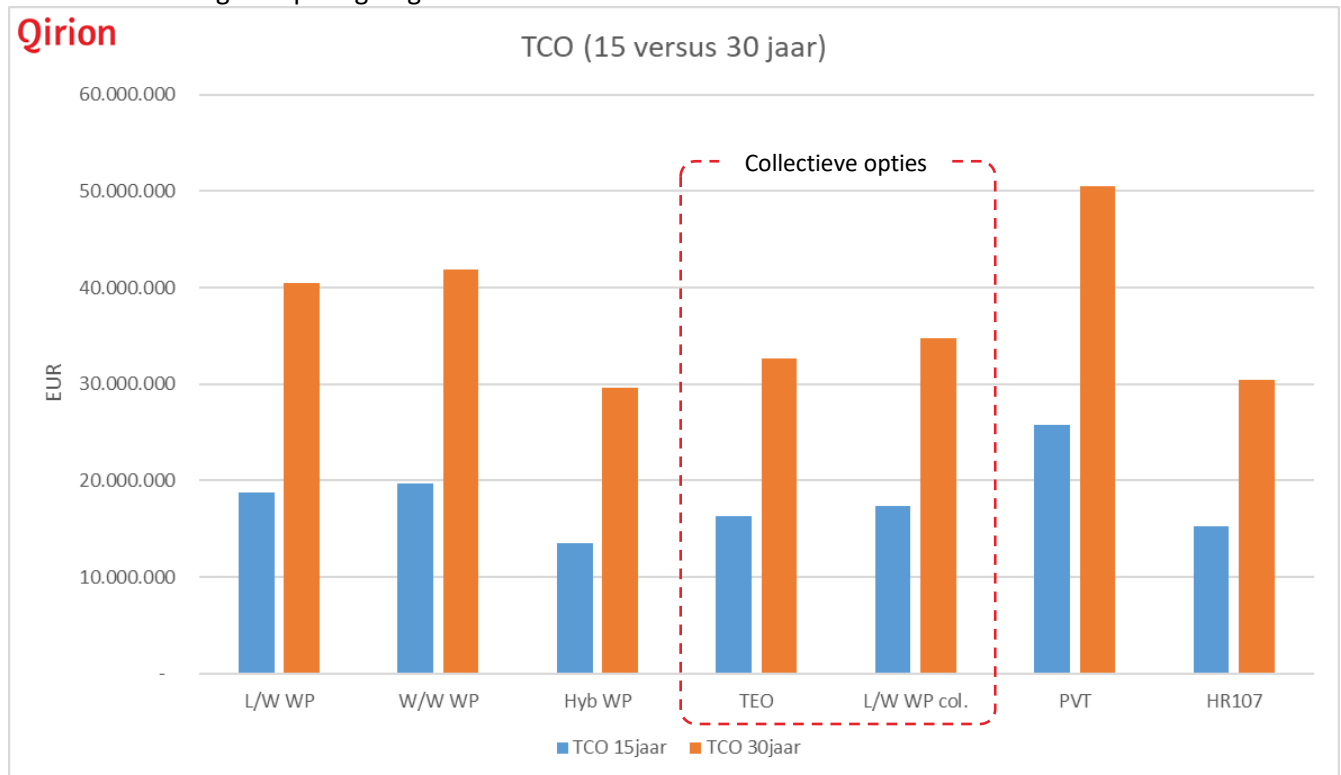


Wat opvalt is dat de individuele oplossing hybridewarmtepomp weliswaar iets hoger uitvalt qua kosten, maar redelijk vergelijkbaar is met de huidige gas cv-keteloplossing. Collectieve systemen zijn voor zowel de 15 jaar als 30 jaar gunstiger dan een individuele warmtepomp per woning.

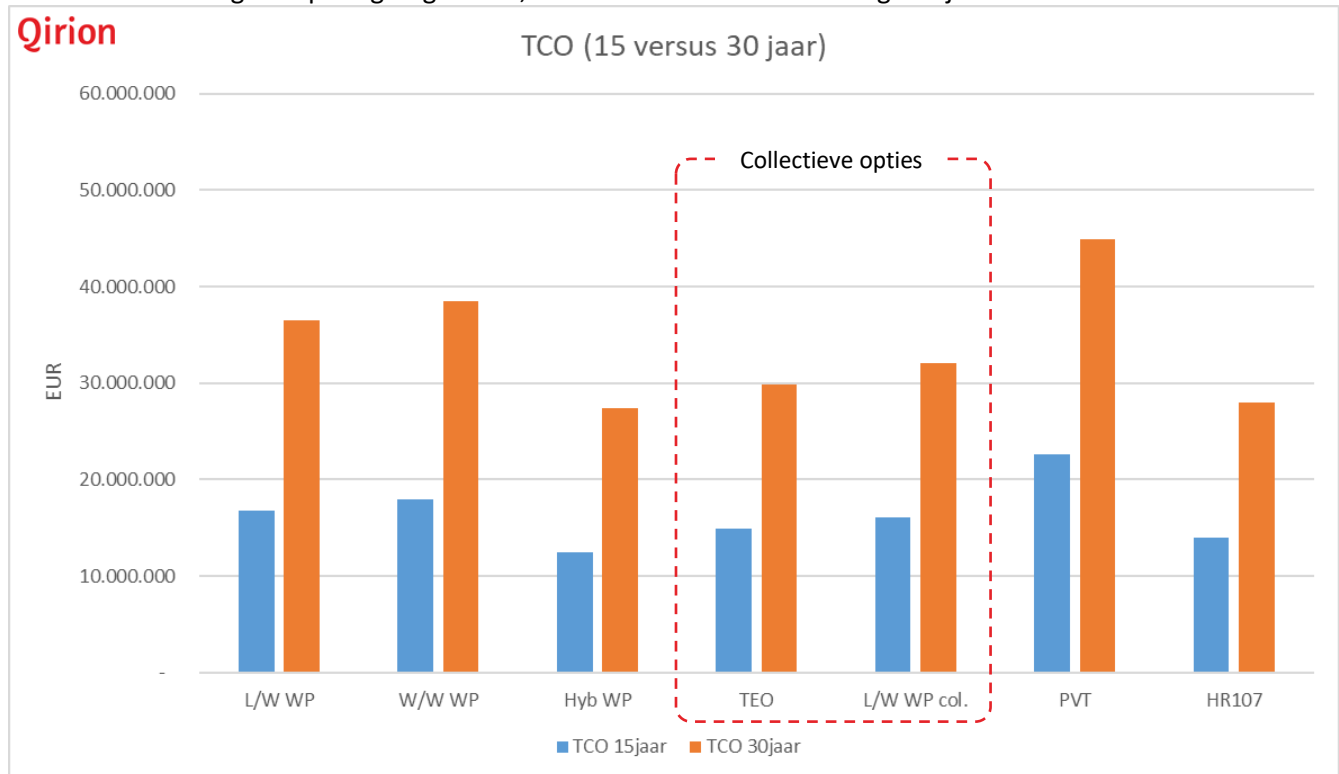
7.1.2 TCO totaal met subsidie

Vergelijken we de kosten inclusief subsidie kansen voor de verschillende configuraties, dan ontstaat onderstaand beeld.

TCO met 0% energiebesparing uitgewerkt.



TCO met 15% energiebesparing uitgewerkt, de isolatiekosten voor woningen zijn niet in dit overzicht verwerkt.



Hierbij is uitgegaan van onderstaande subsidie vormen, zoals toegelicht in paragraaf 7.1:

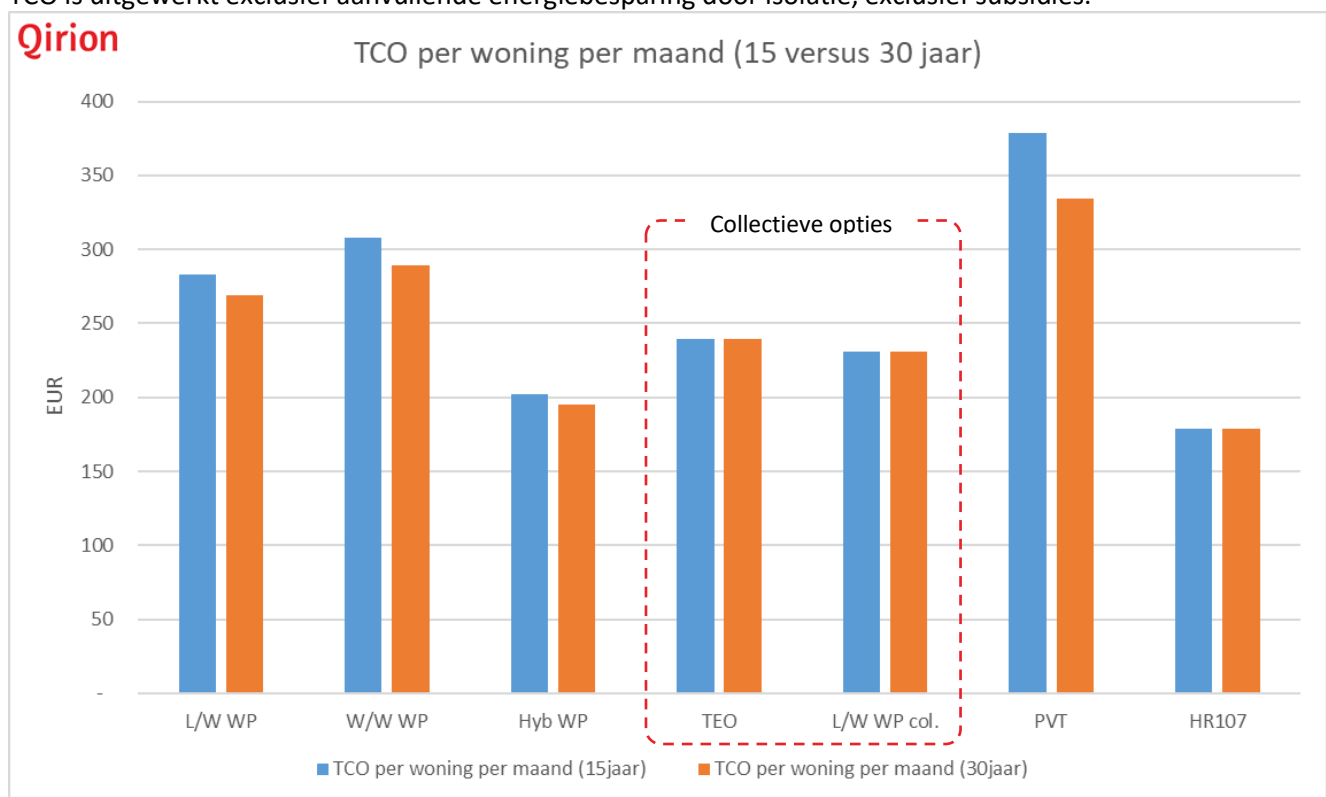
- **TEO SDE++** €80/MWh
- **ISDE Aanschafsubsidie** individuele **WP** €1800-€3000
- **PVT** subsidie: 50% BTW teruggave + €2800 voor WP
- **SAH** max 30% **aansluitkosten warmtenet** (max €3800) + max 40% in pandige kosten (max €1200)
- **PAW** aardgasvrije wijken, afgelopen tranche 2 had de subsidie een omvang van €4.000.000. Deze subsidie gold voor aardgasloze oplossingen. Deze zijn in de berekeningen meegenomen als initiële subsidie voor de varianten met uitzondering van de hybride warmtepomp en de HR107 ketel. (op moment van schrijven is nog niet bekend hoe de 3^e tranche PAW eruit gaat zien (zowel de hoogte als waar deze voor ingezet mag worden is op dit moment nog niet duidelijk.))

Vanwege huidige subsidie mogelijkheden op duurzame technieken komt de hybridewarmtepomp in deze doorrekening onder het kostenniveau van de huidige gasoplossing. De collectieve oplossingen naderen nu het niveau van de huidige referentieoplossing en benaderen het kostenniveau van de hybridewarmtepomp zonder subsidie. Dit is op zich een interessant gegeven aangezien bij de hybridewarmtepomp oplossing na een aantal jaar (15 jaar) een herinvestering noodzakelijk is per woning om verdere verduurzaming mogelijk te maken. Bij een collectief systeem is herinvestering ook nodig, echter door op centraal niveau dit door te voeren zijn de totale systeemkosten die hiermee gemoed zijn naar verwachting lager.

