



# Twekkelerveld aardgasvrij

**Een vergelijking van drie verwarmingsconcepten**

# Twekkelerveld aardgasvrij

## Kenmerken

|                      |                                                  |                        |                                                                                                      |
|----------------------|--------------------------------------------------|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Projectnummer</b> | 17784                                            | <b>Datum</b>           | 2-4-2020*                                                                                            |
| <b>Auteur</b>        | ir. P.S.J. de Bruin                              | <b>Co-lezer</b>        | drs. M. Koop                                                                                         |
| <b>Onderwerp</b>     | Variantenvergelijking Twekkelerveld              | <b>Status</b>          | definitief                                                                                           |
| <b>Opdrachtgever</b> | Gemeente Enschede<br>T.C. Kemerink op Schiphorst | <b>Uitgevoerd door</b> | DWA B.V.<br>Harderwijkweg 7<br>2803 PW GOUDA<br>088 – 163 53 00<br><br>Postbus 2073<br>2800 BE GOUDA |

*\* Dit rapport is opgesteld naar aanleiding van de studie die in presentatieformat is opgeleverd in het voorjaar van 2019, als aanvullende documentatie. De informatie in dit rapport is gebaseerd op de studie in 2019 en is niet geactualiseerd naar 2020.*

# Inhoudsopgave

|          |                                                    |           |
|----------|----------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Samenvatting</b>                                | <b>4</b>  |
| <b>2</b> | <b>Methode – afbakening</b>                        | <b>5</b>  |
| 2.1      | Karakteristieken van de wijk                       | 5         |
| 2.2      | Keuze voorbeeldwoningen                            | 6         |
| 2.3      | Gebruikte technische oplossingen                   | 6         |
| <b>3</b> | <b>Kosten voor twee woningtypen</b>                | <b>9</b>  |
| 3.1      | Uitgangspunten                                     | 9         |
| 3.2      | Uitkomsten portiekwoning                           | 10        |
| 3.3      | Uitkomsten eengezinswoning                         | 11        |
| 3.4      | Aandachtspunten                                    | 11        |
| 3.5      | Conclusie                                          | 13        |
| <b>4</b> | <b>Kosten voor de wijk</b>                         | <b>14</b> |
| 4.1      | Uitgangspunten                                     | 14        |
| 4.2      | Uitkomsten                                         | 15        |
| 4.3      | Aandachtspunten                                    | 17        |
| 4.4      | Conclusies                                         | 17        |
| <b>5</b> | <b>Duurzaamheidsoverwegingen</b>                   | <b>18</b> |
| 5.1      | Warmtenet                                          | 18        |
| 5.2      | Hybride warmtepomp                                 | 20        |
| 5.3      | Volledig elektrische warmtepomp                    | 21        |
| 5.4      | CO <sub>2</sub> -uitstoot                          | 22        |
| 5.5      | Conclusie                                          | 24        |
|          | <b>Bijlage 1 - Kostenkentallen woninganalyse</b>   | <b>26</b> |
|          | <b>Bijlage 2 - Kostenkentallen wijkanalyse</b>     | <b>28</b> |
|          | <b>Bijlage 3 - Informatie technische concepten</b> | <b>31</b> |
|          | <b>Bijlage 4 - Antwoorden op knagende vragen</b>   | <b>36</b> |

# 1 Samenvatting

In de wijk Tweekelerveld in Enschede zijn de afgelopen jaren een aantal studies gedaan naar de mogelijkheden van verwarmen zonder aardgas. De werkgroep Tweekelerveld heeft aan DWA gevraagd deze informatie te bundelen en een vergelijking te maken tussen drie technische concepten, namelijk een warmtenet, hybride warmtepompen en volledig elektrische warmtepompen. Deze worden vergeleken op impact op woningniveau, op wijkniveau en op het gebied van duurzaamheid.

## Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de afbakening van de vraag en de gebruikte methode besproken. In hoofdstuk 3 komen de kosten op woningniveau ter sprake. In hoofdstuk 4 worden de kosten op wijkniveau besproken. In hoofdstuk 5 wordt ingegaan op de duurzaamheidsaspecten van de verschillende oplossingen.

Bijlage 1 en 2 bevatten de kostenkanten die gebruikt zijn in de analyses op woning- en wijkniveau. Bijlage 3 bevat een nadere uitleg over de gebruikte technische concepten. Bijlage 4 is een beknopte bespreking van een drietal 'knagende' vragen, aan de hand van een aantal veelgehoorde stellingen in het debat rondom het thema duurzaamheid en klimaatverandering. Deze hebben zijdelings te maken met de uitgevoerde analyse en zijn daarom toegevoegd ter informatie.

## Samenvatting uitkomsten

Op basis van de kosten voor de inwoner zowel als de kosten voor de maatschappij is de goedkoopste optie

voor Tweekelerveld om aan te sluiten op het bestaande warmtenet in Enschede. Dit wordt met name ingegeven door de (on)mogelijkheden in de woningen; een groot deel van de woningen in Tweekelerveld is relatief oud en daardoor technisch lastig (en daarmee duur) om te verduurzamen.

Naast kosten, die gebaseerd zijn op technische en bouwkundige eigenschappen, is er gekeken naar de duurzaamheidsaspecten van de drie opties. Zowel een inschatting van de beschikbaarheid van duurzame bronnen voor warmte, gas en elektriciteit, als de mogelijke CO<sub>2</sub>-uitstoot die gepaard gaat met deze opties zijn besproken. Alle drie de opties kunnen een goede, duurzame oplossing zijn, wanneer aan de juiste randvoorwaarden wordt voldaan. In de wijk Tweekelerveld kan makkelijker worden voldaan aan de randvoorwaarden die een warmtenet stelt, dan aan de eisen voor een hybride of volledig elektrische warmtepomp. Het warmtenet is dus ook de duurzaamste optie voor deze wijk.

## Proces

Deze uitkomsten zijn gepresenteerd aan de werkgroep Tweekelerveld, waarin ook de woningcorporaties, Ennatuurlijk (exploitant van het warmtenet in Enschede) en Twence (leverancier van warmte op het warmtenet) aanwezig waren. De studie is gebruikt voor de aanbevelingen die de werkgroep aan de gemeente heeft gedaan voor een toekomstplan voor Tweekelerveld.

Het doel van deze rapportage is om de inhoud van de studie onder een nog groter publiek, van niet-direct betrokkenen, bekend te maken.

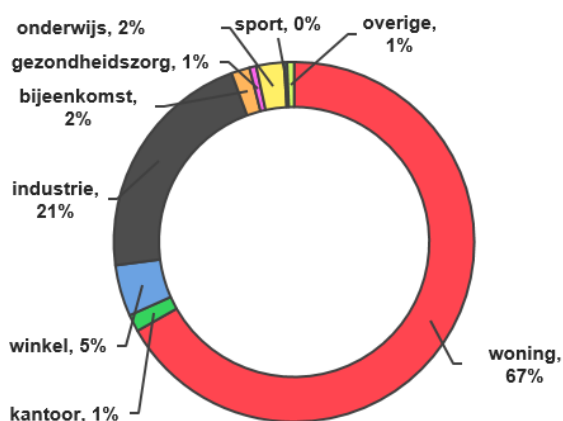
## 2 Methode – afbakening

De wijk Tweekelerveld bestaat uit twee buurten: Tweekelerveld en Tubantia Toekomst. De twee buurten hebben verschillende karakteristieken. In overleg met de werkgroep Tweekelerveld is een tweetal representatieve woningtypen geselecteerd. Zo kunnen uitspraken gedaan worden over de technische of bouwkundige implicaties op woningniveau. Ook zullen we in dit hoofdstuk ingaan op de gekozen technische concepten voor de vergelijking.

### 2.1 Karakteristieken van de wijk

Op basis van gegevens uit de Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG) en verbruiksdata van de netbeheerder, kunnen we een aardig beeld krijgen van de wijk.

#### Gebruiksfuncties (622.426 m2)

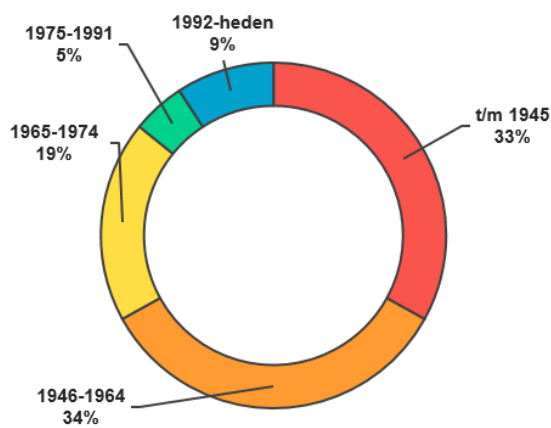


Er zijn 4.606 woningen in de wijk, die 67% van het vloeroppervlak in gebouwen beslaan. De andere 33% wordt ingevuld door utiliteitsbouw, zoals industrie, winkels en kantoren. In Tweekelerveld is dit met name industrie. Dit zijn bijvoorbeeld de panden in het zuidoosten van de buurt Tubantia Toekomst (groen op de kaart 2; donkergroen is hoogbouw). Deze panden hebben vaak een zeer beperkte warmtevraag. De verdere analyse gericht op woningen, omdat deze veruit de grootste groep zijn in de wijk.

De woningen in de wijk zijn voor één derde deel vooroorlogs, dat is veel. Ook is één derde van de woningen gebouwd tussen 1946 tot en met 1964. De

gemiddelde woning in deze buurt is dus relatief oud. Een deel van deze woningen is hoogbouw (donkerroze op kaart 2), met name in de buurt Tweekelerveld. Dit heeft consequenties voor de duurzame oplossingen die mogelijk zijn in deze buurt. Hierover meer in paragraaf 2.3.

#### Bouwjaar woningen (4.606)

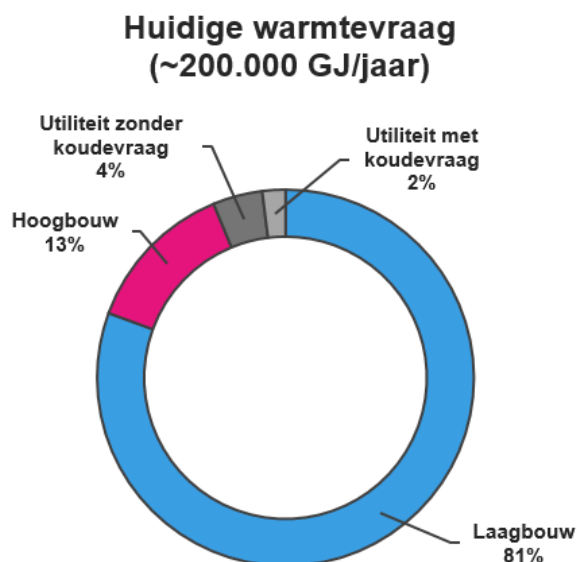


Kaart 1: bouwjaar woningen. De kleurcode is zoals in de grafiek hierboven aangehouden.



Kaart 2: woningen (roze) versus utiliteitsbouw (groen). Donkergekleurd betekent hoogbouw, voor beide categorieën.

De warmtevraag in de buurt komt voor het grootste gedeelte van woningen. Dat is niet vreemd, gezien het aandeel woningen (67%) en het feit dat industrie panden (hallen, loodsen e.d.) vaak nauwelijks verwarmd worden. De totale warmtevraag is ongeveer 200.000 gigajoule (GJ, een eenheid voor energie). Dat komt overeen met een verbruik van ca. 7 miljoen m<sup>3</sup> aardgas.



## 2.2 Keuze voorbeeldwoningen

Om iets te kunnen zeggen over de kosten voor een gemiddelde woningeigenaar, maken we gebruik van twee representatieve woningtypen in Tweekelerveld. Niemand woont in een 'gemiddelde woning', dus voor elke particuliere eigenaar (of huurder) zal de realiteit zijn dat de eigen woning net iets andere eigenschappen heeft, maar op hoofdlijnen vergelijkbaar is. Dit heeft geen gevolgen voor de conclusie van de berekeningen in hoofdstuk 3.

Om te bepalen wat een goede voorbeeldwoning is, kijken we naar de vijf genoemde jaartalcategorieën en naar het onderscheid tussen laagbouw woningen en hoogbouw, zoals portieken of galerijflats. Deze combinatie geeft tien verschillende woningtypen.

In Tweekelerveld zijn de meest voorkomende laagbouwwoningen uit de periode tot en met 1945. De meest voorkomende hoogbouwwoningen zijn uit de periode daarna, 1946 tot en met 1964. Samen beslaan deze woningen ca. 47% van alle woningen in de wijk.

| bouwperiode | hoogbouw | laagbouw | totaal periode |
|-------------|----------|----------|----------------|
| t/m 1945    | 0,3%     | 33%      | 33%            |
| 1946-1964   | 14%      | 20%      | 34%            |
| 1965-1974   | 9%       | 10%      | 19%            |
| 1975-1991   | -        | 5%       | 5%             |
| 1992-heden  | 5%       | 4%       | 9%             |
| Eindtotaal  | 29%      | 71%      | 100%           |

Deze twee woningtypen zijn in overleg met de werkgroep gebruikt voor de berekening in hoofdstuk 3.

## 2.3 Gebruikte technische oplossingen

In het duurzaamheidsdebat worden vaak heel veel verschillende technieken genoemd. Dit kan verwarrend zijn en het beeld van de opties en hun eigenschappen vertroebelen.

### Eigenschappen – temperatuur

Het helpt daarom om te kijken naar overkoepelende eigenschappen die deze technieken van elkaar onderscheiden. Een belangrijke eigenschap van een techniek is het temperatuurniveau waarop deze techniek warmte kan leveren aan de woning. Zie onderstaande figuur.

### TEMPERATUURNIVEAU WARMTEBRONNEN



*Warmtepompen* leveren bijvoorbeeld warmte aan de centrale verwarmingsinstallatie op *lage* temperatuur, ca. 40°C. Vergelijk dit met de CV-ketel, die wel 80°C of 90°C aan de radiatoren levert. De techniek van warmtepompen is uitontwikkeld, maar de productie en met name de installatie in woningen gebeurt nog niet op grote schaal.

*Warmtenetten* die gebruik maken van restwarmte of duurzame brandstoffen leveren op hoge temperatuur, ca. 80°C of meer. Dit sluit dus beter aan bij de huidige CV-ketel. Dat betekent dat er voor het gebruik van warmtepompen eerst veel aanpassingen in de woning gedaan moeten worden, die voor een warmtenet op hoge temperatuur niet noodzakelijk zijn.

Sommige technieken kun je beter niet op grote schaal toepassen in een stad, vanwege overlast voor burelen. Denk bijvoorbeeld aan pelletkachels, die veel fijnstof en andere onwenselijke uitstoot kunnen veroorzaken. Ook kan er vanuit andere sectoren, zoals de maakindustrie, vraag zijn naar bepaalde warmtebronnen, waardoor de beschikbaarheid een aandachtspunt wordt. Dit geldt met name voor duurzame gassen. In combinatie met het temperatuurniveau kun je deze eigenschappen samen bundelen om te komen tot een oordeel over of een techniek een goede keuze is voor woningen.

