

2017

# “Installatieaspecten van aardgasloze en energieneutrale woningen in Eindhoven” Scriptie



Bart Smeets - 2048506

Avans Hogeschool

14-6-2017

## Colofon

**Titel:** Installatieaspecten van aardgasloze en energieneutrale woningen in Eindhoven

**Ondertitel:** Scriptie

**Auteur:** B. Smeets  
bsmeets@student.avans.nl

**Afstudeerbedrijf:** Gemeente Eindhoven  
Coördinatiepunt Duurzame Energie  
Nachtegaallaan 15  
5611 EM Eindhoven  
Telefoon: 14040

**Contactpersoon:** A. Verboom

**Afstudeerbedrijf:** Woningstichting Woonbedrijf  
Wal 2  
5611 GG Eindhoven  
Telefoon: 040-243 43 43

**Contactpersoon:** R. Bogaarts

**Onderwijsinstelling:** Avans Hogeschool  
Onderwijsboulevard 215  
5223 DE 's Hertogenbosch  
Telefoon: 088-525 75 00  
Postbus 90226, 4800 Breda

**Afstudeercoördinatoren:** T. van de Veerdonk  
J. Evers

**Plaats:** Eindhoven

**Datum:** 14 juni 2017

## Voorwoord

Na een lange, intensieve maar ontzettend interessante periode ben ik uiteindelijk gekomen tot het afsluiten van mijn afstudeeronderzoek en de afwerking van mijn scriptie. Ik heb erg veel geleerd tijdens dit proces, zowel vaktechnisch al persoonlijk. Omdat ik erg dankbaar ben voor alle lessen die ik heb mogen leren wil ik graag een aantal mensen bedanken die mij tijdens het verloop van dit onderzoek heb begeleid en gesteund zodat ik uiteindelijk naar dit resultaat toe heb kunnen werken.

Allereerst wil ik de Gemeente Eindhoven en speciaal mijn begeleider dhr. A. Verboom bedanken voor het openstellen van de faciliteiten van de gemeente en de persoonlijke sturing en betrokkenheid tijdens het onderzoek.

Daarnaast wil ik dhr. R. Bogaarts en dhr. B van Ostaden bedanken voor de begeleiding vanuit Stichting Woonbedrijf en het verschaffen van onmisbare informatie en inzichten die ik nodig had voor de voortgang van mijn onderzoek en voor het samenstellen van mijn rekenmodel. A special thanks goes out to my fellow graduate student at Stichting Woonbedrijf from the TUE mr. S. Costa. Thank you for helping to put some of my own results into perspective through your study. Good luck with your own thesis.

Vervolgens wil ik mijn schoolbegeleiders, dhr. T van de Veerdonk en dhr. J Evers van de Hogeschool Avans bedanken voor de coaching die zij mij hebben gegeven binnen het afstudeerproces. Daarnaast wil ik dhr. S. Simons bedanken voor de hulp bij het valideren en uitwerken van mijn rekenmodel.

Verder wil ik dhr. S. van der Eijk en mevr. I. Kouw bedanken voor het gracieus openstellen van hun woning tijdens mijn bezoek en de inzichten die ze hebben gegeven in de mogelijkheden van warmtepompen door middel van hun persoonlijke verbruiksgegevens.

Als laatste wil ik mijn familie bedanken voor de steun en het geduld die ze me gegeven hebben.

## Samenvatting

In het kader van de Energieagenda zoals opgesteld door de Nederlandse overheid, heeft de gemeente Eindhoven de ambitie om in 2050 geheel aardgasloos te zijn. Tot nu toe wordt voor deze transitie de Trias Energetica aangehouden. Maar door teleurstellende resultaten op het gebied van isolatie (stap 1 van de Trias), stelt Stichting Woonbedrijf dit ter discussie. Daarom vraagt Stichting Woonbedrijf zich af of de Trias Energetica binnen het realiseren van aardgasloze woningen kan worden losgelaten. De gemeente Eindhoven wil vooral meer inzicht krijgen in de consequenties van het loslaten van de Trias Energetica.

Om aan het doel van een aardgasloze gemeente in 2050 bij te dragen heb ik de volgende onderzoeksvraag opgesteld: Wat is in praktijk de toepasbaarheid van warmtepompsystemen die Stichting Woonbedrijf heeft voorgeschreven aan de hand van de 'Menukaart' van D. Garufi, om een aardgasloze en energieneutrale woning te realiseren? Daarnaast heb ik later in het onderzoek de volgende hypothese geformuleerd: Een warmtepomp is in een bestaande, ongeïsoleerde woning toe te passen zonder eerst de Trias Energetica te hanteren.

Om een antwoord te kunnen geven op de onderzoeksvraag en hypothese, ben ik begonnen met een literatuurstudie naar alle elementen die binnen dit vraagstuk van belang kunnen zijn. Op basis hiervan heb ik vervolgens een rekenmodel opgezet waarmee ik de onderlinge samenhang tussen warmteverlies, dimensionering van het verwarmingssysteem en de ontwikkeling in investering- en verbruikskosten zichtbaar kan maken.

Uit het rekenmodel blijkt dat het binnen de casus van de modelwoning, technisch mogelijk is om in een ongeïsoleerde woning een warmtepomp toe te passen. Echter zitten hier wel hoge aanschaf- en verbruikskosten aan vast. De kans is zelfs groot dat de verbruikskosten van de warmtepomp niet kunnen worden gecompenseerd met de besparing van de gasrekening, ondanks dat het elektriciteitsverbruik al wordt verlaagd door de toepassing van PV-panelen. Uit verschillende testscenario's blijkt dat het toepassen van WTW ventilatie binnen het model een behoorlijke invloed heeft op de aanschaf- en verbruikskosten.

Door bij dit laatste scenario toch nog een relatief kleine investering in de thermische schil te doen, zouden de verbruikskosten van de warmtepomp substantieel kunnen worden teruggebracht. De investering in isolatie is kleiner dan het bedrag dat op lange termijn wordt bespaard op de aanschafkosten van het verwarmingssysteem. Dit scenario kan als tussenscenario worden gebruikt binnen een lange termijn strategie richting Nul Op de Meter-woningen. Mijn aanbeveling is om bij het renoveren van oude, ongeïsoleerde rijtjeswoningen, altijd te kiezen voor een combinatie van warmtepomp, WTW-ventilatie en isolatie.

Ondanks dat het rekenmodel geen afwijkingen mee neemt die ontstaan door gebruikersgedrag of uitvoeringsfouten, is het model toe te passen en uit te breiden naar alle mogelijke scenario's. Hierdoor heeft het rekenmodel een brede inzetbaarheid binnen zowel bestaande bouw als nieuwbouw.

## Inhoudsopgave

|                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------|----|
| Colofon .....                                             | 1  |
| Voorwoord .....                                           | 2  |
| Samenvatting.....                                         | 3  |
| 1. Inleiding .....                                        | 6  |
| ‘Menukaart’ op basis van de Trias Energetica.....         | 7  |
| 2. Oriëntatie .....                                       | 10 |
| 2.1. Aanleiding.....                                      | 10 |
| 2.2. Gewenste situatie.....                               | 11 |
| 2.2.1. Trias Energetica .....                             | 11 |
| 2.3. Huidige situatie.....                                | 12 |
| 2.3.1. Wat is er al gedaan? .....                         | 13 |
| 2.3.2. ‘Menukaart’ en verder ontwikkelde modellen.....    | 14 |
| 2.3.3. Energielabel .....                                 | 14 |
| 2.4. Probleemstelling.....                                | 16 |
| 2.5. Doelstelling.....                                    | 16 |
| 2.6. Onderzoeksvragen.....                                | 16 |
| 2.6.1. Hoofdvraag .....                                   | 17 |
| 2.6.2. Deelvragen.....                                    | 17 |
| 2.7. Modelwoning .....                                    | 17 |
| 3. Onderzoek .....                                        | 19 |
| 3.1. Isolatie .....                                       | 19 |
| 3.2. Comfort en (gebruik-)gedrag.....                     | 20 |
| 3.3. Installaties .....                                   | 21 |
| 3.3.1. Warmtepomp .....                                   | 21 |
| 3.3.2. Onzekerheid werkelijk rendement warmtepomp.....    | 21 |
| 3.3.3. Ventilatie .....                                   | 22 |
| 3.3.4. PV-panelen .....                                   | 23 |
| 3.3.5. Mismatch productie en afname duurzame energie..... | 24 |
| 3.3.6. Netverzwaring .....                                | 24 |
| 3.3.7. Warmteopslag .....                                 | 25 |
| 3.4. Urgenda .....                                        | 26 |
| 4. Rekenmodel.....                                        | 27 |

|        |                                                               |     |
|--------|---------------------------------------------------------------|-----|
| 4.1.   | Opbouw van het model.....                                     | 27  |
| 4.1.1. | Warmteverliesberekening.....                                  | 28  |
| 4.1.2. | Warmtepompsysteem.....                                        | 29  |
| 4.1.3. | Kostencalculatie .....                                        | 31  |
| 4.2.   | Alternatieve scenario's.....                                  | 34  |
| 4.3.   | Conclusies rekenmodel .....                                   | 39  |
| 5.     | Beantwoording onderzoeksvragen .....                          | 42  |
| 5.1.   | Deelvragen .....                                              | 44  |
| 6.     | Aanbevelingen.....                                            | 47  |
|        | Begrippenlijst.....                                           | 49  |
|        | Bibliografie .....                                            | 51  |
|        | Bijlagen .....                                                | 57  |
|        | Bijlage 1 Misverstanden over de termen .....                  | 57  |
|        | Bijlage 2 Trias Energetica.....                               | 59  |
|        | Bijlage 3 Scenario's uit de 'Menukaart' van Woonbedrijf.....  | 60  |
|        | Bijlage 4 Soorten warmtepompen .....                          | 61  |
|        | Bijlage 5 PV-panelen.....                                     | 63  |
|        | Bijlage 6 Verkenning systeemkosten verwarmingstechnieken..... | 65  |
|        | Bijlage 7 Verschillende ventilatiesystemen.....               | 66  |
|        | Bijlage 8 Warmteverliesberekening Rekenmodel .....            | 68  |
|        | Bijlage 9 Verbruik warmtepomp Stefan van der Eijk .....       | 85  |
|        | Bijlage 10 Verbruik warmtepomp Inge Kouw .....                | 86  |
|        | Bijlage 11 Kostencalculatie rekenmodel .....                  | 88  |
|        | Bijlage 12 Rapport warmtepomp berekening .....                | 97  |
|        | Bijlage 13 Grafiek aanschafkosten .....                       | 102 |
|        | Bijlage 14 Grafiek verbruikskosten.....                       | 103 |

## 1. Inleiding

Vanuit mijn interesse naar het realiseren van energieneutrale<sup>1</sup> woningen in de bestaande bouw heb ik gemeente Eindhoven een email gestuurd met de vraag of zij mij konden vertellen wat er binnen dit onderwerp concreet op lokaal niveau binnen mijn gemeente speelde. Bij het antwoord van dhr. Verboom kreeg ik meteen de vraag om eens langs te komen voor een gesprek en daarbij een onderzoeksvoorstel in te dienen. Bij dit eerste gesprek zat dhr. Bogaarts van Stichting Woonbedrijf ook al meteen aan tafel. Omdat de uitdaging die de gemeente en Stichting Woonbedrijf voorstelden dicht bij mijn interesses en kwaliteiten ligt, konden we het snel eens worden over een eerste afstudeervoorstel.

In het kort:

- De ambities van gemeente Eindhoven en Stichting Woonbedrijf
  - o Aardgasloze woningen
  - o Focus op werkelijke/praktijk resultaten
  - o Focus op prestaties en financiën
  - o Focus op de huurwoningen

Stichting Woonbedrijf heeft nog een aanvullende ambitie, namelijk:

- o Focus op installaties in plaats van isolatie

Gemeente Eindhoven deelt deze ambitie niet, maar is wel geïnteresseerd in wat de consequenties hiervan zijn.

Dit gesprek heeft geleid tot een voorlopig Plan van Aanpak.

Vanuit dit PvA ben ik gaan onderzoeken wat Woonbedrijf nog meer onderneemt op het gebied van de Energietransitie.

Ervaringen van Woonbedrijf met de energietransitie tot op heden

De ontwerpen van en aanbestedingen voor NOM-renovaties gaven teleurstellende resultaten vanwege het starre concept, hoge kosten en tegenvallende kwaliteit

De resultaten van het verbeteren van isolatie die wel zijn uitgevoerd vielen ook tegen. Dit wordt toegerekend aan het zogenaamde 'rebound-effect'<sup>2</sup>, maar dit kan ook komen door slechte kwaliteit van de uitvoering van de isolatie of onrendabel gebruiksgedrag.

---

<sup>1</sup> Het is van belang om de begrippenlijst goed door te nemen omdat er onder verschillende partijen verwarring is over het gebruik en de definities van de begrippen. In de begrippenlijst kunt u zien hoe ik de verschillende begrippen heb gehanteerd. Een uitleg over de misverstanden over de definitie van verschillende begrippen uit de energietransitie staan in bijlage 1.

<sup>2</sup> Het 'rebound-effect' houdt in dat bewoners meer energie gaan verbruiken omdat ze een energetisch betere woning hebben dan voorheen. Hierdoor gaat een deel van de berekende prestaties verloren. De belangrijkste reden hierachter is dat bewoners vanwege de hoge energierekening bijvoorbeeld in minder ruimtes gaan verwarmen om zo de kosten te drukken. Na het verkrijgen van een betere woning zien de bewoners de noodzaak niet meer om te besparen op het verwarmen, waardoor de energierekening toch weer hoger wordt dan dat was berekend.

## 'Menukaart' op basis van de Trias Energetica

Om tegenwicht te geven aan het NOM-concept heeft Stichting Woonbedrijf uit een onderzoek van een voormalig TU/e student dhr. D. Garufi een 'Menukaart' ontwikkeld waarmee verschillende verbeterpakketten kunnen worden gekozen op basis van exploitatieduur.

**Doelstelling:** De belangrijkste doelstelling van gemeente Eindhoven en Stichting Woonbedrijf is het realiseren van aardgasloze woningen.

**Probleemstelling:** Kan de Trias Energetica en het isoleren als eerste stap worden losgelaten binnen het realiseren van aardgasloze woningen. Redenen hiervoor zijn het optreden van het 'rebound-effect' en de hoge kosten die hoogwaardig isoleren en de NOM-renovaties met zich meebrengen.

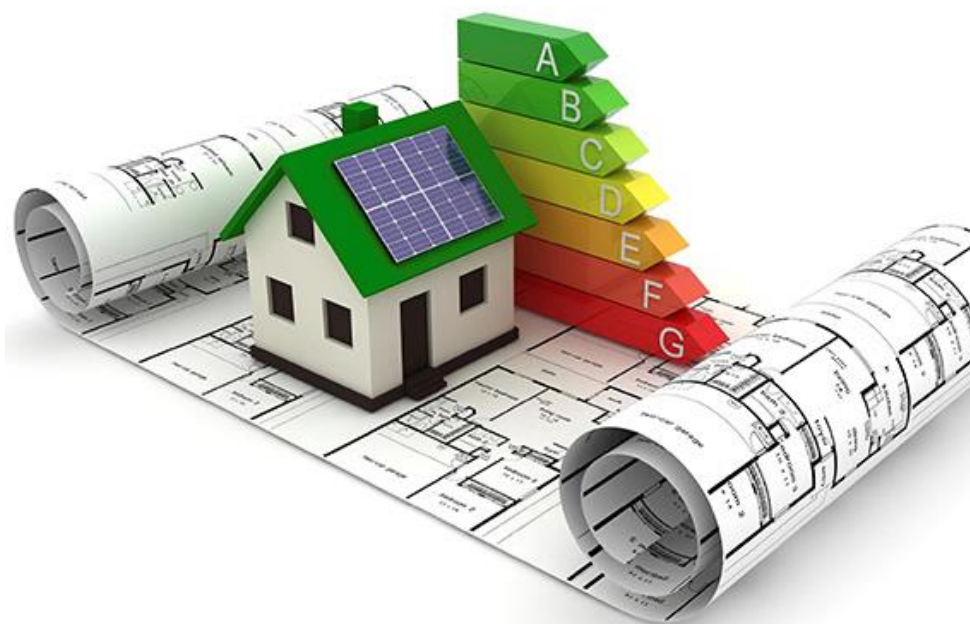
### Onderzoeksvragen:

#### Hoofdvraag

Wat is in praktijk de toepasbaarheid van warmtepompsystemen die Stichting Woonbedrijf heeft voorgeschreven aan de hand van de 'Menukaart' van D. Garufi, om een aardgasloze en energieneutrale woning te realiseren?

#### Deelvragen

- Wat is de Total Cost of Ownership van de warmtepompsystemen?
- Wat zijn de effecten en grenswaarden die moeten worden aangehouden voor comfortbehoefte en gebruik(sgedrag)?
- Wat is er voor nodig om woningen met warmtepompen zelfvoorzienend te maken in hun eigen gebouwgebonden energievoorziening?
- Hoe zijn de warmtepompsystemen te verbeteren of aan te vullen door andere installaties of technieken?

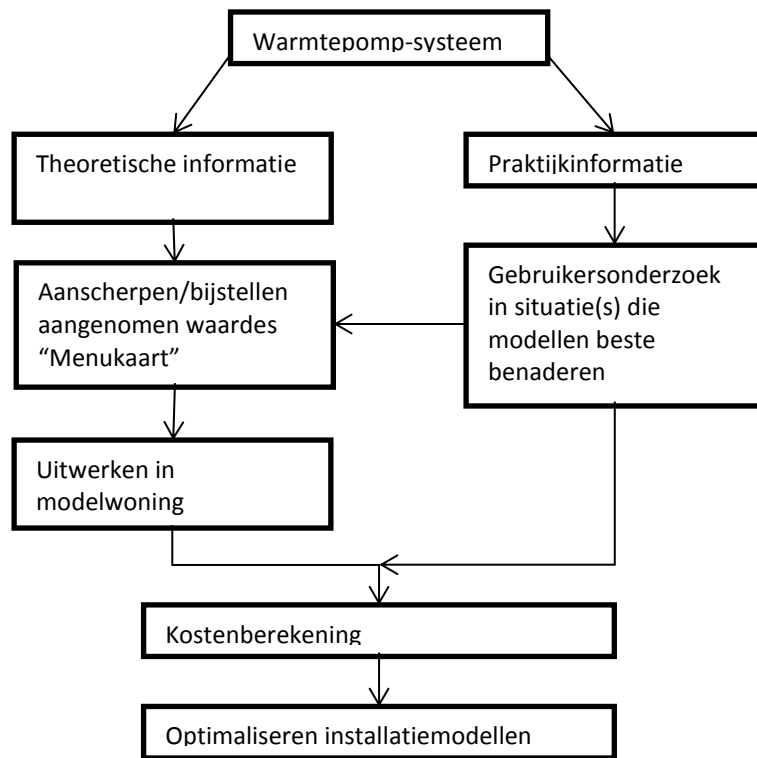


Figuur 1.



### Onderzoeksopzet:

De onderzoeksopzet uit mijn Plan van Aanpak is gebaseerd op het volgende conceptuele model



Schema 1. Onderzoeksopzet PvA

- Vooronderzoek
- Ontwerp 'Startscenario' en aanvullende varianten
- Opzet 'rekenmodel' en doorrekenen van de verschillende varianten
- Identificeren van onderlinge verbanden en afhankelijkheden
- Conclusies → te vertalen in nuancerings/aanvullingen van de 'Menukaart'

### Oriëntatieonderzoek:

Op advies van de docenten heb ik mij zo breed mogelijk georiënteerd om een zo volledig mogelijk beeld van de energietransitie te krijgen. Internet is hierbij de belangrijkste bron van informatie. Uit deze brede oriëntatie bleek mij het volgende:

- Het gaat om een heel breed onderwerp, dat nog volop in ontwikkeling is.
- Veel samenhangen en verbanden (isolatie: kosten en besparingen, installaties, subsidies, energielabel, gebruiksgedrag, wooncomfort, gezondheid, kierdichting en ventilatie, etc.)
- Ontwerpen moet een integraal proces zijn in plaats van losse ontwerpen per onderdeel (te veel invloeden en verbanden op deze schaal)
- Er zijn veel onderzoeken gedaan, maar er is weinig praktische kennis beschikbaar
- Ieder heeft zijn eigen beeld, interpretatie en voorkeur met betrekking tot het probleem en oplossingen, waardoor er een groot aantal oplossingen wordt ontwikkeld.

Binnen oriëntatieonderzoek ben ik een paar nuanceringspunten tegen gekomen:

- Het energielabel: wat zegt het, wat levert het op en wat zou er beter of anders moeten?
- CO<sub>2</sub>-uitstoot versus energieverbruik: waar moet de focus op liggen binnen onze doelstelling en waarom heeft het klimaatverdrag het alleen over CO<sub>2</sub>-uitstoot en het Nederlandse energieakkoord vooral over energieverbruik?

Uit mijn vooronderzoek concludeer ik onder andere dat:

Er meer praktisch gericht onderzoek nodig is naar duurzame technieken en gebouwconcepten zoals warmtepompen, PV-panelen, NOM woningen etc. In overleg met Stichting Woonbedrijf viel de keuze op een focus op warmtepompen.

Mijn verdere onderzoek richtte zich daarom op de voor- en nadelen en consequenties van warmtepompen en diverse ondersteunende installaties in de praktijk. Maar deze studie vond ik niet nuttig omdat het vooral een kwestie was van het citeren van een hoop brochures en informatieve internetsites.

Daarom heb ik opnieuw overlegd met Stichting Woonbedrijf en de volgende hypothese opgesteld: “Een warmtepomp is in een bestaande, ongeïsoleerde woning toe te passen zonder eerst de Trias Energetica te hanteren.”

Aan de hand van deze hypothese heb ik een rekenmodel ontwikkeld waarmee ik aan de hand van verschillende scenario's ga proberen de hypothese te bevestigen of te ontkrachten en tevens verbanden probeer bloot te leggen tussen isolatie, installaties en kosten om een mogelijk omslagpunt te kunnen aangeven tussen het investeren in isolatie en in techniek.

In hoofdstuk 2 ga ik in op de achtergronden en de context en formuleer ik van daaruit de onderzoeksvragen.

In hoofdstuk 3 beschrijf ik de voornaamste elementen die een rol spelen binnen de ambities van gemeente Eindhoven en Stichting Woonbedrijf.

In hoofdstuk 4 presenteer ik het door mij ontwikkelde rekenmodel. Dit model gebruik ik om inzichtelijk te maken wat de effecten zijn van het toepassen van een warmtepomp binnen een modelwoning.

Hoofdstuk 5 geeft antwoord op mijn onderzoeksvragen en ik sluit af met een aantal aanbevelingen in hoofdstuk 6.

## 2. Oriëntatie

### 2.1. Aanleiding

De gemeente Eindhoven heeft de ambitie om als ‘Stad van de technologische innovatie’ in 2050 de CO<sub>2</sub>-uitstoot met 95% te hebben verminderd. Dit wil zij onder andere bereiken door aardgasloze woningen te realiseren. Over dit begrip zal ik verderop in het verslag meer uitleggen.

De ambitie van de gemeente Eindhoven is ontstaan uit de Nederlandse deelname aan het Kyoto-protocol en zijn opvolger, het klimaatverdrag van Parijs. Deze verdragen zijn juridisch bindende afspraken tussen 174 landen om een reductie te realiseren in de CO<sub>2</sub>-uitstoot en het energieverbruik van de deelnemende landen.

Uit verschillende onderzoeken blijkt dat de wereld aan het opwarmen is (Agentschap NL, 2010, p. 2). Hoewel de aarde een natuurlijke cyclus doorloopt waarin de aarde eerst opwarmt om vervolgens af te koelen (tot ijstijden), wordt de huidige opwarming versneld (Hoe zit het nu echt? 10 feiten over het klimaat, 2015) (Zes feiten en fabels over de klimaatverandering, 2015)<sup>3</sup>. Deze versnelling wordt veroorzaakt door de CO<sub>2</sub>-uitstoot die ontstaat bij de verbranding van o.a. fossiele brandstoffen zoals aardgas, kolen of benzine. Maar liefst 93% van onze energiebehoefte wordt geleverd door fossiele brandstoffen. De CO<sub>2</sub> blijft hangen in de atmosfeer en houdt de warmte van de zon onnatuurlijk lang vast. Om dit een halt toe te roepen zijn het Kyoto-protocol (1997) en het klimaatverdrag van Parijs (2015) opgesteld. In dit laatste klimaatverdrag zijn afspraken gemaakt om de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot te verminderen met 40-55% in 2030 en met 80-95% in 2050. Deze percentages moeten in vermindering worden berekend t.o.v. de CO<sub>2</sub>-uitstoot van 1990. Daarnaast wordt er in het verdrag gesproken over het terugbrengen en verduurzamen van ons energiegebruik (Europa Nu.nl).

Om de doelstellingen uit het klimaatverdrag te vertalen naar de Nederlandse samenleving, heeft de overheid eerst het Energieakkoord en daarna zijn opvolger de Energieagenda opgezet (Rijksoverheid, 2016). Hierin zijn de doelstellingen uit het klimaatverdrag vertaald naar doelstellingen als:

- stoppen met het verbruik van aardgas binnen woningen (voor ruimteverwarming en dergelijke);
- het verminderen van het algehele energieverbruik binnen een woning.

De gemeente Eindhoven heeft deze doelstellingen overgenomen en vertaald naar hun ambitie om in 2050 de CO<sub>2</sub>-uitstoot met 95% te hebben verminderd onder andere d.m.v. aardgasloze woningen.

De woningcorporaties spelen hierbij een belangrijke rol omdat ze ten eerste 39% van het woningbestand van Eindhoven vertegenwoordigen (Vries, 2016).

Ten tweede kan makkelijker tot renovatie van deze groep woningen worden besloten, omdat de corporatie als eigenaar beslissingen kan nemen voor groepen woningen. Overigens blijft hierbij de communicatie met de bewoners wel erg belangrijk.

Als laatste kunnen de ervaringen van de corporaties als voorbeeld dienen voor particuliere huiseigenaren. Er kan namelijk veel informatie worden verzameld over het gebruik, verbruik, kosten

---

<sup>3</sup> Over de precieze oorzaak van het opwarmen van de aarde wordt getwist (zeker binnen de publieke opinie) maar volgens het artikel (Hoe zit het nu echt? 10 feiten over het klimaat, 2015) op DuurzaamBedrijfsleven.nl is 97% van de experts binnen de klimaatwetenschap het er wel over eens dat de onnatuurlijke toename van CO<sub>2</sub>-uitstoot de hoofdoorzaak is van de klimaatveranderingen.

De gevolgen van deze (versnelde) opwarming van de aarde zijn dat tussen 5 en 20% van planten en dieren zullen uitsterven, de ijskappen langzaam smelten, de zeespiegel zal stijgen en de wisselvalligheid van het weer zal toenemen.

en eventuele complicaties. Deze informatie kan vervolgens worden gebruikt om de conversies van particuliere huiseigenaren te onderbouwen en het consumentenvertrouwen in het optimale model te vergroten. Daarom worden de corporaties als focus gebruikt t.b.v. de ambitie van een energieneutraal Eindhoven.

## 2.2. Gewenste situatie

Stichting Woonbedrijf en de gemeente Eindhoven willen een stad waarin geen aardgas meer gebruikt wordt. Dit betekent dat er voor woningen alternatieven moeten zijn voor koken, ruimte- en tapwaterverwarming. Dit is een belangrijk onderdeel van de totale 'Energietransitie'.

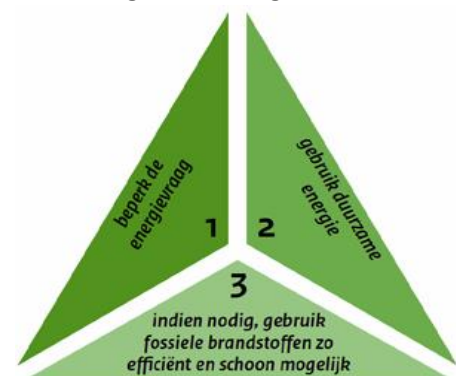
Als bijdrage aan de huidige aanpak van de gemeente Eindhoven hebben stichting Woonbedrijf en ook de andere woningcorporaties afspraken gemaakt met gemeente over maatregelen en initiatieven die ze zullen nemen om hun huurwoningen en eigendom te verbeteren tot de norm uit het energieakkoord, te beginnen met de labelsprong naar energielabel B in 2020 (conform afspraak tussen Rijksoverheid en Aedes<sup>4</sup>) met als uiteindelijke doel om bestaande woningen geheel energieneutraal te maken.

### 2.2.1. Trias Energetica

Stichting Woonbedrijf was eerst overtuigd van de Trias Energetica, maar vanwege het rebound effect hebben zij nu een wens om deze los te laten. Ze stellen de Trias ter discussie, ze geloven nog steeds in het einddoel, maar willen weten of er nog andere benaderingen zijn dan Trias, dan wel of het mogelijk is de Trias flexibeler te hanteren. In de volgende paragraaf zal ik uitleggen wat de Trias Energetica behelst.

De concepten voor aardgasloze woningen zoals die tot nu toe zijn gehanteerd, zijn vaak ontwikkeld met behulp van de Trias Energetica. Dit is een strategie die is uitgewerkt door de TU Delft (C.Duijvestein) nadat deze voor het eerst werd geïntroduceerd door Novem (E.Lysen) in 1996. De strategie bestaat uit 3 stappen waarmee energiebesparende maatregelen kunnen worden genomen op zo'n manier dat deze maatregelen op een efficiënte manier samenwerken (RVO, 2015). Later is hier nog een extra stap tussengevoegd (stap 2a) voor het bereiken van energieneutrale gebouwen. Deze stappen zijn:

- Stap 1. Beperk de energievraag
- Stap 2a. Gebruik energie uit reststromen
- Stap 2b. Gebruik energie uit hernieuwbare (duurzame) bronnen
- Stap 3. Indien gebruik van eindige (fossiele) energiebronnen onvermijdelijk is, gebruik ze dan zeer efficiënt en compenseer dit op jaarbasis met 100% hernieuwbare energie.