7.1.3 TCO per energieconfiguratie per woningtype zonder subsidie

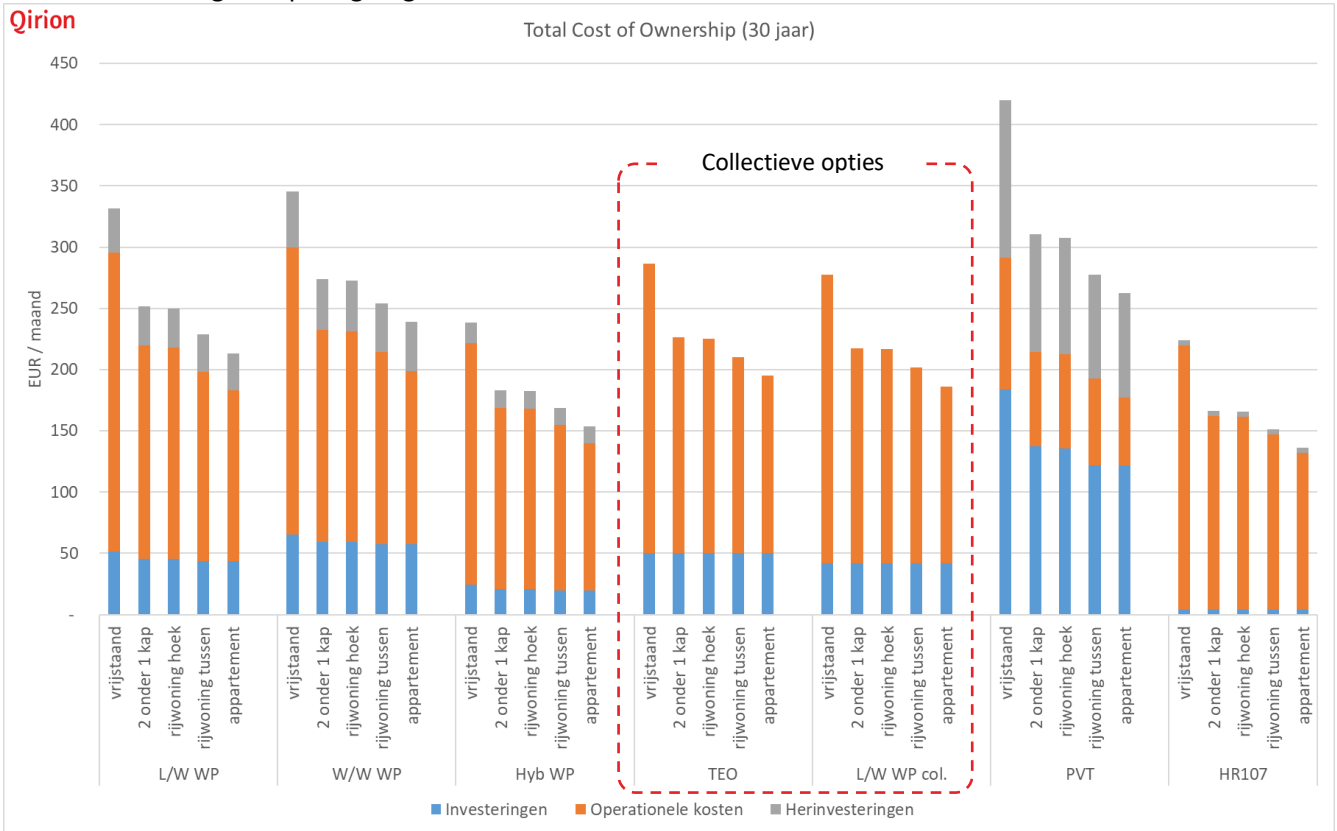
In de voorgaande paragraaf zijn de totale TCO's van 15 jaar en de totale TCO's van 30 jaar voor heel Angerlo weergegeven. In deze paragraaf worden de resultaten gegeven voor de individuele woningtypes. Omdat dit interessante informatie is voor woningeigenaren worden deze resultaten op een andere manier weergegeven. Ten eerste worden de kosten per maand weergegeven zodat deze herkenbaar zijn en makkelijker te vergelijken zijn met de huidige kosten. Ten tweede worden de kosten enkel voor 30 jaar weergegeven en niet meer voor 15 jaar. Bij een TCO van 30 jaar wordt er rekening gehouden met onderdelen van het systeem die langer dan 15 jaar mee gaan en worden er voor de andere onderdelen herinvesteringen meegeteld. Dit geeft een 'eerlijkere' vergelijking dan bij een TCO van 15 jaar. Dit effect is in onderstaande afbeelding goed te zien.

TCO is uitgewerkt exclusief aanvullende energiebesparing door isolatie, exclusief subsidies.

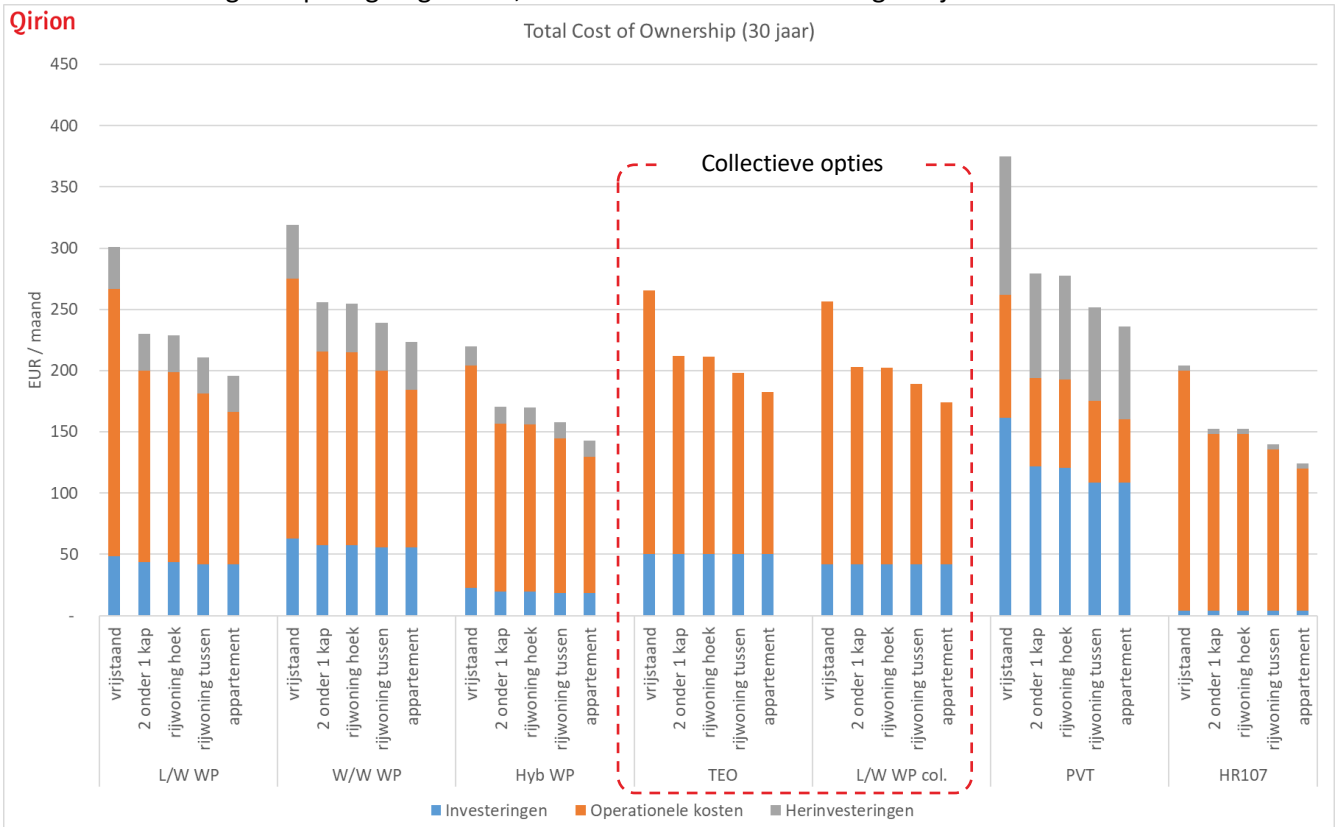


Ten derde worden de resultaten opgesplitst in investering, herinvesteringen en operationele kosten. Zo kan er een goed beeld gevormd worden van de verschillen tussen de configuraties.

TCO met 0% energiebesparing uitgewerkt.



TCO met 15% energiebesparing uitgewerkt, de isolatiekosten voor woningen zijn niet in dit overzicht verwerkt.



Investerings (blauw):

Investerings die door de woningeigenaar uitgevoerd moet worden om over te kunnen stappen naar de nieuwe energievoorziening. In het geval van een collectieve voorziening TEO en collectieve warmtepomp wordt er een bijdrage aansluitkosten gerekend waarmee de business case van een warmte-exploitant sluitend gemaakt wordt.

NB: maatschappelijke kosten door o.a. netverzwaring bij individuele 'all-electric' configuraties zijn niet meegenomen.

Herinvesteringen (grijs):

Er vindt een herinvestering plaats na 15 jaar in de technieken die dan einde levensduur zijn, hier vallen de technieken inclusief installatie zoals warmtepomp, gasketel, zon-PVT onder. Hiervoor is aangenomen dat 70% van de initiële investering herinvesteerd wordt met het idee dat een deel van de installatie zoals leidingwerk en aanpassingen in de woning langer mee gaat.

Operationele kosten (oranje):

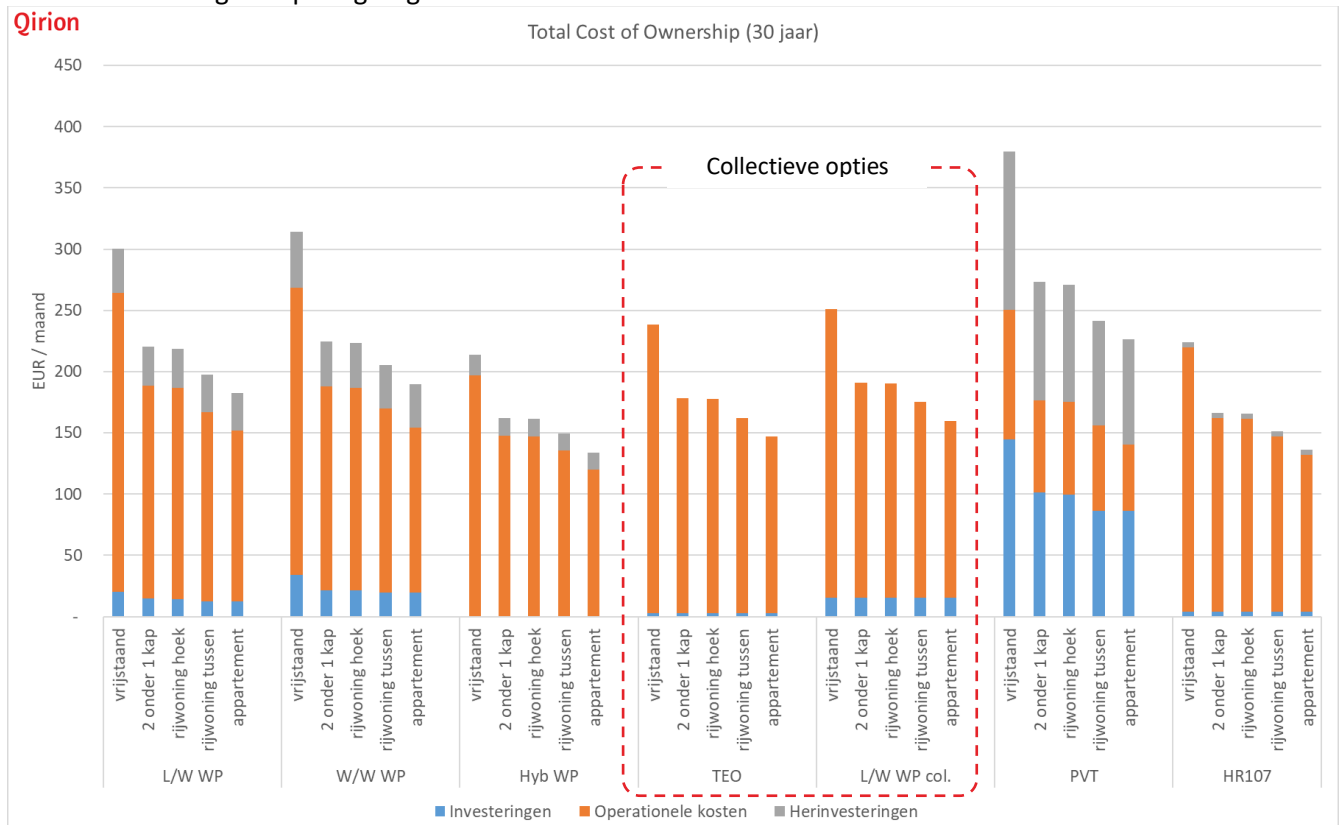
Jaarlijks terugkomende kosten over een looptijd van 30 jaar: vastrecht E, G en W, inkoop elektriciteit, gas en warmte, onderhoudskosten aan de installaties.