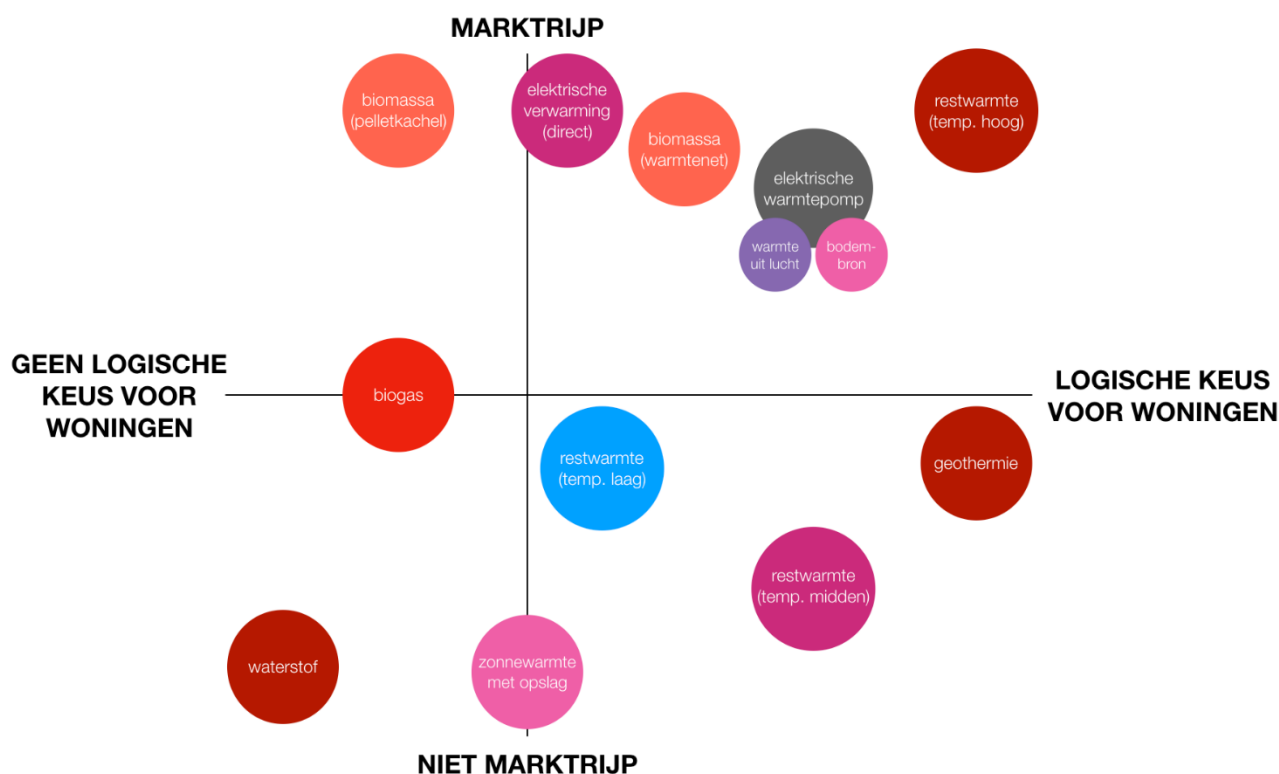
## Eigenschappen – marktrijpheid

Daarnaast is het goed om te bedenken of een techniek nog in ontwikkeling is, en vooral in het laboratorium bestaat, of dat deze nu al te koop is voor consumenten; de vraag of een techniek *marktrijp* is. In onderstaande figuur zijn een aantal veel genoemde technieken ingedeeld op deze twee assen: logische keuze voor woningen, en marktrijpheid. De figuur moet gelezen worden in het licht van gebruik in de bebouwde kom, en met het doel om al voor 2030 aan de slag te gaan. Dit jaar is het eerste peiljaar dat gebruikt wordt in het Klimaatakkoord.

## Keuze warmteconcepten

Voor de analyse gaan we uit van technieken die *nu* al beschikbaar zijn en die voldoende verschillend zijn van elkaar. We vergelijken daarom een oplossing die hoge temperatuur levert en een oplossing die lage temperatuur levert met elkaar. Voor deze studie is gekozen voor een aansluiting op het bestaande warmtenet van Ennatuurlijk (een hoogtemperatuur-oplossing) en een oplossing met warmtepompen die gebruik maken van energie uit de buitenlucht (een laagtemperatuur-oplossing). In het vervolg zullen we dit afkorten tot 'luchtwarmtepomp'.

Aanvullend is gekeken naar het gebruik van hybride warmtepompen. Dit is in feite een combinatie-





### 3 Kosten voor twee woningtypen

Voor de twee gekozen typen woningen – een eengezinswoning van voor de oorlog en een portiekwoning uit de periode 1946-1964 – is een kostenvergelijking gemaakt tussen de drie concepten – warmtenet, hybride warmtepomp, en volledig elektrische warmtepomp. De basis van de vergelijking zijn de kosten die een eigenaar moet maken. Ook is aangegeven hoe de balans ligt in het geval van een huurder en verhuurder.

Deze berekening houdt geen rekening met andere collectieve kosten die gemaakt moeten worden, bijvoorbeeld verzwarende van het elektriciteitsnet. Er wordt verondersteld dat deze zaken versleuteld zitten in bijvoorbeeld het vastrecht voor elektriciteit of in de bijdrage aansluitkosten voor het warmtenet. Dit is een versimpeling van de werkelijkheid. De kosten voor de maatschappij worden daarom nader besproken in het volgende hoofdstuk.

#### 3.1 Uitgangspunten

Voor uitgebreide documentatie van de gebruikte kostenkentallen, zie de bijlage. Hier bespreken we een aantal achtergrondkeuzes die gemaakt zijn voor de berekening.

##### Financiële uitgangspunten

Er zijn een aantal tegemoetkomingen vanuit de overheid om de toegang tot energie voor iedereen toegankelijk te houden. De algemene heffingskorting op de energiebelasting, die elke inwoner krijgt, is meegenomen in de vergelijking. Hierdoor resulteert er bijvoorbeeld een negatief bedrag bij de vaste lasten voor de luchtwarmtepomp; de heffingskorting is hoger dan het vastrecht van de elektriciteitsaansluiting. Subsidiemogelijkheden voor (hybride) warmtepompen zijn niet meegenomen.

Om de verschillende situaties van investering en jaarlijkse energielasten te kunnen vergelijken, zijn de investeringen teruggerekend naar 'jaarlasten'. Dat zijn de kosten die je per jaar zou maken als je dit bedrag moet lenen (of de rente die je mist omdat dit geld niet op een spaar- of beleggingsrekening staat en rendement oplevert). Er is gerekend met een

rentevoet van 4% en een afschrijvingstermijn per investeringsonderdeel die past bij de levensduur daarvan. Zo is de afschrijvingstermijn van een warmtepomp 15 jaar en van de isolatiemaatregelen en infrastructuur 40 jaar. Zie hiervoor ook de uitgebreide lijst van gebruikte kentallen in bijlage 1.

Voor de energielasten is gerekend met de tarieven van 2019. In de toekomst kunnen deze tarieven veranderen. Met name de kosten voor elektriciteit zijn erg onzeker, gezien de investeringen die gemaakt moeten worden in de balancerende van vraag en aanbod bij een groter aandeel duurzame energie.

De genoemde bedragen zijn afgerond op honderdtallen of tientallen vanwege de onzekerheidsmarge van de berekening. De kosten zijn inclusief BTW.

##### Isolatie

Voor alle drie de technische concepten is in de vergelijking hetzelfde isolatiepakket gebruikt. Dit zodat er geen verschil is in de uitgangssituatie in de vergelijking, bijvoorbeeld als het gaat om de energievraag voor ruimteverwarming. Voor het concept met een volledig elektrische warmtepomp is in principe meer na-isolatie nodig, omdat de temperatuur die deze installatie levert lager is dan een gewone CV-ketel.

Er is voor gekozen om hetzelfde isolatiepakket aan te houden als in de andere twee concepten, omdat het gaat om oude woningen. In deze woningen is het technisch lastig om verdergaand te isoleren zonder de woning compleet te strippen; dat zou betekenen dat mensen uit hun woning moeten tijdens deze verbouwing en dat de kosten erg hoog (en lastiger in te schatten) worden. Eigenlijk zou het beter zijn om voor het warmtepomp-concept verder te isoleren en dus meer kosten te maken, maar het is de vraag of dit redelijkerwijs mogelijk is. Door de keuze om te rekenen met een sub-optimaal isolatiepakket (ten behoeve van de vergelijkbaarheid) is het voor de weergegeven kosten een aandachtspunt of de warmtepompvariant voldoende comfort biedt wanneer dit concept daadwerkelijk gekozen zou worden.

### Verwijderen gasaansluiting en elektrisch koken

De kosten van het verwijderen van de gasaansluiting zijn meegenomen voor de concepten warmtenet en volledig elektrische warmtepomp. Deze post is opgenomen in de investeringen, maar niet in de kapitaalslasten van de investering omdat deze verwaarloosbaar is op het totaal van de jaarlasten en omdat het gaat om een eenmalig bedrag. Bij de hybride warmtepomp blijft de gasaansluiting bestaan.

In alle varianten zijn investeringen meegenomen om elektrisch te gaan koken, ook bij de hybride warmtepomp, waar in principe nog gas verbruikt wordt. Omdat het onzeker is of er groen gas of waterstof beschikbaar komt, is dit gelijkgetrokken met de andere scenario's.

### 3.2 Uitkomsten portiekwoning



In de onderstaande tabel staan de uitkomsten voor de portiekwoning. De dikgedrukte regels zijn de totaalbedragen voor die post, in de regels daaronder wordt deze uitgesplitst in onderdelen. Onderaan is de optelling gemaakt van kapitaalslasten investering,

onderhoudskosten en energielasten samen. Dit zijn de totale jaarlasten voor een bewoner.

De uitkomsten in de kolom van het warmtenet behoeven wat uitleg. In de **witte** kolom staan de uitkomsten voor een woningeigenaar. In de energielasten is gerekend met de werkelijke tarieven van Ennatuurlijk, de leverancier van warmte in Enschede. In **rood** aan de linkerkant staan ter informatie de maximumtarieven van de warmtewet. Ook het totaal aan jaarlasten is ter informatie in de linkerkolom aangepast naar een totaal met deze maximumtarieven.

In de kolom aan de rechterkant, Passende Prijs Optie 1, staan de veranderingen in de uitkomsten bij de *situatie met een verhuurder en huurder*. Dit is een optie die Ennatuurlijk aanbiedt aan woningcorporaties. De woningcorporatie kan het deel van de vaste lasten van het warmtenet dat te maken heeft met de huur van de afleverset 'afkopen', omdat normaal gesproken de verhuurder verantwoordelijk is voor de installaties in de woning, ook in de situatie met een gasketel. Hierdoor stijgen de investeringen voor de woningcorporatie met 2.500 euro (**roze** arcering), maar dalen de energielasten voor de bewoner per jaar met 200 euro (**groene** arcering).

In de uitkomsten is te zien dat de hybride warmtepomp en het warmtenet in het geval van de portiekwoning ongeveer even duur zijn voor de bewoner. Wel is het concept met hybride warmtepomp geen eindsituatie: er wordt immers nog aardgas verbruikt in de woning.

De luchtwarmtepomp is de duurste oplossing. Dit komt met name doordat de initiële investeringen hoog zijn. Hoewel de energielasten laag zijn, is dat niet

| Portiek                              | Warmtenet     | Passende Prijs Optie 1 | Hybride warmtepomp | Luchtwarmtepomp |
|--------------------------------------|---------------|------------------------|--------------------|-----------------|
| <b>Investeringskosten</b>            | <b>19.900</b> | <b>2.500</b>           | <b>19.800</b>      | <b>31.000</b>   |
| - isolatie                           | 13.700        |                        | 13.700             | 13.700          |
| - installaties                       | 6.200         | 2.500                  | 6.100              | 17.300          |
| <b>Kapitaalslasten investeringen</b> | <b>1.040</b>  | <b>140</b>             | <b>1.240</b>       | <b>2.030</b>    |
| <b>Onderhoudskosten</b>              | -             |                        | <b>150</b>         | <b>330</b>      |
| <b>Energielasten</b>                 | <b>1.370</b>  | <b>1.290</b>           | <b>920</b>         | <b>880</b>      |
| - vaste lasten (- heffingskorting)   | 470           | 440                    | 160                | -80             |
| - variabele kosten                   | 900           | 850                    | 770                | 970             |
| <b>Totaal jaarlasten</b>             | <b>2.410</b>  | <b>2.330</b>           | <b>2.310</b>       | <b>3.240</b>    |

voldoende om dit verschil te compenseren. De lage inschatting voor isolatiekosten zal deze uitkomst verergeren: de meerkosten van deze extra isolatie worden over het algemeen niet terugverdiend via de verdere daling van de energielasten.

### 3.3 Uitkomsten eengezinswoning



Voor de eengezinswoning is dezelfde berekening gemaakt. Het verschil zit met name in de kosten voor isolatie, omdat er meer te isoleren oppervlakten zijn, en in het energieverbruik, dat iets hoger ligt dan in de portiek. Zie hiervoor ook de uitgangspunten in bijlage 1.

Het eindbeeld is hetzelfde als bij de portiek. De hybride warmtepomp en het warmtenet zijn de goedkoopste opties. Voor de eengezinswoning is het warmtenet zelfs iets goedkoper dan de hybride warmtepomp in de jaarlasten. Vergeleken met de portiek komt dit doordat de installatie duurder is (grotere en daarmee duurdere hybride warmtepomp dan in de portiek), terwijl het verschil in energielasten nagenoeg hetzelfde blijft.

Ook hier is de volledig elektrische warmtepomp de duurste optie, door de hoge initiële investeringen. De lagere energielasten compenseren dit niet voldoende.

### 3.4 Aandachtspunten

#### Comfort bij luchtwarmtepomp

Zoals eerder genoemd is het is de vraag of het volledig elektrische warmtepompscenario zoals hier berekend praktisch comfortabel is. Uit een warmte-verliesberekening blijkt dat het warmteverlies van de woningen bij  $-10^{\circ}\text{C}$  mogelijk groter is dan wat de warmtepomp in die omstandigheden kan leveren. Dat betekent dat de woning dan niet opgewarmd kan worden. Betere isolatie kan dit probleem voorkomen, maar kost veel geld en zal de balans alleen maar verder in de verkeerde richting uit doen slaan.

#### Hybride warmtepomp is geen eindpunt

De hybride warmtepomp komt goed uit de analyse. Hybride warmtepompen zijn wat betreft kosten vergelijkbaar met het warmtenet, maar ze zijn geen eindpunt. Er wordt nog aardgas verbruikt in de woning. Als er geen duurzaam gas beschikbaar komt, wat een reële optie is, zal er zal nogmaals geïnvesteerd moeten worden. Er moet dan een volledig elektrische warmtepomp komen (dit is deels inbegrepen in de jaarlasten van de investering) en in radiatoren die op lage temperatuur kunnen leveren. Deze laatste post is nu niet inbegrepen. Als dat meegenomen wordt in de afweging, is het warmtenet goedkoper.

| Eengezinswoning                      | Warmtenet     | Passende Prijs Optie 1 | Hybride warmtepomp | Luchtwarmtepomp |
|--------------------------------------|---------------|------------------------|--------------------|-----------------|
| <b>Investeringen</b>                 | <b>41.000</b> | <b>2.500</b>           | <b>41.900</b>      | <b>56.600</b>   |
| - isolatie                           | 34.700        |                        | 34.700             | 34.700          |
| - installaties                       | 6.300         | 2.500                  | 7.200              | 21.900          |
| <b>Kapitaalslasten investeringen</b> | <b>2.100</b>  | <b>140</b>             | <b>2.400</b>       | <b>3.460</b>    |
| <b>Onderhoudskosten</b>              | <b>-</b>      |                        | <b>180</b>         | <b>440</b>      |
| <b>Energielasten</b>                 | <b>1.450</b>  | <b>1.370</b>           | <b>1.020</b>       | <b>970</b>      |
| - vaste lasten (- heffingskorting)   | 470           | 440                    | 160                | -80             |
| - variabele kosten                   | 990           | 930                    | 860                | 1.060           |
| <b>Totaal jaarlasten</b>             | <b>3.550</b>  | <b>3.470</b>           | <b>3.600</b>       | <b>4.870</b>    |

### Ontwikkeling warmtetarieven

Een onzekere factor, die in belang toeneemt door de monopoliepositie van warmteleveranciers, is de ontwikkeling van de warmtetarieven. Als inwoners aansluiten op een warmtenet zijn de jaarlijkse kosten voor energie en vastrecht gereguleerd door de Warmtewet. De kosten komen voor een gemiddeld huishouden overeen met de kosten van gas: de basis van de wet zijn de gastarieven (het Niet-Meer-Dan-Anders principe, NMDA).