*Trias Energetica*

Figuur 2. Schema Trias Energetica

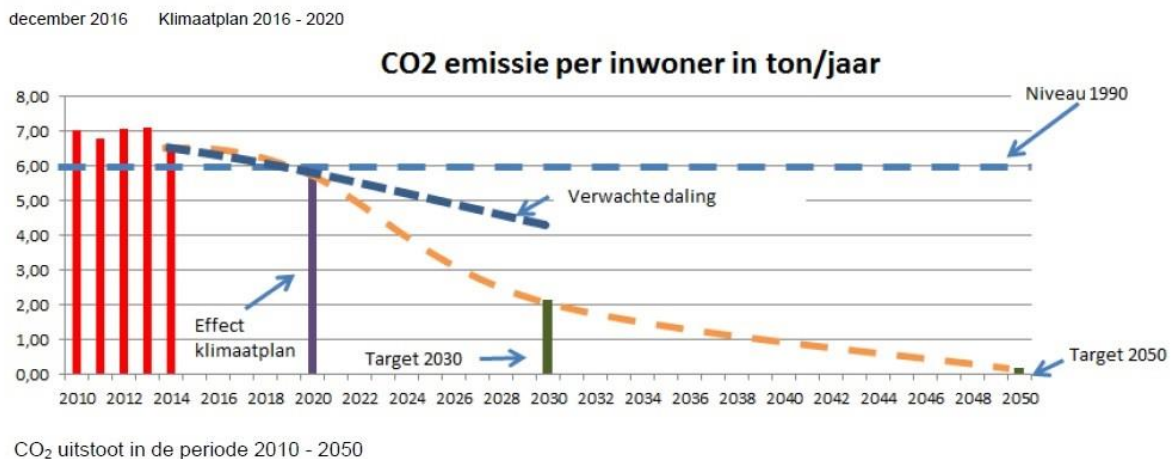
<sup>4</sup> Aedes is de vereniging voor woningcorporaties in Nederland. Het behartigt de belangen van zijn 299 leden en fungeert als platform voor kennisuitwisseling en ontmoetingen. (Aedes, 2017)

Verdere uitleg over de stappen van de Trias Energetica is te vinden in bijlage 2 van dit verslag.

Hoewel de Trias Energetica een goed principe is om woningen en/of renovaties mee te ontwerpen, begint de Trias Energetica zich enigszins te ontwikkelen tot een dogma. De strategie maakt geen onderscheid tussen renovatie en nieuwbouw, wat voor de uitvoering en de uiteindelijke prestaties van het principe veel kan uitmaken. Zo kan een nieuwbouwwoning goed naar een hoge isolatiewaarde (Rc5) gebracht worden en de theoretische prestaties waarmaken (mits er geen bouwfouten worden gemaakt). Maar bij een renovatie moet om de bestaande constructie heen en met de bestaande kavelgrenzen worden gewerkt. De kans op het ontstaan van koudebruggen is hierbij erg groot. Het voorkomen van koudebruggen is echter essentieel voor het isolerend vermogen. Er is dus een grote behoefte aan slim isoleren en niet zwaar isoleren. Echter lezen veel mensen de eerste regel van de Trias Energetica als “te isoleren naar het niveau van NOM (Nul Op de Meter<sup>5</sup>)”. Voor nieuwbouw is dit ook prima, maar voor mensen die met bestaande bouw werken is dit niet vanzelfsprekend. Ook voor de keuze in installaties zijn er een beperktere mogelijkheden, omdat de woning en omgeving al volgebouwd zijn en er niet zomaar ruimte is om installaties te plaatsen. Hierdoor moet binnen bestaande bouw nog vaak worden teruggegrepen op het gebruik van aardgas voor het (rendabel) aanvullen van de resterende warmtebehoefte. Ook luchtdichting en het toepassen van de daarbij benodigde mechanische of balansventilatie is in veel bestaande bouw moeilijk te verwezenlijken door de beperkte vloerdoorvoeren/beperkt beschikbare ruimte en vermoffelde luchtlekken.

### 2.3. Huidige situatie

Waar staat de gemeente Eindhoven op dit moment binnen de Energietransitie?



**Figuur 3. Analyse van de opgave voor Eindhovense energietransitie**

Zoals in het begin van hoofdstuk 2 al werd benoemd heeft de gemeente Eindhoven de ambitie om in 2050 energieneutraal te zijn omdat het zich wil neerzetten als de stad van de ontwikkelingen en vooruitgang, ondersteund door Brainport Eindhoven en de Technische Universiteit.

<sup>5</sup> Nul op de meter (NOM) staat voor een verbeterconcept waarbij het totale energieverbruik per jaar op nul uit moet komen. Het is in dit model toegestaan om energie uit fossiele brandstoffen te gebruiken, maar deze moet dan elders in het jaar volledig gecompenseerd worden met de productie van duurzame energie. Voor een uitgebreidere uitleg, zie bijlage 1.

Deze ambitie is bewonderenswaardig, maar voor de gemeente Eindhoven wellicht wat lastiger te bereiken dan men in eerste instantie zou verwachten. Dit heeft te maken met het feit dat het klimaatverdrag van Parijs de vermindering van CO<sub>2</sub>-uitstoot meet t.o.v. de CO<sub>2</sub>-uitstoot van 1990. In 1990 was de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot van de gemeente Eindhoven 1,2 miljard kg. Echter is de CO<sub>2</sub>-uitstoot van Eindhoven door een aanhoudende (bevolkings)groei in de afgelopen 25 jaar met ongeveer 25% gestegen tot 1,5 miljard kg, waar deze voor Nederland gemiddeld min of meer gelijk bleef (CBS, 2016). Hierdoor moet er in de gemeente Eindhoven 96% worden bespaard op de huidige CO<sub>2</sub>-uitstoot. In figuur 3 is weergegeven wat de CO<sub>2</sub>-uitstoot per inwoner van Eindhoven per ton per jaar is. Daarnaast is in de figuur weergegeven wat het niveau van 1990 was en wat de benodigde trend voor reductie in CO<sub>2</sub>-uitstoot zou moeten zijn. Als laatste is de verwachte daling weergegeven aan de hand van de doorgerekende plannen die gemeente Eindhoven heeft opgenomen in zijn klimaatplan voor 2016 – 2020.

### 2.3.1. Wat is er al gedaan?

Om hun ambitie te bereiken is de gemeente Eindhoven afspraken gaan maken met grote organisaties binnen de gemeente, om zo samen de ambitie van 2050 te kunnen realiseren. Voor de sector gebouwde omgeving zijn met name de woningcorporaties betrokken, omdat zij met hun aandeel in de woningmarkt een aanzienlijke bijdrage kunnen leveren aan de ambitie van gemeente Eindhoven.

De woningcorporaties hebben in de afgelopen jaren al veel gedaan om hun woningen beter te isoleren en zo het energieverlies te beperken. Echter zal de gemaakte afspraak om in 2020 de huurwoningen te verbeteren naar gemiddeld energielabel B, niet worden gehaald. Dit komt vooral door de hiervoor al genoemde praktische problemen. Het is mogelijk dat er sancties zullen worden opgelegd door SER<sup>6</sup> in de vorm van een bestuurlijke boete. De hoogte van de boete zal dan afhangen van de mate van achterstand op de afgesproken norm. Er is echter nog onduidelijkheid over deze sancties in het nieuwe beleid van het aanstaande kabinet (SER, 2017). Verder wil Stichting Woonbedrijf ook af van de normering aan de hand van energielabels. Om deze redenen is Stichting Woonbedrijf ook uit het project 'Stroomversnelling' van Platform 31 gestapt.

Het project Stroomversnelling is een initiatief van Platform 31, een kennis- en netwerkorganisatie, die met het project een verbetering willen bewerkstelligen in de verduurzaming van de gebouwde omgeving binnen Nederland. Hiervoor hebben zij NOM-woningen gekozen als maatregel/middel. Dit middel is echter in de ogen van Platform 31 en meerdere instanties uitgegroeid tot de oplossing van de energie uitdaging. Dit is niet de bedoeling volgens Stichting Woonbedrijf. NOM is volgens Stichting Woonbedrijf een middel om dit te bereiken, net als de 'Menukaart' die Stichting Woonbedrijf heeft ontwikkeld. Daarnaast vindt Stichting Woonbedrijf de renovatiekosten verbonden aan het NOM-model veel te hoog (ca. €100.000,- per woning) en komt de daarbij horende kwaliteit van de renovatie niet overeen met de standaard die Stichting Woonbedrijf hanteert voor haar eigen woningen. Ook heeft Stichting Woonbedrijf vraagtekens bij de werkelijke CO<sub>2</sub>-uitstoot van het NOM-model omdat het principe gebaseerd is op een meetperiode van een jaar, waarbinnen het energieverbruik in theorie extreem mag schommelen, zolang de som van het verbruik over een jaar gezien maar op nul uitkomt. In werkelijkheid betekent dit dat er in de winter veel energie op basis van fossiele brandstoffen mag worden ingekocht, zolang als er in de zomer minimaal dezelfde

<sup>6</sup> SER staat voor Sociaal Economische Raad. De SER heeft een commissie samengesteld onder leiding van dhr. Ed Nijpels die zorg draagt voor de borging van het Energieakkoord en duurzame groei. (SER, 2017)



productie aan duurzame energie is die het gebruik van fossiele brandstoffen compenseert. Hierdoor is de werkelijke CO<sub>2</sub>-uitstoot van een NOM-woning met warmtepomp nog steeds vergelijkbaar met de CO<sub>2</sub>-uitstoot van een NOM-woning met een HR-ketel (Boonstra, 2017). De CO<sub>2</sub>-uitstoot van een warmtepomp ontstaat doordat de elektriciteit uit het net wordt geproduceerd in o.a. kolencentrales. De CO<sub>2</sub>-uitstoot van de centrales wordt verdeeld over de verbruikte kWh. Daar komt nog bij dat meer dan de helft van elektrische energie verloren gaat tijdens het transport van de centrale naar de woningen (Besparenvanenergie.nl, 2017). Deze energie gaat verloren door de weerstand in de kabels. Omdat de centrale het verlies van de elektrische energie moet compenseren met extra productie, is de CO<sub>2</sub>-uitstoot per kWh relatief hoog t.o.v. bijvoorbeeld aardgas. Wanneer de Nederlandse overheid en de energieleveranciers echter volledig groene energie gaan produceren, zullen elektrische installaties zoals een warmtepomp volledig CO<sub>2</sub>-neutraal zijn.

### 2.3.2. 'Menukaart' en verder ontwikkelde modellen

In het kader van hun ambitie heeft Stichting Woonbedrijf al verschillende onderzoeken laten uitvoeren naar een concrete invulling van deze ambitie. Eén van deze onderzoeken is het onderzoek van dhr. D. Garufi (Decision support tool for sustainable renovation projects in Dutch social housing corporations, 2015). In het onderzoek van Garufi is een beslismodel ontwikkeld voor duurzame renovatie op het niveau van zowel een individuele woning als op wijkniveau, met als modelwoning een rijtjeshuis uit het bouwjaar 1956 in Tongelre. Het beslismodel is opgezet als een soort 'Menukaart'. Uit deze 'Menukaart' zijn vijf verbeterpakketten ontwikkeld waar Stichting Woonbedrijf, onder leiding van dhr. B. van Ostaden mee verder is gegaan (voorbeeld in bijlage 3). De vijf pakketten zijn verdeeld naar exploitatietermijn/exploatieverlenging. Hoe korter de exploitatietermijn, hoe minder er verbeterd zal worden. Zo betreft het eerste pakket vooral periodiek onderhoud met een exploitatietermijn van  $\leq 15$  jaar. Het laatste pakket met een exploitatietermijn van  $\geq 40$  jaar is gebaseerd op het NOM-principe. Alle pakketten zijn ontwikkeld op basis van de Trias Energetica, daarom wordt een warmtepomp pas toegepast bij het vierde pakket.

Deze vijf pakketten zullen waarschijnlijk gebruikt gaan worden als basis voor een provinciaal plan voor de provincie Brabant. Het is de bedoeling van Stichting Woonbedrijf dat mijn onderzoek bijdraagt aan een verdere en completere uitwerking van de vijf pakketten, dan wel een eventuele bijstelling van de bestaande pakketten of toevoeging van nieuwe pakketten.

### 2.3.3. Energielabel

Een belangrijke maatstaf die wordt gehanteerd binnen de energietransitie is het energielabel. Energielabels moeten sinds 2007 worden opgesteld voor de verkoop van een woning. Het kabinet heeft als doel voor ogen om het energielabel te gebruiken om nieuwe bewoners bewust te krijgen over het energieverbruik van de woning (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO)). Bovendien worden deze labels door de overheid ook gebruikt als "waardering" om te aan te geven of een woning aan de bovengenoemde voorwaarden voldoet. De overheid pretendeert dat het energielabel inzicht geeft in hoe energiezuinig een woning of pand is. Dit wordt door velen betwist of bekritiseerd.

Ik zal in deze paragraaf globaal ingaan op de opzet van het energielabel, voor zover dit relevant is voor de uitleg van de consequenties hiervan.

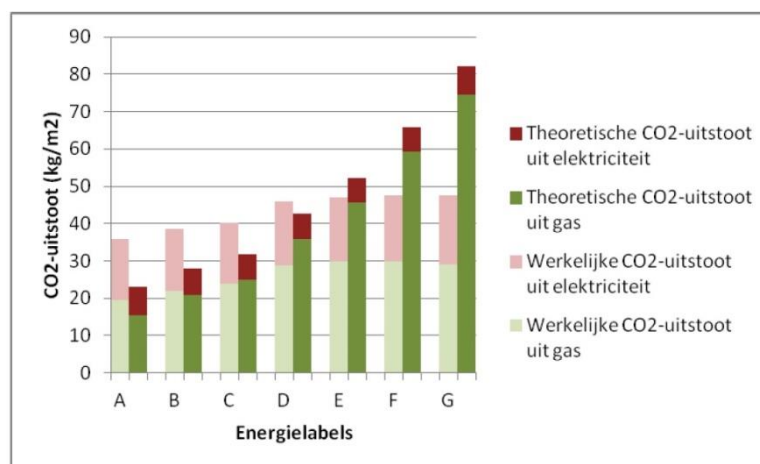
De hoofdlijn van het energielabel is als volgt: een woning wordt op een aantal criteria beoordeeld, zoals bouwjaar, aantal gebruikers, de isolatie in de verschillende geveldelen en de aanwezige installaties als verwarming en PV-panelen. Dit levert een score op die kan lopen van G tot A++ waarbij G staat voor een ongeïsoleerde woning en A++ een NOM/passiefwoning zou moeten zijn. De Nederlandse overheid stelt bijvoorbeeld dat in 2020 de huurwoningen van woningcorporaties gemiddeld label B moeten hebben en particuliere huurwoningen gemiddeld label C. Verder moet de gemiddelde koopwoning in 2030 het energielabel A hebben (Wat betekent het Energieakkoord voor mij?, 2013, p. 8).

Een belangrijk kritiekpunt dat ik ben tegengekomen over het energielabel, is dat de theoretische besparingen in energieverbruik en CO<sub>2</sub>-uitstoot slecht overeenkomen met de werkelijke prestaties van woningen.

In figuur 4 is een grafiek te zien uit een onderzoek van de

TU Delft (Daša Majcen, 2014) die weergeeft wat de verschillen per label kunnen zijn. Het onderzoek van de TU Delft is uitgevoerd met een steekproef onder 37.375 sociale huurwoningen in Amsterdam. In de grafiek is per energielabel te zien hoe groot de afwijking is tussen de theoretisch gehanteerde waarden en de werkelijk behaalde waarden. Deze afwijkingen per label hebben dezelfde verhoudingen voor bijvoorbeeld elektriciteitsverbruik en gasverbruik. Door deze afwijkingen ontstaat een onrealistisch beeld over de potentieel te behalen besparingen. De afwijkingen ontstaan door een serie van oorzaken zoals bouwtype, installatie efficiëntie, gebruiksgedrag en omgevingsinvloeden. De belangrijkste conclusie die we hieruit kunnen trekken is dat het energielabel teveel waarden/variabelen niet meeneemt in de waardering, zodat een onvolledig beeld ontstaat van verbruik en prestaties. Daardoor wordt er een verkeerde focus gelegd binnen de verbeteringen van een woning en kunnen er uitgaven worden gedaan die niet direct bijdragen aan een duurzamere woning.

Er zijn verschillende bronnen die voorspellen dat het energielabel en de EPC<sup>7</sup> vervangen gaan worden door de BENG<sup>8</sup> normering of warmteverliesberekeningen (Groot, 2017) (Climarad, 2017).



Aandeel van gas en elektriciteit in de totale CO<sub>2</sub> uitstoot in kg/m<sup>2</sup>

Figuur 4.

<sup>7</sup> EPC staat voor EnergiePrestatieCoëfficiënt en is een index die de energetische efficiëntie van nieuwbouw aangeeft (Wikipedia, 2017). Hoe lager de EPC score, hoe beter de energetische efficiëntie van het gebouw. De huidige EPC-norm voor nieuwbouw is 0,4 en zal hoogstwaarschijnlijk in 2020 veranderen naar 0.

<sup>8</sup> BENG staat voor Bijna Energie Neutraal Gebouw. BENG kent drie eisen voor woningbouw: een maximale energiebehoefte (25 kWh/m<sup>2</sup>/jaar), een maximaal primaire fossiele energiegebruik (25 kWh/m<sup>2</sup>/jaar) en een minimaal aandeel hernieuwbaar op te wekken energie (50%) (RVO, 2017).



## 2.4. Probleemstelling

Het algemene probleem binnen gemeente Eindhoven is: met de huidige aanpak om de gebouwde omgeving energieneutraal te maken wordt de deadline van 95% CO<sub>2</sub>-reductie t.o.v. 1990, in 2050 niet gehaald (zie de prognose in figuur 3, pagina 13).

Door het optreden van het ‘rebound-effect’ en de hoge kosten die hoogwaardig isoleren en de NOM-renovaties met zich meebrengen, wil Stichting Woonbedrijf onderzoeken of het mogelijk is de Trias Energetica los te laten en of het mogelijk is om duurzame installaties te plaatsen zonder eerst te isoleren.

Dit leidt tot mijn probleemstelling:

**Kan de Trias Energetica en het isoleren als ‘stap 1’ worden losgelaten binnen het realiseren van aardgasloze woningen.**

## 2.5. Doelstelling

“Binnen 20 weken de toepasbaarheid testen/onderzoeken van warmtepompsystemen zoals opgesteld in het verslag van D. Garufi, op basis van Total Cost of Ownership, zelfvoorzienendheid en kwaliteit/wooncomfort, om hiermee rendabele, aardgasloze en energieneutrale woningen te kunnen realiseren.”

Daarnaast kan in het verlengde van deze doelstelling worden gekeken of nieuwe, werkende modellen kunnen voortvloeien uit het onderzoek of dat de bestaande modellen moeten worden aangepast of bijgesteld.

Er is daarom voor te pleiten om de warmtepompen te beoordelen op werkelijke, praktische waarden, om zo de keuze voor een specifiek model zo adequaat mogelijk te onderbouwen.

## 2.6. Onderzoeksvragen

De gemeente Eindhoven en Stichting Woonbedrijf hebben mij in het kader van mijn onderzoek gevraagd om me te richten op de volgende punten:

### **Huurwoningen van Stichting Woonbedrijf te Eindhoven;**

Omdat Stichting Woonbedrijf de grootste woningcorporatie is binnen gemeente Eindhoven en daardoor de grootste potentiële bijdrage kan leveren aan het verminderen van de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de huishoudens binnen gemeente Eindhoven.

### **Aardgasloze verwarming;**

Omdat aardgas een fossiele brandstof is die binnen aanzienlijke tijd op zal raken. Verder wordt aardgas hoofdzakelijk gebruikt voor het verwarmen van ruimtes, waarmee het medeverantwoordelijk is voor het grootste aandeel van de CO<sub>2</sub>-uitstoot van het gemiddelde huishouden.

### **Het onderzoek toespitsen op (energie)prestaties en kosten van installaties;**

Om het gebruik van fossiele brandstoffen te vervangen voor duurzame vormen van energie opwekken zullen de huidige installaties moeten worden vervangen. Voor een goede kosten/batenafweging heeft Stichting Woonbedrijf meer kennis en inzicht nodig over de beschikbare techniek en vooruitzichten.

### **Werkelijke resultaten;**

het meewegen van werkelijke praktijkbelemmeringen en –ervaringen zoals opslag van energie, gebruiksinvloed, omgevingsfactoren e.d.. In andere woorden, invloeden die dicht bij de gebruiksomgeving staan. Ik neem mogelijke toekomstige prijs en rendementsontwikkelingen van bijvoorbeeld installaties of grondstofprijzen dus niet mee in mijn onderzoek.

### **Gebruik van installaties**

Het installatiemodel moet voorzien in de verwarming van zowel ruimtes als van het tapwater en moet daarnaast het wooncomfort kunnen garanderen t.b.v. de leef kwaliteit in een ongeïsoleerde woning. Deze ambitie komt specifiek van Stichting Woonbedrijf. Gemeente Eindhoven deelt deze ambitie niet, maar is wel geïnteresseerd in de mogelijke consequenties die dit voor de gemeente meebrengt.

Naar aanleiding van deze punten heb ik de volgende onderzoeksvragen geformuleerd:

#### **2.6.1. Hoofdvraag**

Wat is in praktijk de toepasbaarheid van warmtepompsystemen die Stichting Woonbedrijf heeft voorgeschreven aan de hand van de ‘Menukaart’ van D. Garufi, om een aardgasloze en energieneutrale woning te realiseren?

#### **2.6.2. Deelvragen**

- Wat is de Total Cost of Ownership van de warmtepompsystemen?
- Wat zijn de effecten en grenswaarden die moeten worden aangehouden voor comfortbehoefte en gebruik(-sgedrag)?
- Wat is er voor nodig om woningen met warmtepompen zelfvoorzienend te maken in hun eigen gebouwgebonden energievoorziening?
- Hoe zijn de warmtepompsystemen te verbeteren of aan te vullen door andere installaties of technieken?

### **2.7. Modelwoning**

Stichting Woonbedrijf heeft voor dit onderzoek de volgende modelwoningen geselecteerd, omdat de energetische kwaliteit van de woningen slecht is en ze daardoor ook op de lijst staan om gerenoveerd te worden conform afspraken Aedes.

De buurt Oude Spoorbaan is een buurt in het stadsdeel Gestel, ten zuidwesten van het centrum van Eindhoven. De naam “Oude Spoorbaan” verwijst naar de spoorlijn tussen Eindhoven en Hasselt die in 1959 is gesloten. In de buurt staat nog redelijk veel voor- en naoorlogse bebouwing (Wikipedia, 2017).



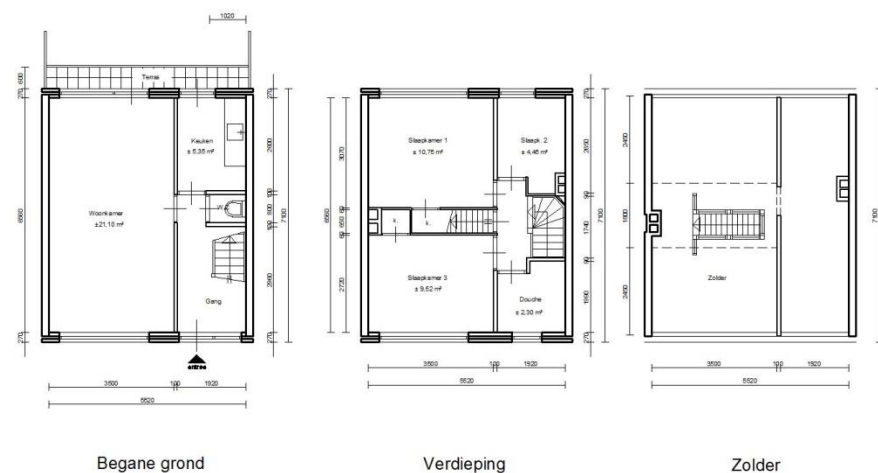
**Figuur 5. Aanzicht woning in complex 247**

De woningen in complex 247 zijn allemaal rijwoningen en hoekwoningen gebouwd in 1955. Het gebruiksoppervlak van de woningen ligt tussen de 71 en de 86 m<sup>2</sup> met een gemiddelde van 81 m<sup>2</sup>. De woningen hebben 2 verdiepingen en een zolder en zijn nog grotendeels ongeïsoleerd. Wel heeft het

overgrote deel van de woningen een HR107 Cv-ketel. Hierdoor liggen de energie labels hoofdzakelijk tussen de G en de E (met een paar D-labels).

Bij een eerste verkenning van de buurt en de aanwezige, bruikbare energiebronnen bleek dat er een warmtenet<sup>9</sup> aanwezig is op ongeveer 1200m hemelsbreed tot dichtstbijzijnde woningen. Ik neem deze optie echter niet mee, omdat ik geen inzicht heb in de vraag hoe ingewikkeld het is om het warmtenet te verlengen tot deze buurt. Bovendien zijn er regelmatig klachten over de jaarlijkse kosten die verbonden zijn met het gebruik van een warmtenet (Stichting Stadswarmte Den Haag-ypenburg-Nootdorp, 2017) (Stichting Stadsverwarming Eindhoven, 2017). De prognose van beschikbaarheid van groen gas of krachtige wind is gering (Gemeente Eindhoven, 2016) (CE Delft, 2015). Tijdens een interview met een medewerker van Stichting Woonbedrijf werd ook verteld dat collectieve oplossingen geen interessante optie zijn omdat corporaties niet mogen optreden als energieleverancier. Daardoor zouden hiervoor ingewikkelde constructies moeten worden toegepast met bijvoorbeeld huurderverenigingen of kortingsafspraken met energieleveranciers. Hierdoor blijven voor deze wijk alleen de All-Electric en zonne-energie varianten over als bruikbare energiebronnen.

Warmtepompen lijken de aangewezen keuze vanwege hun gunstige conversierendement van elektriciteit naar warmte. Van de soorten warmtepomp die beschikbaar zijn, kunnen water- en grondwarmtepompen niet worden aangelegd omdat er geen ruimte is om de hiervoor benodigde bronnen te boren. Voor de modelwoning kan daarom alleen gekozen worden voor een lucht-waterwarmtepomp. Hier zal ik in paragraaf 3.3.1 uitgebreider op terugkomen.



Figuur 6. Plattegrond van de modelwoning uit complex 247

<sup>9</sup> Met een warmtenet of stadsverwarming wordt een verwarmingssysteem bedoeld waarbij restwarmte uit elektriciteitscentrales of industrie wordt gebruikt om woningen in de omgeving te verwarmen.

### 3. Onderzoek

Vanuit de bevindingen van mijn oriëntatiefase (H.2) ben ik gericht onderzoek gaan doen naar de verschillende onderwerpen die spelen rondom aardgasloze, energieneutrale woningen. Dit onderzoek heb ik heel breed opgezet om een zo volledig beeld te ontwikkelen van mogelijkheden en beperkingen. Ik heb daarbij vooral gebruik gemaakt van internet en literatuurbronnen.

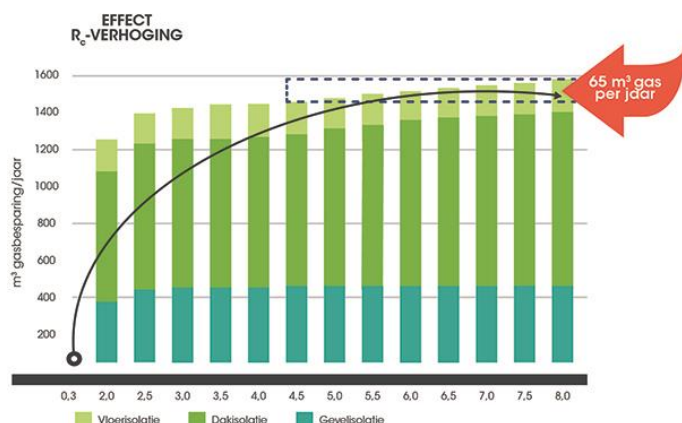
Ik ben mijn onderzoek begonnen door kritisch naar de stellingen van mijn opdrachtgevers te kijken en te bestuderen waarom ze het standpunt innemen dat ze de eerste stap van de Trias Energetica willen loslaten. Ik ben begonnen om te onderzoeken waarom de werkelijke resultaten van isoleren kunnen afwijken van berekende resultaten en of het überhaupt mogelijk is om een duurzame woning te realiseren zonder isolatie. Daarnaast heb ik onderzocht wat warmtepompen zijn en wat eventuele voorwaarden en consequenties zijn voor de toepassing van warmtepompen.

#### 3.1. Isolatie

Buiten de installatie zelf is van belang hoe snel een huis warmte verliest, oftewel hoe hard de verwarmingsinstallatie moet werken om de gewenste temperatuur op peil te houden. Met isolatie worden materialen bedoeld waar warmte moeilijk doorheen stroomt. Over het algemeen zijn dit materialen waar veel lucht in vast zit zoals geëxpandeerd PS schuim, glas- of steenwol. Er zijn erg veel materialen die kunnen worden gebruikt met wisselende mate van isolerend vermogen.

Warmteverlies wordt bepaald door de mate waarin een woning is geïsoleerd en het verschil in binnen- en buitentemperatuur ( $\Delta T$ ). De twee hoofdregels voor isolatie en warmteverlies zijn hoe groter de  $\Delta T$ , hoe groter het warmteverlies. Hoe beter de isolatie, hoe kleiner het warmteverlies. Het is echter niet zo dat met genoeg isolatie het warmteverlies tot nul kan worden teruggebracht.

Het isolerend vermogen, of warmteweerstand<sup>®</sup>, uitgedrukt in  $m^2K/W$  geeft aan hoeveel warmte er per vierkante meter in een bepaalde tijd door het materiaal verloren gaat. De warmteweerstand wordt bepaald door de dikte van de isolatie (in meters) maal de warmtegeleidingscoëfficiënt ( $\lambda$ , in  $W/mK$ ). De warmtegeleidingscoëfficiënt is een vaste waarde die bij een specifiek materiaal hoort. Dit heeft als effect dat als de isolatie twee maal zo dik wordt gemaakt, het isolerend vermogen ook verdubbelt. Echter het eindeloos verdikken van isolatie heeft weinig zin.



Figuur 7. Effect van Rc-verhoging op gasbesparing

In de grafiek 7 is te zien dat vanaf een bepaalde Rc-waarde de gasbesparing per jaar stagneert. Er is berekend voor de verschillende schildelen wat de maximale Rc-waarde (Rc-waarde van de hele constructie) is die nog kosteneffectief is. Voor een dak is dit Rc 6, voor gevels is dit Rc 4,5 en voor de vloer is dat 3,5.

De daadwerkelijke effectiviteit van isolatie is ook sterk afhankelijk van de kwaliteit van de uitvoering van het

isolatiewerk. Dit klinkt heel logisch en bijna onnodig om te benoemen, maar kleine

onvolkomenheden in het isolatiepakket kunnen al hele grote gevolgen hebben op de werkelijke effectiviteit van de isolatie. In verschillende artikelen van (Koppen, 2012) wordt gesproken over ‘onbewuste onbekwaamheid’. Hiermee bedoelt de auteur dat isolatiewerk vaak ondermaats wordt uitgevoerd omdat de uitvoerende partij niet goed weet waar hij op moet letten. Extra aandacht voor kierdichting en een correcte toepassing van isolatiematerialen heeft volgens de auteur net zoveel of meer zin dan investeren in meer of dikkere isolatie. “Een stelregel is: een kier van 7 mm in de isolatie kan plaatselijk de isolatiewaarde halveren” (Roofs, maart 2009). Daarnaast kan er bij nog kleinere kieren al onaantvaardbare hoeveelheden luchttransport ontstaan, met als gevolg oppervlaktecondensatie, houtrot en lekkage door condenswater. Door bijvoorbeeld het werk te controleren met infrarood camera’s en rooktesten kan snel worden getest wat de kwaliteit van de isolatie en kierdichting is.