NB: Gerekend met de (energie)tarieven van vandaag.

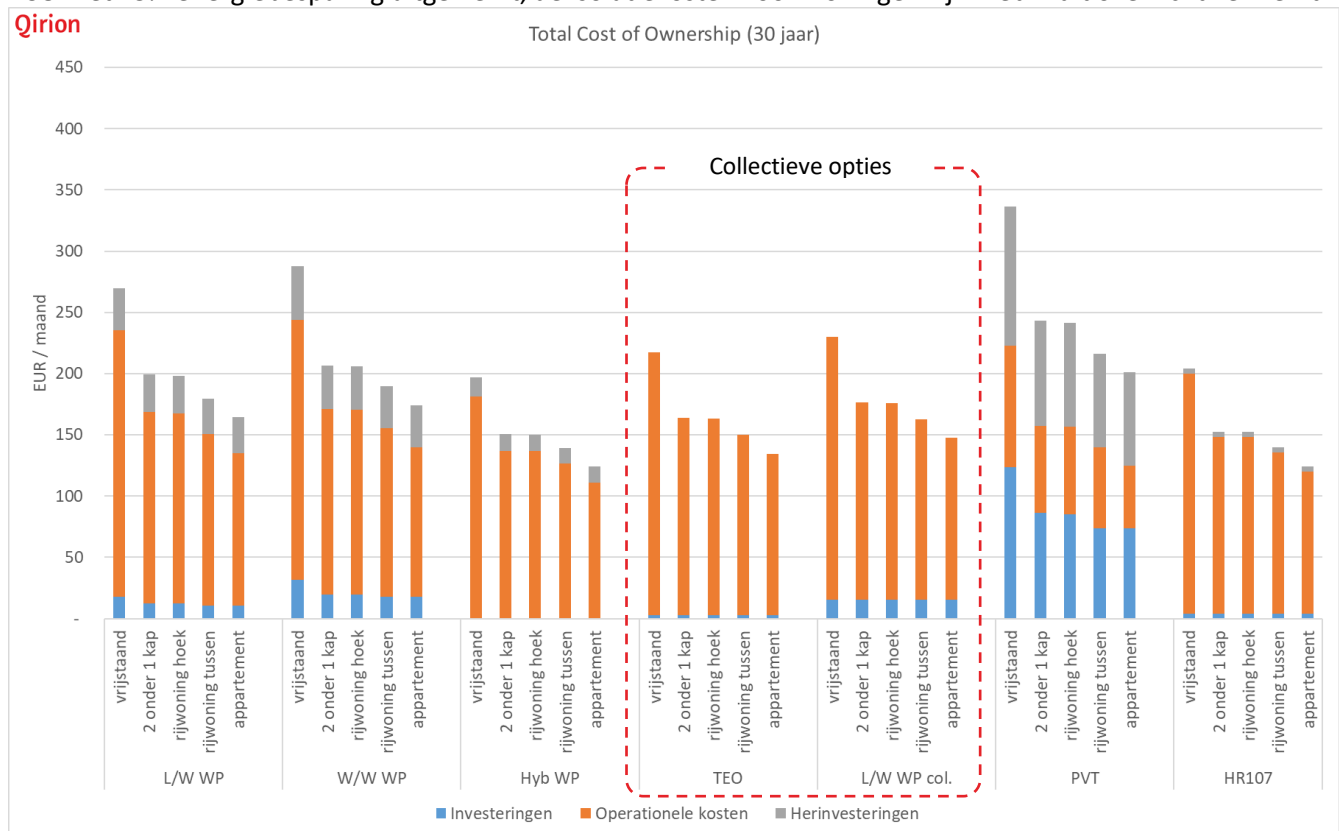
7.1.4 TCO per energieconfiguratie per woningtype met subsidie

In onderstaande afbeeldingen zijn de resultaten weergegeven inclusief de eerder beschreven subsidies.

TCO met 0% energiebesparing uitgewerkt.



TCO met 15% energiebesparing uitgewerkt, de isolatiekosten voor woningen zijn niet in dit overzicht verwerkt.



Hierbij is uitgegaan van onderstaande subsidie vormen, zoals toegelicht in paragraaf 7.1:

- **TEO SDE++** €80/MWh
- **ISDE Aanschafsubsidie** individuele **WP** €1800-€3000
- **PVT** subsidie: 50% BTW teruggave + €2800 voor WP
- **SAH** max 30% **aansluitkosten warmtenet** (max €3800) + max 40% in pandige kosten (max €1200)
- **PAW** aardgasvrije wijken, afgelopen tranche 2 had de subsidie een omvang van €4.000.000. Deze subsidie gold voor aardgasloze oplossingen. Deze zijn in de berekeningen meegenomen als initiële subsidie voor de varianten met uitzondering van de hybride warmtepomp en de HR107 ketel. (op moment van schrijven is nog niet bekend hoe de 3^e tranche PAW eruit gaat zien (zowel de hoogte als waar deze voor ingezet mag worden is op dit moment nog niet duidelijk.))

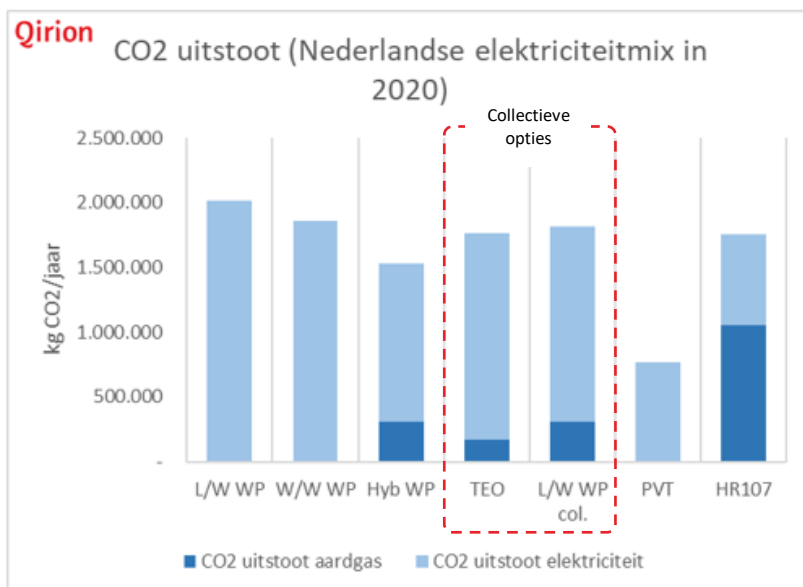
De meeste subsidies zorgen voor een daling van de benodigde netto investering (daling van de blauwe balken), daarnaast heeft de SDE++ impact op de operationele kosten. Door alle subsidies mee te nemen is te zien dat de verschillen tussen de verschillende technieken nagenoeg gelijkgetrokken wordt, zoals ook de intentie van de subsidies.

7.2 Duurzaamheid

7.2.1 Impact op CO₂-uitstootreductie van de verschillende energieoplossingen

Door de elektrificatie van de opwek van warmte; aardgasketel wordt vervangen door oplossingen met een warmtepomp of een PVT-systeem en elektrische piekverwarmer, is de mate van duurzaamheid grotendeels afhankelijk geworden van de mate van duurzaamheid van de elektriciteit. In de volgende drie grafieken wordt de CO₂-uitstoot van de oplossingen weergegeven gerekend met elk een andere mate van duurzaamheid van de elektriciteit. De duurzaamheid gemeten in CO₂-uitstoot wordt bepaald op basis van de Nederlandse elektriciteitsmix, in de eerste grafiek de huidige elektriciteitsmix, in de tweede grafiek de Nederlandse elektriciteitsmix in 2030 (prognose door PBL in het *rapport Nationale Energieverkenning 2017*), en een derde grafiek waar alle elektriciteit duurzaam wordt opgewekt in Angerlo. De donkerblauwe delen laten het deel zien van de energie waar die met aardgas wordt ingevuld. Deze kan verduurzaamd worden door over te stappen op een duurzaam alternatief gas, waarmee volledige verduurzaming gerealiseerd kan worden.

Grafiek 1:

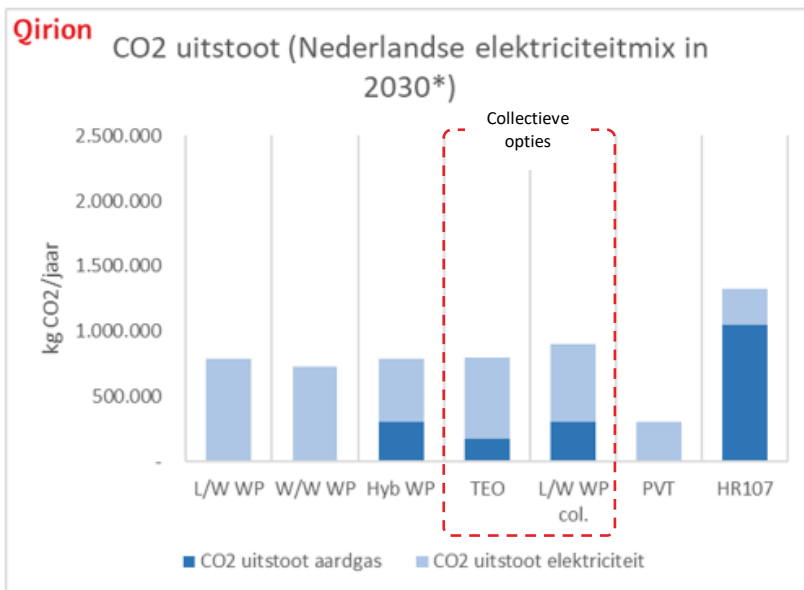


CO₂ emissiefactoren 2020

Elektriciteit = 0,475 kg CO₂ / kWh

Aardgas = 1,884 kg CO₂/m³ (= 0,193 kg CO₂/kWh)

Grafiek 2:

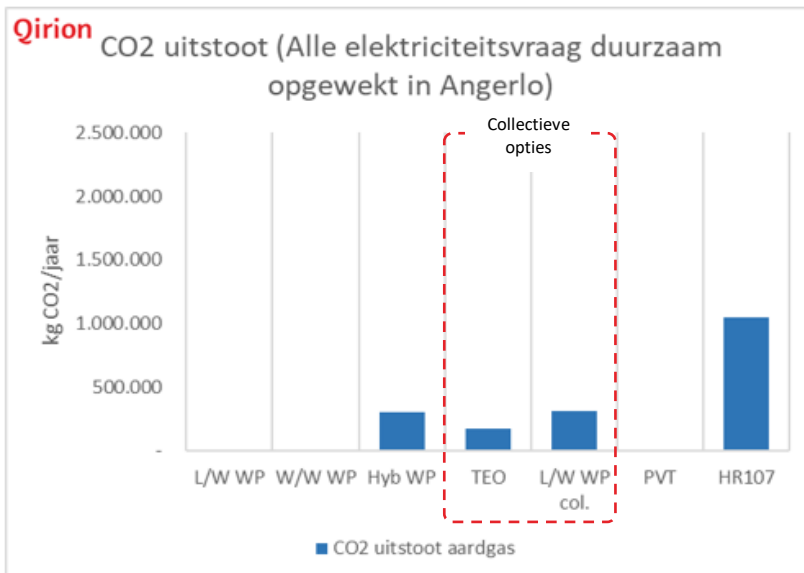


CO2 emissiefactoren 2030

Elektriciteit* = 0,186 kg CO₂ / kWh

Aardgas = 1,884 kg CO₂/m³ (= 0,193 kg CO₂/kWh)