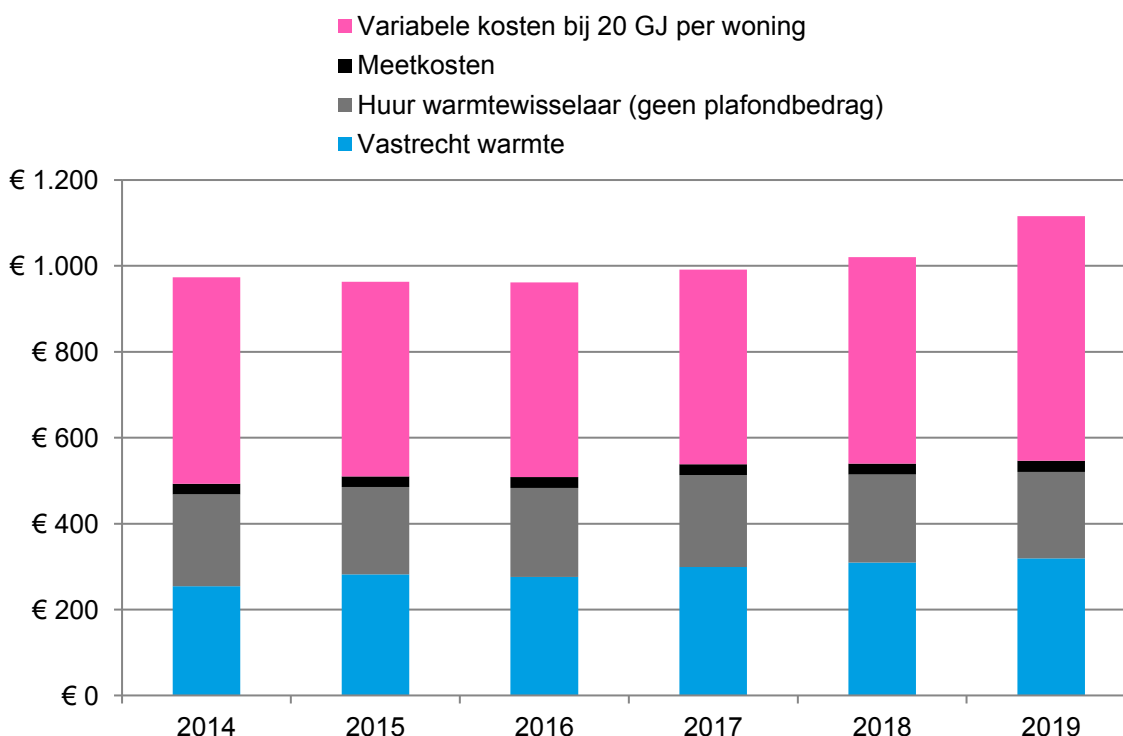
De Warmtewet beoogt consumentenbescherming, die wordt gewaarborgd door de Autoriteit Consument en Markt (ACM). In de huidige Warmtewet heeft de ACM naast controle op de maximumtarieven, ook controlebevoegdheid op het rendement dat warmtebedrijven maken (de rendementsmonitor). Als dit rendement te hoog is, moeten zij hun tarieven verlagen. Zo is de consument beschermd tegen te hoge kosten.

Het punt is dat de kosten flink kunnen toenemen, omdat de belasting op gas gaat stijgen om besparing en overstappen te stimuleren. Dit heeft als oneerlijk effect dat bewoners die over zijn gegaan op een warmtenet, en dus geen gas meer gebruiken, in theorie óók meer kunnen gaan betalen omdat de maximumtarieven omhoog gaan met de gasprijs.

In de tariefontwikkeling van de afgelopen jaren is dit te zien, zie onderstaande grafiek. Tussen 2014 en 2018 stegen de maximumtarieven met 0 tot 3%. Dit is een gewone prijsstijging als reactie op de jaarlijkse inflatie. In 2019 werden de maximumtarieven echter 9,4% hoger, omdat de kosten van gas verhoogd worden. De ACM *moet* de maximumtarieven volgens NMDA vaststellen, omdat dit wettelijk bepaald is.

Omdat zowel de ACM als de politiek deze situatie onwenselijk vinden, wordt er een nieuwe warmtewet opgesteld. Deze Warmtewet 2.0 gaat dit veranderen: de prijs voor warmtelevering wordt niet meer vastgezet aan de gasprijs. Deze wet is nog in vorming en zal naar verwachting ingaan op 1 januari 2022.

### Warmtekosten warmtewet (20 GJ/woning)



### 3.5 Conclusie

De conclusies uit de berekening zijn voor beide woningen hetzelfde. Voor een woningeigenaar van een portiek uit de jaren 1946-1964 of een rijtjeswoning van voor de oorlog, is *aansluiten op het bestaande warmtenet* de goedkoopste optie.

Ook een hybride warmtepomp is een goede keuze, hoewel dit geen eindpunt betreft. Eigenaren moeten er rekening mee houden dat er voor 2050 aanvullende investeringen gedaan moeten worden om bijvoorbeeld op een later moment naar een volledig elektrische warmtepomp over te gaan. Als dit

meegenomen wordt, is de hybride warmtepomp een duurder oplossing dan het warmtenet. Ook zijn in die eindsituatie dezelfde aandachtspunten van kracht als bij de volledig elektrische warmtepomp.

Hoewel de volledig elektrische warmtepomp lagere energielasten heeft, zijn de initiële investeringslasten erg hoog. Hierdoor worden de totale jaarlasten veel hoger dan in het geval van een warmtenet. Daarnaast is de vraag of de gebruikte isolatie voldoende comfort levert bij de laagtemperatuur verwarming, die nodig is bij gebruik van een volledig elektrische warmtepomp.

## 4 Kosten voor de wijk

In de kostenberekening voor bewoners wordt voorbijgegaan aan de vraag wat de *collectieve kosten* zijn van het verduurzamen van deze wijk. Om hier iets over te kunnen zeggen is een integrale-kostenberekening gedaan: alle kosten die gemaakt moeten worden, ongeacht welke partij deze kosten draagt, zijn bij elkaar opgeteld in de vorm van jaarlasten, om te kunnen zien wat de totaalkosten voor de maatschappij zijn.

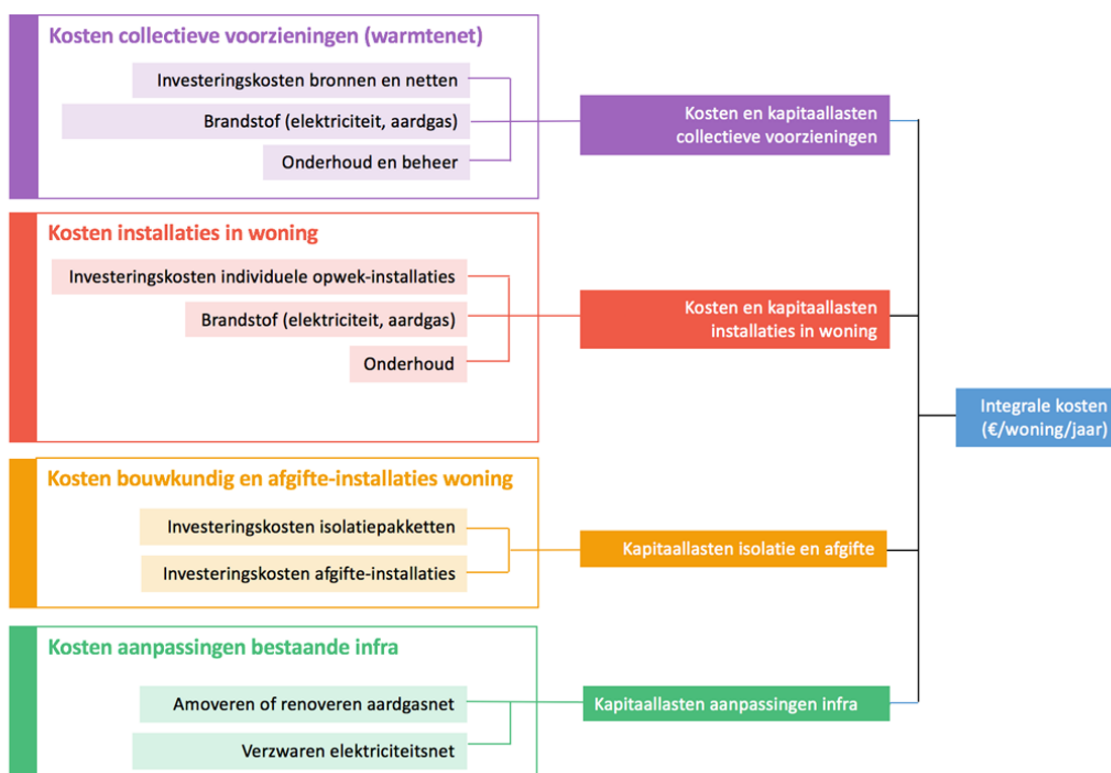
Integrale kosten zijn een veelgebruikte, maar ook moeilijk interpreteerbare grootheid. Het gaat om kosten die de maatschappij hoe dan ook moet maken voor deze optie (materialen, arbeid etc.), zonder winstmarges en onafhankelijk van wie deze kosten moet maken. Op deze manier is de vergelijking het meest neutraal; de huidige marktordening en tarieven, die aan verandering onderhevig zijn, worden zo bijvoorbeeld buitenspel gezet. Berekeningen op deze schaal hebben een foutmarge en worden vooral gebruikt om het verschil tussen concepten aan te geven. De absolute hoogte van deze kosten is minder betrouwbaar. In onderstaande schema staan de verschillende posten genoemd.

Daarnaast is een inschatting gemaakt van de benodigde investeringen voor de wijk per concept richting 2050, waarbij ook bijvoorbeeld de elektriciteitsopwekking helemaal verduurzaamd is. Ook hier geldt dat de foutmarge op deze berekening vrij groot is. Het gaat om een indicatie om te kunnen vergelijken, niet om een investeringsraming.

### 4.1 Uitgangspunten

De uitgebreide lijst met gebruikte kentallen is bijgevoegd in bijlage 2. Hier bespreken we kort een aantal keuzes die gemaakt zijn voor de berekening.

Bij een integrale kostenberekening nemen we alle werkelijk kosten op die nodig zijn om iets te realiseren. Maar ergens moet de grens gelegd worden, anders moet bij wijze van spreken meegerekend worden hoeveel van de kosten van het onderhoud aan Nederlandse wegen toe te schrijven zijn aan een bouwproject dat gebruik maakt van deze infrastructuur. Dit noemen we de 'systeemgrens'. Voor onderdelen buiten de systeemgrens wordt wél gerekend met tarieven, in plaats van werkelijke



kosten. De aanname is dan dat de werkelijke kosten gedekt worden door het tarief dat betaald wordt.

In deze berekening ligt de systeemgrens van het concept 'warmtenet' rondom zowel netwerk als opwek: beiden vallen binnen de grenzen van het systeem en worden dus berekend aan de hand van de werkelijke kosten. Bij elektriciteit en gas is in de berekening alleen het netwerk opgenomen als werkelijke kosten. Verzwaring en instandhouding van het netwerk vallen dus binnen de systeemgrens, maar duurzame elektriciteitsopwekking en eventueel de productie van (duurzaam) gas vallen erbuiten. Dit heeft te maken met het feit dat dit voor deze bronnen een nationale opgave is, waar dit bij warmtebronnen veel meer lokaal is. Elektriciteit en gas kunnen veel beter dan warmte getransporteerd worden over lange afstanden.

De aanname is bij gas en elektriciteit dat de investeringen in (duurzame) opwek betaald kunnen worden uit het consumententarief. Voor elektriciteit is dit geverifieerd aan de hand van de subsidiertarieven van de SDE+. Voor gas is dit een onzekere aanname. De kosten voor productie van duurzaam gas liggen waarschijnlijk (veel) hoger. Hier valt nu nog geen goede inschatting voor te maken.

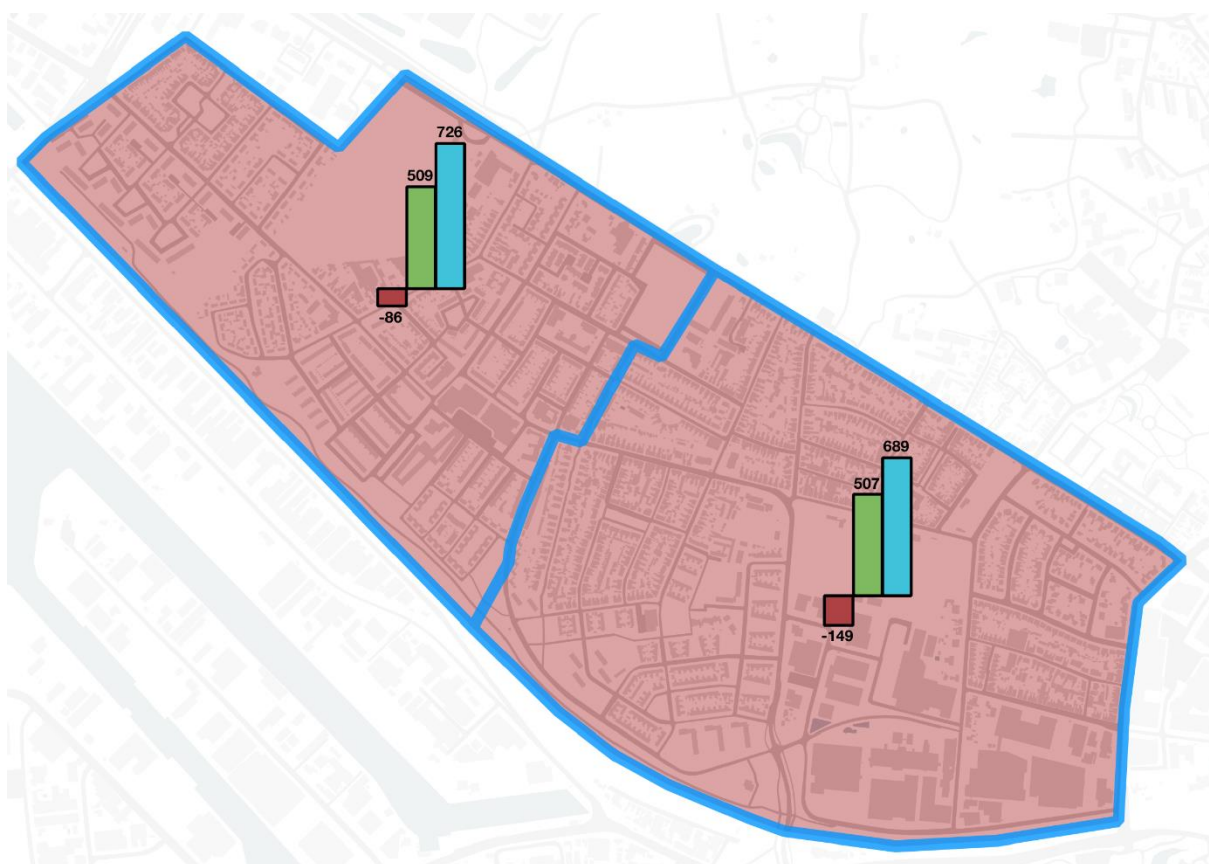
## 4.2 Uitkomsten

### Integrale kosten

In onderstaande figuur is de uitkomst van de integrale-kostenberekening te zien. Een warmtenet is gezien vanuit integrale kosten veruit de goedkoopste optie (rood gekleurd in de staafdiagram), zowel in de buurt Tweekelerveld als in Tubantia Toekomst.

In de staafgrafiek is te zien wat de relatieve jaarlasten zijn (in euro per woning per jaar) ten opzichte van de gasreferentie. De absolute kosten worden niet gegeven vanwege de grote onzekerheidsmarge.

De volledig elektrische warmtepomp is het duurst (blauw), op korte afstand gevolgd door de hybride variant (groen). De hybride warmtepomp komt hier relatief duur uit, omdat twee infrastructuren in stand gehouden moeten worden. Zowel in het gasnet moet blijvend geïnvesteerd worden, als in verzwaring van het elektriciteitsnet. Wel is rekening gehouden met een verminderde verzwaring ten opzichte van de volledig elektrische variant.



|                                                 | Warmte                                                                                       | Hybride WP     |                | All-Electric   |                |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Investering bouwkundig                          | 78 mln                                                                                       |                | 78 mln         |                | 78 mln         |
| Investering installaties (in pandig)            | 11 mln                                                                                       |                | 33 mln         |                | 48 mln         |
| Investering oude infra + E-opwekking (virtueel) | -                                                                                            | +12 mln        | 27 mln         | +24 mln        | 24 mln         |
| Investering nieuwe infra + opwekinstallatie     | 41 mln                                                                                       |                | -              |                | -              |
| <b>Totaal investeringen</b>                     | <b>130 mln</b>                                                                               | <b>150 mln</b> | <b>138 mln</b> | <b>174 mln</b> | <b>150 mln</b> |
| <b>% bij bewoner / woningcorporatie</b>         |  <b>60%</b> | <b>74%</b>     | <b>81%</b>     | <b>72%</b>     | <b>84%</b>     |

## Investeringen

In de integrale-kostenbenadering worden alle kostenposten bij elkaar opgeteld als jaarlasten. Het kan daarnaast inzichtelijk zijn om ook te kijken naar de hoogte van de investeringen, en aan te geven welke partijen deze investeringen moeten dragen.