Wanneer over isolatie wordt gesproken wordt tegenwoordig ook steeds vaker over kierdichting gesproken. Kierdichting betekent het zo goed mogelijk luchtdicht maken van een woning, zodat opgewarmde lucht uit de woning niet zomaar weglekt. Bij hedendaagse NOM renovaties (zie hst. gebouwconcepten) worden woningen gerealiseerd die nagenoeg luchtdicht zijn. Uiteraard hebben mensen (verse) lucht nodig om te blijven leven, dus een compleet luchtdichte woning is geen optie. Om toch in deze behoefte aan verse lucht te voorzien word er balansventilatie toegepast. Dit is ventilatie die oude lucht afzuigt en verse lucht aanzuigt. De balansventilatie wordt vervolgens gecombineerd met een WTW installatie om het warmteverlies zoveel mogelijk tegen te gaan.

### 3.2. Comfort en (gebruik-)gedrag

Twee belangrijke factoren die ook van grote invloed kunnen zijn op het energieverbruik van een woning zijn de comfortbehoefte en het (gebruik-)gedrag van de bewoners. De comfortbehoefte bepaalt bijvoorbeeld de binnentemperatuur en daarmee de  $\Delta T$  en het warmteverlies. Zo zijn er mensen die hun thermostaat niet hoger dan 18°C zetten, maar ook mensen die hem op 22°C instellen. Deze voorkeuren kunnen te maken hebben met leeftijd, gezondheid of culturele afkomst.

Naast het effect dat de comfortbehoefte kan hebben op het warmteverlies en het energieverbruik van een woning, kan het gebruiksgedrag van de bewoners ook een aanzienlijk effect hebben op het energieverbruik van een woning. Gedrag zoals het regelmatig openzetten van ramen, lang douchen of vaak de thermostaat verstellen zijn de meest sprekende voorbeelden hierin.

Hoe groot de effecten van comfort en gedrag werkelijk zijn verschilt per persoon. Het rapport van ECN en RIGO (Energiebesparing: Een samenspel van woning en bewoner - Analyse van de module Energie WoOn 2012) geeft een uitgebreid beeld van de invloed van gedrag en comfortbehoefte op het energieverbruik van een woning.

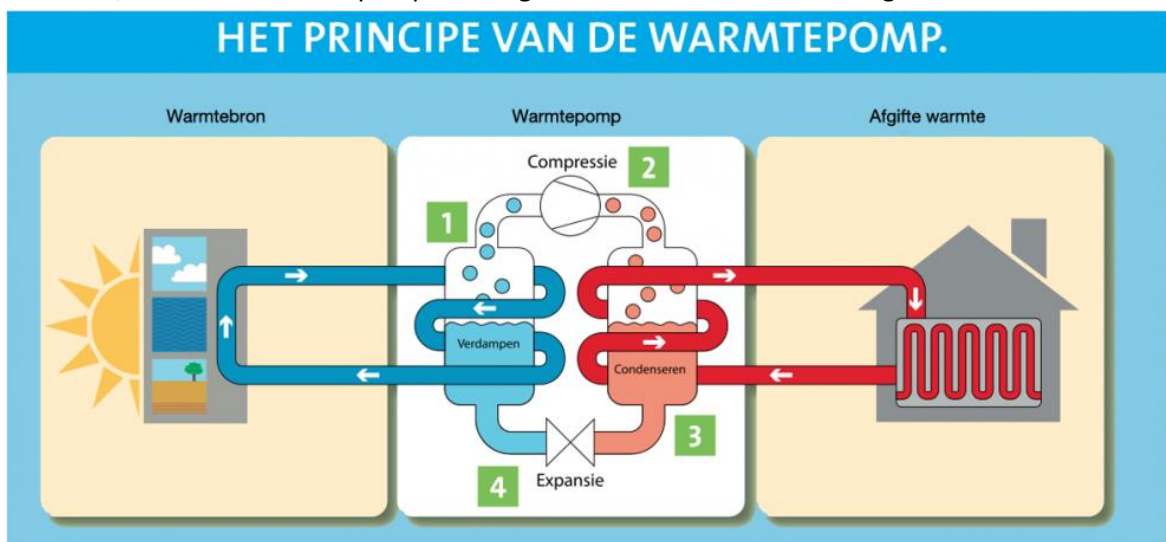
Het is door de grote invloed van comfort en gedrag op het energieverbruik erg moeilijk om een vaste waarde vast te stellen zonder inzicht in de soort bewoners en hun gedrag. Het is daarom aan te raden om bewoners in de ontwerpfase al te betrekken bij het proces, zodat in het ontwerp al vroeg kan worden ingespeeld op de comfortbehoefte en gebruiksgedrag van de bewoners, met name voor het draagvlak onder bewoners. Bij een gesprek over comfortbehoefte met Stichting Woonbedrijf, heeft Woonbedrijf aangegeven geen installaties te willen ontwerpen op specifieke bewonerseisen.

Omdat het huurwoningen betreft en de gemiddelde doorlooptijd per woning 7 jaar bedraagt, is het niet rendabel om de installaties op specifieke behoeften af te stemmen.

### 3.3 Installaties

#### 3.3.1. Warmtepomp

Een warmtepomp is kortgezegd een warmtewisselaar. De installatie haalt energie (warmte) door middel van een vloeistof (koudemiddel) uit het een medium of omgeving en geeft deze vervolgens weer af in de gewenste omgeving. Denk hierbij aan een koelkast. Een koelkast onttrekt warmte uit zijn binnenkant en geeft dit af aan de buitenlucht. Het grote verschil tussen een warmtepomp en een koelkast is dat de warmtepomp nog een extra stap maakt voordat de warmte wordt afgegeven op de gewenste locatie. In de warmtepomp zit namelijk ook een compressor en turbine of smoorventiel. Deze verhogen en verlagen de druk in het gesloten systeem van de warmtepomp. Het effect van het verhogen en verlagen van de druk is dat de vloeistof in het systeem hier feitelijk extra door opwarmt of afkoelt, oftewel de warmtepomp verhoogt het rendement van de af te geven warmte of koelt.



(bron: wittendorp.be)

Verdere uitleg over de verschillende soorten warmtepompen staat in bijlage 4 van dit verslag.

#### 3.3.2. Onzekerheid werkelijk rendement warmtepomp

COP staat voor Coefficient Of Performance en geeft de verhouding weer tussen de verbruikte energie en de afgegeven warmte. De verbruikte energie is elektriciteit die de compressor aandrijft. Hoe hoger een COP, hoe gunstiger dit is voor de gebruiker. Bij bijvoorbeeld een COP van vier wordt voor iedere Joule aan energie 4 joule aan warmte geproduceerd.

De COP wordt altijd vastgesteld bij vaste temperaturen. De COP wordt bepaald door de  $\Delta T$  tussen de bron (de buitenlucht) en de afgiftetemperatuur (de temperatuur die door de warmtepomp wordt afgegeven aan het afgiftesysteem). Hoe groter de  $\Delta T$  wordt, hoe slechter de COP. Omdat de COP



vanuit een vaste temperatuur voor een luchtwarmtepomp in de praktijk maar zelden voor zal komen, is er een Seasonal COP (SCOP) bepaald. Dit is een gemiddelde COP gemeten over een jaar. Hierdoor komt de SCOP dichterbij de werkelijkheid dan de COP.

Warmteafgiftesystemen zijn de apparaten die daadwerkelijk de geproduceerde warmte afgeven aan de (beoogde) omgeving. Over het algemeen kunnen deze systemen worden onderverdeeld in twee groepen, namelijk hoge en lage temperatuursystemen. Zoals de naam al zegt zit het verschil tussen de twee soorten systemen in de temperatuursrange waarbinnen zij het beste werken. Zo zijn reguliere radiatoren ontwikkeld voor water van tussen de 70 en 90°C en de andere systemen voor temperaturen van tussen de 35 en 45°C. Reguliere radiatoren hebben een te klein oppervlak om met de lage temperaturen genoeg warmte af te geven aan de omgeving. Systemen als vloer- of wandverwarming hebben vaak een veel groter oppervlak waardoor ze minder energie per m<sup>2</sup> hoeven af te geven om hetzelfde effect te realiseren als een reguliere radiator.

Een nadeel bij het gebruik van warmtepompen of andere All-Electric installaties is het grote verlies dat optreedt bij het transport van elektriciteit. Tijdens het transport van elektriciteit gaat meer dan 50% van de energie verloren (Besparenuanenergie.nl, 2017). Dit is een belangrijk argument voor decentrale elektriciteitsproductie (productie met eigen PV-panelen).

Warmtepompen worden vaak nog vergeleken met traditionele gasgestookte CV-installaties in kosten en verbruik. Hoewel warmtepompen over het algemeen stukken rendabeler zijn dan CV-installaties in het verbruik, bestaat er wel een omslagpunt. Met de huidige verhouding tussen de gas- en elektriciteitsstarieven, is het verbruik van een CV-installatie voordeliger bij een COP van 2,7 of lager (warmtepomp-weetjes.nl, 2017). Daarom wordt door velen een COP van 2,7 aangehouden als ondergrens voor het toepassen van een luchtwarmtepomp.

Een andere ondergrens die vaker wordt gehanteerd voor de toepassing van een warmtepomp is de stelling: “een warmtepomp is pas rendabel met een warmteverlies van 75 W/m<sup>2</sup> of lager” (Warmtepomp-weetjes, 2017). Dit houdt in dat het warmteverlies van de woning beperkt zou moeten worden met isolatie of andere maatregelen. Gezien de vraagstelling van mijn onderzoek ga ik proberen het tegendeel te bewijzen.

Een laatste belangrijke factor die een grote invloed kan hebben op de werkelijke COP van een luchtwarmtepomp is het aantal ontdooiingcyclussen die de warmtepomp moet doorlopen. De buitenunit van de luchtwarmtepomp onttrekt warmte aan zijn omgeving, waardoor de buitenunit kan bevriezen wanneer de buitentemperatuur zakt tot rond het vriespunt. De warmtepomp zal in deze gevallen zijn eigen opgewarmde water gebruiken om de buitenunit te ontdooien. Dit water zal opnieuw opgewarmd moeten worden waarvoor de warmtepomp veel extra capaciteit moet leveren.

### 3.3.3. Ventilatie

Er bestaan installaties die via verwarmde lucht een ruimte verwarmen, maar dat wordt hier niet bedoeld met ventilatie. Ventilatie heeft als doel om de binnenlucht in een woning of pand gezond te houden. Het belang van goede ventilatie wordt nog vaak onderschat. Ventilatioeroosters worden vaak dicht gezet om tocht te voorkomen en installaties worden uitgezet omdat ze teveel lawaai maken. Maar een goede ventilatie houdt de CO<sub>2</sub> waardes laag, voert fijnstof af en houdt de lucht droog.



Vochtige lucht is moeilijker op te warmen (oftewel meer stookkosten) en verhoogt de kans op schimmels en zilvervisjes.

Er bestaan verschillende vormen van ventilatie om een gezonde woning te realiseren. Zo is er natuurlijke ventilatie, waarbij lucht ververst wordt via ventilatieroosters in de gevel die werken door onder- en/of overdruk in het gebouw. Daarnaast is er mechanische ventilatie. Mechanische ventilatie is er in meerdere vormen zoals continue toevoer of afzuiging en vraaggestuurde afzuiging. Als laatste is zijn er balansventilatie (aan- én afvoer) en hybride ventilatie (vraaggestuurde mechanische afvoer in de zomer en balansventilatie met WTW in de winter). Voor een uitgebreidere beschrijving van de soorten ventilatie verwijst ik naar bijlage 7 van dit verslag. De voornaamste link met verwarming zit in temperatuur van de aangezogen buitenlucht, de mate van afvoer van warme binnenlucht en de eventuele aanwezigheid van een warmtewisselaar. Daarnaast kan ventilatie veel doen met de warmtebeleving van mensen. Zo wordt bijvoorbeeld vochtige warme lucht vaak als broeierig en beklemmend ervaren. Maar oude klamme lucht is ook moeilijker op te warmen dan verse droge lucht. Het loont dus om de lucht regelmatig te verversetten om zo ook wat in stookkosten te besparen.

Wellicht kan met zowel mechanische afvoer als met balansventilatie het rendement van de warmtepomp worden beïnvloed. Het rendement van de warmtepomp wordt bepaald door het temperatuurverschil tussen de bron (buitenlucht) en de afgiftemtemperatuur van het verwarmingssysteem. Door de warme afgezogen lucht bij de buitenunit van de warmtepomp naar buiten te voeren, zal de buitenunit van de warmtepomp deze warmere lucht kunnen benutten bij het onttrekken van energie. Hierdoor zal het rendement van de warmtepomp iets kunnen worden verbeterd. Het is moeilijk te zeggen hoe groot dit voordeel werkelijk zal zijn omdat dit ook afhankelijk is van de buitentemperatuur en de precieze plaatsing van de buitenunit t.o.v. de afvoerroosters van de ventilatie.

### 3.3.4. PV-panelen

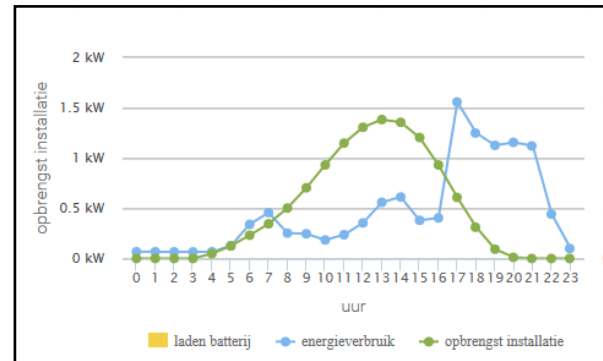
PV staat voor PhotoVoltaic ofwel fotonvoltaïsch, in de volksmond zonnepanelen genoemd. Dit betekent dat de panelen zonlicht (fotonen) omzetten in elektrische stroom. PV-panelen zijn een effectieve manier om elektriciteit op te wekken waarmee het elektriciteitsverbruik van een woning gedempt dan wel gecompenseerd kan worden. Aangezien het All-Electric-concept geheel afhankelijk is van elektriciteitsverbruik om in alle behoeften te voorzien, zullen PV-panelen een belangrijke manier zijn om dit verbruik te verlagen en de energierekening beter betaalbaar te maken.

In theorie zouden PV-panelen moeten helpen met het beperken van het warmteverlies door het dak omdat PV-panelen warm worden door de zon. Deze warme PV-panelen verlagen de  $\Delta T$  tussen binnen en buiten ter plaatse van het dak, waardoor het warmteverlies minder hoog zal worden.

Verdere uitleg over PV-panelen staat in bijlage 5 van dit verslag.

### 3.3.5. Mismatch productie en afname duurzame energie

Een volgend belangrijk aspect binnen het energieneutraal maken van een woning of gebouw is piekverbruik. Het verbruik van een installatie wordt in het algemeen als een gemiddelde over een tijdsperiode gegeven. Maar binnen die tijdsperiode heeft dit verbruik pieken en dalen waarin binnen korte perioden meer of minder dan het gemiddelde wordt verbruikt. Zo zal het elektriciteitsverbruik over een hele dag gezien overdag erg laag zijn en 's avonds een piek krijgen omdat mensen dan dingen



Figuur 8 - Bron: ZonAtlas.nl

als lichten, televisie en vaatwasser aanzetten. Daarnaast produceren verschillende installaties over het jaar gezien ook niet altijd evenveel energie. Zo zullen installaties in de wintermaanden minder leveren dan in de zomermaanden. Waarom het begrip piekverbruik belangrijk is bij het energieneutraal maken van een woning is omdat de meeste installaties hun piekopbrengst hebben wanneer het verbruik het laagst is. In de afbeelding hierboven is dit goed te zien. De groene lijn geeft de gemiddelde opbrengst van zonnepanelen gedurende een dag weer en de blauwe lijn het gemiddelde verbruik van een huishouden. Een effectieve oplossing hiervoor is om de energie op te slaan voor later gebruik, bijvoorbeeld in een accu/batterij voor elektriciteit of een geïsoleerde opslagtank voor verwarming/water. Het grootste nadeel hiervan is dat deze energieopslag al snel groot en zwaar wordt en met name de opslag van genoeg elektriciteit voor een gemiddeld huishouden nog in de kinderschoenen staat, waardoor het momenteel nog erg duur is (Duurzaamnieuws, 2015). Teveel door eigen installaties geproduceerd elektriciteit kan daarom tijdelijk terugverkocht worden aan de energiemaatschappijen.

### 3.3.6. Netverzwaring

Veel van de alternatieve bronnen voor energieopwekking zoals zon en wind, maar ook conversie installaties zoals warmtepompen hebben een wisselend rendement. De wind waait niet altijd even hard, er zijn bewolkte dagen en het is niet altijd even warm. Hierdoor kunnen de installaties geen constante productie aan energie leveren.

Het systeem krijgt hierdoor te maken met pieken en dalen. Met name de pieken in het elektrische systeem kunnen vervelende consequenties hebben. Deze elektrische pieken (moeten) worden opgevangen binnen het elektriciteitsnet. Wanneer een woning de pieken zelf niet kan gebruiken of

Kosten additioneel vermogen in €/kW per woonmilieu Ecofys

| Woonmilieu        | Kosten (€/kW) |
|-------------------|---------------|
| Centrum-stedelijk | 1.600         |
| Buiten-centrum    | 2.500         |
| Groen-stedelijk   | 2.500         |
| Centrum-dorps     | 3.600         |
| Landelijk wonen   | 4.400         |

Figuur 9.

opvangen (met opslag bijvoorbeeld) wordt het overschot terug geleverd aan het net. Hoeveel elektriciteit het net (veilig) kan verwerken is geheel afhankelijk van de dikte (ook wel de 'zwaarte') van de grondkabels die samen het net vormen. Door toenemend verbruik en productie, zeker bij concepten als All-electric, ontstaat de noodzaak om deze grondkabels te verzwaren om zo mogelijke storingen en uitval te voorkomen. Deze verzwaringen zijn erg duur omdat bestaande straten en

voetpaden moeten worden opengemaakt en nieuwe dikkere of extra kabel moeten worden bijgeplaatst. De kosten voor deze werkzaamheden worden doorberekend in de netbeheertarieven en komen zo voor rekening van de bewoners en de gebruikers van het energienet. Hierboven in figuur 9 zijn de kosten weergegeven per woonmilieu per kW aan verzwaring. Het huidige elektrische net kan ongeveer 1,2 kWe per woning aan piekvermogen verwerken. In figuur 9 is te zien hoeveel het kost om het net te verzwaren per kW piekverbruik.

Bijlage 6 (Ecofys, 2015) geeft een beeld van de systeemkosten die komen kijken bij het toepassen van verschillende verwarmingstechnieken. De prestaties zijn gemodelleerd met extreem koud weer (-17 °C). Er is in het overzicht niet uitgewerkt bij wie / welke groepen de benoemde kosten zullen belanden. Wat opvalt in de tabel van Elektriciteit/Elektrisch (warmtepomp), is dat bij isolatiegraad 'midden' (label C t/m A+) de kosten voor infrastructuur (waaronder netverzwaring) erg hoog zijn. Wat ook opvalt is dat deze kosten voor infrastructuur beduidend lager worden door goed te isoleren. Hieruit is te concluderen dat isolatie een groot effect heeft op de prestaties van een warmtepomp.

Het is belangrijk om de consequenties voor netverzwaring niet te vergeten. De uiteindelijke kosten voor netverzwaring worden door alle gebruikers van het elektriciteitsnet gedeeld. Er zou dus kunnen worden gesteld dat het maatschappelijk onverantwoord is om alleen All-electric oplossingen toe te passen. In bijlage 6 is goed te zien wat het effect van hoge isolatie is op de systeemkosten van de infrastructuur. Deze kostenontwikkeling is voor de gemeente belangrijker dan voor Stichting Woonbedrijf omdat de stichting hier financieel minder van zal merken. Het zo laag mogelijk houden van de benodigde netverzwaring is daarom een belangrijk argument om toch te blijven investeren in het isoleren van woningen.

### 3.3.7. Warmteopslag

Met opslag is het rendement van alternatieve verwarmingstechnieken aanzienlijk te verbeteren. Binnen het zelfvoorzienend maken van woningen in hun gebouwgebonden energiebehoefte is het gebruik van opslag onvermijdelijk. Reden hiervoor is om de distributienetten zoveel mogelijk te ontzien en om de productieveverschillen tussen dag en nacht of zomer en winter op te vangen. Er bestaan in hoofdzaak twee soorten opslag, warmteopslag en elektrische opslag. Elektrische opslag kan bijvoorbeeld met accu's zoals in auto's. Voor warmteopslag zijn er ondertussen verschillende vormen van opslag bekend. De meest bekende toegepaste vorm is door warmte op te slaan in water (denk aan het normale verwarmingssysteem).

Daarnaast zijn er PCM's. PCM staat voor Phase Changing Material, wat vertaald fase veranderend materiaal betekent. Met faseverandering wordt hier de verandering in fase van materialen bedoeld, zoals van vast naar vloeibaar naar gas. Bij dit soort faseveranderingen wordt energie (warmte) opgenomen of afgegeven. Door de faseovergangen te beheersen in gecontroleerde processen kan de gebruikte energie voor de overgangen worden ingezet als opslag van bijvoorbeeld warmte.

Als laatste bekende opslagvorm is er thermochemische opslag. Deze vorm van opslag gebruikt de energie uit omkeerbare chemische processen om warmte op te slaan. Een voorbeeld hiervan zijn zouthydraten. Door waterdamp langs zouten te laten lopen wordt de warmte uit de waterdamp opgeslagen in de nieuw gevormde zouthydraten. Deze warmte kan vervolgens weer onttrokken

worden door het proces om te draaien. Hierdoor ontstaat in theorie een warmteopslag zonder warmteverlies.

Omdat het belang van energieopslag pas heel recent op grote schaal is ontstaan, zijn de bestaande technieken nog niet ver ontwikkeld. Zowel elektrische- als warmteopslag staan nog in de spreekwoordelijke kinderschoenen. Verwacht mag worden dat er de komende jaren nog grote ontwikkelingsprongen zullen worden gemaakt in termen van kosten en rendement.

De meest interessante vorm van opslag die ontwikkeld wordt is lange termijn of seizoensopslag. Dit houdt in dat energie niet maximaal een paar dagen kan worden opgeslagen, maar dat de energie zonder problemen een half jaar kan worden opgeslagen. Hierdoor kan bijvoorbeeld warmte uit de zomermaanden worden bewaard voor de winter. Hierdoor kan de mismatch tussen verbruik en productie die sowieso al plaatsvindt bij bijvoorbeeld zonnepanelen en warmtepompen worden ondervangen. Het rendement zal drastisch verbeterd kunnen worden en verlies zal kunnen worden geminimaliseerd. Opslag met zouthydraten is een opslagvorm die hier mogelijk in kan voorzien. TNO is daarom ook hard aan het werk om een eerste prototype met deze zouthydraten klaar te maken voor de markt (De ingenieur, 2016).

### 3.4. Urgenda (Urgenda, 2015)



In het grootste deel van de gevonden informatie wordt de Trias Energetica expliciet of impliciet als uitgangspunt gehanteerd. Het renovatieconcept van Urgenda vormt hierop een uitzondering. Door het isoleren van de woning sterk te beperken en zich hoofdzakelijk te richten op installatietechnieken om een aardgasloze woning te realiseren, volgt Urgenda niet de klassieke uitvoering van de Trias Energetica. De woningen die volgens het Urgendaconcept worden gerenoveerd zijn volledig aardgasloos, voor een fors lagere prijs dan bijvoorbeeld de NOM renovaties. Er wordt alleen geïsoleerd waar nodig om het comfort te verhogen en/of om overduidelijke koudelekken op te lossen. Uitgangspunt voor de kosten is een maximum van €35.000,- (de kosten die een gezin gemiddeld in 15 jaar kwijt is aan de energie). Daarnaast is het concept ook gericht op het verbeteren van gebruiksgedrag met betrekking tot gebruik van huishoudelijke apparaten en verlichting.

Dit concept is interessant omdat het goed aansluit bij de wens van Stichting Woonbedrijf om de Trias Energetica los te laten en alleen te investeren in techniek. Daarnaast is het een van de meer betaalbare concepten, omdat het op korte termijn niet eerst investeert in het hoogwaardig isoleren van de woningschil. En juist het hoogwaardig isoleren van de schil is wat renovaties van bestaande woningen duur en ingewikkeld maakt.

Omdat het Urgenda-concept succesvol tegen de eerste stap van de Trias Energetica lijkt in te gaan heb ik de volgende hypothese opgesteld:

***“Een warmtepomp is in een bestaande, ongeïsoleerde woning toe te passen zonder eerst de Trias Energetica te hanteren.”***

Het is echter onduidelijk wat de prestaties van de systemen zijn die worden geplaatst in het Urgenda-concept. Daarom ben ik een rekenmodel gaan opzetten wat hier meer inzicht in kan geven.

## 4. Rekenmodel

Ondanks het feit dat er al veel studies zijn gedaan naar de mogelijkheden om duurzame woningen te realiseren, blijft er een grote behoefte aan informatie over invloed van de verschillende componenten in het geheel en de manier waarom ze met elkaar samenhangen/elkaar beïnvloeden: wat doen ventilatie en isolatie met het energieverlies in een woning, hoe is dat van invloed op het verwarmingssysteem en wat doet dit alles met de kosten van het systeem, zowel eenmalige en terugkerende kosten?

Er spelen bij het realiseren van duurzame woningen drie componenten een grote rol, namelijk een technische component, een praktische component en een economische component. De technische component zit in het bepalen van het energieverlies door ventilatie en de mate van isolatie en de zwaarte van de warmtepomp en het afgiftesysteem. De praktische component zit in de consequenties die de verschillende keuzes op het vlak van installaties en isolatie hebben in de werkelijkheid, zoals de ruimte die ventilatiekanalen innemen of de beschikbare ruimte voor radiatoren onder raamkozijnen. De economische component komt voort uit de financiële consequenties van de technische component zoals de aanschaf, de plaatsing en het verbruik.

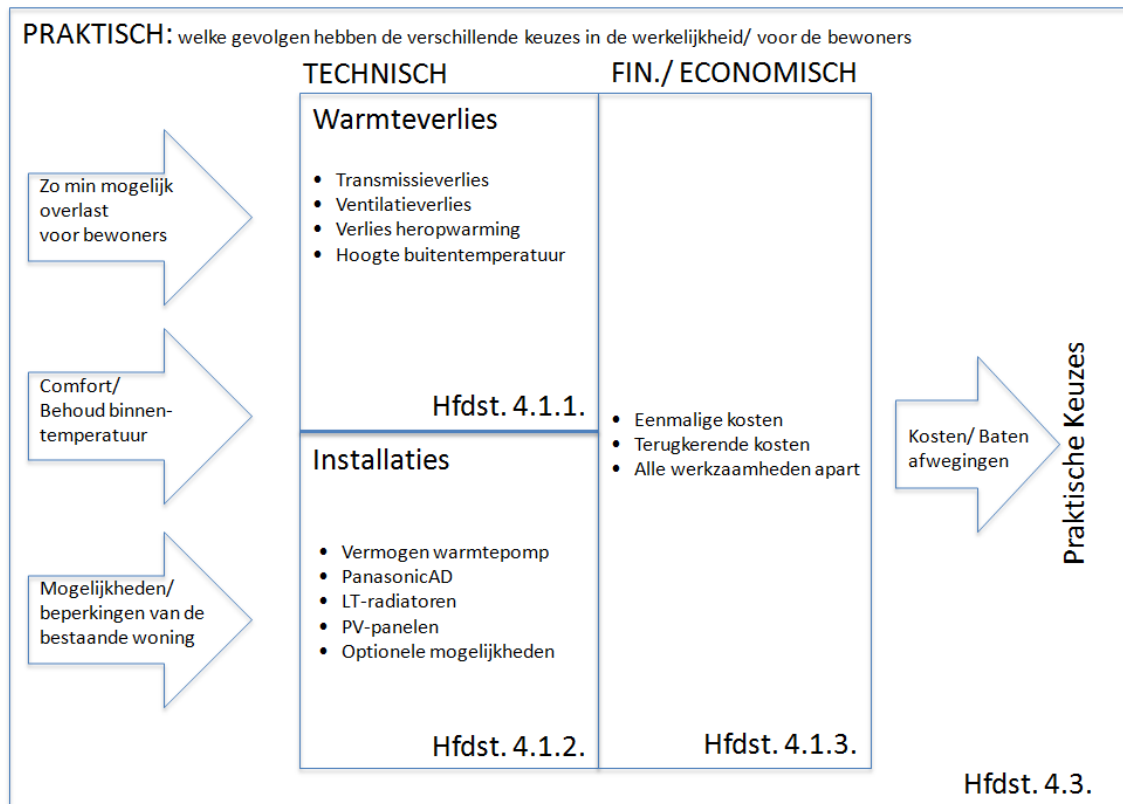
Om de onderlinge verbanden tussen de drie componenten en de afzonderlijke onderdelen inzichtelijk te maken, heb ik ervoor gekozen om verschillende scenario's door te rekenen met een eigen rekenmodel. Het model bestaat uit een energieverlies berekening, een berekening van het bijbehorende vermogen en verbruik van een warmtepomp, een berekening van het nodige afgiftesysteem en een kostencalculatie. Via dit rekenmodel en de verschillende doorgerekende scenario's hoop ik inzicht te krijgen in de verbanden in invloed die verschillende onderdelen op elkaar hebben.

### 4.1. Opbouw van het model

Als startpunt voor het eerste scenario van het rekenmodel gebruik ik de 'Menukaart', zoals ontwikkeld door dhr. Garufi en doorontwikkeld door dhr. van Ostade van Stichting Woonbedrijf (bijlage 3). Het eerste pakket van de 'Menukaart' betreft plaatsing van mechanische ventilatie en een HR107combiketel. Dit is volgens Stichting Woonbedrijf het minimale planmatig onderhoud dat voor woningen zoals de modelwoning noodzakelijk is.

Op basis van mijn hypothese dat in een bestaande, ongeïsoleerde woning een warmtepomp is toe te passen zonder eerst de Trias Energetica te hanteren, neem ik het eerste pakket van de 'Menukaart' als uitgangspunt. In dit pakket wordt nog geen isolatie toegevoegd. Anders dan in pakket 1 vervang ik de HRcombiketel door een verwarmingssysteem op basis van lucht-waterwarmtepomp, vervang ik de gelijkstroom ventilatie door een hoogwaardiger vraaggestuurd ventilatiesysteem en leg ik het dak maximaal vol met PV-panelen. Het vraaggestuurde ventilatiesysteem wordt hoofdzakelijk gekozen om een constantere kwaliteit van het binnenklimaat te garanderen, terwijl het energieverlies zoveel mogelijk beperkt wordt. PV-panelen worden toegevoegd om de verbruikskosten van de casus rendabeler te maken.