Grafiek 3:



Alle elektriciteitsvraag duurzaam opgewekt in Angerlo

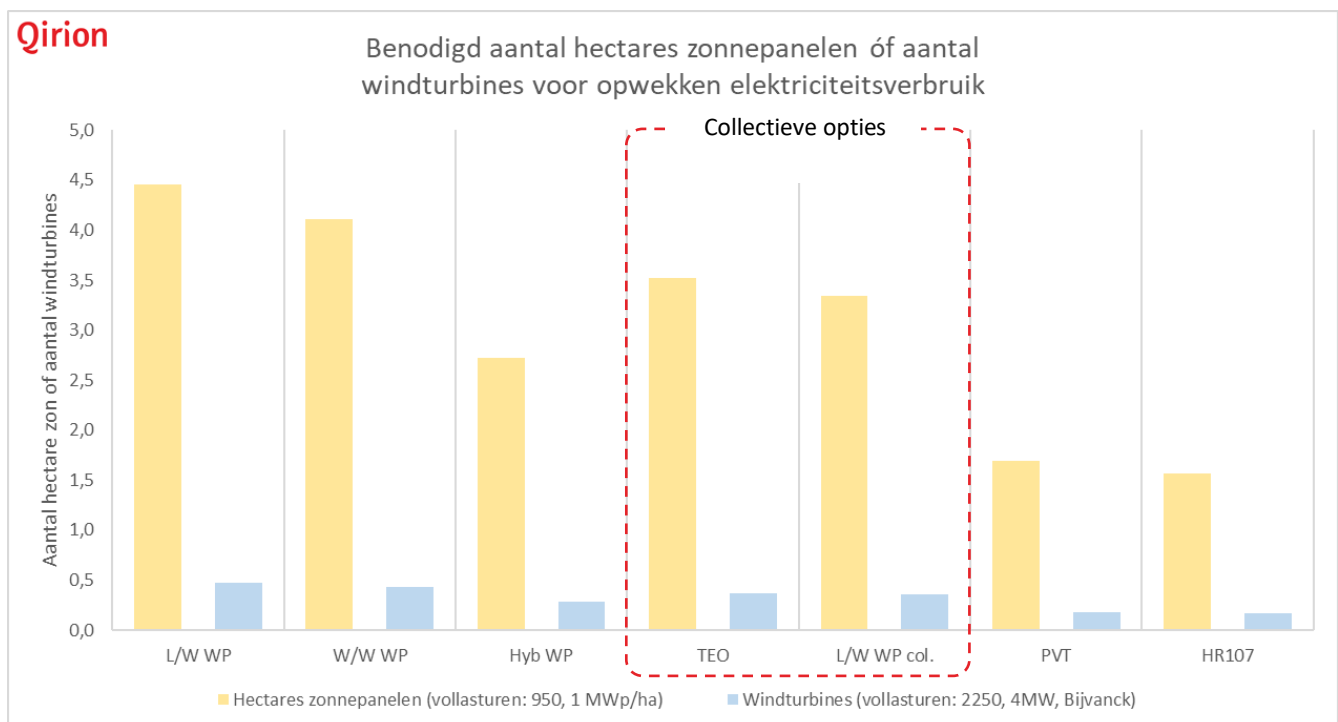
Elektriciteit = 0,0 kg CO₂ / kWh

Aardgas = 1,884 kg CO₂/m³ (= 0,193 kg CO₂/kWh)

Uit bovenstaande grafieken blijkt dat met de doorgerekende configuraties, ook al wordt alle elektrische energie zelf opgewekt, een aantal configuraties alsnog CO₂-uitstoot hebben. Dit komt doordat voor de piekvoorziening gebruik wordt gemaakt van aardgas. Zou dit (op termijn) omgezet worden naar duurzaam gas, of verder elektrificatie indien mogelijk. Dan kunnen ook deze configuraties zonder CO₂-uitstoot gerealiseerd worden.

7.2.2 Duurzame opwek in Angerlo

Om Angerlo volledig duurzaam te maken zal er ook zelf (lokaal) energie opgewekt moeten worden. Om het elektriciteitsverbruik te compenseren is de benodigde opwek in de vorm van zon en wind vastgesteld. In onderstaande grafiek staat het benodigd aantal hectares zonnepanelen óf aantal windturbines voor het opwekken van het elektriciteitsverbruik weergegeven. Hierbij is ten aanzien van zonopwek geen onderscheid gemaakt tussen opwek op daken en opwek op land. Het is bedoeld ter indicatie van de omvang. Het overige gasverbruik van verschillende configuraties met aardgas (piek)ketels wordt niet gecompenseerd door het opgestelde opwekvermogen in onderstaande grafiek.



Wat opvalt is het in verhouding groot aantal benodigde hectares zon of windturbines voor de individuele warmtepompconfiguraties. De andere configuraties hebben een stuk minder opwek nodig, maar deze leunen dan ook nog voor een (groot) deel op aardgas voor de piekvoorziening. De PVT-configuratie komt er wat dat betreft goed vanaf. Deze heeft weinig extern opgewekte energie nodig en is ook niet afhankelijk van aardgas. Wat nog meer opvalt is dat er maximaal een halve windturbine nodig is om het elektriciteitsverbruik af te dekken.

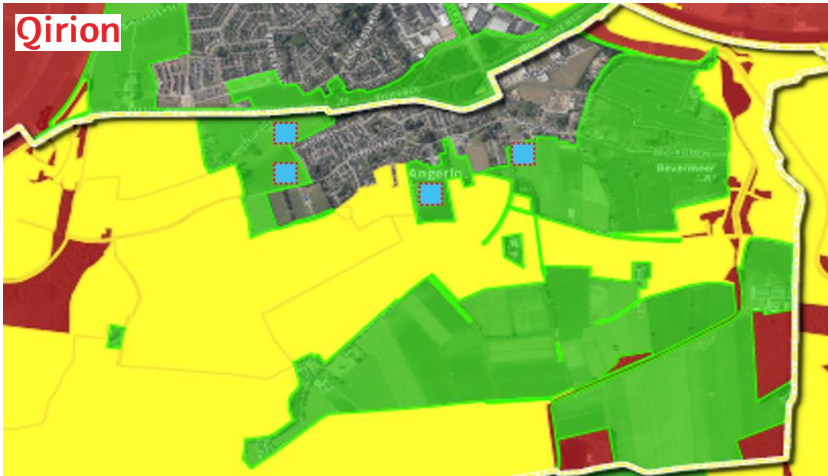
NB: Bovenstaande is een indicatie om jaarrond het elektriciteitsverbruik af te dekken. Er is niet gekeken naar het samenvallen van opwek en vraag en/of het opslaan van overproductie voor later gebruik.

In onderstaande tabel is het aandeel per huishouden (hh) per opwekvorm (hectares zon of aantal windturbines) weergegeven per energieconfiguratie. Oftewel als er extra huishoudens meegeteld worden (toekomstige uitbreiding van woningen) zal in geval van een lucht-water warmtepomp 0,0105 ha extra zonopwek benodigd zijn. Aangezien er mogelijk 20 woningen niet meegeteld zijn t.b.v. het onderzoek en er nieuwbouw gepland staat van ongeveer 40 woningen zou er in dat geval 0,63 ha zon extra benodigd zijn.

	Hectares zonnepanelen (vollasturen: 950, 1 MWp/ha)	haPV/hh	Windturbines (vollasturen: 2250, 4MW, Bijvanck)	turb/hh
L/W WP	4,96	0,0105		0,52 0,00111
W/W WP	4,52	0,0096		0,48 0,00101
Hyb WP	2,90	0,0061		0,31 0,00065
TEO	3,53	0,0075		0,37 0,00079
L/W WP col.	3,35	0,0071		0,35 0,00075
PVT	1,70	0,0036		0,18 0,00038
HR107	1,56	0,0033		0,17 0,00035

7.3 Zonopwek technische potentie

In de directe nabijheid van de kern van Angerlo is (grootschalig) zonopwek mogelijk (groene vlakken). Ieder blauw vierkant is 1 hectare. Het totaal van de blauwe vierkanten geeft een indicatie van het benodigde areaal zonopwek wanneer er gekozen wordt voor de energieconfiguratie met individuele water-water warmtepompen en een projectie waar het mogelijk gerealiseerd kan worden.



7.4 Wind opwek technische potentie

In de nabijheid van Angerlo (richting Loil) wordt reeds een windpark ontwikkeld (blauwe cirkel). Mogelijke uitbreiding of afname van energie van dit windpark lijkt relevant te zijn voor Angerlo. Benodigd is ongeveer de capaciteit van maximale een halve windmolen van 4 MW vermogen afhankelijk van de gekozen energieconfiguratie.



8. Conclusies en aanbevelingen

8.1 Vergelijkingsmatrix energieconfiguraties

In de vergelijkingsmatrix wordt een overzicht gegeven van alle afwegingscriteria zoals deze in vorige hoofdstukken kwalitatief en kwantitatief zijn beoordeeld. In onderstaande tabel worden de energieconfiguraties tegen elkaar afgezet op basis van de afwegingscriteria.

Energieconfiguratie	Betrouwbaarheid	Toekomstbestendig	Realiseertermijn	Kosten	CO2 besparing <small>(o.b.v. Nederlandse mix 2030)</small>
1 Lucht-water WP per woning	++	++	0 (weken)	0	+
2 Water-water (verticale grondwarmtewisselaar) WP per woning	++	++	0 (maanden)	0	+ / ++
3 Hybride WP per woning (eerst met aardgas, later de mogelijkheid om het aardgas te verduurzamen)	++	--	++ (weken)	+ / ++	+
4 TEO (gemaal), WP en WKO centraal in/naast de wijk	+ / ++	++	+ (1 – 2 jaar)	0 / +	+
5 Collectief lucht-water WP in de wijk	+ / ++	++	+ (1 -2 jaar)	0 / +	+
6 Zon-thermisch (PVT) WP + warmtebatterij (innovatieve warmtebuffer) per woning	0	+	+ (onzeker)	--	++
ref Referentie HR107 ketel per woning	++	--	++	++	--

Toelichting

In het algemeen kan gesteld worden dat de individuele configuraties direct realiseerbaar zijn, met de kanttekening dat bij grootschalige toepassing planning van de netbeheerder voor wat betreft netverzwaring meegenomen moet worden. Ook zal bij de zon thermische oplossing uiteraard gekeken worden naar de beschikbaarheid van de gewenste warmteopslag technologie.

De individuele lucht-water warmtepomp is een betrouwbare technologie en ook toekomstvast. Wel zal bij grootschalige toepassing er een sterke afhankelijkheid zijn met de door de netbeheerder door te voeren netverzwaring. Dit leidt tot extra maatschappelijke kosten.

Dit geldt ook voor de individuele water(brine)-water warmtepomp. Deze zal qua duurzaamheid iets beter scoren vanwege een hogere efficiëntie van de warmtepomp, vooral bij koude dagen. Echter de oplossing als geheel is duurder dan een lucht-water warmtepomp.

De hybride warmtepomp is op meerdere aspecten een aantrekkelijke optie, mits er een oplossing komt voor de resterende CO₂-uitstoot. Aangezien er een sterke afhankelijkheid blijft ten aanzien van beschikbaarheid van (aard)gas is het de vraag hoe toekomstvast de oplossing is. Ook is een herinvestering nodig om in de volgende transitie aardgasloos te kunnen worden.