In bovenstaande tabel is een zeer ruwe schatting gegeven van de investeringen die horen bij de drie scenario's in de integrale-kostenbenadering. In zwart staan de investeringen die als zodanig in de berekening voorkomen (op basis van de systeemgrens).

In **rood** is aangegeven wat een schatting is van de kosten die de verduurzaming van de elektriciteits-opwekking met zich meebrengt (buiten de systeemgrens). Dit komt overeen met de kosten die in de jaarlasten meegenomen zijn als het consumenten-tarief voor elektriciteit, zoals hiervoor besproken. Dit is geen lokale, maar een landelijke of zelfs Europese opgave. De kosten voor verduurzaming van gas zijn niet opgenomen omdat deze te onzeker zijn.

In **geel** is gearceerd welke investeringen bij een woningeigenaar (bewoner of woningcorporatie) komen te liggen. Dit is bedoeld om te laten zien dat ook de kostenverdeling tussen de partijen verschilt tussen de concepten. Bij de individuele concepten (hybride of volledig elektrische warmtepomp) liggen de investeringen logischerwijs ook meer bij het individu. Dit effect neemt af als de collectieve investeringen in verduurzaming elektriciteitsopwekking (rode letters) worden meegenomen.

De infrastructuurinvesteringen zijn het hoogste bij het warmtenet concept, maar dit is een vertekend beeld, door hoe de systeemgrens gekozen is. Als duurzame elektriciteitsopwekking meegenomen wordt als investering (in plaats van als vastrecht-tarief), zijn de infrastructuurkosten voor de drie opties ongeveer gelijk.

De hybride warmtepomp vraagt om een kleine verzwarende van het elektriciteitsnet (minder dan bij de volledig elektrische warmtepomp), maar het gasnet moet óók in stand gehouden worden, waardoor de infrastructuurkosten iets hoger uitvallen dan bij de volledig elektrische variant.

Het concept met de volledig elektrische warmtepomp vraagt grote investeringen van een bewoner. Ongeveer 80% van de investeringen wordt door de bewoner gedragen, 74% als de elektriciteits-opwekking meegeteld wordt. Bij een warmtenet daarentegen zijn de investeringen in de woning laag (slechts ca. 10% van totaal). De bewoner draagt in totaal 60% van de investeringskosten, maar dit komt met name door de isolatie (ca. 50%). Isolatie is wenselijk, maar niet op korte termijn noodzakelijk voor het functioneren van het warmtenet.

Deze getallen hebben een grote onzekerheidsmarge. Ze moeten daarom gezien worden als een orde van grootte (ca. 100 miljoen in totaal, of rond de 25.000 euro per woning). Het relatieve aandeel van investeringen dat in de huidige situatie bij de huiseigenaar ligt is in de orde van 50%.

### 4.3 Aandachtspunten

De uitkomsten van de integrale-kostenberekening zijn anders dan de berekening die de kosten voor een bewoner laten zien. Dat komt omdat er een verschil is tussen werkelijke gemaakte kosten van alle partijen (de integrale kosten) en de tarieven die een bewoner betaalt. Hierdoor ontstaan deze twee effecten:

- Een warmtenet is 'duurder' in de woning-analyse dan in de wijk-analyse, omdat de warmtewettarieven een business case bekostigen (bescheiden winst). Dit is anders dan in de buurtanalyse (integrale-kostenberekening), waar alleen gerekend wordt met werkelijke kosten en levensduur (technische afschrijving in plaats van financiële afschrijving).
- Een warmtepomp (zowel volledig elektrisch als hybride) is goedkoper in de woninganalyse dan in de wijkanalyse, omdat onder andere de onderhoudstarieven en netwerktarieven daarin zoals huidig zijn verondersteld. In het integrale kostenmodel worden niet de tarieven, maar de werkelijke investering in verzwaring meegenomen. Deze is mogelijk niet te betalen uit bovenstaande tarieven als heel Nederland aangepakt zou moeten worden.

Het eerste effect maakt een warmtenet in de wijkanalyse goedkoper, terwijl het tweede effect de warmtepomp-opties duurder maakt. Door deze twee effecten ontstaat het verschil in beeld dat een warmtenet zo veel goedkoper is in de wijkanalyse dan vergeleken met de woninganalyse.

### 4.4 Conclusies

Uit maatschappelijk oogpunt is een *warmtenet* beter omdat er in totaal minder kosten gemaakt worden.

Echter, de bewoner merkt in eerste instantie geen groot verschil, omdat de exploitanten een business case rond moeten krijgen ("winst maken") op basis van de tarieven. De energielasten voor een bewoner zijn hierdoor relatief hoog. Dit beeld is echter vertekend omdat de maatschappelijke kosten van het in stand houden van het gasnet en de verzwaring van het elektriciteitsnet niet één-op-één doorberekend worden aan individuele bewoners. Als dit wel meegenomen wordt, zoals in de integrale-kostenbenadering, is een warmtenet duidelijk de goedkoopste optie.

Een hybride warmtepomp kan een overgangs-oplossing zijn voor bewoners die naar een volledig elektrische warmtepomp willen overstappen. De jaarlasten zijn in eerste instantie niet zo hoog en er kan gekozen worden voor een natuurlijk moment voor de na-isolatie. Echter moet wel de gasinfrastructuur mogelijk vernieuwd worden voor een periode die korter is dan de levensduur. Dit zijn (grote) kosten die afgewend worden op de maatschappij, en is dus een onwenselijke situatie.

De bulk van de investeringen ligt bij woningeigenaren. Dit is een knelpunt van de warmtetransitie waarvoor in de landelijke politiek oplossingen gezocht worden. Niet iedereen heeft dergelijke bedragen zomaar beschikbaar. Het is nog onduidelijk welke rol de rijksoverheid gaat spelen in het verzachten van deze kosten voor individuele woningeigenaren. Sommige provincies en gemeenten geven nu al subsidies voor bijvoorbeeld isoleren. Ook in de zogenaamde 'proeftuinen' voor aardgasvrije wijken is veel geld beschikbaar gekomen om de kosten die individuele eigenaren moeten maken te verminderen. Het is dus geen voldongen feit dat deze kosten in de praktijk bij woningeigenaren komen te liggen, of dat deze gesocialiseerd worden over heel Nederland, zoals dat nu ook gebeurt met infrastructurele kosten voor bijvoorbeeld wegen of het elektriciteits- en gasnet.

## 5 Duurzaamheidsoverwegingen

Als het gaat over de transitie naar een duurzame samenleving, kunnen we niet alleen naar kosten kijken. De verschillende opties hebben ook verschillende aandachtspunten als het gaat om de duurzaamheid en klimateffecten van de gekozen techniek. Om dit goed te doorgronden, kun je niet wegblijven van bepaalde details. Hier wordt dit zo beknopt mogelijk besproken.

We bespreken de duurzaamheidsoverwegingen die er zijn bij de drie concepten. Het gaat dan over

- de *beschikbaarheid* van duurzame bronnen en
- de *CO<sub>2</sub>-uitstoot* die gepaard gaat met het gebruik van deze technieken.

Die twee vragen hebben direct met elkaar te maken: als er bijvoorbeeld niet voldoende groene stroom beschikbaar is, dan zal de CO<sub>2</sub>-uitstoot van elektrische opties niet naar nul gaan. Hetzelfde geldt voor de beschikbaarheid van duurzame bronnen voor het warmtenet.

We bespreken eerst de duurzaamheidsoverwegingen per concept (warmtenet, hybride warmtepomp, volledig elektrische warmtepomp). Dit doen we door te kijken naar de situatie als we dit concept in heel Enschede zouden toepassen. Vervolgens vergelijken we de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de concepten in een algemene paragraaf met elkaar.

### 5.1 Warmtenet

Een warmtenet wordt vaak gepresenteerd als een duurzame oplossing ter vervanging van aardgas. Een warmtenet is echter maar een infrastructuur: om te weten of het duurzaam is, moet je kijken naar de warmtebron die het warmtenet voedt.

In Enschede wordt het warmtenet gevoed door de warmte van Twence. Twence produceert stoom voor industriële afnemers en warmte voor het warmtenet door het verbranden van sloophout (zogenaamd B-hout) en door de verbranding van restafval in een afvalverbrandingsinstallatie (AVI), waarvan de biogene fractie 53% is. Dit betekent dat ongeveer de

helft van dit restafval bestaat uit biologisch materiaal zoals gft. De samenstelling van de bronnen is een samenspel van directe verbranding voor warmteproductie, maar ook gebruik van restwarmte die overblijft na elektriciteitsproductie uit deze bronnen. De bronnen voor het warmtenet zijn daarom te karakteriseren als *biomassa* en als *restwarmte*, beiden duurzame bronnen volgens de geldende wetgeving.

Deze warmtebronnen vervullen de zogenaamde 'basislast' van het warmtenet, dit beslaat in Enschede ca. 90% tot 95% van de warmtevraag. De laatste 5 tot 10% wordt ingevuld door een 'piekvoorziening' van centrale gasketels. Deze gebruiken nog fossiele brandstoffen in de vorm van aardgas.

De vraag of het warmtenet duurzaam is, en hoe dit eventueel duurzaam kan worden, hangt dus samen met de overwegingen omtrent deze twee onderdelen: de basislast (biomassa / restwarmte) en de piekvoorziening (nu nog aardgas).

#### Hoofdbron: biomassa en restafval

Twence heeft aangegeven dat er voldoende bronnen beschikbaar zijn om alle woningen in Enschede van warmte te voorzien (ca. 6 miljoen GJ). De maximale warmtelevering van Twence aan verdeelstation Enschede wordt op dit moment wel beperkt door de transportcapaciteit van de leiding (2,5 miljoen GJ), maar niet door de beschikbaarheid van bronnen. Er zijn wel een aantal aandachtspunten rondom de duurzaamheid van deze bronnen.

Het gebruik van afvalverbranding voor energieopwekking is op dit moment een verduurzaming ten opzichte van het gebruik van aardgas. Dat komt omdat afval in Nederland vrijwel altijd verbrand wordt (stortplaatsen zijn verleden tijd). Omdat deze verbranding toch al plaatsvindt, is de warmte die hierbij vrijkomt *restwarmte* en is hier geen extra CO<sub>2</sub>-uitstoot mee gemoeid. De hoeveelheid restafval die verbrand wordt zal in de toekomst kleiner zal (moeten) worden, in het kader van grondstoffschaarste en de ambities om tot een circulaire economie te komen: grondstoffen moeten zoveel

mogelijk hergebruikt worden. De biogene fractie van het restafval zal waarschijnlijk wel blijven bestaan. Deze valt net als het sloophout onder de categorie *biomassa*.

Biomassa is een polariserend onderwerp. Door de praktijken van biomassabijstook in kolencentrales (voor elektriciteitsopwekking), waarvoor soms hout uit verre landen gehaald wordt, is het gebruik van biomassa als geheel in een slecht daglicht komen te staan. Dit heeft zijn weerslag op warmtenetten die gebruikmaken van biomassa, maar dit is niet terecht.

Het is belangrijk welke soort biomassa gebruikt wordt. Afhankelijk daarvan is het óf een klimaatneutrale optie, óf slechter dan het verbranden van kolen. Zie hiervoor ook de paragraaf over CO<sub>2</sub>-uitstoot. In warmtenetten in Nederland wordt vooralsnog van de juiste soort biomassa gebruikgemaakt, zoals snoeiafval en B-hout. Zo kan biomassa onderdeel zijn van de oplossing.

Een belangrijke vraag is wel hoeveel van deze *duurzame* biomassa er beschikbaar is. Het sloophout wordt nu regionaal betrokken; dat betekent dat dit hout niet meer voor andere steden in de regio beschikbaar is als bron. Door de aard als afval- en restproduct, zijn de duurzame vormen van biomassa van zichzelf schaars, maar hóe schaars is op dit moment moeilijk te zeggen. Het Planbureau voor de

Leefomgeving (PBL) doet hier onderzoek naar. De resultaten worden verwacht in januari 2020.

Hieronder is een infographic weergegeven uit een eerder onderzoek van het PBL (2013, zie <https://themasites.pbl.nl/biomassa/>), waarin de beschikbare biomassa verdeeld kan worden over de sectoren die hier gebruik van willen maken. De buitenste grijze rand is de vraag van deze sectoren, de gekleurde vlakken de beschikbare biomassa. Het is goed om te bedenken dat biomassa in de praktijk verhandeld wordt op de markt, en dat deze geen rekening houdt met “eerlijk zullen we alles delen”. Schaarste kan de prijs opdrijven, en zo zal biomassa bij schaarste waarschijnlijk vooral gebruikt worden in die sectoren die er het meest voor willen betalen.

Totdat meer bekend is over de beschikbaarheid van duurzame biomassa is het dus verstandig om warmtenetten doelmatig aan te leggen, daar waar andere opties echt duurder zijn. Twekkelerveld kwalificeert als zo'n locatie, en ligt daarnaast in de buurt van het bestaande warmtenet. Dit maakt het logisch om de duurzame warmte hier te gebruiken.

#### Piekvoorziening: gas

Onder een 'piekvoorziening' verstaan we de installaties die het piekvermogen leveren, wat maar op een paar momenten in het jaar voorkomt als het



heel koud is en iedereen thuiskomt, bijvoorbeeld. De aard van een piekvoorziening is dus dat deze goed regelbaar moet zijn (snel aan- of uit kunnen schakelen) en dat deze voorziening maar enkele tientallen tot honderden uren per jaar gebruikt wordt. Om die reden wordt hiervoor vaak (aard)gas gebruikt. Een biomassaverbrandingsinstallatie, maar ook bijvoorbeeld geothermie, is niet geschikt om snel te schakelen.

Om de piek te verduurzamen zijn er twee opties: een duurzaam gas gebruiken in plaats van aardgas of werken met warmte-opslag die snel in te schakelen is. Deze warmte-opslag wordt dan als een batterij opgeladen met de slecht-schakelbare duurzame bron.

Warmte-opslag gebruiken voor de piek is vooral een technisch-economische uitdaging: er moet veel warmte voor langere tijd opgeslagen worden. Het is duur om voldoende volume op te kunnen slaan en om de warmte gedurende lange tijd te kunnen behouden.

Waterstof wordt waarschijnlijk niet in bruikbare hoeveelheden duurzaam geproduceerd vóór 2030. Wat betreft duurzaam gas moet daarom op de korte en middellange termijn vooral gekeken worden naar groen gas, geproduceerd uit vergisting van bijvoorbeeld mest of andere natuurlijke restproducten. Uit informatie van RVO ([warmteatlas.nl](http://warmteatlas.nl)) volgt een potentie van ongeveer 0,5 miljoen GJ. Dat is iets minder dan 10% van de totale warmtevraag in Enschede en ook ongeveer het percentage aardgas dat het warmtenet nu gebruikt voor de piekvoorziening. In de volgende paragraaf over hybride warmtepompen wordt deze beschikbaarheid diepgaander behandeld.

## 5.2 Hybride warmtepomp

Hybride warmtepompen zijn een goede vinding om aardgas te besparen. Door in het voorjaar en najaar een warmtepomp te gebruiken, wanneer de verwarming niet zo veel warmte hoeft te leveren, wordt in die periode aardgas bespaard. Voor de koude winter springt dan de CV-ketel weer aan.

De warmtepomp levert warmte in de ordegrrootte van 40°C, maximaal 50°C. Het is afhankelijk van de isolatie van het huis tot welke buitentemperatuur de verwarming hiermee toe kan. Op basis van cijfers van leveranciers (optimistisch) en onze eigen ervaring en berekeningen schatten we in dat het deel van de warmtevraag dat ingevuld wordt door de warmtepomp

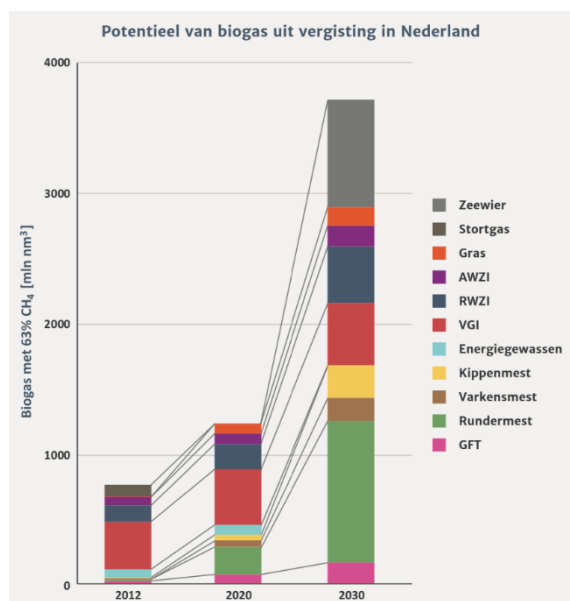
tussen de 30% en 70% kan liggen, lopend van vooroorlogse woningen tot goed geïsoleerde nieuwe woningen. Hoe beter geïsoleerd, hoe groter het aandeel van de warmtepomp kan zijn.