In het schema van figuur 10 geef ik een schematisch overzicht van het rekenmodel.



Figuur 10. Overzichtschema rekenmodel

### 4.1.1. Warmteverliesberekening

Voor het ontwerpen van een verwarmingssysteem is het gebruikelijk een uitgebreide warmteverliesberekening te maken. Deze berekening laat zien hoeveel energie de woning verliest via verschillende processen.

Als eerste wordt het transmissie verlies ( $\Phi_{tr}$ ) berekend. Het transmissieverlies is de energie die de woning verliest door de schil van de woning. Dit verlies wordt geheel beïnvloed door de  $\Delta T$ , de Rc-waarde en de grootte van het oppervlak van de verschillende elementen van de schil (zie paragraaf 3.1.). Aan de hand van bouwtekeningen kunnen alle oppervlaktes en volumes binnen de betreffende woning worden bepaald. De modelwoning is nagenoeg ongeïsoleerd waardoor het transmissieverlies hoog zal zijn.

Ten tweede wordt het ventilatieverlies ( $\Phi_v$ ) bepaald. Zoals eerder genoemd kunnen ventilatie en infiltratie (kieren) zorgen voor een behoorlijke bijdrage aan het energieverlies van een woning. Het ventilatieverlies wordt bepaald door het soort ventilatiesysteem, wel of geen WTW en de hoeveelheid lucht die per uur verplaatst wordt. De infiltratie wordt bepaald met een landelijk vastgestelde factor op basis van de leeftijd van de woning. Ik heb er binnen mijn rekenmodel voor gekozen om in elk geval kierdichting toe te passen zodat de factor infiltratie niet in het rekenmodel meegenomen hoeft te worden en, bij eventuele isolatie, de kans groter is dat berekende en



werkelijke prestatie van de isolatie overeen komen. Bovendien draagt kierdichting bij aan het comfortgevoel van de bewoners, omdat bij woningen van 60 jaar of ouder de infiltratie zo groot kan zijn dat deze als tocht kan worden ervaren.

Ten derde wordt het verlies berekend door (her)opwarming van een ruimte/woning na langere tijd een lagere temperatuur te hebben gehad ( $\Phi_{opw}$ ). Voor opwarming naar een hogere temperatuur is extra energie nodig bovenop de energie die wordt geleverd om de temperatuur constant te houden. Bij een verwarmingssysteem met LTV, kan het belang van het toevoegen van deze factor ter discussie gesteld worden. Het is namelijk vaak voordeliger om een verwarmingssysteem met LTV de gehele dag op een constante temperatuur te houden. Hierdoor zou de  $\Phi_{opw}$  alleen nog maar spelen wanneer men bijvoorbeeld op vakantie gaat of langere tijd van huis is.

Een belangrijk gegeven binnen een warmteverliesberekening is de hoogte van de buitentemperatuur die gehanteerd zal worden. Ik heb binnen mijn rekenmodel een bewuste keuze gemaakt om een extreme buitentemperatuur van  $-10^{\circ}\text{C}$  te gebruiken en niet een jaarlijkse of maandelijkse gemiddelde. Dit om de prestaties van het verwarmingssysteem ook onder slechte omstandigheden te kunnen garanderen.

Een voorbeeld van het rekenmodel dat ik heb gebruikt voor het berekenen van het warmte-energieverlies is toegevoegd in bijlage 8 van dit verslag. Dit model is ontwikkeld door dhr. Steven van Lier (Lier, 2017) Overigens kunnen in deze berekening andere waardes van woningen en temperaturen worden ingevuld.

Vanuit de warmteverliesberekening kunnen de volgende 2 elementen worden berekend:

- De grootte (afmeting) van het afgiftesysteem
- Het vermogen van de warmtepomp

## 4.1.2. Warmtepompsysteem

### Afgiftesysteem

In paragraaf 3.3.1. worden de verschillende afgiftesystemen al kort benoemd. Ondanks het feit dat technisch gezien vloerverwarming de meest voor de hand liggende keuze zou zijn, kies ik in de modelwoning toch voor radiatoren. Vloer- en wandverwarming vallen om de volgende redenen af:

Bij vloerverwarming moeten de ruimtes leeggehaald worden. Vervolgens moeten er sleuven gefreesd worden of isolatiematten worden gelegd om de verwarmingsleidingen te kunnen plaatsen. Het frezen brengt veel overlast in de vorm van stof en geluid met zich mee. De isolatiematten en de afwerkvloer die hier bovenop komen verhogen de vloer met minimaal 7 a 10 cm, waardoor o.a. deuren en trappen moeten worden aangepast. Bewoners kunnen met deze werkzaamheden een tijd geen gebruik maken van de ruimtes waar de vloerverwarming wordt aangelegd. Dit brengt voor de Woningcorporatie mogelijk extra kosten met zich mee, bijvoorbeeld voor tijdelijke opslag van meubelen of een tijdelijke herhuisvesting van de bewoners. Het is uiteraard wenselijk om deze kosten te vermijden.



Hoewel wandverwarming wel met minder overlast kan worden aangelegd, verliest de eigenaar woonoppervlakte binnen zijn woning en mogen tegen de verwarmde wand geen grote kasten of andere voorwerpen worden geplaatst die de warmteafgifte beperken. Hierdoor is ook wandverwarming vanuit de bewoners gezien niet de meest praktische keus.

Zoals in een eerder hoofdstuk al is benoemd zijn er ook lage temperatuur radiatoren. Deze radiatoren zijn beter geschikt voor installaties als warmtepompen omdat ze een groter afgifteoppervlak hebben dan reguliere radiatoren. Dit grotere oppervlak is noodzakelijk door de lagere watertemperatuur die een warmtepomp levert. Om bij plaatsing van een warmtepomp in de warmte- en comfortbehoefte van de bewoners van de modelwoning te kunnen blijven voorzien kies ik daarom voor het vervangen van de radiatoren. Doordat in de modelwoning bij het bestaande verwarmingssysteem al radiatoren worden gebruikt, zijn LT radiatoren met minimale aanpassingen te plaatsen.

Radiatoren worden normaliter onder raamkozijnen geplaatst om de koudeval die van de ramen afkomt te ondervangen. Daardoor is de beschikbare ruimte onder de raamkozijnen een belangrijke beperking voor de grootte van de radiatoren. De andere bepalende factor voor de grootte van de radiatoren is de afgiftetemperatuur. Het is wenselijk deze afgiftetemperatuur zo laag mogelijk te houden (35°) om een zo gunstig mogelijk rendement te behalen met de warmtepomp. Bij de modelwoning echter werden de radiatoren bij de afgiftetemperatuur van 35° te groot voor de beschikbare ruimte (Jaga, 2017). Daarom was het voor het ontwerp van het verwarmingssysteem in de modelwoning noodzakelijk om de afgiftetemperatuur te verhogen naar 45°. Het effect hiervan op het verbruik van de warmtepomp zal duidelijk worden in de volgende paragraaf.

### *Warmtepomp*

Met de warmteverliesberekening kan het benodigd vermogen van de warmtepomp en het bijbehorende verbruik worden berekend. Hierbij speelt het rendement (COP) van de warmtepomp een grote rol. De COP wordt in grote mate bepaald door het verschil ( $\Delta T$ ) tussen de afgiftetemperatuur en de brontemperatuur. In geval van een luchtwarmtepomp wordt de brontemperatuur de buitentemperatuur. Hoe kleiner deze  $\Delta T$ , hoe beter de COP wordt.

Om meer inzicht te krijgen in de werkelijke prestaties van luchtwarmtepompen heb ik een bezoek gebracht aan het huis van dhr. S. van der Eijk in Meerhoven. Dhr. van der Eijk heeft ervoor gekozen om zijn huis te verwarmen met een warmtepomp omdat hij ontevreden was over de hoge maandelijkse kosten die hij had bij verwarming via stadsverwarming en de twijfelachtige duurzaamheid van stadsverwarming. Dhr. van der Eijk heeft de combi-warmtepomp zelf besteld via een Duitse internetsite en heeft het systeem binnen een dag aangesloten met behulp van 3 monteurs. Het huis van dhr. van der Eijk is een rijtjeswoning uit 2001 met een oppervlak van 171 m<sup>2</sup> en een label A. Het verbruik van de warmtepomp is door dhr. van der Eijk het afgelopen jaar nauwkeurig bijgehouden. Ook heeft dhr. van der Eijk mij voorgesteld aan mevr. I. Kouw, die in een vergelijkbare situatie zit. De excel-sheets met het verbruik van dhr. van der Eijk en mevr. Kouw zitten in de bijlagen 9 en 10.

Wat in deze sheets vooral opvalt is dat het verbruik en rendement van de warmtepompen door het jaar heen erg stabiel zijn. De COP van de warmtepomp van dhr. van der Eijk is zelfs het laagst in de zomermaanden. Dit ontkracht de uitspraak dat luchtwarmtepompen in de winter minder rendabel

zouden zijn dan reguliere gasgestookte Cv-ketels. Wat hiervoor wel cruciaal is volgens dhr. van der Eijk is het correct inregelen van de warmtepomp en een goede afstemming op het bewonersgedrag. Ook de plaatsing van de buitenunit van de luchtwarmtepomp heeft invloed op de COP. Dit komt omdat de buitenunit het punt is waar energie uit de omgeving wordt onttrokken. Hoe dicht de buitenunit tegen het huis aan staat, hoe meer transmissieverlies uit de gevel kan worden hergebruikt. Bij beide adressen die ik heb bezocht stond de buitenunit dicht tegen het huis aan.

Naast het feit dat dhr. van der Eijk mij de opstelling van zijn verwarmingssysteem uitgebreid heeft laten zien en uitgelegd, heeft hij mij geattendeerd op een programma van Panasonic (Panasonic Aquarea Designer) waarmee een lucht-waterwarmtepomp systeem voor een woning kan worden ontworpen. Na het invoeren van variabelen zoals de verwarmingsbehoefte, warmwaterbehoefte, tariefkosten voor elektriciteitsverbruik en het soort afgiftesysteem, geeft het programma een schatting van het benodigd vermogen, het aantal draaiuren en verbruikskosten.

Na wat testberekeningen te hebben uitgevoerd, ben ik aan de slag gegaan om de uitkomsten van de warmteverliesberekening om te rekenen zodat deze kunnen worden ingevoerd in de ontwerptool van Panasonic. In het scenario van de huidige, onverbeterde modelwoning komt het geschatte benodigde vermogen voor een luchtwarmtepomp op 13,3 kW en een geschat stroomverbruik van 8541 kWh/jaar bij een afgiftetemperatuur van 45°.

**Hoewel een zware warmtepomp nodig, stel ik vast dat het mogelijk is om een woning uit bouwjaar 1955, waar alleen kierdichting is uitgevoerd en LT-radiatoren zijn geplaatst, in voldoende mate is te verwarmen met alleen een warmtepomp.**

Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat er afwijking ontstaat in het berekende verbruik van de warmtepomp en het werkelijke verbruik. Deze afwijking ontstaat omdat de voorgeprogrammeerde warmtepompen in het ontwerpprogramma niet dezelfde vermogens hebben als de beschikbare warmtepompen in de laatste productcatalogus van Panasonic. Deze afwijking spijtig, maar niet te voorkomen.

### 4.1.3. Kostencalculatie

De laatste stap in mijn model is het bepalen van de kosten die verbonden zijn aan het nieuwe verwarmingssysteem. De kosten zijn in twee posten te verdelen, namelijk de terugkerende verbruikskosten en de eenmalige kosten voor aanschaf en plaatsing.

#### Verbruikskosten

Als eerste zal ik de verbruikskosten bepalen. In de vorige paragraaf heb ik bepaald dat het verbruik van de warmtepomp 8451 kWh/jaar zou zijn. Met een elektriciteitsstarief van 18 cent per kWh komen de verbruikskosten daarmee op € 1.588,-/jaar.<sup>10</sup>

<sup>10</sup> De noodzakelijke verhoging van de afgiftetemperatuur naar 45°C leidt tot een toename van 1030 kWh/jaar en € 186,-/jaar vergeleken met een afgiftetemperatuur van 35°C.

Het genoemde verbruik is alleen het stroomverbruik van de warmtepomp. Hier komt het stroomverbruik van verlichting en randapparatuur nog bij. In grote lijnen betreft dit in een gasgestookt huis het huidige elektriciteitsverbruik. In principe kan gesteld worden dat het de huidige gasrekening wordt vervangen door extra elektriciteitskosten voor de warmtepomp.

Of de berekende elektriciteitskosten worden afgedekt door het wegvallen van de huidige gasrekening hangt af van het gasverbruik. Het werkelijke gasverbruik van de modelwoning is, vanwege privacywetgeving, niet bekend. Naar schatting van Stichting Woonbedrijf ligt dit tussen de 1400 m<sup>3</sup> en 2100 m<sup>3</sup>. Bij een gasverbruik van 2164 m<sup>3</sup> zijn de verbruikskosten van beide systemen gelijk. In dit geval is er geen sprake van terugverdienmogelijkheden door reductie van gebruikskosten.

Door PV-panelen op het dak te installeren kunnen de maandelijkse/jaarlijkse elektriciteitskosten flink gereduceerd worden. Op basis van berekening van het dakoppervlakte van de modelwoning minus obstakels (dakdoorvoeren) kunnen op het beschikbare dakoppervlakte maximaal 16 PV-panelen geplaatst worden. Volgens internetsite Zonatlas.nl zou de opbrengst van de 16 PV-panelen à 275 Wp per paneel op ongeveer 3500 kWh/jaar komen. Daarmee wordt het verbruik van 8541 kWh/jaar teruggebracht naar 5041 kWh/jaar, of te wel € 957,-/jaar. Vanwege dit significante effect op de verbruikskosten kies ik er voor de plaatsing van PV-panelen direct in de verdere uitwerking van het eerste scenario mee te nemen.

Een tweede terugkerende kostenpost is het onderhoud van de installaties. Over de werkelijke onderhoudskosten kan ik niets concreets zeggen, omdat hier nog weinig ervaringsgegevens over beschikbaar zijn en tarieven van onderhoudsmonteurs sterk variëren. Wel is duidelijk dat het goed inregelen van het systeem op de behoefte van de gebruiker van cruciaal belang is voor de levensduur en betrouwbaarheid van het systeem. Leveranciers adviseren een jaarlijks onderhoud. Ook bestaat er de mogelijkheid het systeem op afstand te “volgen” via een monitoringsysteem dat is aangesloten op internet, waardoor een monteur snel kan reageren op storingen. Vanwege het gebrek aan betrouwbare gegevens neem ik de component onderhoudskosten verder niet mee in mijn berekeningen.

### **Eenmalige kosten**

De eenmalige kosten betreffen de kosten van aanschaf en plaatsing van de installaties en uitvoering werkzaamheden zoals de kierdichting. Om deze kosten te kunnen bepalen heb ik een kostencalculatie opgesteld waarbij ik gebruik maak van kengetallen uit (Arcadis, 2016) en (Arcadis & RVO, 2016). De prijzen zijn in eerste instantie bepaald in 2008, maar zijn vervolgens geïndexeerd naar prijzen van 2016 in de laatste kolom van de kostencalculatie.

Deze kostenkengetallen worden door Stichting Woonbedrijf zelf ook gebruikt voor hun kostencalculaties, dus er is hierdoor geen kans op afwijking vanwege andere gehanteerde kengetallen. Een voorbeeld van de kostencalculatie is toegevoegd in bijlage 11 van dit verslag.

Binnen de calculatie heb ik ervoor gekozen om geen vierkante meter-prijzen per maatregel te hanteren, maar om alle werkzaamheden die nodig zijn per maatregel apart op te nemen. De reden hiervoor is dat de kans groot is dat ervoor wordt gekozen om meerdere maatregelen in één keer uit te voeren. Hierdoor kunnen sommige werkzaamheden worden samengevoegd of tegelijkertijd worden gedaan. Een voorbeeld hiervan is het opruimen op het project. Deze post is bij iedere

maatregel opgenomen, maar zou bij meerdere werkzaamheden kunnen worden gecombineerd met andere opruimwerkzaamheden. Door alle werkzaamheden apart op te nemen wordt het document beter aanpasbaar en zullen de kosten de realiteit het dichtste benaderen.

In de uitwerking van het eerste scenario heb ik de volgende elementen toegepast:

| Element                                         | Kosten             | Afschrijftermijn          |
|-------------------------------------------------|--------------------|---------------------------|
| Kierdichting                                    | € 876,32           | Exploitatietermijn woning |
| Mechanische ventilatie                          | € 1.462,14         | 15 jaar                   |
| LT radiatoren                                   | € 4.536,93         | Exploitatietermijn woning |
| Warmtepomp                                      | € 15.128,70        | 15 jaar                   |
| PV-panelen                                      | € 5.753,70         | 25 jaar                   |
| <b>TOTAAL (incl. staartkosten)<sup>11</sup></b> | <b>€ 39.473,89</b> |                           |

Op basis van de volledige kostencalculatie kunnen nu de terugverdienmogelijkheden worden berekend. Uitgaande van het door Stichting Woonbedrijf geschat gasverbruik:

|                                                                                                                                    | 1400 m <sup>3</sup> | 1800 m <sup>3</sup> | 2100 m <sup>3</sup> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Kosten gasverbruik op basis van € 221,94 vastrecht + gastarief van € 0,6311 per m <sup>3</sup>                                     | € 1.105,54          | € 1.357,98          | € 1.547,31          |
| Kosten elektriciteitsverbruik op basis van vermogen warmtepomp van 13,3 kW en 16 PV-panelen en een elektriciteitstarief van € 0,18 | € 957,--            | € 957,--            | € 957,--            |
| Financieringsruimte per jaar                                                                                                       | € 148,54            | € 400,98            | € 590,31            |

Uit dit overzicht wordt zondermeer duidelijk dat een verwarmingssysteem op basis van een lucht-waterwarmtepomp in een ongeïsoleerde woning zoals de modelwoning technisch en praktisch mogelijk is maar economisch onrendabel lijkt te zijn. Uiteraard speelt in een nadere afweging de ontwikkeling van de energietarieven een belangrijke rol. Een flinke stijging of daling van de energietarieven zal een groot effect hebben op de maandelijkse verbruikskosten en de terugverdientijden en investeringsruimte en dus op de financiële haalbaarheid van het verwarmingssysteem.

Bij deze conclusie wil ik echter een kanttekening plaatsen. Naast het economische aspect speelt er ook een maatschappelijk aspect, omdat deze all-electric variant, zeker bij toepassing op bredere

<sup>11</sup> De staartkosten bestaan uit BTW, bouwplaatskosten, bedrijfskosten, verzekering, winst en risico. Dit zijn staartkosten die door een aannemer ook geteld worden in een begroting, waardoor kostencalculatie de werkelijkheid zo dicht mogelijk benadert. Subsidies zijn in de staartkosten niet ingevuld omdat het aanvragen van de subsidies afhankelijk is van het aantal verbeteringen dat tegelijkertijd wordt uitgevoerd en het aantal labelsprongen dat wordt gemaakt door de verbeteringen. Dit voordeel kan dus nog wel van de totale kosten worden afgetrokken, waardoor de prijzen gunstiger kunnen worden dan dat ze nu zijn weergegeven.

schaal een zwaar beroep doet op de capaciteit van het distributienet en daarmee de benodigde omvang van netverzwaring (Zie ook bijlage 6).

## 4.2. Alternatieve scenario's

Naast bovenstaande kanttekening is mijn bezoek aan dhr. van der Eijk aanleiding om alternatieve scenario's te onderzoeken. Ondanks het feit dat de woning van dhr. van der Eijk niet op NOM-niveau is geïsoleerd, behaalt zijn warmtepomp meer dan voldoende rendement. Ook bij uitvoeren van een aantal testberekeningen bleek dat reductie van het warmteverlies het benodigd vermogen van de warmtepomp en de dimensionering van het warmte-afgiftesysteem sterk beïnvloedt.

Ik ben daarom gaan uitzoeken wat het effect is van het toevoegen van:

- Isolerende maatregelen
- Warmteterugwinning bij de ventilatie

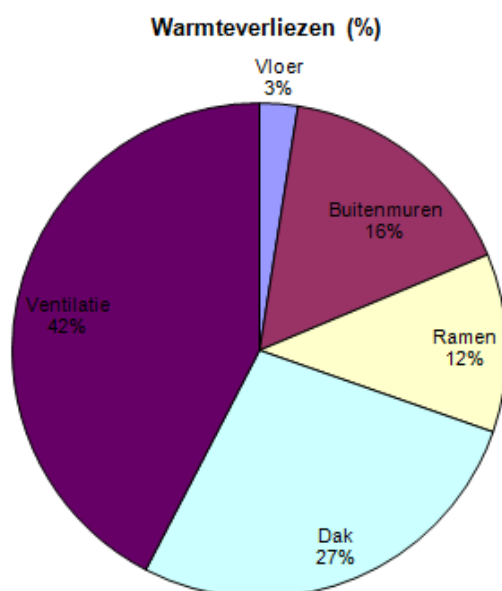
De combinatie van verschillende maatregelen heeft geleid tot het doorrekenen van 64 varianten op terugkerende en eenmalige kosten. Op basis van analyse van deze berekeningen heb ik 7 scenario's geselecteerd, die de basis kunnen vormen voor nieuwe pakketten voor de 'Menukaart' van Stichting Woonbedrijf. Deze scenario's zijn geselecteerd en gerangschikt op basis van het percentage warmteverlies uit het bovenstaande cirkeldiagram, het No-Regretprincipe<sup>12</sup> en realisatiegemak.

### Isolerende maatregelen

Om te beginnen heb ik middels literatuurstudie gezocht naar de ondergrens van isolatie voor het gebruik van een warmtepomp. Op de site

Warmtepomp-weetjes (Warmtepomp-weetjes, 2017) heb ik gevonden dat voor het plaatsen van een warmtepomp in een bestaande woning het aan te raden is om een specifiek warmteverlies van 75 W/m<sup>2</sup> of beter te hebben. Dit zegt echter nog steeds niks over een duidelijke isolatiewaarde van specifieke onderdelen van de woning.

Om te bepalen welke onderdelen potentieel het meeste kunnen bijdragen aan het beperken van het warmteverlies ben ik teruggegaan naar mijn oorspronkelijke warmteverliesberekening. In deze berekening wordt een verdeling gegeven van het warmteverlies per onderdeel. Deze verdeling is in de



Figuur 11. Cirkeldiagram warmteverlies van een woning

Het No-Regretprincipe is gebaseerd op het maken van investeringen die op korte of middellange termijn niet ongedaan hoeven te worden gemaakt, omdat ze worden vervangen door een betere optie. Een voorbeeld hiervan is het vervangen van glas in raam- en deurkozijnen. Het glas kan vervangen worden door HR++ isolatieglas, of door triple isolerend glas. Het No-Regretprincipe zegt dat de beste investeringskeuze het triple isolatieglas is omdat dit de beste isolatiewaarde heeft. De uitzondering hierop zou zijn dat het pand slechts een korte ( $\leq 15$  jaar) verlenging van de exploitatieduur krijgt, waardoor de meerkosten voor het triple glas wellicht onrendabel zijn t.o.v. de extra besparing over 15 jaar. Ook hier spelen energietarieven en het verschil in aanschafkosten weer een belangrijke rol in de berekening hoe rendabel de hogere investering werkelijk zal zijn.

figuur 11 weergegeven.

Uit deze grafiek blijkt dat ventilatie het grootste warmteverlies veroorzaakt, gevolgd door respectievelijk dak, buitenmuren en ramen. Het warmteverlies door ventilatie kan door plaatsing van een WTW-installatie worden gereduceerd, het warmteverlies via dak en buitenmuren kan door isolatie worden beperkt, het warmteverlies via de ramen door plaatsing van dubbel of triple isolerend glas. Om de benoemde ondergrens van  $75 \text{ W/m}^2$  te realiseren ben ik vervolgens op zoek gegaan naar de meest kosteneffectieve combinatie van deze mogelijke maatregelen.

Bij de isolatievarianten heb ik me beperkt tot verbeteringen die relatief makkelijk en goedkoop uit te voeren zijn en welke niet zeer ingrijpend zijn voor de bewoners. Hierdoor vallen hoogwaardige verbeteringen aan de gevel en het dak zoals je die ziet bij NOM-renovaties dus af. Consequenties van deze keuze zijn voor de gevel het grootst, omdat hierdoor eigenlijk alleen de bestaande spouw en de gevelopeningen kunnen worden gebruikt om warmteweerstand te verbeteren. De maximaal haalbare isolatiewaarde wordt hierdoor beperkt tot maximaal  $1,8 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$  voor de dichte gevel en  $1,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$  ( $U=0,8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ) voor de ramen (SBR CUR net, 2017).

Bij de keuze van uit te voeren verbeteringen op het vlak van isolatie en warmteterugwinning speelt de exploitatietermijn van de woning een doorslaggevende rol. Het is economisch niet rendabel om zware verbeteringen uit te voeren als sprake is van een beperkte exploitatieduur. Dit is feitelijk de basis van het No-Regretinvesteringsprincipe. Tijdens de uitvoering van mijn onderzoek is nog niet duidelijk wat de verlenging van de exploitatietermijn zal zijn voor de modelwoning. Daarom kies ik wat isolatie voor de 7 alternatieve scenario's betreft vanuit het No-Regretprincipe telkens voor de hoogst haalbare Rc-waarde **binnen** de bestaande constructie van de woning. Uit een kort onderzoek m.b.v. de warmteweerstand rekentool van SBR CUR net (SBR CUR net, 2017) en de kostenanalyse van Arcadis (Arcadis, 2016) blijkt dat de maximaal haalbare Rc-waarde als volgt zal zijn:

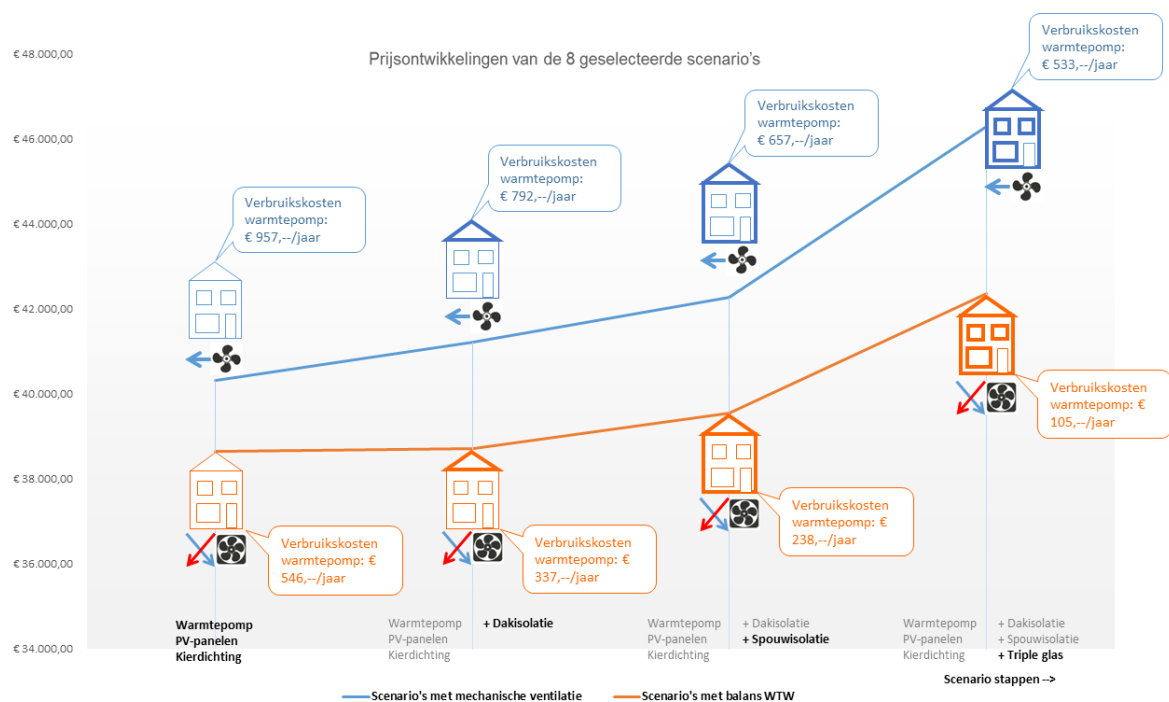
- Dak:  $R_c = 5,1$  met 120 mm PIR isolatie tussen de gordingen
- Gevel:  $R_c = 1,8$  met 60 mm KNAUF isolatie vlokken
- Glas:  $U=0,8$  met triple isolatieglas in de bestaande kozijnen
- Vloer:  $R_c = 3,8$  met 300 mm PS-schelpen in de kruipruimte

Uit het cirkeldiagram van figuur 11 blijkt dat de ventilatie het grootste percentage energieverlies veroorzaakt, daarna het dak en vervolgens de gevel met daarin eerst de dichte gevel en het glas. De vloer veroorzaakt in alle doorgerekende scenario's maar een klein percentage van het energieverlies, variërend van 1-6%. Daarmee lijkt de investering in vloerisolatie voor de modelwoning niet rendabel t.o.v. wat het aan besparing oplevert en neem ik vloerisolatie niet mee in de verdere uitwerking van de 7 alternatieve scenario's.

### *Warmteterugwinning bij de ventilatie*

Een opvallend feit uit de 64 berekeningen is de besparing op energieverlies die zich voordoet bij het gebruik van balansventilatie met WarmteTerugWin (WTW). De besparing in verbruikskosten met de WTW lijkt zelfs bijna even groot als de gecombineerde besparing van het dak, gevel en glas tezamen. Verder blijkt dat de beschreven ondergrens van  $75 \text{ W/m}^2$  bij de gekozen isolerende maatregelen alleen behaald kan worden wanneer ventilatie met WTW wordt toegepast.

De zeven scenario's zijn daarom onderverdeeld in twee reeksen, namelijk een reeks met mechanische afvoer ventilatie en een reeks met WTW. De natuurlijke ventilatie wordt dus in alle gevallen vervangen door mechanische ventilatie om een zo gezond mogelijk huis te verwezenlijken. Zeker door de toepassing van kierdichting en aanvullende isolatie zal de noodzaak van degelijke ventilatie stijgen. Vervolgens voeg ik in elke reeks in dezelfde volgorde dezelfde isolerende maatregelen toe. Hiermee wordt het verschil in prestaties tussen de 2 reeksen inzichtelijk en het financiële voordeel dat WTW geeft t.o.v. mechanische ventilatie. Het startscenario van de reeks met mechanische afvoer ventilatie is het eerste scenario dat ik in de voorgaande paragrafen heb uitgewerkt voor de modelwoning in zijn huidige staat van isolatie. Dit startscenario vul ik vervolgens aan met 3 vervolgsenario's met respectievelijk dakisolatie, spouwisolatie en isolerend glas. De tweede reeks start met een scenario waarin ik alleen de mechanische afvoer ventilatie vervang door ventilatie met WTW. Dit WTW-scenario vul ik vervolgens weer aan met 3 vervolgsenario's met respectievelijk dakisolatie, spouwisolatie en isolerend glas. In de figuur 12 zijn per reeks de effecten weergegeven van de ontwikkelingen in de som van investeringskosten en de jaarlijkse verbruikskosten per scenario.