De collectieve oplossingen zijn ook op meerdere aspecten een aantrekkelijke optie. Wel is er een aantal aandachtspunten zoals ondergrondse toets voor de mogelijkheid tot het realiseren van een WKO en de mogelijkheid van inpassing van een warmtewisselaar bij de TEO variant. Voor de collectieve lucht-water warmtepomp zal geluid een aandachtspunt zijn. Door de centrale voorziening ruimtelijk goed in te passen (bijvoorbeeld op het industrieterrein) kan geluidsoverlast beperkt worden. Beide collectieve oplossingen maken echter nog wel gebruik van aardgas ten behoeve van de piekvoorziening.

Het voordeel van een collectieve oplossing is dat de bestaande woningen, in de huidige isolatietoestand, vrijwel direct aangesloten kunnen worden. De temperatuur die benodigd is kan hoog genoeg geleverd worden zodat de huidige radiatoren voldoende warmte kunnen leveren, dit geldt ook voor de hybride warmtepomp oplossing. Isoleren kan hierdoor op moment plaatsvinden wanneer wenselijk, in tegenstelling tot de individuele warmtepomp oplossingen waar een lage temperatuur geleverd wordt en goede isolatie meteen noodzakelijk is.

Doordat bij de collectieve oplossingen op 1 centrale plek de piekvoorziening wordt geregeld, kan er op termijn op 1 locatie de technologie omgeschakeld worden en is de impact van deze omschakeling kleiner dan bij de individuele oplossingen. Bij deze individuele oplossingen zit de techniek vaak ook achter elke voordeur.

De zonthermische oplossing (inclusief innovatief warmtebuffer) is vooral op duurzaamheid gebied een goede oplossing en heeft op de (lange) termijn veel potentie. Groot nadeel is echter de beschikbaarheid en de te verwachten betaalbaarheid van deze technologie op zeer korte termijn.

8.2 Conclusie

Voor grootschalige toepassing in Angerlo kunnen de collectieve oplossingen de ambities invullen. Hiermee wordt voor de kern Angerlo als geheel een duurzame oplossing geboden, waarbij op termijn de piekvoorziening aardgasloos gemaakt wordt. Deze laatste transitiestap wordt op 1 centraal punt gerealiseerd.

Op kleinschalig niveau bieden de individuele oplossingen een goede invulling. Indien gekozen wordt voor een lucht-water of water-water warmtepomp dan stelt dit mogelijk eisen aan de directe isolatiegraad van de woningen. Voor toepassing in geheel Angerlo zit de onzekerheid in netverzwaring en kosten die op termijn gemaakt moeten worden om de oplossing geheel aardgasloos te maken.

Voor de woningen in de buitengebieden (buiten de bebouwde kern Angerlo) is een individuele oplossing de meest realistische oplossing. De hybride warmtepomp vormt hierbij een goede oplossing gedurende een transitieperiode, aangezien dit minder hoge eisen stelt aan de huidige isolatiegraad van de woning. In de transitieperiode kan de woning bouwtechnisch verbeterd worden zodat de energievraag (warmtevraag) verder verlaagd wordt. Na de transitieperiode (10-15 jaar, afschrijvingstermijn ketel-hybride warmtepomp) kan dan de hybride oplossing verder verduurzaamd worden door toepassing van een laag temperatuur oplossing zoals een warmtepomp.

In plaats van de keuze voor een hybride warmtepomp kan ook gestart worden met de bouwtechnische aanpassingen zodat daarna een warmtepomp toegepast kan worden zonder eerst te investeren in een tijdelijke technische oplossing. Deze route vereist een hogere initiële investering.

Een definitieve keuze is sterk afhankelijk van de voorkeur van de inwoners van Angerlo en de beschikbare middelen (subsidies) om een oplossing te realiseren.

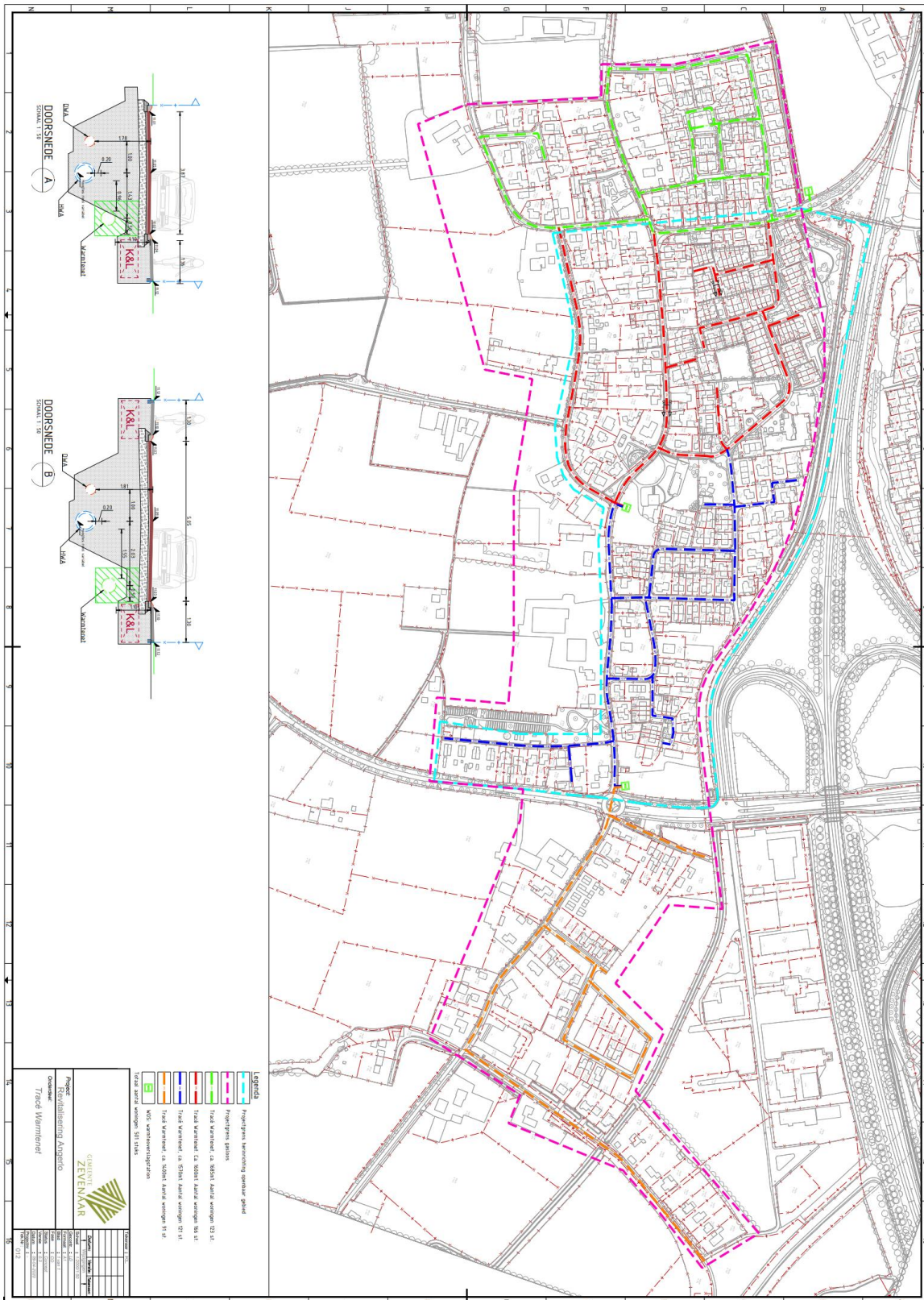
8.3 Aanbevelingen

Op basis van voorgaande resultaten en conclusies worden de volgende vervolgstappen aanbevolen:

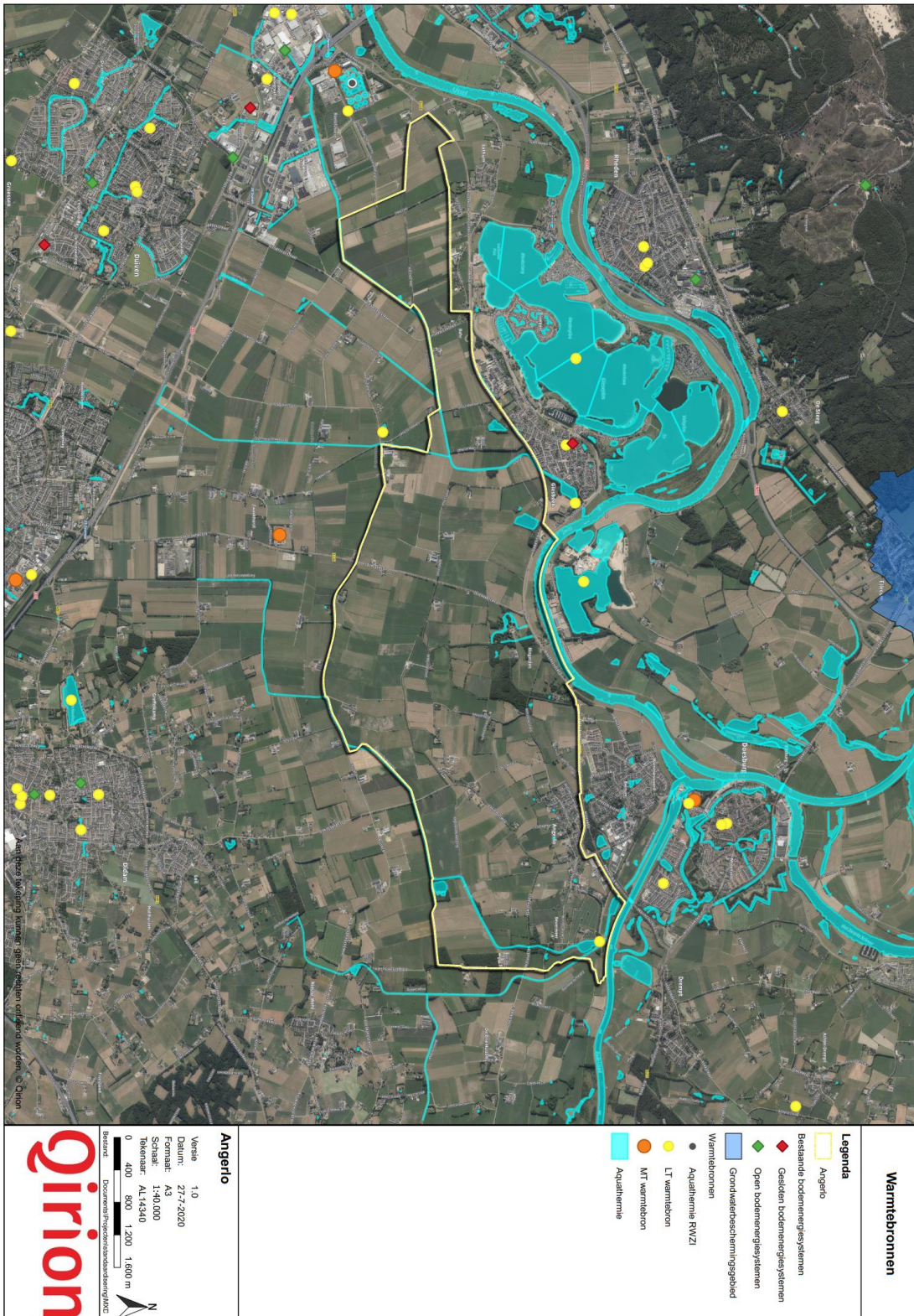
1. Draagvlak voor de verschillende energieconfiguraties toetsen bij de inwoners van Angerlo.
2. Nader onderzoeken van de technische haalbaarheid van de TEO oplossing. Hierbij ook onderzoek meenemen naar de toekomstvastheid van het waterdebiet (ook in tijden van droogte) en onderzoek naar de ondergrond voor de realiseerbaarheid van de WKO.
3. Bij realisatie van een collectief warmteproject dienen verschillende rollen ingevuld te worden zodat investering, exploitatie en facturatie marktconform en transparant zijn. Het verdient daarom aanbeveling om een marktpartij of consortium van partners te laten participeren in het open warmtenet. Een positieve business case is voor de exploitant het uitgangspunt. Aanbeveling is om een procesregisseur in te zetten om tot realisatie te komen.
4. Verkenning van subsidies, de aanvraag voor een mogelijke PAW in gang zetten. De haalbaarheid van een TEO systeem hangt sterk af van de SDE++ subsidie en zal daardoor tijdig verkend moeten worden.
5. Voor individuele warmtepompoplossingen is verdere verkenning van mogelijkheid tot isolatieverbetering de belangrijkste eerste stap. Dit geldt uiteraard ook voor de overige oplossingen.
6. Nader onderzoek uitvoeren naar de netbeheeraspecten en impact hiervan.
7. Voor de individuele oplossingen kan er gekeken worden naar collectief organiseren voor inkoop, realisatie en onderhoud, om kosten te reduceren.