### Beschikbaarheid duurzaam gas

Op basis van de bestaande bouw in Enschede is een ruwe schatting dat bij gebruik van hybride warmtepompen ongeveer de helft van de warmtevraag nog ingevuld moet worden door (aard)gas. Om dit verder te verduurzamen zou hier een duurzaam gas voor gebruikt moeten worden, of zou de woning over moeten gaan op een volledig elektrische warmtepomp (zie de bijbehorende overwegingen in de volgende paragraaf).

Zoals benoemd moet voor een duurzame invulling van de resterende gasvraag vooral gekeken worden naar groen gas. Als de helft van de warmtevraag in Enschede ingevuld moet worden door groen gas, gaat het om ongeveer 3 miljoen GJ. De genoemde 0,5 GJ die theoretisch beschikbaar is in Enschede is daarvoor dus niet toereikend. Regionaal is de potentie volgens de sector ongeveer 2,5 miljoen GJ, maar het staat vast dat niet alleen Enschede daar aanspraak op zal willen maken.

Ook op Nederlandse schaal is er een inschatting gemaakt door de sector van de beschikbaarheid van groen gas. Onderstaande figuur is overgenomen uit de Routekaart Hernieuwbaar Gas, gepubliceerd door het Groen Gas Forum in juni 2014. Te zien is de inschatting dat er in 2030 3,7 miljard m<sup>3</sup> groen gas geproduceerd kan worden.



Dit komt overeen met de energiewaarde van 2,2 miljard m<sup>3</sup> aardgas. Dit is 5% van het totale gasverbruik in Nederland (ongeveer 20 miljard m<sup>3</sup>), en 10% van het verbruik van woningen (ongeveer 10 miljard m<sup>3</sup>). De Nederlandse situatie is dus vergelijkbaar met die in Enschede; er is geen overschot.

Concluderend lijkt het onwaarschijnlijk dat de resterende gasvraag bij het gebruik van hybride warmtepomp ingevuld kan worden zonder duurzaam gas te importeren. In combinatie met de vraag van onder andere de maakindustrie, die weinig andere opties heeft, zal de beschikbaarheid van groen gas of waterstof in de toekomst waarschijnlijk niet toereikend zijn om op grote schaal in de gebouwde omgeving te gebruiken. Ook hier geldt dat deze gassen verkocht zullen worden aan de hoogste bidder.

De beperkte beschikbaarheid van groen gas is een aandachtspunt bij het concept met hybride warmtepompen, omdat het terugvalscenario is om over te gaan op een volledig elektrische warmtepomp. Dit is voor nieuwere woningen een behapbare optie, maar voor de oude bouw in Twinkelerveld is dit een erg dure en technisch uitdagende optie, zoals aangegeven in de vorige hoofdstukken. Hybride warmtepompen kunnen een doodlopende weg zijn.

### 5.3 Volledig elektrische warmtepomp

Bij de volledig elektrische warmtepomp draait de vraag over duurzaamheid over de beschikbaarheid van groene stroom.

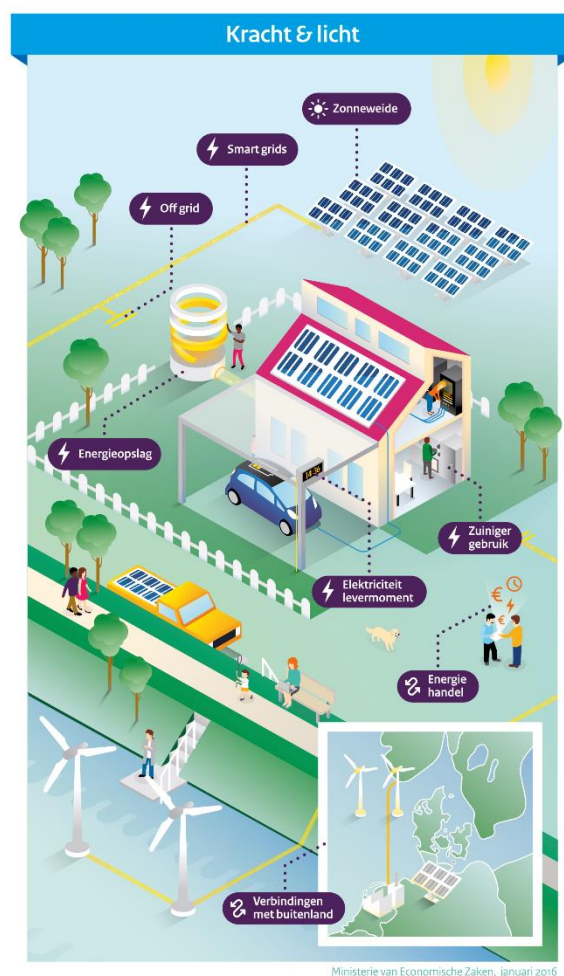
#### Beschikbaarheid groene stroom

Het komt vaak in het nieuws: elektrische oplossingen, zoals warmtepompen en elektrische auto's, zijn alleen duurzaam als de gebruikte stroom ook duurzaam is. Dit is geen zwart-wit verhaal, hier komen we op terug bij de paragraaf over CO<sub>2</sub>-uitstoot. In deze paragraaf zullen we eerst ingaan op de beschikbaarheid.

Het voordeel van het gebruiken van stroom is dat stroom heel goed transporteerbaar is. Het netwerktransport in Nederland kent een verlies van slechts een paar procent. Ook grotere afstanden zijn goed haalbaar door het gebruik van HVDC-kabels (High Voltage Direct Current, hoogspannings-gelijkstroom), zoals al toegepast is in meerdere verbindingen in Europa. Een voorbeeld is de NorNed-kabel tussen Nederland en Noorwegen. Zo kunnen

we gebruik maken van zonnestroom uit Spanje, windenergie van de Noordzee en waterkracht uit Scandinavië. Dit betekent dat het vergroenen van het elektriciteitsaanbod een landelijke en zelfs Europese opgave is, in plaats van een lokale uitdaging zoals bij warmtenetten.

Op Europese schaal zijn er voldoende mogelijkheden om groene stroom op te wekken. De Nederlandse strategie hiervoor is vastgelegd in de Energieagenda van voormalig minister Kamp (2016), zie onderstaande figuur.



Ministerie van Economische Zaken, januari 2016

Een aandachtspunt dat ook in de figuur naar voren komt is de balancering van vraag en aanbod, met name over seizoenen heen. Hier wordt nog volop naar oplossingen gezocht, in de vorm van *Smart Grids* met allerlei vormen van energie-opslag, maar ook vraagsturing door middel van flexibele prijzen per kwartier. Op de korte termijn is de capaciteit van het netwerk een beperkende factor, dus de hoeveelheid elektriciteit die vervoerd kan worden. Als we alles van vandaag op morgen zouden elektrificeren, kan dit niet getransporteerd worden door het huidige netwerk.

Netbeheerders zijn bezig met oplossingen, maar deze hebben tijd nodig.

Wanneer je uitgaat van een elektrische oplossing als verduurzaming, is de *snelheid* van de vergroening van de elektriciteitsvoorziening een aandachtspunt. De omslag naar groene elektriciteit in Nederland gaat tot nu toe traag. In 2019 is het aandeel ongeveer 14%, waarvan 5%-punt uit omstreken biomassa-bijstook in kolencentrales, die eerder genoemd is.

Dat gaat dan alleen om de huidige vraag. De elektriciteitsvraag voor warmtepompen, maar ook die van elektrisch vervoer, is extra vraag die ook nog ingevuld moet worden door duurzame opwek. Op deze snelheid gaan we dat niet halen voor 2050. CO<sub>2</sub>-opslag kan dienen als uiterste redmiddel. Hoewel dit belangrijke aandachtspunten zijn, is het niet aan de gemeente om deze (volledig) op te lossen. Wel kan de gemeente bij het kiezen voor een elektrische oplossing ook boter bij de vis doen, en zich richten op maximale duurzame elektriciteits-opwekking binnen de gemeentegrenzen.

#### 5.4 CO<sub>2</sub>-uitstoot

Voor alle drie de concepten geldt dat, als de verkeerde bronnen gebruikt worden, de CO<sub>2</sub>-uitstoot niet optimaal is. Anderzijds geldt ook voor alle opties dat deze volledig CO<sub>2</sub>-neutraal zouden kunnen zijn. Het is inzichtelijk om de verschillende mogelijke situaties naast elkaar te zetten en te vergelijken met het gebruik van aardgas.

**Individuele CV-ketel:**  
**63,36 kg CO<sub>2</sub> per GJ**  
**100%**

Per gigajoule (GJ) warmte veroorzaakt een CV-ketel 63,36 kg CO<sub>2</sub>-uitstoot. Dit gebruiken we als referentie: 100%. De uitstoot van de andere opties drukken we uit in een percentage hiervan.

#### Warmtenet

De efficiëntie van het warmtenet wordt vastgelegd in de EOR-waarde: dat is het equivalent opwek-rendement. Dat geeft aan hoeveel van de warmte opgewekt wordt door fossiele bronnen en hoeveel

door duurzame bronnen. De EOR van het net in Enschede is in 2019 400%. Andere warmtenetten die biomassa gebruiken, zoals in Ede en Alkmaar, scoren nog iets beter. De verwachting is dat Enschede in de toekomst ook een dergelijk rendement kan halen.

#### Warmtenet Twence

| Huidige EOR (400%):                                 | EOR Ede (600%):                                    | EOR Alkmaar (1400%):                              |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| <b>13,46 kg CO<sub>2</sub> per GJ</b><br><b>21%</b> | <b>8,98 kg CO<sub>2</sub> per GJ</b><br><b>14%</b> | <b>3,85 kg CO<sub>2</sub> per GJ</b><br><b>6%</b> |

In de huidige situatie stoot het warmtenet per GJ dus maar 21% van de CO<sub>2</sub> uit van een CV-ketel, een besparing van bijna 80%. In de toekomst kan dit nog verder naar beneden gaan.

Om volledig te zijn, zou je eigenlijk ook de zogenaamde keten-emissies mee moeten nemen: indirecte emissies die gemaakt worden om de biomassa bij de centrale te krijgen. CE Delft heeft hier een kentel voor berekend. Deze omvatten 14 tot 27 procentpunt extra uitstoot. In het slechtste geval komt het warmtenet dan uit op 48% uitstoot ten opzichte van een CV-ketel, een besparing van 50%.

Ketenemissie hout (CE Delft):

**9-17 kg CO<sub>2</sub> per GJ**  
**14-27%**

*Van de ketenemissies is ca. 65% verwerking en 35% transport. Er is hier geen fossiele fractie in de opwek meegerekend zoals in de EOR. De EOR-uitstoot kan hier dus bij opgeteld worden. LCA-emissies voor de materialen voor de biomassacentrale zijn niet meegenomen.*

Dit getal geldt als de *juiste* soort biomassa is gebruikt: de directe CO<sub>2</sub>-uitstoot van de verbranding is niet meegenomen. Dat komt omdat deze CO<sub>2</sub>-uitstoot afkomstig is van de zogenaamde korte koolstofketen. De CO<sub>2</sub> die uitgestoten wordt, wordt binnen korte tijd weer opgenomen door nieuwe aangroei. Dit is van belang, omdat deze directe emissies van biomassa *hoger* liggen dan de CO<sub>2</sub>-uitstoot van aardgas. De balans kan hierdoor dus volledig doorslaan naar de andere kant. Alleen als de goede soort biomassa gebruikt wordt zijn deze emissies klimaatneutraal. Snoeiafval is bijvoorbeeld een goede soort biomassa, omdat dit ieder jaar weer aangroeit en de uitgestoten CO<sub>2</sub> weer opneemt. Een slechte soort is het gebruik van hele bomen, omdat het soms wel honderd jaar

kan duren voordat deze weer aangegroeid zijn. Al die tijd is de extra CO<sub>2</sub>-uitstoot aanwezig in de atmosfeer. Zie voor meer informatie hierover het PBL-rapport *Climate effects of wood used for bio-energy* uit 2013.

#### Hybride en volledig elektrische warmtepomp

Bij gebruik van aardgas en grijze stroom scoort de hybride warmtepomp nagenoeg even slecht als een CV-ketel op aardgas. De besparing van 3% is te verwaarlozen.

#### Hybride warmtepomp

Grijze stroom  
(100%, COP 3):

**61,72 kg CO<sub>2</sub>**  
per GJ  
**97%**

Groene stroom  
(100%, COP 3):

**31,68 kg CO<sub>2</sub>**  
per GJ  
**50%**

Wanneer gebruik gemaakt wordt van groene stroom is de besparing 50%. Dat komt door de aanname dat de helft van de energie in dit concept geleverd wordt door de warmtepomp; de andere helft wordt geleverd door de CV-ketel, wat we hier dus terugzien.

Om te kunnen vergelijken met de volledig elektrische warmtepomp, zoomen we in op twee onderwerpen: het rendement van de warmtepomp (de COP) en de hoeveelheid groene stroom.

Bij 100% groene stroom is de CO<sub>2</sub>-uitstoot van een warmtepomp natuurlijk nul. Met de grijze stroommix in 2019 is dat wel anders: 649 gram CO<sub>2</sub> per kWh.

Zolang de elektriciteitsmix nog niet 100% duurzaam is, is het rendement van de warmtepomp dus van belang om de CO<sub>2</sub>-uitstoot te kunnen bepalen. Het rendement van een warmtepomp wordt uitgedrukt in de COP (*Coefficient of Performance*): dit geeft aan hoeveel eenheden warmte de warmtepomp levert, per eenheid verbruikte elektriciteit. In gunstige

omstandigheden kan de COP wel 5 zijn (of 500%), in ongunstige omstandigheden maar 2 (of 200%).

#### Luchtwarmtepomp

Grijze stroom  
(COP 2)

**90,14 kg CO<sub>2</sub>**  
per GJ  
**142%**

Grijze stroom  
(COP 3,5)

**51,51 kg CO<sub>2</sub>**  
per GJ  
**81%**

**Bij 100% groene stroom 0 kg CO<sub>2</sub>!**

In de figuur wordt getoond wat de uitstoot is bij een slechte COP van 2: met gebruik van volledig grijze stroom is de warmtepomp dan slechter dan een CV-ketel. Er is 42% meer CO<sub>2</sub>-uitstoot. Als het rendement gunstiger is (zoals een COP van 3,5) dan is de uitstoot bij volledig grijze stroom al bijna 20% lager dan bij een CV-ketel.

In de komende jaren zal de elektriciteitsvoorziening verder vergroenen. Het is de bedoeling dat al in 2030 70% van onze stroom uit duurzame bronnen komt. Dit is afgesproken in het Klimaatakkoord. Dan zou de CO<sub>2</sub>-uitstoot van zowel de hybride als de volledig elektrische warmtepomp drastisch afnemen.

Ook voor elektriciteit kun je de indirecte emissies meenemen, dat zijn in dit geval de 'levenscyclus' (LCA) emissies die gepaard gaan met het produceren en plaatsen van windmolens en zonnepanelen.

LCA emissie  
(PV-paneel)

**9,72 kg CO<sub>2</sub>**  
per GJ  
**15%**

LCA emissie  
(windturbine)

**1,67 kg CO<sub>2</sub>**  
per GJ  
**3%**

*De productie-energie voor de zonnepanelen en windturbines wordt soms als argument tegen groene stroom gebruikt. De emissies die hierbij horen zijn echter relatief laag over de levensduur, met name voor wind. Beide zijn berekend bij ongunstige COP van 2.*

Met name voor windenergie zijn deze bijkomende emissies erg klein, maar ook de levenscyclus-emissies van zonnepanelen zijn laag ten opzichte van het alternatief van grijze stroom.

## 5.5 Conclusie

Geen enkele duurzame optie heeft geen nadelen. Bij een vergelijking tussen verschillende concepten wordt vaak van uitersten uitgegaan: volledig grijze stroom en een slecht rendement voor warmtepompen, tegenover 100% schone biomassa zonder de ketenemissies en de piekvoorziening mee te nemen.