Figuur 12. Infographic onderzoeksresultaten

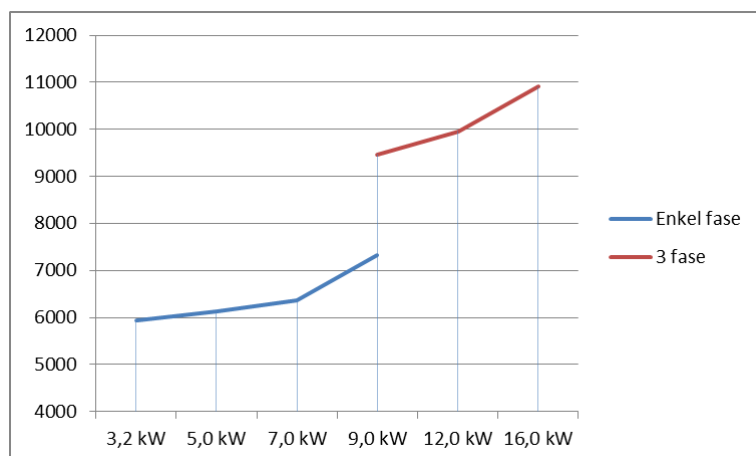


In onderstaande tabellen zijn de samenstellende elementen van de opeenvolgende scenario's nader gespecificeerd.

| Reeks met vraaggestuurde mechanische afvoerventilatie                         | Scenario 1                                                                         | Scenario 2                                                                         | Scenario 3                                                                         | Scenario 4                                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Installaties</b>                                                           | Warmtepomp 13,3 kW<br>LT radiatoren ( 45°)<br>Ventilatie<br>PV-panelen (16x275 Wp) | Warmtepomp 11,8 kW<br>LT radiatoren ( 45°)<br>Ventilatie<br>PV-panelen (16x275 Wp) | Warmtepomp 10,9 kW<br>LT radiatoren ( 45°)<br>Ventilatie<br>PV-panelen (16x275 Wp) | Warmtepomp 9,8 kW<br>LT radiatoren ( 45°)<br>Ventilatie<br>PV-panelen (16x275 Wp) |
| <b>Isolatie</b>                                                               | Kierdichting                                                                       | Kierdichting<br>Dak – Rc 5,1                                                       | Kierdichting<br>Dak – Rc 5,1<br>Spouw – Rc 1,8                                     | Kierdichting<br>Dak – Rc 5,1<br>Spouw – Rc 1,8<br>Glas – Triple U 0,8             |
| <b>Totale investeringskosten (inclusief staartkosten, exclusief subsidie)</b> | € 40.343,59                                                                        | € 41.253,23                                                                        | € 42.296,50                                                                        | € 46.323,32                                                                       |
| <b>Kosten installaties (exclusief staartkosten)</b>                           | € 27.227,95                                                                        | € 25.874,68                                                                        | € 25.713,93                                                                        | € 25.567,25                                                                       |
| <b>Kosten isolatie (exclusief staartkosten)</b>                               | € 876,32                                                                           | € 3.668,42                                                                         | € 4.672,96                                                                         | € 8.020,29                                                                        |
| <b>Elektriciteitsverbruik warmtepomp (na aftrek productie PV-panelen)</b>     | 5041 kWh                                                                           | 4121 kWh                                                                           | 3372 kWh                                                                           | 2686kWh                                                                           |
| <b>Verbruikskosten warmtepomp (na aftrek productie PV-panelen)</b>            | € 957,-- per jaar                                                                  | € 792,-- per jaar                                                                  | € 657,-- per jaar                                                                  | € 533,-- per jaar                                                                 |

| Reeks met vraaggestuurde afvoerventilatie met WTW                             | Scenario 1                                                                                | Scenario 2                                                                                | Scenario 3                                                                                | Scenario 4                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Installaties</b>                                                           | Warmtepomp 9,5 kW<br>LT radiatoren ( 45°)<br>Ventilatie met WTW<br>PV-panelen (16x275 Wp) | Warmtepomp 8,2 kW<br>LT radiatoren ( 45°)<br>Ventilatie met WTW<br>PV-panelen (16x275 Wp) | Warmtepomp 7,3 kW<br>LT radiatoren ( 45°)<br>Ventilatie met WTW<br>PV-panelen (16x275 Wp) | Warmtepomp 6,1 kW<br>LT radiatoren ( 45°)<br>Ventilatie met WTW<br>PV-panelen (16x275 Wp) |
| <b>Isolatie</b>                                                               | Kierdichting                                                                              | Kierdichting<br>Dak – Rc 5,1                                                              | Kierdichting<br>Dak – Rc 5,1<br>Spouw – Rc 1,8                                            | Kierdichting<br>Dak – Rc 5,1<br>Spouw – Rc 1,8<br>Glas – Triple U 0,8                     |
| <b>Totale investeringskosten (inclusief staartkosten, exclusief subsidie)</b> | € 38.676,73                                                                               | € 38.744,87                                                                               | € 39.581,00                                                                               | € 42.383,38                                                                               |
| <b>Kosten installaties (exclusief staartkosten)</b>                           | € 26.549,96                                                                               | € 24.101,99                                                                               | € 23.794,84                                                                               | € 22.782,84                                                                               |
| <b>Kosten isolatie (exclusief staartkosten)</b>                               | € 876,32                                                                                  | € 3.668,42                                                                                | € 4.672,96                                                                                | € 8.020,29                                                                                |
| <b>Elektriciteitsverbruik warmtepomp (na aftrek productie PV-panelen)</b>     | 2755 kWh                                                                                  | 1596 kWh                                                                                  | 1044 kWh                                                                                  | 308 kWh                                                                                   |
| <b>Verbruikskosten warmtepomp (na aftrek productie PV-panelen)</b>            | € 546,-- per jaar                                                                         | € 337,-- per jaar                                                                         | € 238,-- per jaar                                                                         | € 105,-- per jaar                                                                         |

De in de specificatietabellen opgenomen waarden voor de warmtepomp betreffen het berekend benodigd vermogen op basis van de warmteverliesberekening. In onderstaande grafiek (figuur 13.) is

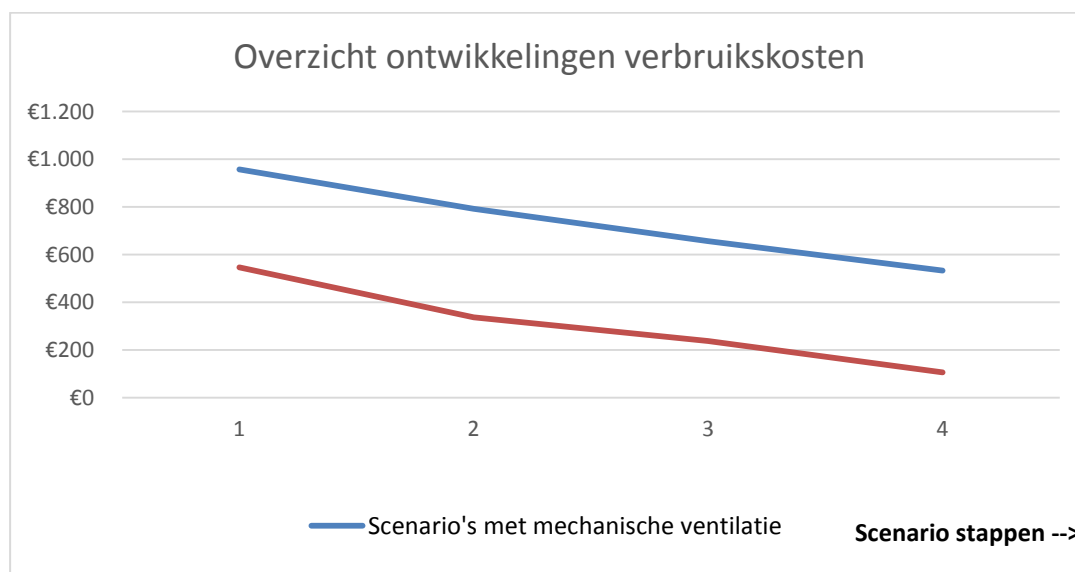


**Figuur 13. Grafiek ontwikkeling aanschaffkosten warmtepompen Panasonic**

weergegeven welke warmtepompen uit de productcatalogus van Panasonic (Panasonic, 2017) nodig zijn om het berekend benodigd vermogen te leveren. De kosten van deze modellen zijn meegenomen in de investeringsbegroting.

Wat de dimensionering van de LT-radiatoren betreft, heb ik er voor gekozen de afgiftetemperatuur van de warmtepomp van te handhaven op 45°C. Een vermindering van de warmtevraag (door isolatie) maakt in principe een verlaging van de afgiftetemperatuur naar 35°C mogelijk, maar de kosten van dit type radiatoren liggen fors hoger van het 45°C –type van Jaga (Jaga, 2017). Bij een warmtevraag van 1400 W zou bij afgiftetemperatuur van 35°C en een raam van 2,5 m breed een radiator moeten worden geplaatst van €1322,20. Bij een afgiftetemperatuur van 45°C zou dit nog maar €436,50 zijn. Dit is een besparing van €885,70 op een enkele radiator, die met een geringe toename in verbruikskosten kan worden gerealiseerd.

Tenslotte heb ik in onderstaande grafiek (figuur 14.) de ontwikkeling in verbruikskosten, zoals ook verwerkt in de infographic en de specificatietabellen, ook nog een keer apart weergegeven. Nogmaals dit betreft het verbruik na aftrek van de productie van de PV-panelen.



**Figuur 14. Overzicht ontwikkeling verbruikskosten**

### 4.3. Conclusies rekenmodel

Eer zijn een aantal conclusies te trekken uit het rekenmodel:

#### 1. Toepassing van WTW bij ventilatie heeft een grote positieve impact op verbruik- en investeringskosten

- Impact op de verbruikskosten: het verbruik bij het eerste scenario van de WTW-reeks is bijna even laag als het verbruik uit de reeks met mechanische ventilatie bij scenario 4, het scenario waarin 3 isolerende maatregelen zijn toegepast.
- Impact op de totale investeringskosten: hoewel de kosten van de ventilatie door toevoeging van de WTW-installatie stijgen, is het effect op het warmteverlies en daarmee op het berekend benodigd vermogen van de warmtepomp en de dimensionering van het afgiftesysteem zo groot, dat de totale investeringskosten lager liggen dan de totale investeringskosten van scenario 1 uit de reeks met mechanische ventilatie.

Met andere woorden: met een investering van maximale van ong. €1.708,53 t.o.v. mechanische ventilatie kan zowel een besparing worden gerealiseerd €1.666,86 op de totale investeringskosten en een besparing van ong. €411,-/jaar kunnen ontstaan op de jaarlijkse energierekening.

Een belangrijke kanttekening hierbij is wel dat het in praktische zin moeilijk of ongewenst kan zijn om een balansventilatie met WTW aan te brengen in bestaande bouw. Dit komt door het ruimteverlies dat het gevolg is van de dubbele set ventilatiekanalen, die door het hele huis aangelegd moeten worden. Dit kan het nodige hak- en breekwerk met zich meebrengen en de leidingen moeten vaak ook achter een koof worden weggewerkt. Daarnaast wordt bij vormen van mechanische ventilatie vaak geklaagd over lawaai en tocht en bij balansventilatie met WTW ook over het vervangen van de filters (RVO, 2017). Het is aan te raden om goed te overleggen met bewoners over het plaatsen van installaties zodat ze weten waarom ze iets krijgen en wat ze hierbij kunnen verwachten. Zo bestaat er het hardnekkige misverstand dat bij balansventilatie met WTW de ramen niet meer mogen worden geopend. In artikel op Lente-Akkoord.nl (Lente-akkoord, 2016) wordt door verschillende experts het misverstand ontkracht. Het artikel geeft buiten de concrete inhoud ook aan dat het belangrijk is om duidelijk en vooral klantgericht te communiceren.

Een mogelijk alternatief voor het plaatsen van balansventilatie met de dubbele ventilatiekanalen zou het Climarad-systeem (Climarad, 2017) kunnen zijn. Dit systeem combineert decentrale ventilatie met WTW én verwarming. Hierdoor zijn er minder toevoerkanalen nodig en kan er toch een vorm van WTW worden gebruikt. Het Climarad-systeem is echter wel duur, waardoor het alleen toegepast zou moeten worden wanneer het aanleggen van de ventilatiekanalen grote problemen gaat opleveren.

#### 2. Toevoeging van beperkte isolatie heeft geen of beperkte impact op de investeringskosten en een substantiële impact op de verbruikskosten

- Impact op de totale investeringskosten: door het effect van verschillende isolerende maatregelen op het warmteverlies en daarmee op het berekend benodigd vermogen van de warmtepomp en de dimensionering van het afgiftesysteem, worden de kosten voor het realiseren van de gewenste isolatie gedeeltelijk gecompenseerd door de besparing op de kosten aan de installatiezijde. Doordat er ook nog een positief effect optreedt op de

staartkosten, bedraagt het verschil tussen scenario 1 en 2 in de WTW-reeks slechts €68,14. En ook scenario 3 van de WTW-reeks is slechts €904,27 duurder als scenario 1, en nog altijd goedkoper van scenario 1 van de reeks zonder WTW.

- Impact op de verbruikskosten: in beide reeksen dalen de verbruikskosten bij toevoeging van isolerende maatregelen in dezelfde mate. Naast het niet te verwaarlozen maatschappelijk effect wat betreft de benodigde capaciteit van het distributienet, biedt een besparing op de verbruikskosten ook een economisch voordeel. Hoe groter de besparing, hoe meer ruimte er ontstaat om de besparing aan te wenden voor financiering van de investeringskosten.

Met andere woorden: met een aanvullende investering van maximaal €7.143,97 ten opzichte van scenario 1 in beide reeksen kan een besparing worden gerealiseerd van €424,-- (bij reeks zonder WTW) tot €441,-- (bij reeks met WTW), terwijl de kosten voor de totale investering niet evenredig stijgen. Hierbij is een belangrijke aanvulling dat de verbruikskosten van de WTW-reeks op bijna hetzelfde kostenniveau start als waar de reeks zonder WTW eindigt.

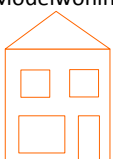
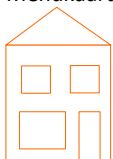
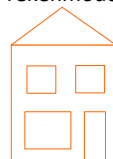
Wat in deze afweging nog niet is meegenomen, maar wel een belangrijke rol speelt bij de strategische afweging is de al eerder benoemde exploitatietermijn. Vanuit het No-Regretprincipe zou het onlogisch zijn om alleen te investeren in installaties, wanneer een relatief kleine investering in isolatie een flinke besparing kan realiseren in aanschaf- en verbruikskosten van de installaties. Zeker wanneer de exploitatietermijn langer dan 30 jaar wordt. Isolatie is echt een eenmalige investering, terwijl de installaties in een exploitatietermijn van 45 jaar of meer minimaal 1 keer moeten worden vervangen door hun afschrijftermijn van 15/25 jaar. In het ongeïsoleerde scenario gaat het hierbij ook nog eens om veel hogere kosten (door de grotere benodigd vermogen van de warmtepomp) als bij de scenario's met isolatie. Hoe beter geïsoleerd hoe lager de kosten voor vervanging van de warmtepomp.

## Positionering scenario's rekenmodel

Om een duidelijk beeld te krijgen waar de scenario's uit mijn rekenmodel staan binnen het "landschap" van bestaande concepten heb ik ook een berekening gemaakt van de modelwoning in de huidige staat, een renovatie conform pakket 1 en pakket 4 (niveau NOM-renovatie) van de Menukaart van Stichting Woonbedrijf.

Wat de pakket 4-renovatie betreft moet ik een kanttekening plaatsen. De berekening van deze renovatie is gebaseerd op een aanvulling op de reeds gerealiseerde isolatie van de scenario's uit het rekenmodel. De aanvullende isolatie van gevel en dak wordt daarom over de bestaande nageïsoleerde constructie heen gezet. De kosten zijn daardoor minder goed te vergelijken met eerdere aanbestedingen voor NOM-renovaties.

Wat in de berekening opvalt is dat er bij de pakket-4-renovatie bij het elektraverbruik van de warmtepomp een negatief getal vermeld staat. De opbrengst van de PV-panelen dekt welliswaar het verbruik van de warmtepomp af, maar waarschijnlijk niet de volledige energiebehoefte van het huishouden. In letterlijk zin is er bij deze modelwoning dus geen sprake van 0 op de meter.

|                               | Modelwoning<br> | Pakket 1 Menukaart<br> | Startscenario rekenmodel<br> | Scenario laagste warmteverlies<br> | Pakket 4 'NOM-scenario'<br>             |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Isolatie                      | - Dak: geen<br>- Gevel: geen<br>- Vloer: geen<br>- Glas: dubbel glas (U = 2,4)                    | - Dak: geen<br>- Gevel: geen<br>- Vloer: geen<br>- Glas: dubbel glas (U = 2,4)                           | - Dak: geen<br>- Gevel: geen<br>- Vloer: geen<br>- Glas: dubbel glas (U = 2,4)<br>- Kierdichting               | - Dak: Rc 5,1<br>- Gevel: Rc 1,84<br>- Vloer: geen<br>- Glas: Triple glas (U = 0,8)<br>- Kierdichting                  | - Dak: Rc 6<br>- Gevel: Rc 4,5<br>- Vloer: Rc 3,8<br>- Glas: Triple glas (U = 0,8)<br>- Isolerende deuren<br>- Kierdichting |
| Installatie                   | - HR107 CV-ketel (al aanwezig)                                                                    | - HR107 CV-ketel<br>- Gelijkstroom mechanische ventilatie                                                | - Lucht-waterwarmtepomp 13,3 kW<br>- PV-panelen (16 x 275 Wp, 3500 kWh/jaar)<br>- Vraaggestuurde ventilatie    | - Lucht-waterwarmtepomp 7 kW<br>- PV-panelen (16 x 275 Wp, 3500 kWh/jaar)<br>- Balans ventilatie met WTW               | - Lucht-waterwarmtepomp 5 kW<br>- PV-panelen (16 x 275 Wp, 3500 kWh/jaar)<br>- Balans ventilatie met WTW                    |
| Gasverbruik (m <sup>3</sup> ) | 1400-2100                                                                                         | 1400-2100                                                                                                | 0                                                                                                              | 0                                                                                                                      | 0                                                                                                                           |
| Eextra elektraverbruik (kWh)  | -                                                                                                 | -                                                                                                        | +5041*                                                                                                         | +308*                                                                                                                  | -427*                                                                                                                       |
| Investeringskosten            | € 0                                                                                               | € 1.886,20                                                                                               | € 39.473,89                                                                                                    | € 42.383,38                                                                                                            | € 61.736,51                                                                                                                 |

\* Na aftrek productie PV-panelen.

## 5. Beantwoording onderzoeksvragen

Hoofdvraag:

Wat is in praktijk de toepasbaarheid van warmtepompsystemen die Stichting Woonbedrijf heeft voorgeschreven aan de hand van de 'Menukaart' van D. Garufi, om een aardgasloze en energieneutrale woning te realiseren?

Hypothese:

**"Een warmtepomp is in een bestaande, ongeïsoleerde woning toe te passen zonder eerst de Trias Energetica te hanteren."**

Het antwoord bestaat uit 3 facetten

- **Technisch:** Zuiver technisch is een warmtepomp wel toe te passen in een ongeïsoleerde of slecht geïsoleerde woning. Door een zware warmtepomp toe te passen (13,3 kW in de modelwoning) en een groot gedimensioneerd afgiftesysteem voor LT verwarming is volgens mijn rekenmodel zelfs in koude winterdagen van -10°C het huis warm te houden. Hier komt echter wel een hoog stroomverbruik bij kijken van 8541 kWh/jaar voor alleen de warmtepomp. Dat betekent dat het stroomverbruik voor verlichting en apparaten hier nog bij komt. PV-panelen kunnen het verbruik dempen. Het beschikbare dakoppervlak van de modelwoning beperkt de potentiële opbrengst van de panelen echter tot maximaal 3500 kWh/jaar (max. 16 panelen van 275 Wp), waardoor de woning niet zelfvoorzienend kan zijn in zijn energiebehoefte. De precieze opbrengst van de PV-panelen is afhankelijk van de oriëntatie van de panelen en de hoeveelheid direct zonlicht dat ze krijgen. De grootte van de LT-radiatoren kan worden verminderd door de afgiftetemperatuur te verhogen van 35°C naar 45-50°C. Binnen de casus van de modelwoning is het absolute noodzaak de afgiftetemperatuur te verhogen naar 45°C omdat de LT-radiatoren anders niet te plaatsen zijn (zie verder bij de invalshoek praktisch). Bij de toepassing van balansventilatie met WTW en kierdichting is een aanzienlijk deel van het warmteverlies te beperken, wat een gunstig effect heeft op zowel de benodigde grootte van het afgiftesysteem, als het benodigde vermogen van de warmtepomp.

Isolatie heeft net als de WTW een gunstig effect op zowel het benodigd vermogen van de warmtepomp als op de grootte van het afgiftesysteem. Doordat het effect van het toepassen van isolatie vanaf de eerste Rc-waardes het grootst is (zie figuur 7), kan bij het ongeïsoleerde scenario een relatief kleine investering in isolatie al een groot effect hebben. Zo kan het naïsoleren van de spouw, de ruimtes tussen de dakgordingen en het plaatsen van HR++ of triple glas in combinatie met WTW het vermogen en verbruik van de warmtepomp meer dan halveren. In combinatie met PV-panelen wordt het verbruik door de warmtepomp in de modelwoning zelfs teruggebracht naar ongeveer 308 kWh/jaar (inclusief besparing PV-panelen).

Hoewel het technisch mogelijk is om een lucht-waterwarmtepomp toe te passen in een ongeïsoleerde woning, en daarmee de aardgasloze ambitie dus kan worden bereikt, is het zelfs met de vastgestelde isolatie-opties binnen het rekenmodel niet mogelijk een energieneutrale woning te bereiken. Het stroomverbruik van de warmtepomp blijft te hoog

om deze volledig te compenseren met de geselecteerde PV-panelen van 275 Wp. Met panelen die een hogere Wp kunnen leveren is het resterende verschil op den duur wel te overbruggen. De ontwikkeling gaat in een hoog tempo door, waardoor het aannemelijk is dat scenario 4 uit de WTW-reeks van het rekenmodel binnen de gestelde tijdsgrens van 2050 eenvoudig energieneutraal te maken zijn.

- **Praktisch:** De dimensionering van het afgiftesysteem wordt belemmerd door de beschikbare ruimte onder de kozijnen. Deze ruimte is niet erg groot in de modelwoning (ongeveer 600 mm in de woonkamer). Dit maakt het noodzakelijk in het ongeïsoleerde scenario een hogere afgiftetemperatuur te gebruiken. Het gebruik van wand- en of vloerverwarming is geen praktische keuze omdat de aanleg van de systemen veel overlast met zich mee kan brengen voor de bewoners en de ophoging van de vloer problemen geeft met deuren en trappen.

De aanleg van balansventilatie kan problematisch zijn in bestaande bouw omdat er twee kanalen per geventileerde ruimte nodig zijn voor het systeem. Voor deze kanalen moet ruimte zijn of gemaakt worden. Een oplossing hierin kan het Climarad-systeem zijn. Het systeem combineert verwarmingsradiatoren met een decentrale ventilatieunit met WTW. Hierdoor kunnen kanalen naar die ruimtes vervallen. De kosten voor dit systeem zijn echter aanzienlijk hoger dan LT-radiatoren met een vergelijkbaar vermogen (€ 1.930,- tegenover € 340,-). Mijn advies is om Climarad alleen spaarzaam in verblijfruimtes te gebruiken vanwege de hoge aanschaffkosten. Wanneer bijvoorbeeld de aanleg van kanalen voor grote problemen zorgt zou het systeem uitkomst kunnen bieden.

Ook bij de keuze van de isolatie-opties hebben praktische overwegingen een belangrijke rol gespeeld. Vanuit overwegingen als relatief makkelijk uitvoerbaar en mate van overlast voor de bewoners, heb ik telkens gekozen voor de hoogst haalbare Rc-waarde **binnen** de bestaande constructie van de modelwoning.

- **Economisch:** Samenvattend is het kostenplaatje van het scenario waar alleen een warmtepomp en PV-panelen bij de modelwoning worden toegepast (scenario 1 van de reeks zonder WTW): € 40.343,59 voor de totale investeringskosten, met verbruikskosten van €957,-/jaar (€ 1.588,-/jaar zonder PV-panelen). Hierbij is het afgiftesysteem een belangrijke variabele in de kosten. Daarnaast zorgen PV-panelen voor een significante reductie in de verbruikskosten. WTW kan net als isolatie zorgen voor reductie in investeringskosten en in verbruikskosten. De meeste investeringskosten zitten toch in installatiewerkzaamheden.

De totale kosten voor uitvoering van de verschillende scenario's stijgt niet evenredig hard als de isolatiekosten omdat er door de isolatie een minder zware warmtepomp en een minder groot afgiftesysteem nodig is. De lagere kosten voor het verwarmingssysteem dempen de kosten voor de isolatiewerkzaamheden (bij een langere exploitatietermijn wordt dit effect alleen maar beter).



## 5.1. Deelvragen

- Wat is de Total cost of ownership van de warmtepompsystemen?

De warmtepomp als installatie is niet los te zien van aanvullende maatregelen als kierdichting, ventilatie en PV-panelen. De kostencalculatie van de verschillende scenario's is uitgewerkt in de tabellen in paragraaf 4.2 en bijlage 11.

- Wat zijn de effecten en grenswaarden die moeten worden aangehouden voor comfortbehoefte en gebruik(sgedrag)?

Comfort is heel moeilijk te kwantificeren. Het is een behoefte die voor iedere persoon verschillend is. Daarom wordt er vaak voor gekozen om een gemiddelde grenswaarde of bereik te gebruiken waar de prestaties van een systeem binnen moeten vallen. Zo wordt bijvoorbeeld voor de binnentemperatuur van een woonkamer gemiddelde grenswaarde van 21°C aangehouden. Een andere manier om te bepalen of aan de comfortbehoefte binnen een woonkamer wordt voldaan is om te bepalen hoe vaak de temperatuur van de woonkamer buiten een bepaald bereik valt. In dit geval zou dat betekenen dat het aantal dagen geteld wordt waar de binnentemperatuur boven de 24° of onder de 18°C komt. Binnen mijn rekenmodel heb ik ervoor gekozen om de comfortbehoefte op te nemen als een vaste waarde, namelijk dat een binnentemperatuur van 20° altijd gewaarborgd moet blijven. Om deze rede reken ik in de warmteverliesberekening met een buitentemperatuur van -10°C. Deze buitentemperatuur zal maar zeer sporadisch voorkomen gedurende een jaar, maar het verwarmingssysteem is zo ontworpen dat er voldoende vermogen is om bij -10°C toch voldoende warmte af te kunnen geven. Zo neem ik alsnog comfort mee binnen mijn rekenmodel.

Ook gebruiksgedrag heeft een brede range aan afwijkingen t.o.v. de bepaalde gemiddelden. Het belangrijkste effect wat ik ben tegengekomen op het gebied van gebruiksgedrag is het 'rebound-effect'. Dit effect wordt gedeeltelijk zichtbaar in figuur 4, waarin de verschillen tussen theoretisch en werkelijke CO<sub>2</sub>-uitstoot wordt afgebeeld. De trend die in de grafiek zichtbaar is herhaalt zich in de grafiek die het verschil in theoretisch en werkelijk gasverbruik weergeeft.

- Wat is er voor nodig om woningen met warmtepompen zelfvoorzienend te maken in hun eigen gebouwgebonden energievoorziening?

De modelwoning kan niet zelfvoorzienend gemaakt worden binnen de initiële scenario's die ik heb doorgerekend in mijn rekenmodel. Met de beperkte isolatie die binnen de constructie van de modelwoning kan worden toegepast en het beperkte dakoppervlak dat beschikbaar is voor PV-panelen, is het elektriciteitsverbruik over een jaar gezien niet terug te brengen naar nul. In het meest gunstige geval kan echter wel het grootste deel van het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp zelf worden ondervangen (tot 308 kWh/jaar).

Zelfs wanneer de modelwoning wordt verbeterd naar het NOM-pakket uit de 'Menukaart' van Stichting Woonbedrijf is het totale elektriciteitsverbruik (dit is het energiegebruik inclusief het verbruik van apparaten en verlichting) niet volledig te compenseren uit de toepassing van PV-panelen (zie tabel Positionering scenario's uit paragraaf 4.3). Daarnaast zal buurtbrede toepassing van "zware" All-Electric-scenario's een zeer ongunstig effect hebben op de benodigde capaciteit van

het net en extra netverzwaring noodzakelijk maken. Wanneer hierdoor de energiekosten hard gaan stijgen, zal de rendabiliteit van de verwarmingssystemen ook snel veranderen.

- Hoe zijn de warmtepompsystemen te verbeteren of aan te vullen door andere installaties of technieken?

Er zijn verschillende manieren om een warmtepompsysteem te verbeteren:

**PV-panelen:** Met PV-panelen kan een belangrijke reductie in zowel gebouwgebonden als niet-gebouwgebonden energieverbruik worden gerealiseerd. PV-panelen zijn ondertussen al betrouwbare producten met een goede opbrengst, waar ook nog steeds veel ontwikkeling in plaats vindt. Bij de modelwoning is met 16 panelen van 275 Wp per paneel is toch al snel een opbrengst van 3500 kWh/jaar te realiseren.

**Zonneboiler:** Naast PV-panelen kan een zonneboiler verlichting bieden voor de werklust van de warmtepomp. Door het verwarmde water van de zonneboiler hoeft de warmtepomp minder hard te werken waardoor het verbruik zal dalen. De vraag is wat rendabeler is om toe te passen, PV-panelen of zonneboiler. Hoewel ik hier geen concrete cijfers kan geven, heeft de elektriciteitsproductie van PV-panelen een breder toepassingsgebied dan alleen warmte. Daarnaast lijkt de opbrengst van PV-panelen nog steeds gestaag te stijgen. De opbrengst van de zonneboilers groeit in verhouding minder hard (CE Delft, 2013). Daarom lijkt een investering in PV-panelen een verstandigere keus.

**Isolatie:** Hoewel het een vraag was van gemeente Eindhoven en Stichting Woonbedrijf om mij niet te richten op isolatie binnen mijn onderzoek, kan het toch voor een behoorlijke besparing in zowel investerings- als verbruikskosten realiseren. Het rekenmodel laat zien dat met relatief lage investeringen in isolatie het verbruik van de warmtepomp, in combinatie met PV-panelen, terug te dringen is naar 308 kWh/jaar. De investering in isolatie bedraagt in de meest vergaande scenario's in totaal van € 8.020,29. In procenten van het totale investeringsbedrag is dit 17,3 % van de totale investeringskosten bij de reeks zonder WTW en 18,9% bij de reeks met WTW.