9. Bijlagen

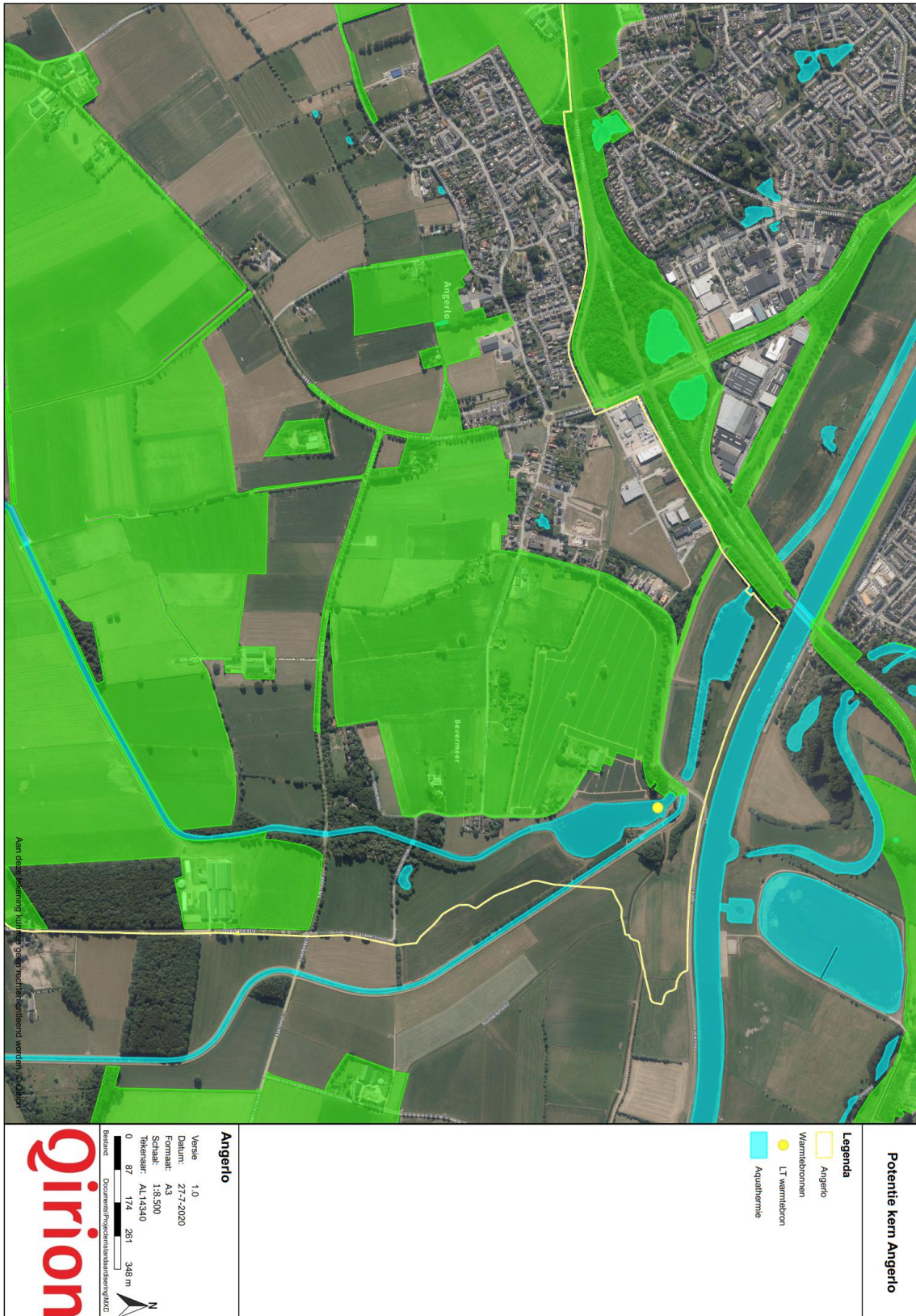
9.1 Revitalisering Angerlo (gemeente Zevenaar)