In de grafiek op deze pagina is te zien dat alle opties elkaar in de mogelijke CO<sub>2</sub>-uitstoot overlappen. Los van welke optie gekozen wordt, moeten daarnaast *andere* zaken goed geregeld zijn om het een echte duurzame oplossing te maken. Het warmtenet is alleen duurzaam als duurzame biomassa gebruikt wordt; elektriciteit is alleen duurzaam als deze groen is. Beide bronnen zijn beperkt beschikbaar.

Besparing op de energievraag is vanwege deze schaarste altijd een *no-regret* maatregel. Dat wil helaas niet zeggen dat deze maatregelen ook financieel rendabel zijn voor individuele bewoners.

Daarnaast is passend gebruik van de verschillende duurzame oplossingen belangrijk. Welke bronnen worden ingezet voor welke woningen? De gemeente Enschede zal vast moeten leggen welke oplossingen zij, met de kennis van nu, voor ogen heeft voor de buurten in de stad, in de zogenaamde Transitievisie Warmte. Alle Nederlandse gemeenten moeten dit doen voor het eind van 2021.

Het bestaande warmtenet in Enschede is een uitkomst voor oudere bouw waarbij (zwaar) isoleren

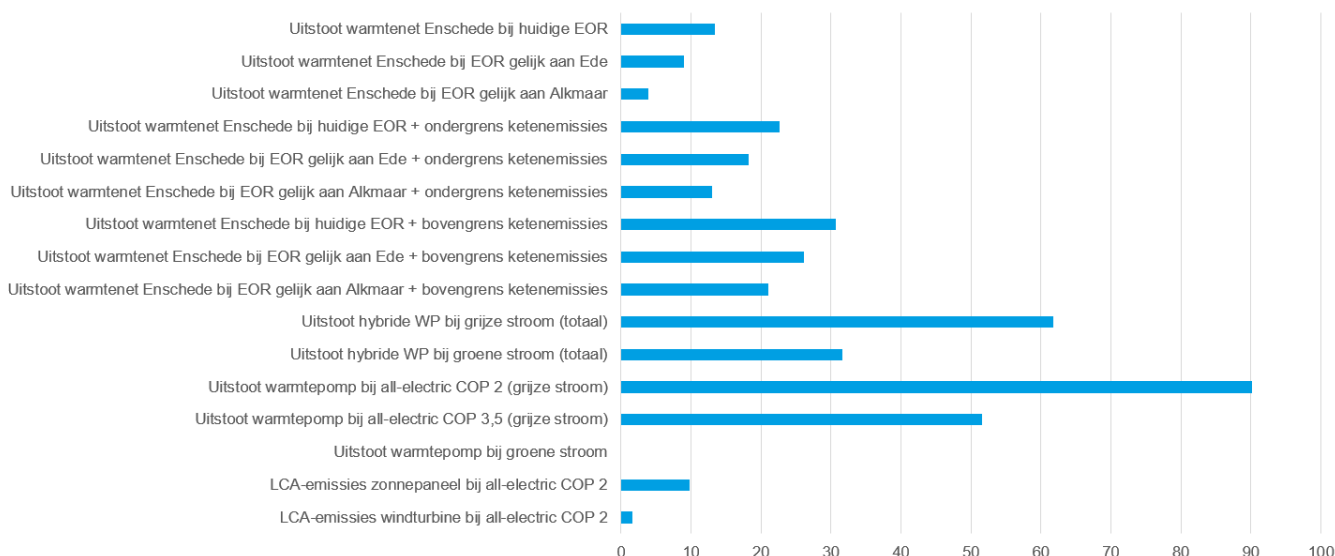
moeilijk kan zijn. Je kunt stellen dat de duurzame energie van een warmtenet met voorrang aan oudere wijken toegeschreven moeten worden, omdat deze anders niet goed kunnen verduurzamen.

Volledig elektrische warmtepompen zijn goed in te passen in nieuwere bouw, zeker die gebouwd zijn vanaf het jaar 2000. In tegenstelling tot de oudere bouw, is het haast zonde om de hoogtemperatuur warmte van het warmtenet hier naartoe te brengen, omdat deze ook relatief eenvoudig met een warmtepomp verwarmd kunnen worden. Woningen die in de toekomst hierop over zullen gaan, kunnen hybride warmtepompen gebruiken als tussentijdse oplossing, om de investeringen te spreiden.

Specifiek voor Enschede is ook de locatie van wijken van belang voor het warmtenet; dichtbij de hoofdstructuur kan het ook logisch zijn om nieuwere bouw aan te sluiten, mits er voldoende duurzame bronnen voor het warmtenet zijn. Dit kunnen in de toekomst ook andere bronnen zijn dan biomassa.

Ook wanneer we naar de duurzaamheids-overwegingen kijken, is het dus logisch om de wijk Twekkelerveld overwegend op het *warmtenet* aan te sluiten, individuele uitzonderingen daargelaten. Het is een relatief oude wijk, waar het heel duur en technisch moeilijk is om voldoende te isoleren. Dit maakt het risico groter dat een hybride of volledig elektrische oplossing in Twekkelerveld tot extra uitstoot kan leiden. Met het warmtenet is deze warmtevraag beter duurzaam in te vullen.

CO<sub>2</sub>-uitstoot verschillende varianten per GJ warmtelevering [kg CO<sub>2</sub>/GJ]



## 6 Colofon

### Wie is DWA?

DWA voelt zich verantwoordelijk voor de wereld om ons heen. Daarom bedenken onze adviseurs slimme, duurzame oplossingen voor gebouwen en gebieden van morgen. Elke dag zijn we in de weer met strategische vragen. We ontwikkelen visies om hele woonbuurten onafhankelijk te maken van aardgas, we ontwerpen energiezuinige en comfortabele kantoren waarin mensen productiever zijn en we verminderen CO<sub>2</sub>-uitstoot. Onze ingenieurs verduurzamen Nederland. We praten niet, we dóén. Kijk maar eens bij onze projecten op [www.dwa.nl](http://www.dwa.nl).

We zijn een adviesbureau, maar het blijft niet bij intelligent advies alleen. We rekenen graag aan sluitende businesscases. Onze bijdrage zien we nooit los van het grotere plaatje. Een goed exploitatie-resultaat vinden we net zo belangrijk als initiële kosten. En hierin gaan we best ver: bijvoorbeeld door óók risicodragend in projecten te participeren. En de bouw? Die begeleiden we van begin tot eind. Ook na de realisatiefase blijven we betrokken. Doordat we bovenop beheer en onderhoud zitten, kunnen we als dat nodig is meteen bijsturen voor een optimaal resultaat. Met geavanceerde monitoringstools tonen we aan of beoogde prestaties daadwerkelijk worden behaald.

Opdrachtgevers met ambitie, daarvan gaat ons hart sneller kloppen. De handen ineenslaan om duurzame ontwikkelingen ruim baan te geven. Dit betekent ook nieuwe ideeën proberen: samen experimenteren we, verleggen we grenzen en zoeken we naar nieuwe wegen. Geen wonder dat overheden, bedrijven en maatschappelijke organisaties DWA graag zien als hun strategisch partner.

Bij DWA werken zo'n 120 professionals met een hart voor duurzame oplossingen. Alle DWA'ers samen vormen een hechte groep waarbinnen iedereen van elkaar leert. En je merkt het als je met ons praat: we weten waarover we het hebben. Stuk voor stuk voelen we ons verantwoordelijk voor de wereld om ons heen. Een leefbare wereld voor de volgende generatie, dát is wat ons drijft.

### Duurzaamheid en Maatschappelijk verantwoord ondernemen (MVO)

DWA heeft duurzaamheid hoog in het vaandel staan en het begrip rentmeesterschap vormt een centraal onderdeel van onze bedrijfsmissie. Een aspect hiervan is ook een stevig en actief mvo-beleid. Dit steunt op drie pijlers:

- 1 *Duurzame inzetbaarheid:* inzet in welzijn van medewerkers. Wij hebben een Governance Code opgesteld waarin de spelregels zijn beschreven die ervoor zorgen dat medewerkers zo lang mogelijk vitaal blijven. Medewerkers worden nauw betrokken bij de beleidsopstelling en -uitvoering.
- 2 *Vermindering CO<sub>2</sub>-uitstoot:* DWA stelt zich als doel de CO<sub>2</sub>-uitstoot ten gevolge van mobiliteit en onze huisvesting te verminderen. Om dit te kunnen meten en vergelijken met anderen, stellen wij jaarlijks een emissie-inventarisatie op. De publieksversie, die de resultaten van de inventarisatie kort weergeeft, publiceren wij op onze website.
- 3 *Geven en doen:* DWA wil een bijdrage leveren aan de samenleving zonder direct financieel belang. DWA voelt zich betrokken op de wereld waarin wij leven. Vandaar dat wij actief zijn binnen diverse initiatieven die een positieve bijdrage leveren aan de maatschappij en goede doelen. Zo zijn wij betrokken (geweest) bij het ontwerp en de realisatie van het Hope University College (HUC) in Addis Ababa. Nu sponsoren wij enkele studenten van deze hogeschool. Wij vinden het daarnaast belangrijk mensen te helpen bij het vergroten van hun kansen op de arbeidsmarkt. Daarom bieden we sinds januari 2018 een werk-leertraject aan een Syrische architect. Ook zijn we in gesprek met de Stichting voor Vluchteling-Studenten UAF.



# Bijlage 1 - Kostenkentallen woninganalyse

---

Op de volgende pagina zijn de gebruikte kostenkentallen voor de woninganalyse opgenomen. Deze kosten zijn inclusief BTW, om aan te sluiten bij het perspectief van een bewoner.

## GEBRUIKTE KENTALLEN VOORBEELDWONINGEN

Alle vermelde kosten zijn inclusief BTW

|                                                                         | Eenheid           | Portiek    | Afwijkende<br>uitgangspunten<br>eengezinswoning | Bron of toelichting                                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------------|------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Bouwkundige afmetingen</b>                                           |                   |            |                                                 |                                                                                                       |
| glasoppervlak                                                           | m2                | 19         | 22,9                                            | Standaardgegevens uit voorbeeldwoning RVO                                                             |
| geveloppervlak                                                          | m2                | 59,1       | 97,8                                            |                                                                                                       |
| vloeroppervlak bg vloer                                                 | m2                | 16,5       | 55                                              |                                                                                                       |
| dakoppervlak                                                            | m2                | 17,93      | 73,60                                           |                                                                                                       |
| deur                                                                    | m2                | 2,50       | 2,50                                            |                                                                                                       |
| gebruikersoppervlak hele woning                                         | m2                | 66         | 102                                             |                                                                                                       |
| <b>Investeringen</b>                                                    |                   |            |                                                 |                                                                                                       |
| Isoleren gevel naar Rc 3                                                | €/m2              | 114,95     |                                                 | Generieke post o.b.v. 4.000 euro excl BTW (inschatting); dit is niet op basis van een business case   |
| Isoleren vloer                                                          | €/m2              | 26,62      |                                                 |                                                                                                       |
| Isoleren dak                                                            | €/m2              | 66,55      |                                                 |                                                                                                       |
| HR++ glas in bestaand kozijn / in nieuw kozijn                          | €/m2              | 182        | 666                                             |                                                                                                       |
| Deur U-waarde minimaal 2                                                | €/m2              | 726        |                                                 |                                                                                                       |
| Aansluitkosten warmte HT                                                | €/woning          | 4.840      |                                                 |                                                                                                       |
| Hybride warmtepomp (zonder tapwaterbuffer)                              | €/woning          | 4.961      | 6.050                                           |                                                                                                       |
| Warmtepomp + tapwaterbuffer per woning                                  | €/woning          | 10.890     | 14.520                                          |                                                                                                       |
| Elektrische kookplaat                                                   | €/woning          | 1.150      |                                                 |                                                                                                       |
| Vergroting radiatoren (LT), warmtapwaterleidingen aanpassen             | €/woning          | 3.388      | 4.235                                           |                                                                                                       |
| Vergroten elektriciteitsaansluiting van 1 * 35 naar 3*25                | €/woning          | 306,19     |                                                 | Enexis tarieven 2019                                                                                  |
| Verwijderen gasaansluiting hoogbouw / laagbouw                          | €/woning          | 202        | 358,14                                          | Enexis tarieven 2019                                                                                  |
| Overige kosten vergroten elektriciteitsaansluiting                      | €/woning          | 1.331      |                                                 | Bijvoorbeeld arbeidskosten                                                                            |
| <b>Onderhoudpercentages en kapitaalslasten</b>                          |                   |            |                                                 |                                                                                                       |
| Onderhoud huidige cv-ketel                                              | euro per woning   | 121        |                                                 | Dit is een generieke termijn en niet gerelateerd aan contractvoorwaarden Ennatuurlijk                 |
| Onderhoud warmteafleverset                                              | % van investering | 1%         |                                                 |                                                                                                       |
| Onderhoud warmtepomp                                                    | % van investering | 3%         |                                                 |                                                                                                       |
| Rente voor kapitaalslasten                                              |                   | 4%         |                                                 |                                                                                                       |
| Afschrijvingstermijn isolatie                                           | jaar              | 40         |                                                 |                                                                                                       |
| Afschrijvingstermijn opwekkers (warmtepomp, hybride warmtepomp)         | jaar              | 15         |                                                 | Dit is een generieke termijn en niet gerelateerd aan contractvoorwaarden Ennatuurlijk                 |
| Afschrijvingstermijn aansluitkosten warmte                              | jaar              | 40         |                                                 |                                                                                                       |
| Afschrijvingstermijn vergroting elektra-aansluiting                     | jaar              | 40         |                                                 |                                                                                                       |
| Afschrijvingstermijn LT-convectoren                                     | jaar              | 40         |                                                 |                                                                                                       |
| Afschrijvingstermijn elektrische kookplaat                              | jaar              | 15         |                                                 |                                                                                                       |
| <b>Energie-hoeveelheid verbruik</b>                                     |                   |            |                                                 |                                                                                                       |
| SJV voor postcode 7521 HB (portiek) en 7521 EW (EGW)                    | m3/jaar           | 1.351      | 1.448                                           | Enexis standaardjaarverbruiken peildatum 1-1-2018                                                     |
| Waarvan tapwater (inschatting)                                          | m3/jaar           | 235        | 300                                             |                                                                                                       |
| Waarvan koken (inschatting)                                             | m3/jaar           | 30         |                                                 |                                                                                                       |
| Waarvan ruimteverwarming (restant na inschatting koken en tapwater)     | m3/jaar           | 1.086      |                                                 |                                                                                                       |
| Warm tapwater verbruik in GJ                                            | GJ/jaar           | 7          |                                                 |                                                                                                       |
| Ruimteverwarming verbruik in GJ                                         | GJ/jaar           | 32         |                                                 | O.b.v. relatieve efficiëntieverbetering van 50% (gas) naar 85% (inductie) van het fornuis             |
| Elektraverbruik voor koken (op basis van 30 m3 per jaar)                | kWh/jaar          | 172        |                                                 |                                                                                                       |
| <b>Energiekosten</b>                                                    |                   |            |                                                 |                                                                                                       |
| gastarief                                                               | €/m3              | € 0,809    |                                                 | Gemiddeld tarief uit Warmtewet 2019                                                                   |
| elektretarief                                                           | €/kWh             | € 0,220    |                                                 | Gemiddeld tarief 2019                                                                                 |
| warmtetarief Ennatuurlijk                                               | €/GJ              | € 26,65    |                                                 | Ennatuurlijk tarief 2019                                                                              |
| maximum warmtetarief                                                    | €/GJ              | € 28,47    |                                                 | Warmtewet 2019                                                                                        |
| vastrecht gas                                                           | €/jaar            | € 238,32   |                                                 | Enexis tarieven 2019                                                                                  |
| vastrecht elektra (gewone aansluiting)                                  | €/jaar            | € 230,28   |                                                 | Enexis tarieven 2019                                                                                  |
| Totaal vaste kosten warmte particulier maximum                          | €/jaar            | € 546,60   |                                                 | Warmtewet 2019                                                                                        |
| Totaal vaste kosten warmte particulier Ennatuurlijk                     | €/jaar            | € 525,84   |                                                 | Ennatuurlijk tarief 2019                                                                              |
| waarvan huur afgeverset (evt. overgenomen door woningcorporatie)        | €/jaar            | € 196,73   |                                                 | Ennatuurlijk tarief 2019                                                                              |
| Gereduceerd vastrecht warmte huurder Ennatuurlijk                       | €/jaar            | € 329,11   |                                                 | Ennatuurlijk tarief 2019                                                                              |
| Afkoopsom huur afgeverset door corporatie                               | €/woning          | € 2.492,50 |                                                 | Ennatuurlijk tarief 2019                                                                              |
| heffingskorting                                                         | €/jaar            | € 311,62   |                                                 | Overheid 2019                                                                                         |
| <b>Natuurkundige eenheden</b>                                           |                   |            |                                                 |                                                                                                       |
| Rendement gasketel                                                      |                   | 85%        |                                                 | Combirendement tapwater en ruimteverwarming, op bovenwaarde                                           |
| Bovenwaarde gas                                                         | GJ/m3             | 0,035096   |                                                 |                                                                                                       |
| Nuttige warmte uit 1 m3 gas                                             | GJ/m3             | 0,029832   |                                                 | Conservatieve schatting i.v.m. suboptimale schil (Rc=3)                                               |
| COP warmtepomp (lucht, individueel, combirendement)                     |                   | 2,0        |                                                 |                                                                                                       |
| COP hybride warmtepomp (lucht, individueel, tussenseizoen RV rendement) |                   | 3,0        |                                                 | Hoger dan volledig elektrisch, omdat je het ongunstige deel minder gebruikt (dat vult de gasketel in) |
| aantal kWh per GJ                                                       | kWh/GJ            | 277,8      |                                                 | Inschatting op basis van woningtype en isolatiegraad                                                  |
| Aandeel WP voor ruimteverwarming bij hybride                            |                   | 60%        | 50%                                             |                                                                                                       |
| Aandeel gasketel voor ruimteverwarming bij hybride                      |                   | 40%        | 50%                                             | Inschatting op basis van woningtype en isolatiegraad                                                  |
| Besparingspercentage isolatie                                           | % t.o.v. ref      | 28%        | 27%                                             | o.b.v. RVO voorbeeldwoning (o.b.v. Energie-index) en praktijkaanpassing Majcen (2016)                 |

## Bijlage 2 - Kostenkentallen wijkanalyse

---

Op de volgende pagina's zijn de gebruikte kostenkentallen voor de woninganalyse opgenomen. Deze analyse is gebaseerd op integrale kosten en de gebruikte kostenkentallen zijn dus exclusief BTW.