**WTW:** Warmte Terug Winning lijkt een groot effect te hebben op verbruik- en investeringskosten, maar er lijkt ook een aanzienlijk risico aan de installatie te hangen wat betreft acceptatie en gebruik. Het goed informeren van gebruikers zal cruciaal zijn in de acceptatie van de installatie, waarbij de focus op gezondheid van zowel woning als gebruiker zou moeten liggen, met daarnaast de mogelijke besparingen in verbruik. Wanneer het aanleggen van het systeem op bouwkundig niveau een groot probleem geeft, zijn er alternatieve systemen beschikbaar (Climarad) die uitkomst kunnen bieden. Echter is het aan te raden om vooralsnog spaarzaam met deze alternatieven om te gaan door de relatief hoge kosten van deze alternatieve systemen. Maar ook hier staan de ontwikkelingen niet stil en mag verwacht worden dat er de komende jaren innovaties

zullen plaatsvinden en/of prijzen zich zullen ontwikkelen.

Een nuttige praktische oplossing voor de plaatsing van de



Figuur 15. Voorbeeld HydroCap

warmtepomp zou het HydroCap systeem van Dutch Heatpump Solutions (DHS, 2017) kunnen zijn. Dit is een prefab schoorsteen die boven op een dak kan worden gemonteerd, waar de buitenunit van een warmtepomp in zit verwerkt. Hierdoor hoeft de buitenunit niet de tuin te worden geplaatst en wordt de kans op geluidsoverlast van de buitenunit geminimaliseerd.

Als laatste kan met de afgevoerde lucht van WTW, mechanische afvoer, en eventueel ook met warme luchtstromen onder PV-panelen het rendement van de warmtepomp positief beïnvloed worden, door de restwarmte van de systemen zoveel mogelijk langs de buitenunit van de luchtwarmtepomp te leiden. Hier zijn nog geen concrete cijfers van, maar er zijn systemen die van dit principe met PV-panelen gebruik maken (DHS, 2017).



**DHS Hydrotop binnen- en buitenunit**

**Figuur 16. Voorbeeld HydroTop**

## 6. Aanbevelingen

Mijn voornaamste aanbeveling is om het scenario met warmtepomp, WTW, dakisolatie, spouwisolatie en triple isolerend glas toe te voegen aan de 'Menukaart'. Het model zou zich op basis van de besparing in energiekosten tussen de 30 en 42 jaar terugverdienen (afhankelijk van het gasverbruik van 1400 tot 2100 m<sup>3</sup>). Het scenario kan een grote stap vormen richting een aardgasloze gebouwde omgeving.

Gezien de maatschappelijke effecten (zoals netverzwaring) en de beperktere terugverdienmogelijkheden zijn de andere scenario's, weliswaar technisch haalbaar, maar in mijn ogen geen serieuze optie.

Als derde wil ik aanbevelen nader onderzoek te doen naar de mogelijkheden voor collectieve oplossingen, zowel op het vlak van energiewinning als energieopslag. Lokale collectieve oplossingen, zoals bijvoorbeeld een grond-warmtepomp, kunnen het rendement van woninggebonden oplossingen, sterk verbeteren en de kosten van investering en gebruik positief beïnvloeden. Dit vraagt niet alleen om innovatie, maar ook om een goede analyse van de woonomgeving om beschikbare mogelijkheden optimaal te benutten en het aanpassen van bestaande regelgeving ten aanzien van de rol / functie van woningcorporaties.

Als vierde wil ik aanbevelen het rekenmodel door te ontwikkelen, door het te versimpelen en automatiseren, zodat het als tool gebruikt kan worden voor het vinden van de beste oplossingen voor een woning, buurt of blok.

Mijn vijfde aanbeveling is gericht op het principe van de 'Natural Step' die Stichting Woonbedrijf volgt. Daarin wordt bijvoorbeeld gesteld om zoveel mogelijk natuurvriendelijke materialen te gebruiken binnen renovaties en verbouwingen. Echter heb ik mij in mijn onderzoek gericht op de hoogst haalbare Rc-waarde, waardoor de keuze vaak op milieuonvriendelijke materialen als EPS en PIR-schuim is gevallen. Er zou vanuit de 'Natural Step' gezocht kunnen worden naar milieuvriendelijkere materialen die een vergelijkbaar resultaat kunnen realiseren.

De zesde aanbeveling heeft betrekking op de samenstelling van het pakket aan installaties: er zou nader onderzoek kunnen worden gedaan naar het effect van zonneboilers ter ondersteuning van het warmtepompsysteem en naar alternatieve ventilatiesystemen die het principe van warmteterugwinning hanteren. De scenario's die ik heb gevonden zijn nog niet ideaal en kunnen zeker nog verbeterd worden met aanvullende of alternatieve systemen.

De zevende aanbeveling heeft te maken met de juiste keuze van het systeem en het beschikbare vermogen van dit systeem. Veel alternatieve verwarmingssystemen zijn in hun rendement sterk afhankelijk van hun omgeving. De hoeveelheid (directe) zonuren, de buitentemperatuur of de wensen van bewoners. Als een installatiesysteem minimaal wordt gedimensioneerd om in kosten te sparen, bestaat het gevaar dat het systeem extreme uitschieters niet kan opvangen en daardoor afslaat of nog erger, kapot gaat. Dit brengt buiten het ongemak ook een hoop ongewenste kosten

| Renovatie 25-35 Jaar                  |                        |
|---------------------------------------|------------------------|
| Pakket 3b                             |                        |
| Dak: Rc-waarde 5,0 m <sup>2</sup> K/W | n                      |
| Dak: Rc-waarde 5,0 m <sup>2</sup> K/W | n                      |
| Spouwmuurisolatie 50 mm Rc 1,47       | n                      |
| Trippel                               | Trippel                |
| WTW gelijkstroom                      | WTW gelijkstroom       |
| Warmtepomp lucht water                | Warmtepomp lucht water |
| Beide zijde dak vullen                |                        |
|                                       | X                      |
|                                       | X                      |
|                                       | X                      |

Figuur 17. Voorstel nieuw pakket 'Menukaart'

met zich mee die wellicht voorkomen hadden kunnen worden door het meenemen van grotere veiligheidsfactoren.

Aanbeveling acht heeft betrekking op een meer fundamenteel punt: veel mogelijkheden en initiatieven worden nog afgewogen aan de hand van huidige normen en waarden over bijvoorbeeld kosten en gebruikerswensen. Er zal een paradigmaverschuiving moeten plaatsvinden in hoe we met verduurzaming omgaan en welke kosten hierin rendabel zijn. Zo worden op dit moment kosten nog vaak afgewogen tegen situaties die gebaseerd zijn op het verwarmen met aardgas, omdat dit nog beschikbaar/aanwezig is en goedkoper is dan de beschikbare alternatieven. Maar kunnen we een prijskaartje hangen aan het feit dat milieu steeds verder afsterft? Hoeveel geld is het waard om mensen een gezondere en comfortabelere leefomgeving te geven? Aan de andere kant kun je aan mensen ook niet vragen om meer geld uit te geven dan dat ze kunnen missen om zichzelf in hun basisbehoeften te voorzien.

Mijn laatste aanbeveling heeft betrekking op de publieke of gebruikerscomponent. Het is allereerst van belang om mensen bewust te maken. Bewust maken van de noodzaak, van de mogelijkheden en de bijbehorende consequenties. Hierdoor kunnen gebruikers/bewoners meepraten over hun wensen en behoeften en kunnen ze zelf waarde toekennen aan de mogelijke opties. Hierdoor kan het succes van de gekozen alternatieven ook beter gewaarborgd worden, omdat mensen dan achter het concept staan waar ze voor gekozen hebben. Mensen snappen hierdoor ook waar ze in investeren en wat het hen kan opleveren. Zo is uit verschillende onderzoeken gebleken dat mensen wel bereid zijn te investeren in maatregelen die het wooncomfort of gezondheid verbeteren, maar wanneer alleen gepraat wordt over de voordelen voor de natuur, dezelfde investeringen minder hoog gewaardeerd worden (Agentschap NL, 2012).

Hierbij hoort ook mensen bewust maken van een correcte uitvoering. Professionals als het gaat om de kwaliteit na uitvoering, Gebruikers over de mogelijkheden, bediening en onderhoud van installaties voor verwarming en luchtverversing. Zo wordt steeds meer bekend over het degelijk uitvoeren van isolatie. Kleine 'foutjes' in isolatiewerkzaamheden kunnen een proportioneel gigantisch effect hebben op de uiteindelijke prestaties van de isolatie. En wanneer de isolatiewerkzaamheden rond de helft tot tweederde van de kosten beslaan van een energieneutrale renovatie, is een correcte uitvoering cruciaal voor de uiteindelijke prestaties en de bijbehorende kosten-baten afweging. Het uitvoeren van controles tijdens het bouwproces met behulp van een infrarood-camera en eventueel een endoscoop en een rooktest kan al veel inzicht geven in de kwaliteit van de isolatie en de tocht dichting en nodige verbeterpunten. Op deze manier kunnen de beloofde prestaties van de isolatie beter worden gegarandeerd en kan noodzaak tot verder isoleren verminderen.

Ook het juist inregelen of programmeren van het installatiesysteem is van groot belang voor de uiteindelijke prestaties die het gekozen systeem kan leveren. Een systeem dat verkeerd is ingeregeld kan ondermaats presteren of juist sneller kapot gaan. Dit resulteert vaak in belangrijke klachten op het gebied van kosten en comfort. Het is dus van belang dat mensen snappen wat ze van een systeem kunnen verwachten, maar ook dat ze kunnen overbrengen aan welke waardes een systeem voor hen moet voldoen. Dit geldt ook voor de monteurs, die in staat moeten zijn om de installatie juist in te regelen zodat het systeem optimaal kan werken.

## Begrippenlijst

Aardgasloos: de ambitie aardgasloos is, zoals in de opdrachtomschrijving al wordt benoemd, een landelijk initiatief om geen aardgas (of fossiele brandstoffen) meer te gebruiken voor warmteopwekking in een woning. Dit houdt in dat er geen aardgas meer mag worden gebruikt voor de verwarming van ruimtes en water en er niet meer wordt gekookt op een gasfornuis. Hier zullen dus (duurzame) alternatieven voor moeten worden gevonden. Deze ambitie wordt o.a. benoemd in de nieuw gepresenteerde landelijke Energieagenda van december 2016.

Energiebron: iets wat energie levert of een leverancier van warmte of kracht (Van Dale, 2017).

Energiedrager: Medium dat bruikbare energie bevat. Primaire dragers zijn fossiele brandstoffen, uranium en zon. Secondaire dragers zijn geconverteerd naar bijvoorbeeld elektriciteit, benzine en warmte. De laatste kan worden ingezet in de vorm van hete lucht of getransporteerd met intermediaire dragers als stoom of thermische olie (ECN, 2017).

Energieneutraal: dit begrip (Infoblad Energieneutraal bouwen: definitie en ambitie, 2015) beschrijft dat men in het algemeen over energieneutraal praat wanneer in een gebouw of gebied het energiegebruik door fossiele brandstoffen wordt gecompenseerd door daar geproduceerde duurzame energie. Zoals het rapport vervolgens ook meldt, is belangrijk om hierbij op te merken dat dit dus niet betekend dat er helemaal geen fossiele brandstoffen meer worden gebruikt.

Gebruiksgedrag: is het soort gedrag en de mate waarmee dit gedrag de prestaties van een installatie beïnvloed. Vaak het gedrag van de gebruiker/bewoner van een woning.

Gebruiksgemak: met gebruiksgemak wordt in dit onderzoek bedoeld het gemak waarmee een installatie begrepen en bediend kan worden door de eindgebruiker. Ik sta hier bij stil omdat dit een belangrijke factor is in het realiseren van het optimale rendement van de installatie, als ook het optimaal aansluiten bij de wensen van de eindgebruiker.

Inregelen: met inregelen wordt binnen dit onderzoek het instellen/programmeren/afstemmen van installaties op elkaar en op de gebruikswensen van de bewoners bedoeld.

Isolatiegraad: is de mate waarin een woning of woningdeel is geïsoleerd. Deze mate van isolatie wordt beschreven als een Rc. Rc staat voor de warmteweerstand<sup>®</sup> van een constructie © zoals een woning, muur, dak of vloer en wordt uitgedrukt in m<sup>2</sup>K/W. De warmteweerstand verteld hoofdzakelijk iets over hoeveel energie (warmte) er verloren gaat per vierkante meter constructie.

Labelsprong: een labelsprong is de benaming voor een renovatie die als doel/resultaat heeft om de waardering van het energielabel dat is verbonden aan een woning met 1 of meerdere stappen te verbeteren.

(installatie)Model: is een theoretisch beschrijving van een combinatie van installaties. De bedoeling van een model is om de (grove) eigenschappen van de installaties te kunnen onderzoeken op afstemming, toepasbaarheid, potentieel verbruik en bijkomende kostenschattingen.

Rendabiliteit: met dit begrip wordt bedoeld in hoeverre er winst wordt behaald binnen een proces. Winst kan binnen het onderzoek slaan op bijvoorbeeld minder energieverbruik, minder CO<sub>2</sub>-uitstoot of geen verhoging in energiekosten.



Total cost of ownership (TCO): staat voor de totale eigendomskosten. Binnen de TCO zoals bedoelt binnen dit onderzoek worden factoren meegenomen als aanschafprijs, onderhoudskosten, verbruikskosten, rendement, mogelijke faalkosten, afschrijfperiode, uitvoerings- of plaatsingskosten en benodigde aanvullende maatregelen om installaties optimaal te laten werken.

Verbruik: hiermee wordt bedoelt de hoeveelheid gas, elektriciteit of warmte-energie die wordt opge maakt om de bewoners/gebruikers in hun behoeften te voorzien. Het fossiele brandstofverbruik van een woning staat in nou verband met de CO<sub>2</sub>-uitstoot die is verbonden aan een woning. Om deze reden wordt in veel verslagen hoofdzakelijk gesproken over energieverbruik i.p.v. CO<sub>2</sub>-uitstoot. Het energieverbruik van duurzame installaties zoals bijv. een warmtepomp staat in theorie los van CO<sub>2</sub>-uitstoot, echter wordt de elektrische energie die de warmtepomp verbruikt momenteel nog opgewekt in centrales die op lopen op fossiele brandstoffen. Wanneer de elektriciteit van deze centrales zou komen uit groene, duurzame bronnen, zou dit betekenen dat de warmtepomp geen CO<sub>2</sub>-uitstoot meer zou hebben.

Wooncomfort: Van Dale beschrijft comfort als gemak en geriefelijkheid en op encyclo.nl wordt comfort beschreven als dat wat het leven gemakkelijker of plezieriger maakt. Belangrijk feit is dat het begrip wooncomfort is een subjectief begrip omdat het op de ervaring van bewoners/gebruikers slaat. Wooncomfort kan worden opgedeeld in thermisch comfort of thermische behagelijkheid, tocht, droogte of vochtigheid, geluidsoverlast, stankoverlast en binnenvaal van licht. Hoe zwaar al deze punten wegen is voor iedereen verschillend.

Zelfvoorzienend: wordt door Van Dale beschreven als autarkisch, in staat in eigen behoefte te voorzien. Binnen de context van het onderzoek wordt hier vooral mee bedoeld of een woning nog energie van een centrale energiebron nodig heeft, of dat de woning met decentrale (in pandige) installaties kan voorzien in zijn eigen energiebehoefte.



## Bibliografie

- Aedes. (2017, juni 10). *Over Aedes*. Opgehaald van Aedes.nl: <https://www.aedes.nl/algemeen/over-aedes>
- Agentschap NL. (2010). *Energieneutraal Bouwen, hoe doe je dat?* Den Haag: Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieu.
- Agentschap NL. (2012). *Infoblad Energie-eisen en woonwensen*. Utrecht: Agentschap NL.
- ANP. (2016, November 21). *Energiebesparing met slimme meter lager dan verwacht*. Opgehaald van NU.nl: <http://www.nu.nl/wonen/4353243/energiebesparing-met-slimme-meter-lager-dan-verwacht.html>
- Arcadis & RVO. (2016). *Rapport Actualisatie Investeringskosten Woningbouw 2016*. Utrecht: RVO.
- Arcadis. (2016). *Investeringskosten Maatregelen Woningbouw 2016*. Utrecht: RVO.
- Avans Hogeschool. (2015). *Onderwijs- en examenregeling 2015 – 2016*. 's Hertogenbosch: Avans Hogeschool.
- Avi-Aircosystemen. (sd). *WTW Systemen*. Opgehaald van Avi-Airco: <http://www.avi-airco.nl/producten/wtw-systemen/>
- Besparenvanenergie.nl. (2017, Juni 10). *Wist u dat? Elektriciteit*. Opgehaald van Besparenvanenergie.nl: <http://www.besparenvanenergie.nl/wistudatelektriciteit.php>
- Boonstra, C. (2017). Alle energiedragers nodig voor lage CO2-emissie in de gebouwde omgeving. *VV+*, 32-37.
- Brinck, T. t. (2015, November 11). *Hoe zit het nu echt? 10 feiten over het klimaat*. Opgehaald van Duurzaam Bedrijfsleven: <http://www.duurzaambedrijfsleven.nl/cop21/10521/hoe-zit-het-nu-echt-10-feiten-over-klimaatverandering>
- Brouwers, B. (2015, Juli 10). *2045: het jaar dat Eindhoven energieneutraal is geworden*. Opgehaald van E52.nl: <https://e52.nl/2045-het-jaar-dat-eindhoven-energieneutraal-is-geworden/>
- Cauberg-Huygen Raadgevende Ingenieurs B.V. (2013). *Toepassen van woonpatronen om het werkelijke energiegebruik te bepalen. Onderbouwing en validatie*. Maastricht: Cauberg-Huygen Raadgevende Ingenieurs B.V.
- CBS. (2016, September 5). *Meer uitstoot broeikasgassen in 2015*. Opgehaald van CBS: <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2016/36/meer-uitstoot-broeikasgassen-in-2015>
- CE Delft. (2013). *Vesta 2.0 - Uitbreidingen en dataverificaties*. Delft: CE Delft.
- CE Delft. (2015). *Op weg naar een klimaatneutrale gebouwde omgeving 2050*. Delft: CE Delft.

Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), M. v. (2015, December 23). *Woningvoorraad naar eigendom, 2006-2014*. Opgeroepen op Oktober 4, 2016, van Compendium voor de Leefomgeving: <http://www.clo.nl/indicatoren/nl2164-woningvoorraad-naar-eigendom>

Climarad. (2017, juni 2). *BENG vervangt de EPC*. Opgehaald van Climarad.nl: <http://www.climarad.nl/2017/04/20/beng-vervangt-epc/>

Climarad. (2017, Juni 10). *ClimaRad 2.0*. Opgehaald van Climarad.nl: <http://www.climarad.nl/producten/climarad-2-0-2/>

Coördinatiepunt Duurzame Energie Eindhoven . (2012). *Coördinatiepunt Duurzame Energie Eindhoven - Plan van Aanpak*. Eindhoven: Gemeente Eindhoven.

Daša Majcen, L. I. (2014). *Relatie tussen energielabel, werkelijk energiegebruik en CO2-uitstoot van Amsterdamse corporatiewoningen*. Delft: Faculteit Bouwkunde, TU Delft.

De ingenieur. (2016, september 22). *TNO demonstreert warmtebatterij*. Opgehaald van deingenieur.nl: <https://www.deingenieur.nl/artikel/tno-demonstreert-warmtebatterij>

DHS. (2017, juni 5). *DHS Hydrotop*. Opgehaald van DutchHeatpumpSolutions.nl: <http://www.dutchheatpump.nl/producten/dhs-warmtepompen/dhs-hydrotop/>

DHS. (2017, juni 5). *Nieuw warmtepompconcept vermomt als schoorsteenkap*. Opgehaald van DutchHeatpumpSolutions.nl: <http://www.dutchheatpump.nl/nieuw-warmtepompconcept-vermomt-als-schoorsteenkap/>

Duurzaamnieuws. (2015, Juni 16). *Thuisaccu voor huishoudens met zonnepanelen komt er aan*. Opgehaald van Duurzaamnieuws: <http://www.duurzaamnieuws.nl/thuisaccu-voor-huishoudens-met-zonnepanelen-komt-er-aan/>

ECN & RIGO. (Augustus 2013). *Energiebesparing: Een samenspel van woning en bewoner - Analyse van de module Energie WoOn 2012*. Petten : ECN.

ECN. (2017, februari 17). *Begrippen: Energiedrager*. Opgehaald van Encyclo.nl: <http://www.encyclo.nl/begrip/Energiedrager>

Ecofys. (2015). *De systeemkosten van warmte voor woningen*. Utrecht: Ecofys.

Energieleveranciers.nl. (2017, februari 17). *Fossiele brandstoffen*. Opgehaald van Energieleveranciers.nl: <https://www.energieleveranciers.nl/energie/begrippen/fossiele-brandstoffen>

Euron kachels. (sd). *Hoe werkt een pelletkachel ?* Opgehaald van Euron kachels: <http://www.pelletkachels.nl/hoe-werken-pelletkachels/>

Europa Nu.nl. (sd). *Europese aanpak klimaatverandering*. Opgehaald van Europa Nu.nl: [https://www.europa-nu.nl/id/vhesf063wxu9/europese\\_aanpak\\_klimaatverandering](https://www.europa-nu.nl/id/vhesf063wxu9/europese_aanpak_klimaatverandering)

Europa Nu.nl. (sd). *Kyoto-protocol*. Opgehaald van Europa Nu.nl: [https://www.europa-nu.nl/id/vh7dotot4lz1/kyoto\\_protocol](https://www.europa-nu.nl/id/vh7dotot4lz1/kyoto_protocol)

Floor. (2014, December 21). *Stadsverwarming is een alternatieve keus voor verwarming*. Opgehaald van Warmwonen: <http://www.warmwonen.nl/stadsverwarming-is-een-alternatieve-keus-voor-verwarming/>

Garufi, D. (2015). *Decision support tool for sustainable renovation projects in Dutch social housing corporations*. Eindverslagen Stan Ackermans Instituut.

Gemeente Amsterdam. (2016, November 17). *Amsterdam wordt aardgasloze stad*. Opgehaald van Gemeente Amsterdam: <https://www.amsterdam.nl/bestuur-organisatie/college/individuele-paginas/abdel-uheb-choho/persberichten/persberichten-2016/amsterdam-0/>

Gemeente Eindhoven. (2016). *Klimaatplan 2016 - 2020*. Eindhoven: Gemeente Eindhoven.

Groot, i. F. (2017, Mei 16). *Warmteverlies berekening gaat EPC vervangen*. Opgehaald van Bouwtotaal.nl: <http://www.bouwtotaal.nl/artikel/isolatie-597/144/warmteverlies-berekening-gaat-epc-vervangen-2158/2158/>

HetEnergieBureau. (2013). *Eindhoven Energieneutraal*. Eindhoven: Gemeente Eindhoven.

Hier.nu klimaatbureau. (2016, Oktober 26). *Persbericht: Bijna 100 partijen committeren zich aan stoppen met aardgas*. Opgehaald van Hier.nu klimaatbureau: <https://hier.nu/klimaatbureau/nieuws/persbericht-bijna-100-partijen-committeren-zich-aan-stoppen-met-aardgas>

Jaga. (2017, juni 3). *Jaga Tempo*. Opgehaald van Jagapro.nl: <http://www.jagapro.nl/sites/default/files/product/downloads/Tempo.pdf>

Joris Berben, Ieke Kuijpers-van Gaalen. (2014). *Definitieve rapportage onderbouwing energielabel\_0*. Arnhem: BuildDesk Benelux B.V.

Kluis, E. d. (2016, Oktober 27). *Gemeenten en provincies willen af van aardgas*. Opgehaald van Binnenlandsbestuur.nl: <http://www.binnenlandsbestuur.nl/ruimte-en-milieu/nieuws/gemeenten-en-provincies-willen-af-van-aardgas.9550964.lynkx>

Koninkrijksrelaties, M. v. (2012). *Nationaal Plan voor het bevorderen van bijna-energieneutrale gebouwen in Nederland*. Den Haag: Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties.

Koppen, W. (2012). Het laaghangend fruit naar energieneutraliteit. *Ib*, 36-37.

Lente-akkoord. (2016, oktober 28). *Broodje aap: misverstanden rond balansventilatie*. Opgehaald van Lente-Akkoord.nl: <https://www.lente-akkoord.nl/broodje-aap-misverstanden-rond-balansventilatie/>

- Lier, S. v. (2017, juni 10). *BOUW AVONTUUR - DOWNLOADS*. Opgehaald van Steven van Lier:  
<http://users.telenet.be/waaienberg/files%20-%20bouw/Waaienberg%20-%20Warmteverliezenberekening%20-%20V2.2.xls>
- Ministerie van Economische zaken. (2016). *Energierapport - Transitie naar Duurzaam*. Den Haag: Ministerie van Economische zaken.
- Nederland, R. v. (2015). *Infoblad Energieneutraal bouwen: definitie en ambitie*. Utrecht: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.
- Nederland, R. v. (2016, Juli). *Verschil Energie-Index en Energielabel*. Opgeroepen op Oktober 5, 2016, van Rijksdienst voor Ondernemend Nederland : <http://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/energie-index/verschil-energie-index-en-energielabel>
- NOS. (2015, Juli 7). *Gasloos wonen in opkomst*. Opgehaald van NOS.nl: <http://nos.nl/artikel/2045608-gasloos-wonen-in-opkomst.html>
- Nu.nl. (2016, Juni 18). *Nederlander weet niet dat CO2-uitstoot thuis na 2050 verboden is*. Opgehaald van Nu.nl: <http://www.nu.nl/wonen-en-interieur/4279645/nederlander-weet-niet-co2-uitstoot-thuis-2050-verboden.html>
- Panasonic. (2017, juni 10). *Panasonic Aquarea*. Opgehaald van Panasonic Pro:  
<http://www.panasonicproclub.com/uploads/NL/catalogues/2017%20AQUAREA%2024P%20NL.pdf>
- Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO). (-, - -). *Energielabel woningen*. Opgeroepen op Oktober 11, 2016, van Rijksdienst voor Ondernemend Nederland:  
<http://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/wetten-en-regels-gebouwen/energielabel-woningen>
- Rijksoverheid. (2016, December 7). *Energieagenda*. Opgehaald van Rijksoverheid.nl:  
<https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2016/12/07/ea>
- Roofs. (maart 2009). Een opening van 7 mm in de isolatie halveert plaatselijk de isolatiewaarde. *Roofs*, 10-12.
- Ruud van den Wijngaart, R. F. (2012). *Op weg naar een klimaatneutrale woningvoorraad in 2050*. Den Haag: Uitgeverij PBL.
- RVO. (2015). *Infoblad Trias Energetica en energieneutraal bouwen*. Utrecht: RVO.
- RVO. (2017, juni 2). *BENG vervangt EPC voor energieprestatie nieuwbouw*. Opgehaald van RVO.nl:  
<http://infographics.rvo.nl/beng/>
- RVO. (2017, mei 29). *Collectieve warmtepomp met een dak vol zonnecollectoren in Haarlem*. Opgehaald van RVO.nl:  
<http://www.rvo.nl/sites/default/files/bijlagen/Van%20energieambitie%20naar%20succesvolle%20praktijk%20-%20Haarlem.pdf>

- RVO. (2017, Februari 17). *Energie label woning*. Opgehaald van RVO.nl:  
<http://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/wetten-en-regels-gebouwen/energielabel-woningen>
- SBR CUR net. (2017, mei 20). *Rekentool Warmteweerstand*. Opgehaald van SBRCURnet.nl:  
<https://rekentoolwarmteweerstand.sbrcur.net/>
- SER. (2017, januari 5). *Energieakkoord voor duurzame groei - Voortgangsrapportage 2016*.  
Opgehaald van eerstekamer.nl:  
[https://www.eerstekamer.nl/overig/20170105/energieakkoord\\_voor\\_duurzame\\_groei/document3/f=/vkaqha72bdyq.pdf](https://www.eerstekamer.nl/overig/20170105/energieakkoord_voor_duurzame_groei/document3/f=/vkaqha72bdyq.pdf)
- SER. (2017, Juni 10). *Wat doen wij?* Opgehaald van energieakkoordser.nl:  
<http://www.energieakkoordser.nl/doen.aspx>
- Sociaal-Economische Raad (SER). (2013). *Wat betekent het Energieakkoord voor mij?* Den Haag: Sociaal-Economische Raad (SER).
- Sociaal-Economische Raad. (2013). *Energieakkoord voor duurzame groei*. Den Haag: Sociaal-Economische Raad.
- Stichting Stadsverwarming Eindhoven. (2017, juni 10). *Misstanden*. Opgehaald van stadsverwarming-eindhoven.nl: <https://www.stadsverwarming-eindhoven.nl/misstanden/>
- Stichting Stadswarmte Den Haag-ypenburg-Nootdorp. (2017, juni 10). *Problemen stadsverwarming*. Opgehaald van Stichting Stadswarmte Den Haag-ypenburg-Nootdorp:  
<https://stadswarmte.wordpress.com/112-2/>
- Tanujiwaya, F. (2016). *Multi Objective Retrofitting Package Assessment for Multi-Residential Social Housing by Woonbedrijf*.
- Triple Solar B.V. (-, - -). *Gasloos verwarmen met Triple Solar in de binnenstad van Amsterdam*. Opgehaald van Triple Solar B.V.: <http://www.triplesolar.eu/project/gasloos-verwarmen-in-amsterdam/>
- TU Delft. (2017, mei 6). *OTB - Onderzoek voor de gebouwde omgeving*. Opgehaald van TU Delft:  
[http://www.otb.tudelft.nl/fileadmin/Faculteit/Onderzoeksinstituut\\_OTB/Onderzoek/Onderzoek\\_en\\_advies/Onderzoeksthema\\_s/Nederlands/Duurzame\\_woningkwaliteit/Duurzaam\\_en\\_gezond\\_wonen/De\\_onderzoeken\\_binnen\\_de\\_groep\\_Duurzaam\\_en\\_Gezond\\_wonen/Energie\\_en\\_comfort/d](http://www.otb.tudelft.nl/fileadmin/Faculteit/Onderzoeksinstituut_OTB/Onderzoek/Onderzoek_en_advies/Onderzoeksthema_s/Nederlands/Duurzame_woningkwaliteit/Duurzaam_en_gezond_wonen/De_onderzoeken_binnen_de_groep_Duurzaam_en_Gezond_wonen/Energie_en_comfort/d)
- Urgenda. (2015). *Ons huis energieneutraal*. Nieuwkoop: Ecodrukkers.
- Van Dale. (2017, februari 17). *Begrip: Energiebron*. Opgehaald van Van Dale:  
<http://www.vandale.nl/opzoeken?pattern=energiebron&lang=nn>
- Vree, J. d. (sd). *Riothermie*. Opgehaald van Joostdevree.nl:  
<http://www.joostdevree.nl/shtmls/riothermie.shtml>

- Vries, J. d. (2016, December 13). *Aantal sociale huurhuizen in Brabantse steden boven landelijk gemiddelde*. Opgehaald van Omroep Brabant:  
<http://www.omroepbrabant.nl/?news/258814972/Aantal+sociale+huurhuizen+in+Brabantse+steden+boven+landelijk+gemiddelde.aspx>
- Warmtepomp-info.nl. (2016, September 26). *Technische info warmtepomp*. Opgehaald van Warmtepomp-info.nl: <https://www.warmtepomp-info.nl/warmtepomp/technische-info/>
- Warmtepomp-weetjes. (2017, juni 3). *Levensduur van een warmtepomp*. Opgehaald van Warmtepomp-weetjes: <https://warmtepomp-weetjes.nl/extra/levensduur-warmtepomp/>
- Warmtepomp-weetjes. (2017, juni 3). *Werking en Praktijk Toepassing van een Warmtepomp*. Opgehaald van Warmtepomp-weetjes: <https://warmtepomp-weetjes.nl/warmtepomp/toepassing/#woning-warmtepomp>
- warmtepomp-weetjes.nl. (2017, mei 29). *"Alles over warmtepompen"*. Opgehaald van warmtepomp-weetjes.nl: <https://warmtepomp-weetjes.nl/>
- WETENSCHAP, E. (2015, November 26). *Zes feiten en fabels over de klimaatverandering*. Opgehaald van HP de Tijd: <http://www.hpdetijd.nl/2015-11-26/zes-feiten-en-fabels-over-de-klimaatverandering/>
- Wikipedia. (2017, juni 2). *Energieprestatiecoëfficiënt*. Opgehaald van Wikipedia: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Energieprestatieco%C3%ABffici%C3%ABnt>
- Wikipedia. (2017, mei 18). *Oude Spoorbaan*. Opgehaald van Wikipedia: [https://nl.wikipedia.org/wiki/Oude\\_Spoorbaan](https://nl.wikipedia.org/wiki/Oude_Spoorbaan)
- Woonbedrijf. (2014). *Historie van Woonbedrijf*. Opgehaald van Woonbedrijf.nl: <https://www.woonbedrijf.com/over-ons/organisatie/historie>
- Zonnepanelen weetjes. (2017, Maart 21). *Rendement zonnepanelen*. Opgehaald van Zonnepanelen weetjes: <https://www.zonnepanelen-weetjes.nl/zonnepanelen-kopen/rendement-zonnepanelen/>
- Zonnepanelen.net. (2017, Maart 21). *Mono of poly zonnepanelen*. Opgehaald van Zonnepanelen.nl: <https://www.zonnepanelen.net/verschil-mono-en-poly-zonnepanelen/>
- Zonnepanelen-weetjes. (sd). *Zonneboiler*. Opgehaald van Zonnepanelen-weetjes: <http://www.zonnepanelen-weetjes.nl/zonneboiler/>

## Bijlagen

### Bijlage 1 Misverstanden over de termen

In de rapporten (Energieakkoord voor duurzame groei, 2013, p. 29) en (Sociaal-Economische Raad (SER), 2013, p. 8) worden een aantal begrippen gebruikt die vaker binnen dit thema worden gebruikt als klimaatneutraal, energieneutraal, CO<sub>2</sub>-neutraal, passiefwoning en nul-op-de-meter. Over deze begrippen heerst veel misverstand. Voor veel mensen betekenen ze hetzelfde, maar is dat ook zo? Wat houden deze begrippen werkelijk in?