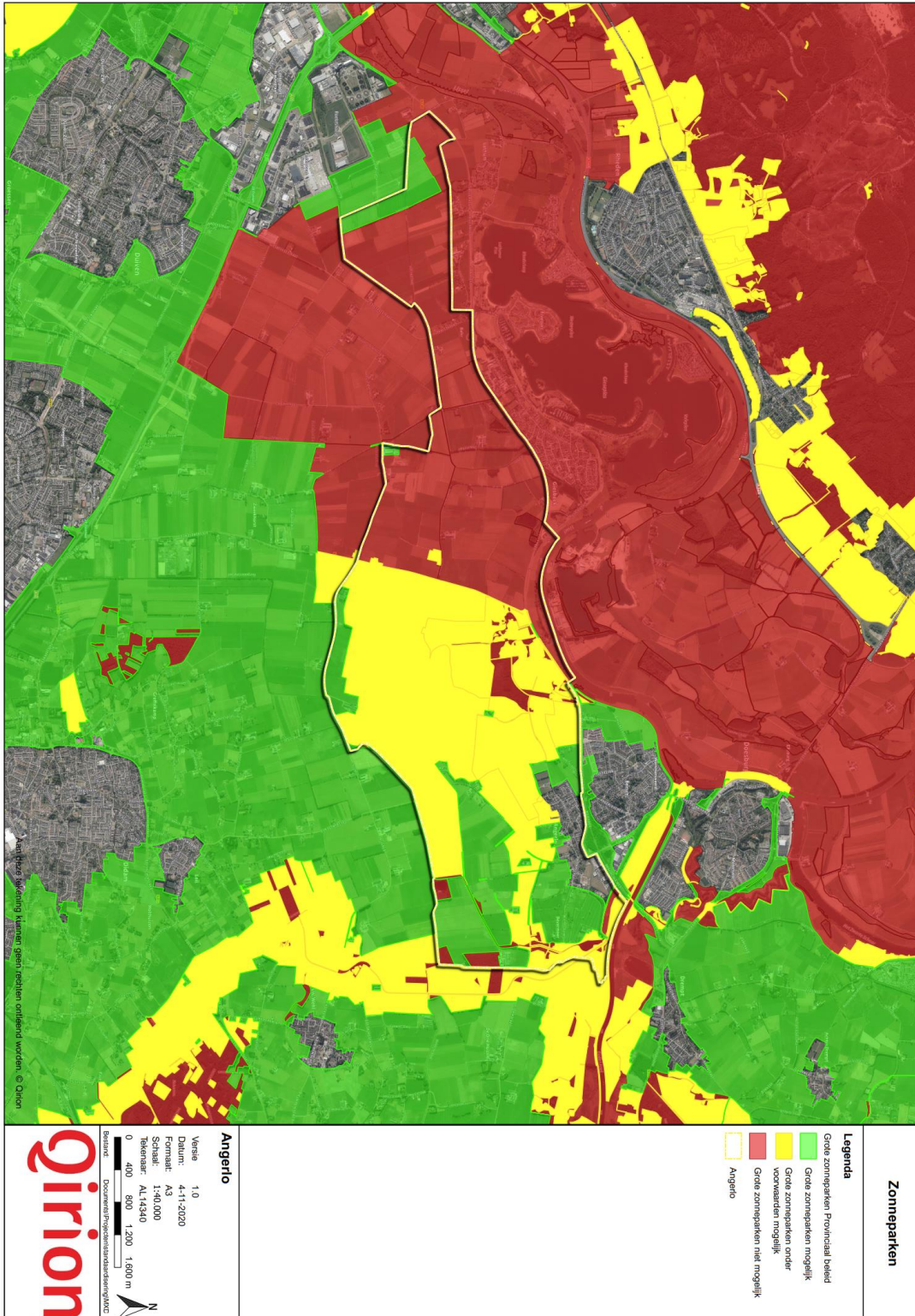
9.2 Warmtebronnen Angerlo en omgeving



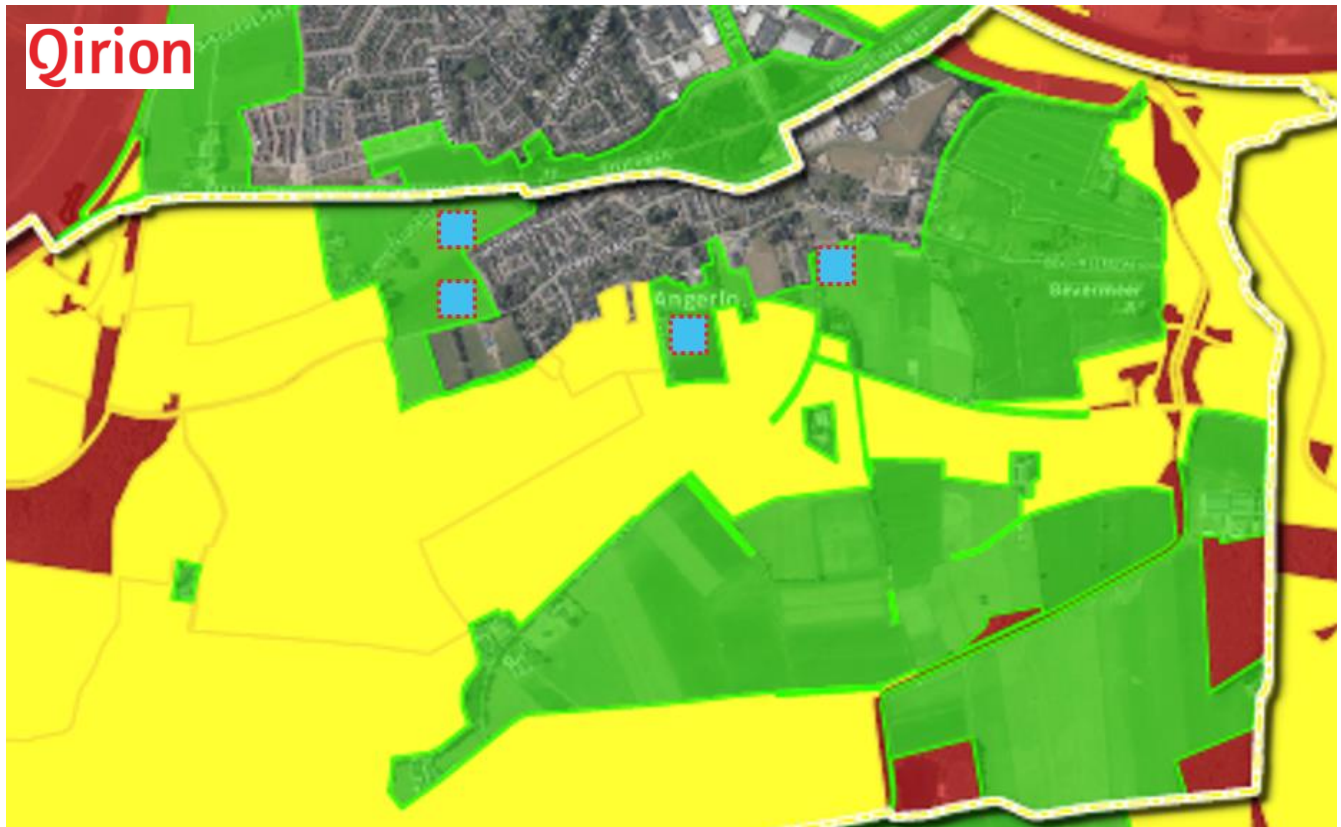
9.3 Energiepotentieel Angerlo



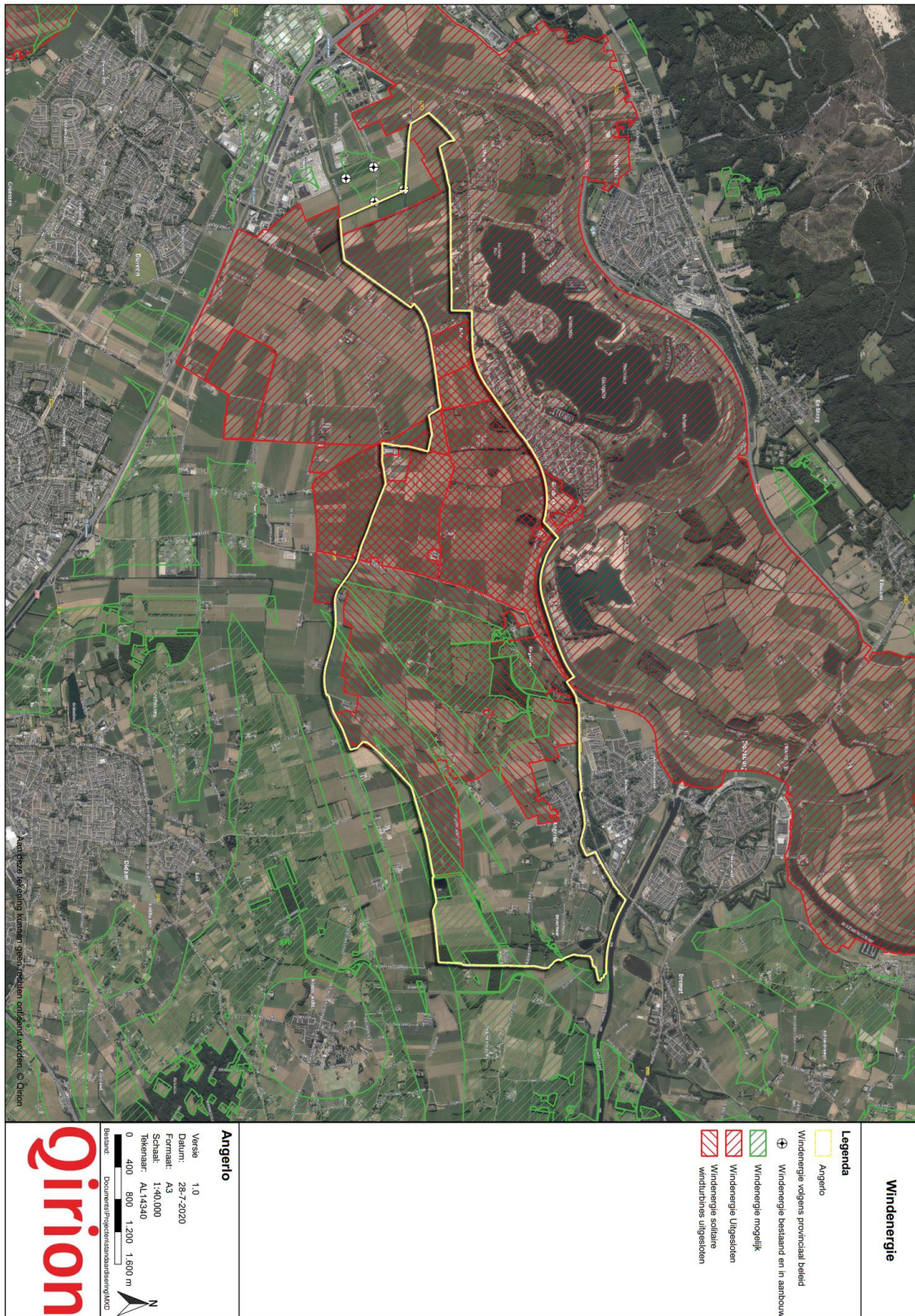
9.4 Mogelijkheden zonneparken Angerlo



9.5 Eigen opwek uit zonne-energie Angerlo



9.6 Mogelijkheden windenergie Angerlo



9.7 Eigen opwek uit windenergie Angerlo



9.8 Globaal warmtetracé geheel Angerlo



9.9 Globaal warmtetracé woonkern Angerlo



9.10 Afgevalen energieconfiguraties

Welke configuraties zijn afgevallen en waarom?

Afgevalen combinaties								
	basisbron	transportmedium/netwerk van bron naar woning	in de woning	piek			reden van afvalen	
7	waterstofproductie centraal in de wijk	waterstof / bestaande gasnetwerk	waterstofketel	waterstof ketel/verzorgd ook de piek	H2 buffer centraal in de wijk	Nu nog te innovatief en kostbaar		
8	zon-thermisch centraal in/naast de wijk + HTO + WP	water / warmtenet (70/40 graden)	afteverset	wijk aardgas gaspiekketel	HTO	Nu nog te innovatief en kostbaar		
9	horizontale grondwarmtewisselaar en WP centraal in de wijk	water / warmtenet (70/40 graden)	afteverset	wijk aardgas gaspiekketel	buffervat voor opvang pieken en dalen			
10	waterstofketel centraal in de wijk	water / warmtenet (70/40 graden)	afteverset	-	H2 buffer afhankelijk van productie	het rendement van productie van waterstof is circa 75%		
11	TEO, WP en WKO	water / warmtenet (70/40 graden)	afteverset	elektrisch piek element centraal in de wijk		piek elektriciteit aansluiting wordt de piekvoorziening aanzienlijk duurder tov een gasvariant		
12	WP lucht-water en WKO	water / warmtenet (70/40 graden)	afteverset	elektrisch piek element centraal in de wijk		piek elektriciteit aansluiting wordt de piekvoorziening aanzienlijk duurder tov een gasvariant		
13	horizontale grondwarmtewisselaar en WP centraal in de wijk	water / warmtenet (70/40 graden)	afteverset	elektrisch piek element centraal in de wijk		piek elektriciteit aansluiting wordt de piekvoorziening aanzienlijk duurder tov een gasvariant		
14	all-electric infra-roodpanelen per woning	water / warmtenet (70/40 graden)	infra-rood panelen	-		infra-rood panelen hebben een COP van 1, in vergelijking met een rendement van 4 van een warmtepomp lijkt dit energetisch onverstendig om in te zetten. Bovendien wordt comfort voor de bewoner een uitdaging, met een infra-rood paneel verwarm je namelijk niet hele ruimtes maar ga je lokaal warmte stralen, oppevlaktes zoals tafels houden deze warmte tegen.		
15	TEO + zon-thermisch WP HTO/WKO	water / warmtenet (70/40 graden)	afteverset	wijk aardgas HWC		Dit systeem krijgt teveel componenten, wordt hierdoor complex en duurder tov van systemen met mindere componenten.		
16	Restwarmte van de AVR Duiven	transportnet naar Angerlo + distributienet (70/40 graden)	afteverset	wijk aardgas gaspiekketel		Transportnetwerk is in verhouding tot warmtevolume te duur om economisch rendabel te maken.		

9.11 Overzicht technische uitgangspunten energieconfiguraties

In deze tabel is samengevat met welke rendementen per systeem is gerekend en met welke dekkingsgraad de basisbron en de piekbron de benodigde warmte kunnen leveren.

	basisbron	piek	rendement RV	rendement TW	rendement piek	dekkingsgraad jaarvolume basisbron	dekkingsgraad jaarvolume piekbron
1 L/W WP	Lucht-water WP per woning	elektrisch piek element per woning	237%	240%	100%	88%	12%
2 W/W WP	Water-water (verticale grondwarmtewisselaar) WP per woning	elektrisch piek element per woning	430%	240%	100%	78%	22%
3 Hyb WP	Hybride WP per woning (eerst met aardgas, later de mogelijkheid om het aardgas te verduurzamen)	aardgasketel voor de piek per woning	443%	240%	81%	78%	22%
4 TEO	TEO (gemaal), WP en WKO centraal in/naast de wijk	wijk aardgas gaspiekkel	510%	240%	81%	85%	15%
5 L/W WP col.	Collectief lucht-water WP in de wijk	wijk aardgas gaspiekkel	310%	240%	81%	85%	15%
6 PVT	Zon-thermisch (PVT) WP + warmtebatterij (innovatieve warmtebuffer) per woning	elektrisch piek element per woning	600%	300%	100%	80%	20%
ref. HR107	Referentie HR107 ketel per woning	aardgas cv-ketel zelf	107%	80%	nvt	100%	nvt

9.12 Overzicht gegevens per woning

In onderstaande tabel staan de gegevens weergegeven die als basis hebben gediend voor de verschillende overzichten van het rapport. Op de volgende pagina's staan alle financiële aannames van de energieoplossingen per woningtype. In een separaat Excel bestand worden deze gegevens van alle woningtypen tevens aangeleverd.

Vrijstaande woning	Eenheid	L/W WP	W/W WP	Hyb WP	TEO	L/W WP col.	PVT	HR107
Energievraag								
Primaire warmtevraag ruimteverwarming	KWh	15.538	15.538	15.538	15.538	15.538	15.538	15.538
Primaire warmtevraag tapwater	KWh	2.175	2.175	2.175	2.175	2.175	2.175	2.175
Primaire warmtevraag koken	KWh	264	264	264	264	264	264	264
Elektriciteitsverbruik huishoudelijk gebruik	KWh	3.877	3.877	3.877	3.877	3.877	3.877	3.877
Inkoop energie								
Benodigde inkoop elektriciteit ruimteverwarming	KWh	7.634	6.237	2.736	-	-	-	-
Benodigde inkoop elektriciteit tapwater	KWh	1.059	1.185	707	-	-	-	-
Benodigde inkoop elektriciteit koken	KWh	264	264	-	264	264	264	-
Benodigde inkoop elektriciteit huishoudelijk gebruik	KWh	3.877	3.877	3.877	3.877	3.877	3.877	3.877
Benodigde inkoop warmte	KWh	-	-	-	17.713	17.713	-	-
Benodigde inkoop aardgas per woning	KWh	-	-	5.075	-	-	-	17.504
Technische gegevens								
Warmtepomp vermogen	KW	6,1	3,8	2,1	-	-	1,5	-
Piekvoorziening vermogen	KW	18,2	12,9	2,1	-	-	10,6	-
Investerings (ex. subsidies)								
Investering warmte techniek	EUR	14.043	19.043	8.847	16.650	13.500	61.614	1.500
Extra investering in LT afgifte aanpassingen (65 graden)	EUR	3.000	3.000	-	-	-	3.000	-
Elektrisch koken	EUR	1.500	1.500	-	1.500	1.500	1.500	-
Investeringskosten per woning	EUR	18.543	23.543	8.847	18.150	15.000	66.114	1.500
Operationele kosten								
Vaste kosten elektriciteit (max 3x25A, leverings- en netbeheerkosten)	EUR	331	331	331	331	331	331	331
Heffingskorting	EUR	-527	-527	-527	-527	-527	-527	-527
Vastrecht gas	EUR	-	-	275	-	-	-	275
Vaste kosten warmte (leveringskosten en meettarief)	EUR	-	-	-	496	496	-	-
Inkoop gas	EUR / jaar	-	-	477	-	-	-	1.646
Inkoop elektriciteit	EUR / jaar	2.700	2.433	1.540	871	871	871	816
Inkoop warmte	EUR / jaar	-	-	-	1.662	1.662	-	-
Onderhoudskosten	EUR / jaar	421	571	265	-	-	616	45
Totale jaarlijkse kosten per woning	EUR / jaar	2.926	2.808	2.362	2.833	2.833	1.291	2.585
Total Cost of Ownership								
TCO 15 jaar (operationele kosten en investeringen)	EUR	62.428	65.669	44.270	60.642	57.492	85.485	40.281
TCO 30 jaar (operationele kosten en (her)investeringen)	EUR	119.293	124.274	85.885	115.839	110.484	151.135	80.112