# GEBRUIKTE KENTALLEN FINANCIËLE BEREKENING

(alle kosten excl. BTW)

## FINANCIËEL

### INPANDIG

|                                                                         |         |
|-------------------------------------------------------------------------|---------|
| Rentepercentage voor jaarlasten isolatiemaatregelen en LTV              | 5%      |
| Rentepercentage voor jaarlasten opwekinstallaties                       | 5%      |
| Rentepercentage voor netwerken in woning / bedrijfspand                 | 5%      |
| Afschrijvingstermijn voor jaarlasten isolatiemaatregelen en LTV         | 40 jaar |
| Afschrijvingstermijn voor jaarlasten opwekinstallaties                  | 15 jaar |
| Afschrijvingstermijn voor jaarlasten netwerken in woning / bedrijfspand | 40 jaar |

### OPENBARE RUIMTE

|                                                                                  |         |
|----------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Rentepercentage voor netwerken buiten het pand (collectieve infrastructuur)      | 5%      |
| Rentepercentage voor warmteopwekker warmtenet                                    | 5%      |
| Afschrijvingstermijn voor netwerken buiten het pand (collectieve infrastructuur) | 50 jaar |
| Afschrijvingstermijn warmteopwekker warmtenet                                    | 20 jaar |

## WONINGEN

### ENERGIEKOSTEN

|                                                                                                     |                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Tarief aardgas per m3 voor woningen (excl. BTW) o.b.v. keuze huidig of verhoogd tarief              | 0,67 euro/m3       |
| Kosten van opwekking warmte per GJ warmtevraag van afnemer                                          | 8,12 euro/GJ vraag |
| Elektriciteitstarief per kWh voor woningen (alle types) excl. BTW o.b.v. keuze elektriciteitstarief | 0,18 euro/kWh      |

### BESPARINGSPERCENTAGES

|                                                |     |
|------------------------------------------------|-----|
| Rendabele besparing laagbouw woning t/m 1945   | 27% |
| Rendabele besparing laagbouw woning 1946-1964  | 22% |
| Rendabele besparing laagbouw woning 1965-1974  | 19% |
| Rendabele besparing laagbouw woning 1975-1991  | 13% |
| Rendabele besparing laagbouw woning 1992-heden | 5%  |
| Rendabele besparing hoogbouw woning t/m 1945   | 37% |
| Rendabele besparing hoogbouw woning 1946-1964  | 28% |
| Rendabele besparing hoogbouw woning 1965-1974  | 27% |
| Rendabele besparing hoogbouw woning 1975-1991  | 17% |
| Rendabele besparing hoogbouw woning 1992-heden | 13% |

### INVESTERING ISOLATIEMAATREGELEN

|                                                                                     |                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Investeringskosten isolatiemaatregelen rendabel laagbouw woning bouwjaar t/m 1945   | 25.000 euro/woning |
| Investeringskosten isolatiemaatregelen rendabel laagbouw woning bouwjaar 1946-1964  | 17.000 euro/woning |
| Investeringskosten isolatiemaatregelen rendabel laagbouw woning bouwjaar 1965-1974  | 15.000 euro/woning |
| Investeringskosten isolatiemaatregelen rendabel laagbouw woning bouwjaar 1975-1991  | 9.000 euro/woning  |
| Investeringskosten isolatiemaatregelen rendabel laagbouw woning bouwjaar 1992-heden | 2.000 euro/woning  |
| Investeringskosten isolatiemaatregelen rendabel hoogbouw woning bouwjaar t/m 1945   | 11.000 euro/woning |
| Investeringskosten isolatiemaatregelen rendabel hoogbouw woning bouwjaar 1946-1964  | 11.000 euro/woning |
| Investeringskosten isolatiemaatregelen rendabel hoogbouw woning bouwjaar 1965-1974  | 11.000 euro/woning |
| Investeringskosten isolatiemaatregelen rendabel hoogbouw woning bouwjaar 1975-1991  | 4.500 euro/woning  |
| Investeringskosten isolatiemaatregelen rendabel hoogbouw woning bouwjaar 1992-heden | 2.500 euro/woning  |

### INVESTERING OPWEKKERS

|                                                                                    |                   |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Investering nieuwe cv-ketel per woning (laagbouw+hoogbouw) (o.b.v. warmtewet)      | 1.611 euro/woning |
| Investering verwijderen gasaansluiting woning (laagbouw) o.b.v. keuze netbeheerder | 296 euro/woning   |
| Investering verwijderen gasaansluiting woning (hoogbouw) o.b.v. keuze netbeheerder | 167 euro/woning   |
| Investering warmte-afleverset en inpandige CV-strangen woningen laagbouw           | 1.550 euro/woning |
| Investering warmte-afleverset en inpandige CV-strangen woningen hoogbouw           | 2.300 euro/woning |
| Luchtwarmtepomp + inpassing woning laagbouw+hoogbouw                               | 9.000 euro/woning |

### INVESTERING ONDERSTEUNENDE INSTALLATIES (ALL-ELECTRIC)

|                                                                  |                   |
|------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Investering LT-verwarming aanleggen woning laagbouw all-electric | 3.000 euro/woning |
| Investering LT-verwarming aanleggen woning hoogbouw all-electric | 2.000 euro/woning |

## UTILITEIT

### ENERGIEKOSTEN

|                                                                                         |              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Tarief aardgas per m3 voor utiliteit (excl. BTW) o.b.v. keuze huidig of verhoogd tarief | 0,67 euro/m3 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------|

|                                                                                                        |                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Kosten van opwekking warmte per GJ warmtevraag van afnemer                                             | 8,12 euro/GJ vraag |
| Elektriciteitsstarief per kWh voor utiliteit (alle types) excl. BTW o.b.v. keuze elektriciteitsstarief | 0,12 euro/kWh      |

**BESPARINGSPERCENTAGES**

|                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------|-----|
| Rendabele besparing op warmte voor utiliteit zonder koude t/m 1980   | 20% |
| Rendabele besparing op warmte voor utiliteit zonder koude 1981-heden | 10% |
| Rendabele besparing op warmte voor utiliteit met koude t/m 1980      | 20% |
| Rendabele besparing op warmte voor utiliteit met koude 1981-heden    | 10% |
| <i>Op koudevraag wordt niet bespaard.</i>                            |     |

**INVESTERING ISOLATIEMAATREGELEN**

|                                                                |            |
|----------------------------------------------------------------|------------|
| Kosten isolatiemaatregelen rendabel utiliteit (alle bouwjaren) | 20 euro/m2 |
|----------------------------------------------------------------|------------|

**INVESTERING OPWEKKERS**

|                                                                                            |               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Investeringskosten gasketel voor utiliteit                                                 | 6,60 euro/m2  |
| Investering verwijderen gasaansluiting utiliteit (niet gedifferentieerd naar netbeheerder) | 2,00 euro/m2  |
| Investering warmte-afleverset en GJ-meter utiliteit                                        | 7,50 euro/m2  |
| Investering warmte-afleverset en inpandige CV-strangen utiliteit (alle bouwjaren)          | 10,00 euro/m2 |
| Investering luchtwarmtepomp + inpassing voor utiliteit zonder koude                        | 50,00 euro/m2 |
| Investering wko + bodemwarmtepomp voor utiliteit met koudevraag                            | 75,00 euro/m2 |
| Investering koelmachine voor utiliteit (alleen voor gas- en warmtescenario)                | 24,00 euro/m2 |

**INVESTERING ONDERSTEUNENDE INSTALLATIES (ALL-ELECTRIC)**

|                                                                              |               |
|------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Investering ventilatie aanleggen utiliteit t/m 1980 (natuurlijk moment)      | 10,00 euro/m2 |
| Investering LT-verwarming aanleggen utiliteit vóór 1980 (natuurlijk moment)  | 20,00 euro/m2 |
| Investering ventilatie aanleggen utiliteit 1981-heden (natuurlijk moment)    | 7,00 euro/m2  |
| Investering LT-verwarming aanleggen utiliteit 1981-heden (natuurlijk moment) | 20,00 euro/m2 |

**ONDERHOUD INPANDIGE INSTALLATIES****WONINGEN EN UTILITEIT**

|                                                                                                |                             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Onderhoudskosten CV-ketel voor woningen (Warmtewet, alle typen)                                | 116,95 euro/woning per jaar |
| Onderhoudskosten als percentage van investering voor gasketel (alleen voor utiliteit gebruikt) | 2% per jaar                 |
| Onderhoudskosten als percentage van investering voor koelmachine (alleen voor utiliteit)       | 2% per jaar                 |
| Onderhoudskosten als percentage van investering voor warmteset                                 | 2% per jaar                 |
| Onderhoudskosten als percentage van investering voor warmtepomp (+ evt. wko)                   | 3% per jaar                 |

**COLLECTIEVE NETWERKEN****GASNET**

|                                                                          |                   |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Investering instandhouding collectief gasnet laagbouw (alle jaartallen)  | 3.000 euro/woning |
| Investering instandhouding collectief gasnet hoogbouw (alle jaartallen)  | 2.200 euro/woning |
| Investering instandhouding collectief gasnet utiliteit (alle jaartallen) | 25 euro/m2        |
| Onderhoudskosten gasnetwerk als percentage van de investering            | 1% per jaar       |

**WARMTENET**

|                                                                                               |                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Kosten aanleg warmtenet laagbouw (alle jaartallen)                                            | 5.600 euro/woning |
| Investering warmte-opwekker voor laagbouw (alle jaartallen) o.b.v. keuze voor warmte-opwekker | 2.800 euro/woning |
| Kosten aanleg warmtenet hoogbouw (alle jaartallen)                                            | 4.050 euro/woning |
| Investering warmte-opwekker voor hoogbouw (alle jaartallen) o.b.v. keuze voor warmte-opwekker | 2.500 euro/woning |
| Kosten aanleg warmtenet utiliteit (alle jaartallen)                                           | 33 euro/m2        |
| Investering warmte-opwekker voor utiliteit (alle jaartallen) o.b.v. keuze warmte-opwekker     | 18 euro/m2        |
| Onderhoudskosten warmtenetwerk als percentage van de investering                              | 1% per jaar       |
| Onderhoudskosten als percentage van investering voor warmte-opwekker warmtenet                | 2% per jaar       |

**ELEKTRICITEITSNET**

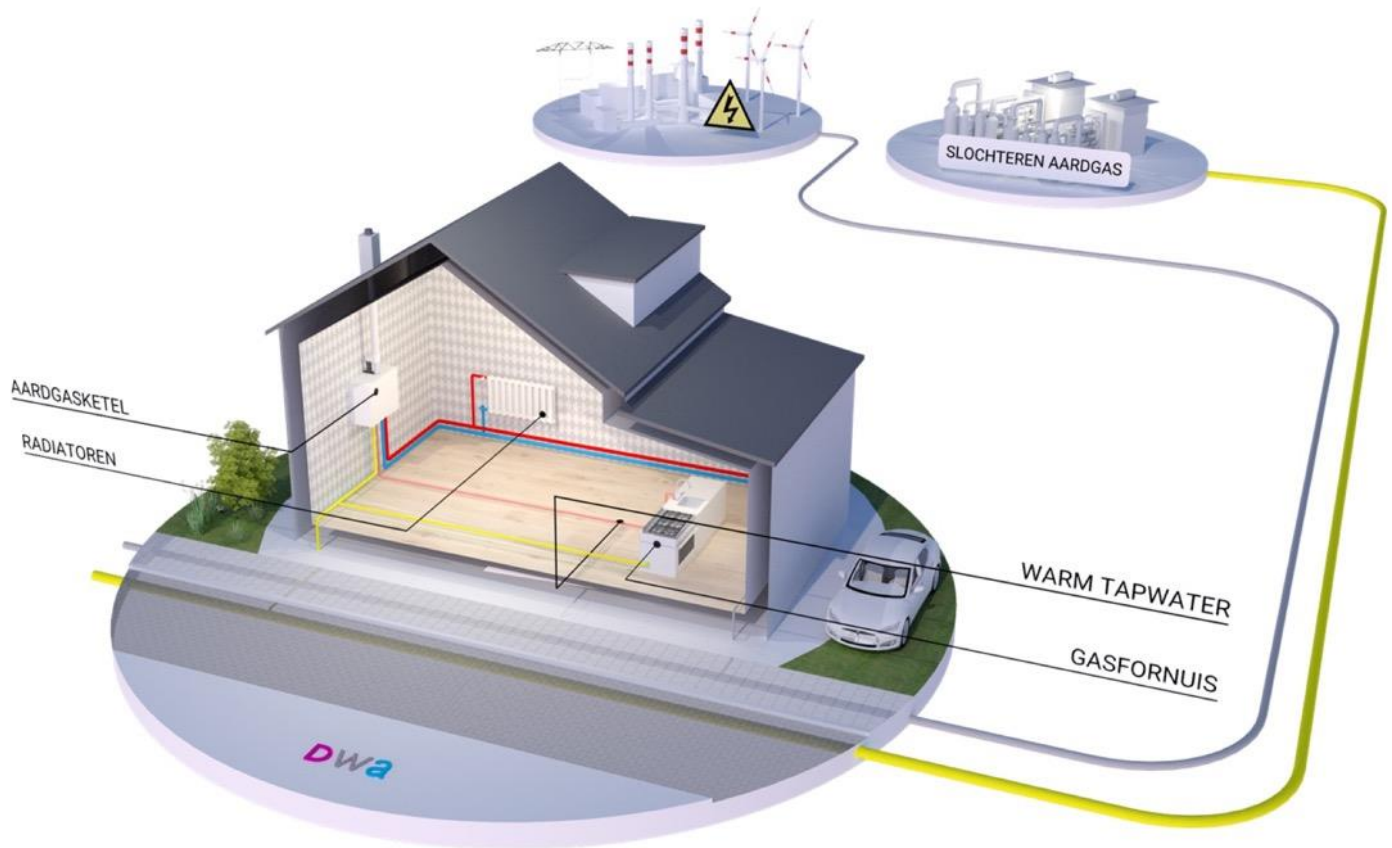
|                                                                          |                   |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Kosten verzwaring elektriciteitsnet laagbouw (alle jaartallen)           | 4.500 euro/woning |
| Kosten verzwaring elektriciteitsnet hoogbouw (alle jaartallen)           | 4.000 euro/woning |
| Kosten verzwaring elektriciteitsnet utiliteit (alle jaartallen)          | 40 euro/m2        |
| Onderhoudskosten elektriciteitsnetwerk als percentage van de investering | 1% per jaar       |

## Bijlage 3 - Informatie technische concepten

---

Op de volgende pagina's is in het algemeen weergegeven hoe de gebruikte technische concepten werken, en wat de impact is op bijvoorbeeld ruimtegebruik en energiekosten. Ook is de referentiesituatie met aardgas bijgevoegd.