Er zit wel degelijk verschil in betekenis van de verschillende begrippen, die veel kunnen uitmaken voor de maatregelen die daaruit voort komen. Ik zal aan de hand van de definitiebeschrijving van de 2 begrippen proberen duidelijkheid te krijgen over wat er precies staat beschreven.

#### Energieneutraal

Het (Infoblad Energieneutraal bouwen: definitie en ambitie, 2015) beschrijft dat men in het algemeen over energieneutraal praat wanneer een gebouw of gebied het energiegebruik door fossiele brandstoffen wordt gecompenseerd door daar geproduceerde duurzame energie. Zoals het rapport vervolgens ook meldt, is belangrijk om hierbij op te merken dat dit dus niet betekend dat er helemaal geen fossiele brandstoffen meer worden gebruikt.

#### Klimaatneutraal

Dit wordt in (Op weg naar een klimaatneutrale woningvoorraad in 2050 , 2012) beschreven als de energie die nodig is voor opwarming van de woning, de huishoudelijke apparatuur en verlichting geen CO<sub>2</sub> uitstoot of als de CO<sub>2</sub> uitstoot wordt gecompenseerd door een vergelijkbare hoeveelheid CO<sub>2</sub> uit een andere sector.

#### Voorlopige conclusie 1

Het verschil met energieneutraal is dat klimaatneutraal zich voornamelijk richt op de CO<sub>2</sub> uitstoot die ontstaat uit energieopwekking (met name bij fossiele brandstoffen) en dat bij klimaatneutraal wordt gekeken naar alle vormen van energieverbruik (verwarming, huishoudelijke apparaten en verlichting). Bij energieneutraal wordt voornamelijk gekeken naar het energieverbruik voor verwarming van de woning of het pand.

De overheid geeft in rapport (Energieneutraal Bouwen, hoe doe je dat?, 2010) aan hoe en waarom de begrippen (zouden) moeten worden gebruikt. Het rapport stelt dat *“Gebruik de term ‘energieneutraal’ voor gebouwen en woningen; de term CO<sub>2</sub>-neutraal is meer geschikt voor organisaties.”* Dit heeft te maken met het feit dat de term energieneutraal zich alleen toespitst op het object (woning/pand) zelf, terwijl de term klimaatneutraal of CO<sub>2</sub>-neutraal ook de omgeving(sfactoren) meeneemt in de rekensom. Deze omgeving(sfactoren) zijn voor een woning niet tot nauwelijks van toepassing omdat deze ook niet worden meegewogen in de beoordeling van een woning. Dit wil echter niet zeggen dat de CO<sub>2</sub>-reductie geen rol speelt in een energieneutrale woning. In het begin van het hoofdstuk ‘Energieakkoord’ is namelijk al te lezen dat het kabinet in de transitie naar duurzame energie CO<sub>2</sub>-reductie centraal stelt (Energierapport - Transitie naar Duurzaam, 2016, p. 5). Ik zal van hieruit in dit verslag het begrip energieneutraal blijven gebruiken, ook wanneer het in hoofdzaak gaat om het reduceren van de CO<sub>2</sub>-uitstoot.



Verderop in het rapport wordt er gesproken over *“gebouwen en woningen zo min mogelijk energie gebruiken en alle nodige energie duurzaam opwekken”*. Aan deze beschrijving kunnen 2 nieuwe begrippen verbonden worden, namelijk:

### **Passiefhuis**

Een passiefhuis is een woning die door middel van goede isolatie en goede kierdichting een zeer laag warmteverlies heeft en daardoor geen traditioneel verwarmingssysteem nodig heeft. In het benodigde passiefhuis-certificaat wordt als eis gesteld dat het pand niet meer dan 15kWh/m<sup>2</sup> per jaar mag verbruiken voor verwarming of voor koeling. Dit certificaat kijkt ook alleen naar het verbruik van het pand en houdt hierbij geen rekening met eventuele opwekking van duurzame energie. Daarvoor gaan we naar het volgende begrip.

### **Nulwoning**

Een nulwoning is simpelweg een woning die minimaal net zo veel energie produceert als dat het verbruikt per jaar. Het begrip “nulwoning” is dus iets wezenlijk anders dan een passiefhuis. Het is zelfs niet nodig om een passiefhuis te maken om een nulwoning te kunnen verwezenlijken, zolang er maar genoeg ‘duurzame’ energie wordt geproduceerd om het verbruik te evenaren.

### **Voorlopige conclusie 2**

Na deze definitiebeschrijvingen valt op dat een nulwoning op dezelfde principes rust als de begrippen energieneutraal en klimaatneutraal, namelijk decentrale duurzame energieproductie. Het passiefhuis is echter gebaseerd op het gebruik van isolatie om zo het verbruik te minimaliseren. Het realiseren van een nulwoning zal in de praktijk dus vooral afhankelijk zijn van de toepassing van ‘duurzame’ installaties zoals zonnepanelen, warmtewisselaars en/of IR-panelen. Dit soort aanpassingen of toevoegingen zijn over het algemeen relatief makkelijk te verwezenlijken. Het beter isoleren van een bestaand pand daarentegen zal in de praktijk vaak ingewikkelder blijken vanwege verschillende aansluitingen, afwerking en bestaande constructies.

## Bijlage 2 Trias Energetica

Met beperk de energievraag wordt enerzijds bedoeld het verlagen van het energieverlies d.m.v. isolatie en anderzijds het verlagen van het energieverbruik d.m.v. zuinigere apparaten en een zuiniger, bewuster gedrag van gebruikers. De keuze voor isoleren zou redelijk voor zich moeten spreken, maar dit blijkt in praktijk toch niet zo te zijn. Uit recente onderzoek is gebleken dat aandacht voor correct isoleren van vitaal belang is voor het uiteindelijke rendement van de isolatie. Zo is bijvoorbeeld een kier van 7 mm al genoeg om de overige isolatie in dat deel van de schil teniet te doen (Koppen, 2012). Er moet net zoveel aandacht worden besteedt aan kierdichting en het voorkomen van koudebruggen als aan het aanbrengen van voldoende dikke isolatie.

Met zuinigere apparaten wordt bijvoorbeeld bedoeld de oude vriezer vervangen door een vriezer met een A-label, het vervangen van halogeenvlampen door ledverlichting of het gebruik van zogenoemde stand-by-killers. Maar ook bijvoorbeeld door een trui of een vest aan te trekken in plaats van de thermostaat hoger te zetten. Door deze laatste soort maatregelen wordt het energieverbruik verlaagd zonder dat er verbouwd moet worden voor isolatiemaatregelen e.d..

Stap 2a gaat over het slim gebruiken van energie die anderzijds verloren zou gaan. Denk bijvoorbeeld aan warm douchewater dat zo het riool in stroomt. Door bijvoorbeeld een douche WTW (Warmte Terug Wining) toe te passen kan weer bespaard worden op het verwarmen van het water. Er zijn verder verschillende WTW installaties voor bijvoorbeeld de afzuigkap in de keuken of voor het ventilatiesysteem, waarmee warmte als het ware beter bewaard blijft in de woning. Dit wordt ook wel passieve warmteopwekking genoemd.

Stap 2b en 3 zijn op dit moment nog een beetje dubbel. Aangezien alleen zonnepanelen op dit moment echt CO<sub>2</sub>-neutraal zijn door de centrale grijze stroom productie. Als echter de overheid en de energieleveranciers de energieproductie verduurzamen, zullen de resterende elektrische alternatieven ook echt CO<sub>2</sub>-neutraal worden. De kans is groot dat tegen die tijd punt 3 uit de strategie zal wegvallen. Overigens is de keuze voor de energie uit hernieuwbare bron sterk afhankelijk van de beschikbare bronnen en ruimte in de directe omgeving naast het beschikbare budget. Hier kom ik later nog op terug.

## Bijlage 3 Scenario's uit de 'Menukaart' van Woonbedrijf

|                                                         | Planmatig onderhoud < - 15 jaar | Planmatig onderhoud > - 15 Jaar | Renovatie 25 - 35 Jaar                              | Energie nul > 40 jaar eengezinswoning               | > 40 jaar meergezinswoning                          |
|---------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Huidige situatie                                        | Pakket 1                        | Pakket 2                        | Pakket 3                                            | Pakket 4                                            | Pakket 5                                            |
| <b>Dak hellend</b>                                      |                                 |                                 |                                                     |                                                     |                                                     |
| Huidige situatie hellend dak RC < 2,5                   | n                               | n                               | Dak: Rc-waarde minimaal 6,0 m2K/W taopazzing buiten | Dak: Rc-waarde minimaal 6,0 m2K/W taopazzing buiten | Dak: Rc-waarde minimaal 6,0 m2K/W taopazzing buiten |
| Huidige situatie hellend dak RC > 2,5                   | n                               | n                               | n                                                   | Dak: Rc-waarde minimaal 6,0 m2K/W taopazzing buiten | Dak: Rc-waarde minimaal 6,0 m2K/W taopazzing buiten |
| <b>Dak plat</b>                                         |                                 |                                 |                                                     |                                                     |                                                     |
| Huidige situatie hellend dak RC < 2,5                   | n                               | n                               | Dak: Rc-waarde minimaal 6,0 m2K/W taopazzing buiten | Dak: Rc-waarde minimaal 6,0 m2K/W taopazzing buiten | Dak: Rc-waarde minimaal 6,0 m2K/W taopazzing buiten |
| Huidige situatie hellend dak RC > 2,5                   | n                               | n                               | n                                                   | Dak: Rc-waarde minimaal 6,0 m2K/W taopazzing buiten | Dak: Rc-waarde minimaal 6,0 m2K/W taopazzing buiten |
| <b>Gevel</b>                                            |                                 |                                 |                                                     |                                                     |                                                     |
| Spouwmuur ongeïsoleerd Rc 0                             | n                               | Spouwmuurisolatie 50 mm Rc 1,47 | Spouwmuurisolatie 50 mm Rc 1,47                     | Gevel: Rc-waarde minimaal 4,5 m2K/W                 | Gevel: Rc-waarde groter dan 5 m2K/W                 |
| Spouwmuur geïsoleerd Rc 2,5                             | n                               | n                               | n                                                   | Gevel: Rc-waarde minimaal 4,5 m2K/W                 | Gevel: Rc-waarde groter dan 5 m2K/W                 |
|                                                         |                                 |                                 |                                                     |                                                     |                                                     |
| <b>Glas</b>                                             |                                 |                                 |                                                     |                                                     |                                                     |
| Enkel / dubbel naar HR++                                | n                               | n                               | HR++                                                | Trippel                                             | HR++                                                |
| HR++                                                    | n                               | n                               | n                                                   | Trippel                                             | HR++                                                |
| <b>Vloer</b>                                            |                                 |                                 |                                                     |                                                     |                                                     |
| ONGeïsoleerde vloer naar geïsoleerde vloer              | n                               | n                               | Vloer: Rc-waarde minimaal 3,5 m2K/W                 | Vloer: Rc-waarde minimaal 3,5 m2K/W                 | Vloer: Rc-waarde minimaal 3,5 m2K/W                 |
| Geïsoleerde vloer                                       | n                               | n                               | n                                                   | n                                                   | n                                                   |
| Vloerisolatie > Rc 3,5                                  | n                               | n                               | n                                                   | n                                                   | n                                                   |
| <b>Ventilatie</b>                                       |                                 |                                 |                                                     |                                                     |                                                     |
| Natuurlijk geventileerd naar CO2 gestuurd + vochtmeting | n                               |                                 | Gelijkstroom                                        | WTW gelijkstroom                                    | Gelijkstroom                                        |
| Mv. mechanisch                                          | Gelijkstroom                    | Gelijkstroom                    | Gelijkstroom                                        | WTW gelijkstroom                                    | Gelijkstroom                                        |
| WTW gelijkstroom                                        | n                               | n                               | n                                                   | n                                                   | n                                                   |
| <b>Verwarming</b>                                       |                                 |                                 |                                                     |                                                     |                                                     |
| Vr lokale / verwarming                                  | HR107 combi                     | HR107 combi                     | HR107 combi                                         | Warmtepomp lucht water                              | HR107 combi                                         |
| HR++                                                    | HR107 combi                     | HR107 combi                     | HR107 combi                                         | Warmtepomp lucht water                              | HR107 combi                                         |
| <b>Pv panelen</b>                                       | n                               | n                               | n                                                   | Beide zijde dak vullen                              | Dak maximaal vullen                                 |
|                                                         |                                 |                                 |                                                     |                                                     |                                                     |
| Isoleren van leidingen                                  |                                 |                                 | X                                                   | X                                                   | X                                                   |
| Aanbrengen regeling warmteafgifte                       |                                 |                                 | X                                                   | X                                                   | X                                                   |
| Individuele bemetering aanbrengen                       |                                 |                                 | X                                                   | X                                                   | X                                                   |

## Bijlage 4 Soorten warmtepompen

Er zijn verschillende soorten warmtepompen en ook verschillende variaties binnen de verschillende soorten warmtepompen. Ieder van deze soorten en variaties hebben hun eigen voor- en nadelen en hun eigen rendementsbereik. Dit maakt de keuze binnen een specifieke situatie niet altijd even gemakkelijk. Het voornaamste keuze tussen warmtepompen wordt bepaald door de bron die beschikbaar is om warmte aan te onttrekken en de aanwezige ruimte om de warmtepomp te installeren. Daarnaast kan er nog verschil zijn in het afgiftemedium waar de warmte aan wordt overgedragen of in het koudemiddel dat in de warmtepomp wordt gebruikt. Hieronder zijn de 4 belangrijkste soorten warmtepompen benoemd, verdeeld op bron waar ze hun warmte uit onttrekken.

### Grond

Allereerst is er de grondwarmtepomp. Zoals de naam al zegt haalt deze soort zijn warmte uit diepe bronnen of putten in de grond. De diepte van deze verticale putten of bronnen is afhankelijk van de bodemopbouw. Daarnaast is het ook mogelijk om een horizontaal buizenet te gebruiken. Hierbij wordt over een groot oppervlak buizen horizontaal in de grond gegraven waarmee vervolgens op een vergelijkbare manier warmte wordt onttrokken uit de omgeving. Het grote voordeel van deze warmtepompen is dat de COP en het rendement over het algemeen erg stabiel zijn. Het nadeel is dat de kosten voor aanschaf een plaatsing daarentegen zeer prijzig kunnen zijn en er moet daarnaast ook ruimte zijn om de bronnen, putten of netten in de grond te kunnen plaatsen. Zeker in de situatie van bestaande woningen is dit vaak niet het geval. Over het algemeen wordt water als afgiftemedium gebruikt bij dit soort warmtepompen (grond-waterwarmtepomp).

### Water

De volgende soort warmtepomp is de waterwarmtepomp. Deze soort onttrekt zijn warmte aan water uit meren of rivieren alswel water gedragen grondlagen. Waar de grondwaterpomp een gesloten systeem is, hoeft dit niet het geval te zijn bij waterwarmtepompen. Dit kunnen ook zogenoemde open systemen zijn, waarbij het gebruikte water regelrecht uit en bij de bron gepompt wordt. Ook bij deze soort warmtepompen geldt dat het rendement vaak redelijk stabiel is, maar dat de aanschaf en aanlegkosten erg hoog zijn. Over het algemeen wordt water als afgiftemedium gebruikt bij dit soort warmtepompen (grond-waterwarmtepomp).

### Lucht

Deze warmtepompen onttrekken energie aan de (buiten)lucht. Omdat de temperatuur van de buitenlucht nogal kan wisselen (dag/nacht, zomer/winter), is de COP van deze soort niet erg stabiel. Sterker nog, van alle soorten warmtepompen is deze soort vaak het minst voordelig. Het grootste voordeel van deze soort is echter dat hij (nagenoeg) overal kan worden geplaatst. Er hoeven namelijk geen dure en/of ingewikkelde buizenstelsels te worden geboord of ingegraven. Hierdoor is de luchtwarmtepomp vaak ook het voordeligste en eenvoudigste in de aanschaf en aansluiting. Deze soort warmtepomp is daarom, samen met de hybride warmtepomp, vaak de eerste keus bij renovaties van bestaande woningen. Deze warmtepomp kan verschillende afgiftemediums hebben, namelijk lucht en water. De lucht-lucht warmtepomp geeft zijn onttrokken warmte weer af aan lucht, meestal gekoppeld aan een ventilatiesysteem. De lucht-waterwarmtepomp geeft zijn warmte af aan water, waarmee de installatie is aan te sluiten op conventionele afgiftesystemen zoals radiatoren.

### **Combi en hybride**

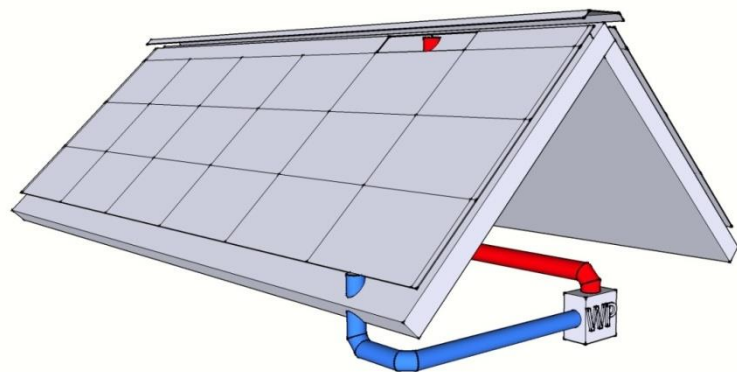
Een aparte uitvoering van de warmtepompen die ik toch wil benoemen is de hybridewarmtepomp en/of de combiwarmtepomp. Dit zijn warmtepompen die worden gekoppeld of gepaard met een gasgestookte cv-ketel. Hierbij is de warmtepomp de primaire, leidende installatie en wordt de cv-ketel alleen gebruikt wanneer de warmtepomp te hard moet werken (bivalente-parallele werking). Deze soort warmtepomp draagt nog niet bij aan het weren van het gebruik van aardgas in een woning, maar kan in sommige gevallen gelden als transitie installatie. Zeker bij luchtwarmtepompen die een wisselend rendement kunnen hebben, kan een hybridewarmtepomp een kosteneffectieve oplossing zijn op momenten dat de warmtepomp zelf tekort komt.

## Bijlage 5 PV-panelen

De techniek bestaat ondertussen al een aantal jaar, waardoor het rendement ondertussen goed genoeg is om binnen een redelijke tijd terug te verdienen. De terugverdientijd wordt vooral bepaald door de oriëntatie van het dakvlak. Dit bepaalt namelijk hoeveel direct zonlicht de panelen krijgen. Een oriëntatie op het zuiden is het gunstigste omdat de zon daar op zijn hoogste punt staat en de panelen de meeste zonnestralen kunnen 'vangen'. Het is een misvatting dat een oriëntatie op de andere richtingen niet rendabel is. Zo hebben de oriëntatie op het oosten en westen het voordeel dat de uren waarin elektrische stroom wordt geproduceerd beter overeenkomen met de afnametijden. Zelfs een oriëntatie op het noorden levert stroom, alleen zal dit beduidend minder zijn dan een oriëntatie op het zuiden.

Verder wordt het rendement beïnvloed door een aantal kleinere factoren. Een vuil oppervlak belemmert hoeveel zonlicht de panelen op kunnen nemen. Verder neemt het rendement van de PV-panelen af met de tijd. Hoe ouder een paneel, hoe lager het rendement wordt. Na 25 jaar zal het rendement nog ongeveer 80% zijn (Zonnepanelen weetjes, 2017). En als laatste wordt het rendement van de zonnepanelen beïnvloed door temperatuur. Hoe warmer een PV-paneel wordt, hoe lager het rendement wordt.

Dit klinkt enigszins tegenstrijdig voor een paneel wat bedoeld is om in de volle zon te liggen. Het loont echter om de panelen te koelen. Dit kan zijn door de PV-panelen te combineren met zonnecollector-panelen tot zogenoemde PVT-panelen. Een andere mogelijkheid zou kunnen zijn door het slim



gebruiken van de lucht aan- en afvoer van een luchtwarmtepomp.

**Figuur 18. Voorbeeld verhogen rendement warmtepomp met lucht onder PV-panelen**

Door de koele afvoerlucht langs de zonnepanelen te blazen, worden de panelen wat gekoeld. Bijkomend voordeel hiervan is dat door de verwarmde lucht onder de zonnepanelen op te zuigen via de luchtaanvoer van de warmtepomp, het rendement van de warmtepomp wat kan worden verhoogd (zie figuur 18).

Er zijn verschillende soorten PV-panelen. De eerste 2 soorten zijn monokristallijne en polykristallijne panelen. Het verschil ontstaat in het productieproces en bepaalt vooral bij welk soort licht het paneel het beste werkt. Bij direct zonlicht (op een onbewolkte dag) zijn de mono-panelen het effectiefst en bij diffuus licht (bewolkte dagen en indirect licht) zijn de poly-panelen effectiever. Maar binnen het Nederlandse klimaat is het verschil in praktijk minimaal (Zonnepanelen.net, 2017). De panelen hebben ook een verschillende kleur. Mono-panelen zijn zwart en poly-panelen zijn meer blauw (zoals op de foto).

Daarnaast zijn er nog de dunne film panelen. Deze soort panelen hebben een lager rendement (20%) per m<sup>2</sup> dan de kristallijne panelen (Zonnepanelen.net, 2017). Het voordeel is dat de panelen een betere opbrengst per capaciteit hebben en minder gevoelig zijn voor temperatuurstijgingen (2-7%).

Ook is het productieproces een stuk milieuvriendelijker dan dat van kristallijne panelen. Er wordt ongeveer 70% minder energie verbruikt binnen het productieproces en worden minder schaarse en schadelijke stoffen gebruikt. Een laatste (potentieel) voordeel van dunne film panelen is dat ze op kromme of gebogen ondergronden aangebracht kunnen worden. Waar reguliere kristallijne panelen worden beperkt tot vlakke ondergronden, zouden dunne filmpanelen hier niet door gehinderd hoeven worden.

Buiten de panelen is een omvormer nodig. PV-panelen produceren gelijkstroom, terwijl alle apparaten in een woning werken op 230V wisselspanning. De omvormer neemt de gelijkstroom die van de panelen afkomt en vormt dit om naar de gebruikelijke 230V wisselspanning. Het is hierbij belangrijk dat een omvormer wordt gekozen die de spanning aankan die van de panelen afkomt. Een te lichte omvormer kan overbelast raken en een te zware omvormer verlaagt het rendement van de panelen. Verder zijn omvormers niet geruisloos. De koelingventilator maakt geluid, wat als hinderlijk ervaren kan worden.

Naast de omvormer kunnen zogenoemde power optimizers toegepast worden. Dit is regelapparatuur die achter een afzonderlijk paneel wordt geplaatst en de prestaties van dat paneel onder verschillende omstandigheden zo optimaal mogelijk maakt. Zeker bij panelen die op momenten tijdelijk in de schaduw liggen of bij verschillende legrichtingen kan dit een aanrader zijn.

Een laatste aandachtspunt bij PV-panelen is de salderingsregeling. Dit is een regeling die de terugverdientijd van PV-panelen verbetert. De panelen produceren overdag elektriciteit, terwijl de vraag naar elektriciteit voor 's avonds aanwezig is. Tenzij een batterij voor opslag is geïntegreerd in het systeem, zal alle ongebruikte stroom teruggeleverd worden aan het elektriciteitsnet. De salderingsregeling maakt het mogelijk om de terug geleverde stroom op het einde van het jaar te verrekenen met uw elektriciteitsrekening. Op deze wijze wordt maximaal profijt van de zonnepanelen behaald zonder dat er moet worden geïnvesteerd in een opslag-unit. De salderingsregeling is echter een tijdelijke regeling en het voortbestaan van de regeling na 2020 is op dit moment nog onzeker.



## Bijlage 6 Verkenning systeemkosten verwarmingstechnieken

De onderstaande tabel geeft een overzicht van alle uitkomsten per scenario.

**Tabel 2: Overzicht resultaten scenario's (jaarlijkse kosten in miljoenen tenzij anders vermeld)**

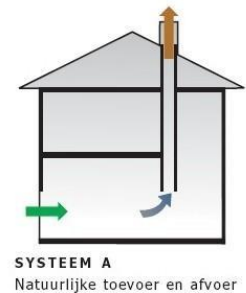
| Hoofdenenergiedrager<br>Verwarmingstechniek<br>Isolatie niveau | Gas<br>HR |        | Elektriciteit<br>Elektrisch |        | Warmte<br>Warmte |        | Gas/elektriciteit<br>Hybride |        | Mix<br>Decentraal |         |
|----------------------------------------------------------------|-----------|--------|-----------------------------|--------|------------------|--------|------------------------------|--------|-------------------|---------|
|                                                                | Midden    | Hoog   | Midden                      | Hoog   | Midden           | Hoog   | Midden                       | Hoog   | Midden            | Hoog    |
| <b>Kosten</b>                                                  |           |        |                             |        |                  |        |                              |        |                   |         |
| <b>Totaal, waarvan:</b>                                        | 9,491     | 14,767 | 23,164                      | 20,288 | 10,142           | 15,059 | 11,124                       | 16,611 | 19,282            | 19,277  |
| Woningen                                                       | 4,765     | 11,484 | 8,652                       | 15,370 | 4,900            | 11,618 | 6,312                        | 13,030 | 9,984             | 16,702  |
| Infrastructuur                                                 | 1,276     | 1,180  | 11,988                      | 3,441  | 1,897            | 1,403  | 1,904                        | 1,921  | 7,010             | 1,510   |
| Energie                                                        | 3,450     | 2,104  | 2,525                       | 1,477  | 3,346            | 2,038  | 2,909                        | 1,659  | 2,288             | 1,066   |
| <b>Woningen</b>                                                |           |        |                             |        |                  |        |                              |        |                   |         |
| Isolatie                                                       | 3,503     | 10,222 | 3,503                       | 10,222 | 3,503            | 10,222 | 3,503                        | 10,222 | 3,503             | 10,222  |
| Installaties                                                   | 1,262     | 1,262  | 5,148                       | 5,148  | 1,396            | 1,396  | 2,808                        | 2,808  | 6,480             | 6,480   |
| <b>Infrastructuur</b>                                          |           |        |                             |        |                  |        |                              |        |                   |         |
| Elektriciteitsdistributie                                      | 7         | 7      | 9,926                       | 2,887  | 37               | 37     | 618                          | 724    | 5,435             | 904     |
| Elektriciteitstransmissie                                      | 0         | 0      | 1,847                       | 421    | 2                | 2      | 29                           | 34     | 927               | 45      |
| Gasdistributie                                                 | 1,056     | 1,056  | 37                          | 37     | 836              | 836    | 1,056                        | 1,056  | 443               | 443     |
| Gastransmissie                                                 | 35        | 22     | 0                           | 0      | 29               | 17     | 24                           | 13     | 26                | 21      |
| Warmtedistributie                                              | 178       | 95     | 178                         | 95     | 993              | 510    | 178                          | 95     | 178               | 95      |
| <b>Energie</b>                                                 |           |        |                             |        |                  |        |                              |        |                   |         |
| Elektriciteit                                                  | 4         | 4      | 2,418                       | 1,407  | 24               | 24     | 550                          | 391    | -275              | -1,028  |
| Gas                                                            | 3,339     | 2,030  | 0                           | 0      | 2,717            | 1,639  | 2,252                        | 1,198  | 2,457             | 2,024   |
| Warmte                                                         | 106       | 70     | 106                         | 70     | 605              | 375    | 106                          | 70     | 106               | 70      |
| <b>Verbruik</b>                                                |           |        |                             |        |                  |        |                              |        |                   |         |
| Elektriciteit [GWh]                                            | 66        | 66     | 36,365                      | 21,165 | 358              | 358    | 8,270                        | 5,885  | -4,129            | -15,463 |
| Gas [GWh]                                                      | 101,178   | 61,504 | 0                           | 0      | 82,342           | 49,661 | 68,248                       | 36,298 | 74,443            | 61,342  |
| Warmte [GWh]                                                   | 3,670     | 2,409  | 3,670                       | 2,409  | 20,853           | 12,948 | 3,670                        | 2,409  | 3,670             | 2,409   |

De verdeling 'midden' en 'hoog' staat voor de isolatiegraad van de woning waarbij midden het energielabel C t/m A+ beslaat en 'hoog' het label A++ of beter.