2-onder-1-kap													
Energievraag	Eenheid	L/W WP	W/W WP	Hyb WP	TEO	L/W WP col.	PVT	HR107					
Primaire warmtevraag ruimteverwarming	KWh	9.991	9.991	9.991	9.991	9.991	9.991	9.991					
Primaire warmtevraag tapwater	KWh	2.175	2.175	2.175	2.175	2.175	2.175	2.175					
Primaire warmtevraag koken	KWh	264	264	264	264	264	264	264					
Elektriciteitsverbruik huishoudelijk gebruik	KWh	2.913	2.913	2.913	2.913	2.913	2.913	2.913					
Inkoop energie													
Benodigde inkoop elektriciteit ruimteverwarming	KWh	4.908	4.010	1.759	-	-	-	-					
Benodigde inkoop elektriciteit tapwater	KWh	1.059	1.185	707	-	-	-	-					
Benodigde inkoop elektriciteit koken	KWh	264	264	-	264	264	264	264					
Benodigde inkoop elektriciteit huishoudelijk gebruik	KWh	2.913	2.913	2.913	2.913	2.913	2.913	2.913					
Benodigde inkoop warmte	KWh	-	-	-	12.166	12.166	-	-					
Benodigde inkoop aardgas per woning	KWh	-	-	3.568	-	-	-	-					12.320
Technische gegevens													
Warmtepomp vermogen	KW	4,2	2,6	1,4	-	-	1,0	-					
Piekvoorziening vermogen	KW	12,5	8,9	1,4	-	-	7,3	-					
Investerings (ex. subsidies)													
Investering warmte techniek	EUR	11.929	16.929	7.515	16.650	13.500	44.972	1.500					
Extra investering in LT afgifte aanpassingen (65 graden)	EUR	3.000	3.000	-	-	-	3.000	-					
Elektrisch koken	EUR	1.500	1.500	-	1.500	1.500	1.500	-					
Investeringskosten per woning	EUR	16.429	21.429	7.515	18.150	15.000	49.472	1.500					
Operationele kosten													
Vaste kosten elektriciteit (max 3x25A, leverings- en netbeheerkosten)	EUR	331	331	331	331	331	331	331					331
Heffingskorting	EUR	-527	-527	-527	-527	-527	-527	-527					-527
Vastrecht gas	EUR	-	-	275	-	-	-	-					275
Vaste kosten warmte (leveringskosten en meettarief)	EUR	-	-	-	-	-	-	-					-
Inkoop gas	EUR /jaar	-	-	336	496	496	-	-					1.158
Inkoop elektriciteit	EUR /jaar	1.924	1.762	1.132	669	669	669	669					613
Inkoop warmte	EUR /jaar	-	-	-	1.141	1.141	-	-					-
Onderhoudskosten	EUR /jaar	358	508	225	-	-	450	-					45
Totale jaarlijkse kosten per woning	EUR /jaar	2.086	2.074	1.772	2.110	2.110	922	1.895					1.895
Total Cost of Ownership													
TCO 15 jaar (operationele kosten en investeringen)	EUR	47.719	52.534	34.089	49.795	46.645	63.305	29.928					
TCO 30 jaar (operationele kosten en (her)investeringen)	EUR	90.509	98.639	65.924	94.144	88.789	111.769	59.405					

Rij-hoekwoning	Enheid	L/W WP	W/W WP	Hyb WP	TEO	L/W WP col.	PVT	HR107
Energievraag								
Primaire warmtevraag ruimtevverwarming	KWh	9.778	9.778	9.778	9.778	9.778	9.778	9.778
Primaire warmtevraag tapwater	KWh	2.175	2.175	2.175	2.175	2.175	2.175	2.175
Primaire warmtevraag koken	KWh	264	264	264	264	264	264	264
Elektriciteitsverbruik huishoudelijk gebruik	KWh	2.960	2.960	2.960	2.960	2.960	2.960	2.960
Inkoop energie								
Benodigde inkoop elektriciteit ruimtevverwarming	KWh	4.804	3.925	1.722	-	-	-	-
Benodigde inkoop elektriciteit tapwater	KWh	1.059	1.185	707	-	-	-	-
Benodigde inkoop elektriciteit koken	KWh	264	264	-	264	264	264	-
Benodigde inkoop elektriciteit huishoudelijk gebruik	KWh	2.960	2.960	2.960	2.960	2.960	2.960	2.960
Benodigde inkoop warmte	KWh	-	-	-	11.953	11.953	-	-
Benodigde inkoop aardgas per woning	KWh	-	-	3.511	-	-	-	12.121
Technische gegevens								
Warmtepomp vermogen	kW	4,1	2,6	1,4	-	-	1,0	-
Plekvoorziening vermogen	kW	12,3	8,7	1,4	-	-	7,2	-
Investerings (ex. subsidies)								
Investering warmte techniek	EUR	11.848	16.848	7.464	16.650	13.500	44.335	1.500
Extra investering in LT afgifte aanpassingen (65 graden)	EUR	3.000	3.000	-	-	-	3.000	-
Elektrisch koken	EUR	1.500	1.500	-	1.500	1.500	1.500	-
Investeringskosten per woning	EUR	16.348	21.348	7.464	18.150	15.000	48.835	1.500
Operationele kosten								
Vaste kosten elektriciteit (max 3x25A, leverings- en netbeheerkosten)	EUR	331	331	331	331	331	331	331
Heffingskorting	EUR	-527	-527	-527	-527	-527	-527	-527
Vastrecht gas	EUR	-	-	275	-	-	-	275
Vaste kosten warmte (leveringskosten en meettarief)	EUR	-	-	-	496	496	-	-
Inkoop gas	EUR / jaar	-	-	330	-	-	-	1.140
Inkoop elektriciteit	EUR / jaar	1.912	1.754	1.134	678	678	678	623
Onderhoudskosten	EUR / jaar	355	505	224	-	-	1.121	45
Totale jaarlijkse kosten per woning	EUR / jaar	2.071	2.063	1.767	2.100	2.100	926	1.886
Total Cost of Ownership								
TCO 15 jaar (operationele kosten en investeringen)	EUR	47.420	52.295	33.963	49.643	46.493	62.720	29.795
TCO 30 jaar (operationele kosten en (her)investerings)	EUR	89.935	98.186	65.688	93.842	88.487	110.790	59.140

Rij-tussenwoning	Eenheid	L/W WP	W/W WP	Hyb WP	TEO	L/W WP col.	PVT	HR107
Energievraag								
Primaire warmtevraag ruimteverwarming	KWh	8.095	8.095	8.095	8.095	8.095	8.095	8.095
Primaire warmtevraag tapwater	KWh	2.175	2.175	2.175	2.175	2.175	2.175	2.175
Primaire warmtevraag koken	KWh	264	264	264	264	264	264	264
Elektriciteitsverbruik huishoudelijk gebruik	KWh	2.850	2.850	2.850	2.850	2.850	2.850	2.850
Inkoop energie								
Benodigde inkoop elektriciteit ruimteverwarming	KWh	3.977	3.249	1.425	-	-	-	-
Benodigde inkoop elektriciteit tapwater	KWh	1.059	1.185	707	-	-	-	-
Benodigde inkoop elektriciteit koken	KWh	264	264	-	264	264	264	-
Benodigde inkoop elektriciteit huishoudelijk gebruik	KWh	2.850	2.850	2.850	2.850	2.850	2.850	2.850
Benodigde inkoop warmte	KWh	-	-	-	10.270	10.270	-	-
Benodigde inkoop aardgas per woning	KWh	-	-	3.053	-	-	-	10.548
Technische gegevens								
Warmtepomp vermogen	kW	3,5	2,2	1,2	-	-	0,9	-
Plekvoorziening vermogen	kW	10,6	7,5	1,2	-	-	6,2	-
Investerings (ex. subsidies)								
Investering warmte techniek	EUR	11.206	16.206	7.060	16.650	13.500	39.285	1.500
Extra investering in LT afgifte aanpassingen (65 graden)	EUR	3.000	3.000	-	-	-	3.000	-
Elektrisch koken	EUR	1.500	1.500	-	1.500	1.500	1.500	-
Investeringskosten per woning	EUR	15.706	20.706	7.060	18.150	15.000	43.785	1.500
Operationele kosten								
Vaste kosten elektriciteit (max 3x25A, leverings- en netbeheerkosten)	EUR	331	331	331	331	331	331	331
Heffingskorting	EUR	-527	-527	-527	-527	-527	-527	-527
Vastrecht gas	EUR	-	-	275	-	-	-	275
Vaste kosten warmte (leveringskosten en meettarief)	EUR	-	-	-	496	496	-	-
Inkoop gas	EUR / jaar	-	-	287	-	-	-	992
Inkoop elektriciteit	EUR / jaar	1.715	1.588	1.048	655	655	655	600
Inkoop warmte	EUR / jaar	-	-	-	963	963	-	-
Onderhoudskosten	EUR / jaar	336	486	212	-	-	393	45
Totale jaarlijkse kosten per woning	EUR / jaar	1.855	1.879	1.626	1.918	1.918	852	1.715
Total Cost of Ownership								
TCO 15 jaar (operationele kosten en investeringen)	EUR	43.532	48.885	31.450	46.927	43.777	56.566	27.229
TCO 30 jaar (operationele kosten en (her)investeringskosten)	EUR	82.352	91.558	60.782	88.410	83.055	99.996	54.008

Appartement	Enheid	L/W WP	W/W WP	Hyb WP	TEO	L/W WP col.	PVT	HR107
Energievraag								
Primaire warmtevraag ruimteverwarming	kWh	8.095	8.095	8.095	8.095	8.095	8.095	8.095
Primaire warmtevraag tapwater	kWh	2.175	2.175	2.175	2.175	2.175	2.175	2.175
Primaire warmtevraag koken	kWh	264	264	264	264	264	264	264
Elektriciteitsverbruik huishoudelijk gebruik	kWh	1.973	1.973	1.973	1.973	1.973	1.973	1.973
Inkoop energie								
Benodigde inkoop elektriciteit ruimteverwarming	kWh	3.977	3.249	1.425	-	-	-	-
Benodigde inkoop elektriciteit tapwater	kWh	1.059	1.185	707	-	-	-	-
Benodigde inkoop elektriciteit koken	kWh	264	264	-	264	264	264	-
Benodigde inkoop elektriciteit huishoudelijk gebruik	kWh	1.973	1.973	1.973	1.973	1.973	1.973	1.973
Benodigde inkoop warmte	kWh	-	-	-	10.270	10.270	-	-
Benodigde inkoop aardgas per woning	kWh	-	-	3.053	-	-	-	10.548
Technische gegevens								
Warmtepomp vermogen	kW	3,5	2,2	1,2	-	-	0,9	-
Piekvoorziening vermogen	kW	10,6	7,5	1,2	-	-	6,2	-
Investerings (ex. subsidies)								
Investering warmte techniek	EUR	11.206	16.206	7.060	16.650	13.500	39.285	1.500
Extra investering in LT afgifte aanpassingen (65 graden)	EUR	3.000	3.000	-	-	-	3.000	-
Elektrisch koken	EUR	1.500	1.500	-	1.500	1.500	1.500	-
Investeringskosten per woning	EUR	15.706	20.706	7.060	18.150	15.000	43.785	1.500
Operationele kosten								
Vaste kosten elektriciteit (max 3x25A, leverings- en netbeheerkosten)	EUR	331	331	331	331	331	331	331
Heffingskorting	EUR	-527	-527	-527	-527	-527	-527	-527
Vastrecht gas	EUR	-	-	275	-	-	-	275
Vaste kosten warmte (leveringskosten en meettarief)	EUR	-	-	-	496	496	-	-
Inkoop gas	EUR /jaar	-	-	287	-	-	-	992
Inkoop elektriciteit	EUR /jaar	1.530	1.404	864	471	471	471	415
Inkoop warmte	EUR /jaar	-	-	-	963	963	-	-
Onderhoudskosten	EUR /jaar	336	486	212	-	-	393	45
Totale jaarlijkse kosten per woning	EUR /jaar	1.671	1.694	1.442	1.734	1.734	668	1.531
Total Cost of Ownership								
TCO 15 jaar (operationele kosten en investeringen)	EUR	40.765	46.118	28.683	44.160	41.010	53.799	24.462
TCO 30 jaar (operationele kosten en (her)investerings)	EUR	76.818	86.024	55.248	82.875	77.520	94.462	48.474