# Referentie op aardgas



## Werking

Water wordt met een aardgasgestookte ketel opgewarmd naar 60°C voor tapwaterverwarming en 40-90°C voor ruimteverwarming. Om de warmte in de woning te brengen zijn radiatoren, convectoren of vloerverwarming aangebracht. Een combiketel fungeert als doorstroomtoestel, warmtapwater is daardoor altijd direct beschikbaar.

## Praktische impact nihil

Het temperatuurbereik tot 90°C geeft een combiketel voldoende verwarmingsvermogen om elke willekeurige woning op temperatuur te kunnen houden. Het is een flexibel systeem, toepassing van een combiketel stelt geen minimumvereisten aan isolatiegraad of type afgiftesysteem.

## Beschikbaarheid: eindig

De gasproductie in Groningen wordt beëindigd en voortzetting van de gaswinning elders is in strijd met de klimaatdoelstellingen van Parijs. Voor ruimteverwarming van gebouwen en woningen kunnen we daarom stellen dat aardgas in Nederland op zijn retour is.

## Ruimtebeslag is gebruikelijk

In het publieke domein is reeds op de meeste plekken ruimte voor een gasleidingnet gereserveerd, in de woning wordt een compacte combiketel opgehangen, meestal in combinatie met radiatoren in de ruimten.

## Uitstoot van CO<sub>2</sub>

Bij verbranding van aardgas komt CO<sub>2</sub> vrij wat via de schoorsteen in de atmosfeer wordt geloosd, door een gemiddelde eengezinswoning telt dit jaarlijks op tot zo'n 3 – 5 ton.

## Lage kosten in aanschaf

Goedkoop in aanschaf dankzij beperkte eisen aan bouwkundige kwaliteit en lage investeringskosten in installaties.

## Gemiddelde kosten in gebruik

Aardgas vormt de referentie in verwachte gebruikskosten.

# Warmtenet

Hoogtemperatuur



## Werking

Dit concept functioneert op hoogtemperatuur niveau. (Rest)warmte uit een bron elders wordt via een warmtenet en een daarop aangesloten afleverset aan het cv-systeem in de woning overgebracht. De set levert 60°C voor tapwaterverwarming en 40-90°C voor ruimteverwarming. De afleverset wordt aangesloten op radiatoren, convectoren of vloerverwarming. Een afleverset fungeert als doorstroomtoestel, warmtapwater is daardoor altijd direct beschikbaar.

## Praktische impact in woning nihil

Het temperatuurbereik tot 70-90°C geeft een afleverset voldoende verwarmingsvermogen om elke willekeurige woning op temperatuur te kunnen houden. Het is een flexibel systeem, toepassing van een afleverset stelt geen strikte minimumvereisten aan isolatiegraad of het type afgiftesysteem.

## Beschikbaarheid: regionaal gelimiteerd

Binnen de gemeente of regio moet gekeken worden welke bronnen er voor het warmtenet gebruikt zouden kunnen worden.

## Gemiddelde impact op ruimtebeslag

In het publieke domein moet ruimte worden gereserveerd voor de aanleg van een warmtenet. In de woning wordt een compacte afleverset opgehangen en via twee leidingen met het warmtenet in de straat verbonden.

## Lage uitstoot van CO<sub>2</sub>

De CO<sub>2</sub>-uitstoot ligt bij toepassing van duurzame bronnen significant lager dan bij gebruik van een gasketel. De precieze uitstoot die nog resteert is situatie-afhankelijk.

## Relatief lage kosten in aanschaf

Aanleg van een warmtenet is kostbaar, maar kan goeddeels worden terugverdiend dankzij benutting van goedkope warmtebronnen. Aanpassingen aan de woning en de daaruit voortvloeiende kosten zijn niet aan de orde. Voor afgelegen woningen is een warmtenet niet haalbaar.

## Gemiddelde kosten in gebruik

Volgens Niet-Meer-Dan-Anders (NMDA) liggen de kosten voor de eindgebruiker in lijn met de referentie op aardgas.

## Hoogtemperatuur



de klimaatdoelstellingen van Parijs. Voor ruimteverwarming van gebouwen en woningen kunnen we daarom stellen dat aardgas in Nederland op zijn retour is.

In toevoeging op de combiketel wordt een kleine warmtepomp geplaatst, al dan niet geïntegreerd in één apparaat. Op of naast de woning wordt een buitenluchtcollector geplaatst.

## Uitstoot van CO<sub>2</sub>

Bij verbranding van aardgas komt CO<sub>2</sub> vrij, voor het elektraverbruik van de warmtepomp is de CO<sub>2</sub>-uitstoot van elektriciteit geproduceerd voor het net bepalend.

De hybride warmtepomp is duurder dan een conventionele cv-ketel, maar dankzij beperkte eisen aan bouwkundige kwaliteit van de woning blijven de kosten bij toepassing van dit concept relatief beperkt.

## Gemiddelde kosten in gebruik

Dit concept blijft voor een significant deel van de warmtevraag afhankelijk van aardgas. De gasproductie in Groningen wordt beëindigd en voortzetting van de gaswinning elders is in strijd met

# Warmtepomp op buitenlucht

Laagtemperatuur



## Werking

Een warmtepomp haalt warmte uit buitenlucht, aangezogen met een ventilator die op of naast de woning wordt geplaatst, en verhoogt de bronwarmtemperatuur naar 35-40°C voor aanvoer aan vloerverwarming of convectoren (in plaats van radiatoren). Conventionele radiatoren zijn doorgaans niet geschikt. De warmtepomp verwarmt ook het tapwater, maar beschikt over onvoldoende vermogen om als doorstroomtoestel te fungeren. Warmwater wordt daarom op een langzamer tempo bereid en gebufferd in een voorraadvat.

## Praktische impact in woning hoog

Ingrijpende verbouwingen zijn noodzakelijk. Een warmtepomp kan door de lage temperatuur minder vermogen leveren dan een combiketel. Grondige aanpassingen aan isolatiegraad en het warmteafgifte- en ventilatie-systeem van de woning zijn daarom noodzakelijk. Geluidsproductie van de buitenunits ('airco') is een aandachtspunt.

## Beschikbaarheid is goed

Overall is bronenergie uit de buitenlucht beschikbaar. De elektriciteit voor de warmtepomp kan duurzaam worden opgewekt met zon en wind.

## Gemiddelde impact op ruimtebeslag

In het publieke domein is de ruimtelijke impact beperkt, wel is het vaak noodzakelijk om het elektriciteitsnet te verzwaren. Op of naast de woning moet ruimte beschikbaar zijn voor de buitenluchtcollector, in de woning moet ruimte beschikbaar zijn voor plaatsing van de warmtepomp en een boiler. Een warmtepomp heeft de afmetingen van tafelmodel koelkast, een boilervat is ongeveer 1,5 bij 0,5 meter in afmeting.

## Voorwaardelijk lage uitstoot van CO<sub>2</sub>

De CO<sub>2</sub>-uitstoot van elektriciteitsproductie voor het Nederlandse elektriciteitsnet is hierin bepalend.

## Aanschaffkosten hoog

De combinatie van kosten in isolatie, ventilatie, warmteafgifte en installaties loopt hoog op. Er wordt onvoldoende op energiekosten bespaard om deze terug te kunnen verdienen.

## Lage kosten in gebruik

De elektriciteitsrekening is dankzij de energiezuinige warmtepomp relatief laag. Wel verbruikt een warmtepomp op buitenlucht op zeer koude dagen relatief veel elektriciteit in vergelijking tot all-electric concepten met een bodembron. Deze zijn echter vaak minder goed toepasbaar in bestaande bouw.

## Bijlage 4 - Antwoorden op knagende vragen

**Wat kunnen we verwachten van de toekomst? In onderzoeken naar toekomstige oplossingen om van het aardgas af te gaan, zit altijd een onzekerheid. Niemand kan immers de toekomst voorspellen. In deze bijlage bespreken we een aantal veelgehoorde stellingen, die een relatie hebben met de uitkomsten van dit onderzoek.**

We bespreken een drietal stellingen:

- “Energie wordt gratis, want zon en wind is gratis en overal beschikbaar!”
- “Met warmtepomp-innovatie kunnen we hoogtemperatuur maken!”
- “We moeten wachten op waterstof, dan vervangen we aardgas gewoon!”

Vaak is de praktische uitkomst van de stelling dat we beter nog even kunnen wachten met de energietransitie, omdat er een grote verandering op stapel zou staan die het speelveld drastisch verandert. Het algemene antwoord op deze stellingen, is helaas dat er geen grote ‘oplossing-voor-alles’ is; er is geen panacee. De complexiteit van de technische uitdaging en de kostenproblematiek, zoals geschetst in dit rapport, blijven ook met deze verandering bestaan.

Het uitgebreide antwoord op deze stellingen volgt hieronder.

### 4.1 “Energie wordt gratis, want zon en wind is gratis en overal beschikbaar!”

De hoofdveronderstelling van deze uitspraak, is dat de prijs van energie bepaald wordt door de kosten van de opwekking. Voor zonne-energie en wind-energie zou de prijs dan dalen naar nul, omdat hier geen inkoopkosten voor zijn.

Dit zijn echter niet de enige zaken die de prijs bepalen, zo zijn er bijvoorbeeld:

- Schaarste
- Investerings in de opwek
- (Gigantische) investeringen in seizoensopslag
- Energiebelasting

Duurzame energie is schaars, schaarse goederen hebben een prijs. Om onze huidige vraag op te wekken zou je bijna elk stuk land en zee wat we hebben moeten gebruiken voor energie-opwekking. Als je geïnteresseerd bent in de berekeningen hierachter, kijk dan bijvoorbeeld op de website van Sustainable Energy Without the Hot Air. Dit boek berekent bij de energievraag van Groot-Brittannië steeds hoe we voldoende duurzame energie kunnen opwekken om deze vraag in te vullen. Het is gratis te lezen op [www.withouthotair.com](http://www.withouthotair.com).

De investeringen die benodigd zijn voor het verduurzamen van onze energie-opwekking zijn groot. Ten eerste zijn windmolens en zonnepanelen natuurlijk niet gratis, maar de grootste investering zal nodig zijn in het geschikt maken van ons elektriciteitsnet, door verzwaring en de grootschalige toepassing van energie-opslag. De verwachting is dat energie hierdoor per saldo duurder zal worden, en zeker niet gratis.

Tot slot is het gezien de schaarste en het sluitend maken van de overheidsbegroting onwaarschijnlijk dat de energiebelasting afgeschaft wordt. Kortom, energie wordt niet gratis, en besparen is nog steeds noodzakelijk.

### 4.2 “Met warmtepomp-innovatie kunnen we hoogtemperatuur maken!”

Een van de uitgangspunten in dit rapport is dat een warmtepomp op woningniveau het water voor de centrale verwarming op een lagere temperatuur verwarmt dan een CV-ketel. Mede om deze reden zijn de investeringen zo hoog: er moet flink geïsoleerd worden en de radiatoren moeten aangepast worden om het huis warm te kunnen houden. Deze stelling geeft aan dat we moeten wachten totdat warmtepompen ook hoge temperatuur kunnen maken.

Je kunt met elektriciteit inderdaad hoge temperatuur CV-water maken, maar dat kunnen we al sinds elektriciteit ontdekt is, via wat we noemen ‘weerstandsverwarming’. Dit is zoals je waterkoker werkt. Stroom loopt door een weerstand (de spiraal of

het plaatje in je waterkoker) en deze wordt heet. Het rendement hiervan is 100%, dus dat klinkt goed. Het rendement van een warmtepomp is echter wel 300% of 400%, op basis van thermodynamische principes. Elektriciteit is een hoogwaardige energiedrager: je kunt er niet alleen warmte mee maken, maar je kunt er ook mechanische machines mee aandrijven. Zo kun je op een slimme manier een veel hoger rendement halen.

Het grootste deel van de warmte uit een warmtepomp komt namelijk niet uit de elektriciteit, maar uit de buitenlucht (of een bodembron, bij een bodemwarmtepomp). Je transporteert dus warmte van een relatief koude bron (buitenlucht of grondwater) naar een relatief warme ruimte, namelijk je woonkamer. Dit is tegengesteld aan de natuurlijke richting (van warm naar koud), en kost dus energie. De warmtepomp kan dit doen door een thermodynamische truc, door gebruik te maken van een koudemiddel wat op druk gebracht wordt door een pomp, die aangedreven wordt door elektriciteit. Vandaar dus de naam warmtepomp.

Waarom worden warmtepompen voor woningen dan niet gebruikt om hogere temperatuur te maken? Dat zou toch veel handiger zijn? Dat klopt, het zou handig zijn. Maar natuurkundige wetten bepalen: hoe groter het temperatuurverschil tussen de bron van de warmte en de ruimte waar je het naartoe brengt, hoe slechter het rendement van een warmtepomp. Hoe hoger de temperatuur die de warmtepomp maakt, hoe meer het rendement daalt richting 100%, de ondergrens.

Dus hoe hoger de temperatuur, hoe slechter het rendement en hoe minder zin het heeft om een warmtepomp te gebruiken. Dit geldt met name voor kleine installaties, die je gebruikt op woningniveau. Op industriële schaal zijn er hoogtemperatuurwarmtepompen beschikbaar. Deze kunnen eventueel centraal gebruikt worden voor een warmtenet.

Als we allemaal onze warmtevraag zouden invullen met elektrische verwarming met een rendement van 100%, leidt dat tot **drie keer zoveel (!)** benodigde windmolens en zonnepanelen, dan wanneer we dit zouden doen met warmtepompen; dit is een onmogelijke opgave. Als grijze stroom gebruikt wordt is de situatie nog erger: dan is de CO<sub>2</sub>-uitstoot wel drie of vier keer zo hoog als wanneer we gewoon aardgas hadden gebruikt! Hoogtemperatuurwarmte

uit elektriciteit heeft een rol te spelen als bijverwarming, maar niet als hoofdverwarming.

*N.B. deze redenatie geldt ook voor IR-panelen, elektrische kachels en elektrische ketels, die allemaal een rendement van 100% hebben (waarmee geadverteerd wordt als “zuinig”). Dit is juist erg onzuinig.*

#### 4.3 “We moeten wachten op waterstof, dan vervangen we aardgas gewoon!”

Waterstof is inderdaad een fantastisch product. Het is een hoogwaardige energiedrager, je kunt het voor van alles gebruiken, van brandstof voor vervoer tot brandstof om ijzer te kunnen smeden.

Waterstof komt echter geheel niet voor in de natuur, je kunt het niet winnen zoals aardgas. Dat betekent dus dat het gemaakt moet worden. Om dit duurzaam te doen, wordt een *electrolyser* toegepast: deze gebruikt stroom om water te splitsen in waterstof en zuurstof (elektrolyse). De kosten hiervan zijn al sinds de jaren '80 erg hoog en zijn nog niet voldoende gedaald, net als de hoeveelheid elektriciteit die hiervoor opgewekt moet worden. Door de matige efficiëntie van elektrolyse raak je ongeveer de helft van de energie kwijt bij de productie van waterstof. Net als bij de warmtepomp wordt dit deels bepaald door natuurkundige limieten, omdat je een onnatuurlijke chemische reactie forceert. Vervolgens wordt de waterstof met een rendement van ca. 100% verbrandt in een CV-ketel, waardoor je weer een rendementsstap achterligt op direct gebruik van de elektriciteit in een warmtepomp.

Waterstof wordt al veel gebruikt in de industrie; hoe kan dat dan? De waterstof die de industrie gebruikt, wordt nu gemaakt uit aardgas met CO<sub>2</sub>-uitstoot. Dit heet stoom-reforming en splitst methaan (de hoofdcomponent van aardgas, CH<sub>4</sub>) in waterstof en CO<sub>2</sub>. Dit is veel goedkoper, maar om dit duurzaam te doen zou je grote hoeveelheden CO<sub>2</sub> moeten opslaan, wat duur is en waar maatschappelijk veel weerstand tegen is.

Kortom, het gebruik van waterstof lost het probleem in de woning op, maar het is onbetaalbaar duur en er komt een groot probleem voor ruimtelijke ordening bij: door het matige systeemrendement zijn er minimaal drie keer zoveel windmolens nodig als wanneer we de elektriciteit in warmtepompen gebruiken.