## Bijlage 7 Verschillende ventilatiesystemen

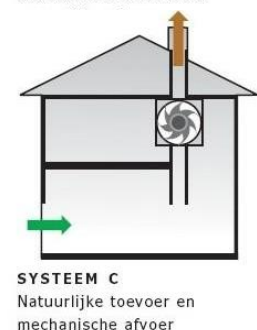
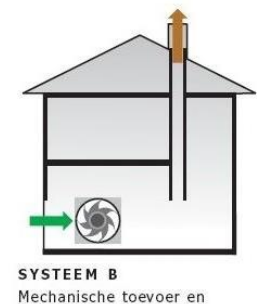
### 3.1 Natuurlijke ventilatie

Natuurlijke ventilatie komt vaak voor in oude huizen (tot 1970?) en vind plaats door ventilatieroosters in ramen, naden en kieren. Natuurlijke ventilatie kan moeilijk gestuurd worden. Het is alleen echt te beïnvloeden door een raam of deur wagenwijd open te zetten. Verder is de mate van ventilatie sterk afhankelijk van luchtstromen rond het huis. Hoewel het in de zomer erg aangenaam kan zijn om een deur of raam wagenwijd open te zetten, zorgt dit ook voor een groot lek. In de zomer en winter heeft onaangenaam warme of koude lucht vrij spel om het huis te betreden. Buiten dat deze vorm van ventileren de minst gezonde is, heeft het ook de grootste warmteverlies. De voornaamste voordelen zijn dat er geen installaties zijn die lawaai maken, onderhoud nodig hebben, ruimte innemen en stroom verbruiken.



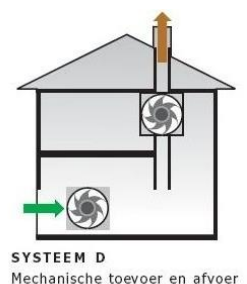
### 3.2 Mechanische ventilatie

Mechanische ventilatie is er in verschillende vormen. De eerste vormen zijn de continue aanvoer (systeem B) en de continue afvoer (systeem C). Door het plaatsen van een mechanische ventilatie-unit kan worden gegarandeerd dat er altijd luchtverversing in huis is en dat CO<sub>2</sub>, fijnstof en vocht minder kans heeft om de gezondheid of het huis aan te tasten. Wanneer er gekookt of gedoucht wordt is het sterk aan te raden om de ventilatie op de hoogste stand te zetten om de gezondheid te kunnen blijven garanderen. Nog beter om een vraaggestuurde te plaatsen. Dit systeem meet zelf waardes als luchtvochtigheid en CO<sub>2</sub>-gehalte, en past de ventilatie hier automatisch op aan. Hierdoor heeft de gebruiker minder omkijken naar de installatie. Het nadeel is dat er leidingen moeten worden aangelegd die lucht kunnen aan- of afvoeren voor de benodigde ruimtes. Dit vraagt om ruimte, net als de installatie zelf doet. De installatie heeft ook stroom nodig om te werken. Vaak wordt overigens voor een unit op gelijkstroom gekozen i.p.v. wisselspanning, omdat de units op gelijkstroom zuiniger zijn.



### 3.3 Balansventilatie

Balansventilatie wordt zo genoemd omdat het evenveel lucht afzuigt als dat het aanvoert. Het wordt voor toegepast in zwaar geïsoleerde woningen omdat dit ventilatiesysteem te combineren is met een WTW-unit. Hierdoor kan bespaard worden op de energierekening omdat het verwarmingssysteem minder hard hoeft te werken om de woning op temperatuur te houden. Om de aan- en afvoer te kunnen verwezenlijken is er een tweede kanalenstelsel nodig. Dit tezamen met de extra wtw-unit maakt dat dit systeem 2 keer zoveel plaats inneemt als de mechanische ventilatie. Ook dit systeem kan worden verbeterd door het vraaggestuurd te maken. Vanwege de ruimte die de dubbele ventilatiekanalen innemen is dit systeem niet altijd toe te passen bij renovaties van bestaande bouw (of men moet bereid zijn om grote verbouwing te ondergaan). Om het systeem met WTW-unit rendabel te maken is het nodig om een goede kierdichting te realiseren. Ook dit kan moeilijk zijn bij renovaties van bestaande woningen.



### 3.4 Hybride ventilatie

Hybride ventilatie is een combinatie van 2 ventilatiesystemen, zoals natuurlijke ventilatie samen met mechanische ventilatie. Onder de kreet “natuurlijk zodra het kan, mechanisch als het moet” gebruik gemaakt van natuurlijke ventilatie op warme dagen en bij koude dagen wordt overgeschakeld naar mechanische ventilatie. Op het systeem kan ook een wtw-unit aangesloten worden zodat er op de koude dagen een minimaal warmteverlies is. Een groot voordeel is dat dit systeem minder lijdt onder het open zetten van een raam, wat bijvoorbeeld niet geadviseerd wordt bij balansventilatie. Zo kan een “aangenaam briesje” worden gerealiseerd op warme zomerdagen, wat de comfortbeleving kan verhogen. Het systeem kan met behulp van sensors ‘intelligente’ keuzes maken over wanneer er moet worden geschakeld tussen systemen. Door op de mogelijke momenten over te schakelen naar natuurlijke ventilatie kan ook bespaard worden op het energieverbruik.

## Bijlage 8 Warmteverliesberekening Rekenmodel

# Handleiding - Versie 2.2

made by Steven Van Lier

### 0 Inleiding

De bedoeling van dit excel-blad was om voor mijn nieuwbouw een duidelijke warmteverliesberekening uit te voeren maar ook om andere toekomstige bouwers meer uitleg te geven hoe dat deze berekeningen zijn opgevat. Hieronder wordt stap voor stap uitgelegd hoe ik mijn berekeningen heb opgevat en welke keuzes er gemaakt zijn.

Schermbladen zijn opgemaakt in een resolutie van 1600x1200.

Cellen met een donker groene kleur dienen worden ingevuld. Achter zwarte velden steken formules.

### 1 Oppervlaktes & Volumes

De eerste stap bestaat uit de berekening van alle oppervlaktes en volumes van alle deelruimten. Hiervoor heb ik steeds de binnenmaten genomen.

Indien geen mooie rechthoekige ruimten heb ik deze opgesplitst in deel rechthoeken en apart uitgerekend waarna deze tot 1 totaal kunnen worden opgeteld.

### 2 Compactheid van de woning

De 2de stap is de berekening van de compactheid van de woning. Dit is de verhouding van het volume dat geïsoleerd is van de buitenlucht tot de totale oppervlakte van de bouwschil.

Voor de totale oppervlakte van de bouwschil en het volume heb ik steeds de buitenafmetingen van het gebouw genomen.

### 3 Temperaturen

Het tabblad "Temperaturen" is belangrijk omdat vele andere tabbladen hiervan gebruik maken.

Voor elke ruimte aanwezig in de woning en daarbuiten moet men een temperatuur instellen zodat in een latere fase de warmteverliezen kunnen worden berekend. Zoals in elk ontwerp situatie moet men altijd ontwerpen voor de slechts denkbare situatie dwz strenge vorst buiten + alle ruimtes in gebruik en verwarmd. Hierdoor krijgt men bv voor buiten = -10°C maar ook 20°C in de slaapkamers want bv studerende kinderen.

T<sub>eb</sub> is de temperatuur van de inkomende lucht. Deze is belangrijk want hiermee zullen de ventilatieverliezen van het gebouw worden berekend. Bij natuurlijk ventilatie is deze -10°C omdat je koude binnenlucht binnentrekt maar bij balansventilatie wordt deze opgewarmd en mag men kiezen tussen 13°C en 17°C. Persoonlijk ken ik de rendementen van de warmtewisselaars van de balansventilatie onvoldoende dus kies ik daarom het nadeligst dus 13°C.

a<sub>j</sub> is de correctiecoëfficiënt voor de k-waarde. Deze factor past de koudebrugwerking aan in de berekende k-waarde. De keuze ligt tussen 1/3, 2/3 of 3/3.

T<sub>enslotte</sub> is er nog een berekende correctiefactor die vloerverwarming in rekening brengt in de vloeren. Hiervoor moet men de ontwerp temperatuur ingeven waarop de correctiefactor wordt uitgerekend. De formule staat op het blad temperaturen beschreven.

#### 4 Materialen

Alvorens we warmteverliezen kunnen berekenen moeten we van elke onderdeel van de woning de k-waarde (of U-waarde) berekenen. De k-waarde kan men beschrijven als een soort warmtedoorgangscoefficiënt van elk onderdeel. Elk onderdeel kan bestaan uit verschillende materialen bv buitenmuur = gevelsteen + spouwisolatie + binnenspouwblad + bepleistering.

Links horizontaal vinden we alle onderdelen van de woning waardoor transmissieverliezen kunnen gebeuren.

Boven verticaal vinden we alle bouwmaterialen die zullen worden gebruikt en in de woning met hun corresponderende dikte en warmtegeleidbaarheid waardoor hun individuele k-waarde kan berekend worden.

De warmteovergangswaarden R<sub>si</sub> en R<sub>se</sub> zijn reeds ingevuld en de juiste toepassing ervan kan je terug vinden op mijn website in het document "Tips voor het invullen isolatieformulier".

De k-waarde van het raam is een klein beetje speciaal want alu ramen krijg je volgende formule: k-waarde =  $0,75 \cdot k_{\text{glas}} + 0,25 \cdot k_{\text{profiel}} + 3 \cdot k_{\text{klinwarmtedoorgang}}$  =  $0,75 \cdot 1,1 + 0,25 \cdot 2,8 + 3 \cdot 0,07 = 1,735$

Tenslotte moet men in de onderstaande matrix "1" (of soms "2") invullen om aan te duiden dat het materiaal aanwezig is in dit onderdeel van de woning. Hiermede kan dan de samengestelde k-waarde worden berekend. De formules staan op het tabblad.

Waarom soms 2 in de matrix? Dit is het geval bij binnenmuren die langs 2 kanten worden bepleisterd of bv 2 lagen van een type isolatie.

## 5 Isolatieniveau

Vervolgens kan met de k-waarden, de totale oppervlakte bouwschil en het volume de K-waarde van de woning berekenen. Het K-peil wordt berekend a.d.h.v. de gemiddelde wantdoorgangscoefficiënt  $k_s$  en de compactheid van de woning.

Om  $k_s$  te berekenen moet men de verhouding maken van de som van  $a_j \cdot b_j \cdot k_j \cdot A_j$  op de som van  $A_j$ . De uitleg van de coëfficiënten staat op het tabblad "Isolatieniveau".

In de in te vullen matrix moet je de factor  $b_j$  en de oppervlakten  $A_j$  zelf invullen. De factor  $b_j$  staat voor de aan- of afwezigheid in de buitenschil (bv. Buitenmuur = 1 en Binnenmuur = 0).

## 6 Warmteverliezen - Transmissie

Het grootste en moeilijkste werk zit in de totale berekening van alle warmteverliezen door transmissie binnen in de woning maar ook naar buiten.

De bedoeling in dit tabblad is om elke ruimte in de woning apart te bekijken en alle oppervlakten waaraan deze ruimte raakt te definiëren waardoor dan via de vooropgestelde temperaturen het warmteverlies per oppervlak kan berekend worden.

Ik heb de ruimtes altijd als volgt ontleed: 1) vloeren 2) plafonds 3) N-gevel 4) O-gevel 5) Z-gevel 6) W-gevel. De windrichtingen slaan niet op de echte windrichting maar op voorgevel (=N) zijgevel links (=O) achtergevel (=Z) en zijgevel rechts (=W).

Soms zal men ook merken dat er negatieve oppervlakten aanwezig. Dit zijn de aftrekken voor de deuren en ramen.

Een negatieve waarde als uitkomst in de warmteverliesberekening is helemaal normaal omdat dit een warmtetransport betekent van een warme naar een koudere ruimte. Het kan ook zijn dat een gehele ruimte een negatieve warmteverlies krijgt wat dan betekent dat deze ruimte voldoende wordt verwarmd door omliggende ruimten.

## 7 Warmteverliezen - Totaal

Tenslotte kunnen we nu de totale warmteverliezen berekenen. Bij de transmissieverliezen komen ook nog een deel ventilatieverliezen. De formules voor deze berekeningen vind je terug op het tabblad "Warmteverliezen - Totaal".

De correctiefactoren Oriëntatie en Koudebrugwerking moeten zelf worden ingevuld en de mogelijk waarden staan uitgelegd op het tabblad.

De ventilatievoud factor moet ook zelf worden ingevuld (0, 1, 2 of 3) waarbij "0" geen ventilatie betekent en "3" maximale ventilatie.

Als laatste wordt er ook nog een gecorrigeerde totaal warmteverlies berekend om zo de negatieve verliezen te verwijderen waardoor het resultaat dichtert tegen de reële warmtevraag komt.

# Vragen

## Aanpassingen

- 05-01-06 Buitentemperatuur naar  $-8^{\circ}\text{C}$  gebracht vanwege midden Vlaanderen. Kust =  $-7^{\circ}\text{C}$  en Kempen =  $-9^{\circ}\text{C}$
- 05-01-06 Temperatuur volle grond gebracht naar  $5^{\circ}\text{C}$
- 05-01-06 Temperatuur aangezogen lucht op  $17^{\circ}\text{C}$  gebracht aangezien een WTW zal worden geïnstalleerd.



- 05-01-06 De waarde in de matrix voor de Rsi coëfficiënt voor binnenmuren en binnenvloeren van 1 naar 2 gebracht omdat deze 2 maal moet gerekend worden want beide ruimtes zijn binnen het beschermd volume.
- 05-01-06 Er moeten geen waarden in de matrix worden gevuld voor de Rsi of Rse waarde van een raam omdat deze worden berekend in de k-waarde van het raam.
- 05-01-06 Lambda (gevelsteen) op 1,053 gebracht na controle rekentabel Terca.
- 05-01-06 Dikte (crepi 5cm + Isolatie PS 11cm) aangepast naar 11cm ipv 16cm want crepi heeft niet dezelfde warmteweerstand. Dus iets nadeliger gerekend maar veiliger.
- 05-01-06 Lambda (binnenspouwblad) op 0,3 gebracht want dit is het gemiddelde op de markt en hierdoor komt de totale k-waarde van de buitenmuur overeen met de bekomen waarde in de rekentabel van Terca.
- 05-01-06 Lambda (tegels) op 2 gebracht na info te hebben ontvangen van verschillende forum gebruikers.
- 20-07-06 De aj-correctiefactor op tabblad "Isolatie niveau" bij de grond isolatie op 1 gezet want was reeds aangerekend in het tabblad "Materialen".
- 10-09-06 In tabblad materialen is betonvloer van 18cm bijgevoegd omdat tussen de verdiepen geen 30cm maar slechts 18cm beton is.

## Oppervlaktes & Volumes

made by St

| Ruimte       | Lengte (m) | Breedte (m) | Hoogte (m) | Deel Vloeroppervlakte (m²) | Totaal Vloeroppervlakte (m²) | Deel Volume (m³) | Totaal Volume (m³) |
|--------------|------------|-------------|------------|----------------------------|------------------------------|------------------|--------------------|
| Woonkamer    | 6,56       | 3,5         | 2,35       | 22,96                      | 22,96                        | 53,96            | 53,96              |
| Hal          | 2,96       | 1,92        | 2,35       | 5,68                       | 6,33                         | 13,36            | 14,88              |
|              | 0,9        | 0,72        | 2,35       | 0,65                       |                              | 1,52             |                    |
| Keuken       | 1,92       | 2,6         | 2,35       | 4,99                       | 4,99                         | 11,73            | 11,73              |
| WC 1         | 1,02       | 0,8         | 2,35       | 0,82                       | 0,82                         | 1,92             | 1,92               |
|              |            |             |            | 0,00                       | 0,00                         | 0,00             | 0,00               |
| Overloop     | 1,93525    | 2           | 2,35       | 3,87                       | 3,87                         | 9,10             | 9,10               |
| Slaapkamer 1 | 3,07       | 3,5         | 2,35       | 10,75                      | 10,75                        | 25,25            | 25,25              |
| Badkamer     | 1,99       | 1,92        | 2,35       | 3,82                       | 3,51                         | 8,98             | 8,24               |
|              | -0,9       | 0,35        | 2,35       | -0,32                      |                              | -0,74            |                    |
|              |            |             |            | 0,00                       | 0,00                         | 0,00             | 0,00               |
| Slaapkamer 2 | 2,65       | 1,92        | 2,35       | 5,09                       | 4,71                         | 11,96            | 11,06              |
|              | 0,45       | -0,85       | 2,35       | -0,38                      |                              | -0,90            |                    |
| Berging      | 0,75       | 0,65        | 2,35       | 0,49                       | 0,49                         | 1,15             | 1,15               |
| berging trap | 2,25       | 0,65        | 2,35       | 1,46                       | 1,46                         | 3,44             | 3,44               |
| Slaapkamer 3 | 2,72       | 3,5         | 2,35       | 9,52                       | 9,52                         | 22,37            | 22,37              |
| Zolder       | 6,7        | 5,52        | 2,375      | 36,98                      | 36,98                        | 43,92            | 43,92              |

TOTAAL VLOEROPPERVLAKTE = 106,38 m² (gebruikmakend van binnenafmetingen)

TOTAAL VOLUME = 207,00 m³ (gebruikmakend van binnenafmetingen)

## Compactheid van de woning

made by Steven Van Lier

Compactheid v/d woning = "Beschermd Volume" gedeelt door "Totale Oppervlakte Bouwschil"

V = Beschermd Volume = Volume dat geïsoleerd is van de buitenwereld.

At = Totale Opp. Bouwschil = Totale buitenoppervlakte van de woning, som van alle zijden.

| Deel bouwschil   | Lengte (m) | Breedte (m) | Hoogte (m) | Oppervlakte (m <sup>2</sup> ) | Commentaar                        |
|------------------|------------|-------------|------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| Voorgevel        | 5,88       | 7,50        | N/A        | 44,10                         |                                   |
| Garage zijwand 1 |            |             | N/A        | 0,00                          |                                   |
| Garage zijwand 2 |            |             | N/A        | 0,00                          |                                   |
| Garage plat dak  |            |             | N/A        | 0,00                          |                                   |
| Linker zijgevel  | 7,10       | 7,50        | N/A        | 53,25                         |                                   |
| Achtergevel      | 5,88       | 7,50        | N/A        | 44,10                         |                                   |
| Rechter zijgevel | 7,10       | 7,50        | N/A        | 53,25                         |                                   |
| Zadeldak 1       | 4,27       | 5,88        | N/A        | 25,10                         |                                   |
| Zadeldak 2       | 4,27       | 5,88        | N/A        | 25,11                         |                                   |
| Puntgevel 1      | 7,10       | 2,38        | N/A        | 16,86                         | Opp. gedeelt door 2 want driehoek |
| Puntgevel 2      | 7,10       | 2,38        | N/A        | 16,86                         | Opp. gedeelt door 2 want driehoek |
| Vloer            | 5,80       | 7,10        | N/A        | 41,18                         |                                   |

At = Totale Oppervlakte Bouwschil = 319,81 m<sup>2</sup>

|              | Lengte (m) | Breedte (m) | Hoogte (m) | Volume (m <sup>3</sup> ) | Commentaar                          |
|--------------|------------|-------------|------------|--------------------------|-------------------------------------|
| Gelijkvloers | 7,10       | 5,88        | 3,00       | 125,24                   |                                     |
| Verdieping   | 7,10       | 5,88        | 2,88       | 120,03                   |                                     |
| Garage       |            |             |            | 0,00                     |                                     |
| Dak          | 14,00      | 8,00        | 4,00       | 224,00                   | Volume gedeelt door 2 want driehoek |

V = Beschermd Volume = 469,27 m<sup>3</sup>

V / At = Compactheid v/d woning = 1,47 m

## Temperaturen

made by Steven Van Lier

|                    | Temperatuur (°C) |
|--------------------|------------------|
| Badkamer           | 23,0             |
| Berging            | 18,0             |
| Buiten             | -10,0            |
| Doucheceel         | 18,0             |
| Garage             | 18,0             |
| Grond              | 5,0              |
| Inkom              |                  |
| Leefruimte         | 21,0             |
| Polyvalente Ruimte | 20,0             |
| Slaapkamer 1       | 20,0             |
| Slaapkamer 2       | 18,0             |
| Slaapkamer 3       | 20,0             |
| Vestiaire          | 21,0             |
| WC 1               | 18,0             |
| Zolder             | 10,0             |

T<sub>eb</sub> = Temperatuur Inkomende lucht = 13 °C (-10°C voor natuurlijke ventilatie, 13-17°C voor balansventilatie met WTW)

a<sub>j</sub> = correctiefactor k-waarde =  
 0,33 (volle grond)  
 0,67 (ingegraven muur / kelder / garage)  
 1 (buitenmuur / niet vorstvrije ruimte)

Ontwerptemperatuur vloerverwarming = 35 °C (temperatuur van het water in de vloerverwarmingsbuizen)

k<sub>r</sub> = aangepaste k-waarde vloerverw = 1,36 \* k (vloerdeilen met vloerverwarming moeten worden aangepast, de rest blijft 1)

$$k_r = k * \left( \frac{T_{ontwerp} + 10}{T_{comfort} + 10} \right)$$

made by Steven Van Lier

## Installatieaspecten van aardgasloze en energieneutrale woningen in Eindhoven

## Globaal Isolatieniveau (K)

made by Steven Van Lier

$k_j$  = Warmtedoorgangcoëfficiënt van elk onderdeel van de woning

$a_j$  = Correctiefactor k-waarde (volle grond = 0,33 / ingegraven muur / kelder / garage = 0,67 / al de rest = 1)

$b_j$  = Correctiefactor berekening  $k_a$  (indien onderstaand onderdeel van de woning bloot staat aan buiten = 1 zoniet = 0)

$A_j$  = Totaal verliesoppervlakte = totale oppervlakte blootgesteld aan buiten van elke onderdeel

$k_a$  = Gemiddelde warmtedoorgangcoëfficiënt =  $SOM(a_j \cdot b_j \cdot k_j \cdot A_j) / SOM(A_j)$

$V / A_t$  = Compactheid van de woning (berekend op apart tabblad)

$K_x$  = Globaal isolatieniveau

|                                  | k-waarde $k_j$<br>(W/m <sup>2</sup> K) | Correctiefactor $a_j$ | Correctiefactor $b_j$ | Oppervlakte in het<br>buitenschil $A_j$<br>(m <sup>2</sup> ) | $a_j \cdot b_j \cdot k_j \cdot A_j$<br>(WK) | Binnenschil<br>oppervlakte |      |       |        |       |
|----------------------------------|----------------------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------|------|-------|--------|-------|
|                                  | (W/m <sup>2</sup> K)                   |                       |                       | (m <sup>2</sup> )                                            | (WK)                                        |                            |      |       |        |       |
| OLV vloer op isolatie            | 1,72                                   | 1,00                  | 1,00                  | 39,75                                                        | 68,25                                       | 157,4                      |      |       |        |       |
| OLV vloer niet op isolatie       | 2,20                                   | 1,00                  | 0,00                  | 39,75                                                        | 0,00                                        | 39,15                      |      |       |        |       |
| OLV plafond / VDP vloer          | 2,71                                   | 1,00                  | 0,00                  | 39,75                                                        | 0,00                                        |                            |      |       |        |       |
| OLV plafond garage / VDP vloer   | 0,00                                   | 1,00                  | 0,00                  | 0                                                            | 0,00                                        |                            |      |       |        |       |
| OLV plafond garage / VDP platdek | 0,00                                   | 1,00                  | 1,00                  | 0                                                            | 0,00                                        | 12                         |      |       |        |       |
| VDP plafond / ZOL vloer          | 2,20                                   | 1,00                  | 0,00                  | 39,75                                                        | 0,00                                        |                            |      |       |        |       |
| Buitenmuur Gevelsteen            | 0,59                                   | 1,00                  | 1,00                  | 63,49                                                        | 37,26                                       | 159,12                     | 102  | 10,40 | -24,71 |       |
| Buitenmuur Cippi                 | 0,00                                   | 1,00                  | 1,00                  | 0                                                            | 0,00                                        | 12,5                       | 6,88 | 2,50  |        |       |
| Binnenmuur dragend               | 2,71                                   | 1,00                  | 0,00                  | 63,45                                                        | 0,00                                        |                            |      |       |        |       |
| Binnenmuur dragend (garage)      | 0,00                                   | 1,00                  | 0,00                  | 0                                                            | 0,00                                        |                            |      |       |        |       |
| Binnenmuur niet-dragend          | 2,51                                   | 1,00                  | 0,00                  | 0                                                            | 0,00                                        |                            |      |       |        |       |
| Raam                             | 0,80                                   | 1,00                  | 1,00                  | 16,71                                                        | 13,37                                       | 40,56                      | 1,98 | 2,52  | 1,40   | 10,80 |
| Buitendeur                       | 2,90                                   | 1,00                  | 1,00                  | 8                                                            | 23,22                                       | 3,12                       |      |       |        |       |
| Binnendeur                       | 1,24                                   | 1,00                  | 0,00                  | 0                                                            | 0,00                                        |                            |      |       |        |       |
| Garagepoort                      | 0,00                                   | 1,00                  | 1,00                  | 0                                                            | 0,00                                        | 12                         |      |       |        |       |
| Zedeldak noord                   | 0,20                                   | 1,00                  | 1,00                  | 25,11                                                        | 5,09                                        | 86,4                       |      |       |        |       |
| Zedeldak zuid                    | 0,20                                   | 1,00                  | 1,00                  | 25,11                                                        | 5,09                                        | 86,4                       |      |       |        |       |
| Puntgevel oost                   | 2,27                                   | 1,00                  | 1,00                  | 8,43                                                         | 19,17                                       | 32                         |      |       |        |       |
| Puntgevel west                   | 2,27                                   | 1,00                  | 1,00                  | 8,43                                                         | 19,17                                       | 32                         |      |       |        |       |

$A_t = SOM(A_j) = 377,73 \text{ m}^2$

$SOM(a_j \cdot b_j \cdot k_j \cdot A_j) = 190,80 \text{ WK}$

$k_a = 0,50 \text{ W/m}^2\text{K}$

$V / A_t = 1,47 \text{ m}$

$K_x = 44$

$$\frac{V}{A_t} \leq 1 \rightarrow K_x = 100 \cdot k_a$$

$$1 < \frac{V}{A_t} < 4 \rightarrow K_x = \frac{300 \cdot k_a}{\frac{V}{A_t} + 2}$$

$$4 < \frac{V}{A_t} \rightarrow K_x = 50 \cdot k_a$$

## Warmteverliezen - Transmissie

made by Steven Van Lier

|                |                                   | Lengte<br>(m) | Breedte<br>(m) | Oppervlakte<br>(m²) | Grenzend aan       | Twand<br>(°C) | Delta T<br>(K) | k<br>(W/m²K) | Ot<br>(W) | Tiokaal<br>(°C) | Volume<br>(m³) |
|----------------|-----------------------------------|---------------|----------------|---------------------|--------------------|---------------|----------------|--------------|-----------|-----------------|----------------|
| GLV Leefruimte | GLV vloer op isolatie             | 6,56          | 3,50           | 22,96               | Grond              | 5,00          | 16,00          | 1,72         | 630,75    | 21,00           | 53,96          |
|                | GLV plafond / VDP vloer           | 3,07          | 3,50           | 10,75               | Slaapkamer 1       | 20,00         | 1,00           | 2,71         | 29,09     |                 |                |
|                | GLV plafond / VDP vloer           | 0,75          | 0,65           | 0,49                | Slaapkamer 3       | 20,00         | 1,00           | 2,71         | 1,32      |                 |                |
|                | GLV plafond / VDP vloer           | 2,25          | 0,65           | 1,46                | Douchecel          | 18,00         | 3,00           | 2,71         | 11,86     |                 |                |
|                | GLV plafond / VDP vloer           | 5,07          | 3,60           | 18,25               | Slaapkamer 2       | 18,00         | 3,00           | 2,71         | 148,24    |                 |                |
|                | N Buitenmuur Gevelsteen           | 2,90          | 2,60           | 7,54                | Buiten             | -10,00        | 31,00          | 0,59         | 137,17    |                 |                |
|                | Buitenmuur Gevelsteen             | -1,51         | 1,80           | -2,72               | Buiten             | -10,00        | 31,00          | 0,59         | -49,45    |                 |                |
|                | Buitenmuur Gevelsteen             | -0,99         | 2,30           | -2,28               | Buiten             | -10,00        | 31,00          | 0,59         | -41,43    |                 |                |
|                | Raam                              | 1,51          | 1,80           | 2,72                | Buiten             | -10,00        | 31,00          | 0,80         | 67,41     |                 |                |
|                | Buitendeur                        | 0,99          | 2,05           | 2,03                | Buiten             | -10,00        | 31,00          | 2,90         | 182,64    |                 |                |
|                | Raam                              | 0,99          | 0,25           | 0,25                | Buiten             | -10,00        | 31,00          | 0,80         | 6,14      |                 |                |
|                | O Binnenmuur dragend              | 2,70          | 2,35           | 6,35                | Vestiaire          | 21,00         | 0,00           | 2,71         | 0,00      |                 |                |
|                | Binnenmuur dragend                | 3,06          | 2,35           | 7,19                | Berging            | 18,00         | 3,00           | 2,71         | 58,49     |                 |                |
|                | Binnendeur                        | 0,80          | 2,35           | 1,88                | Berging            | 18,00         | 3,00           | 1,24         | 7,00      |                 |                |
|                | Z Buitenmuur Gevelsteen           | 3,50          | 2,35           | 8,23                | Buiten             | -10,00        | 31,00          | 0,59         | 149,64    |                 |                |
|                | Buitenmuur Gevelsteen             | -2,50         | 1,80           | -4,50               | Buiten             | -10,00        | 31,00          | 0,59         | -81,87    |                 |                |
|                | Raam                              | 2,50          | 1,80           | 4,50                | Buiten             | -10,00        | 31,00          | 0,80         | 111,60    |                 |                |
|                | W Buitenmuur Gevelsteen           | 6,56          | 2,35           | 15,42               | Leefruimte         | 21,00         | 0,00           | 0,59         | 0,00      |                 |                |
|                | Totaal warmteverlies leefruimte = |               |                |                     |                    |               |                |              | 1.368,63  |                 |                |
| Hal            | GLV vloer op isolatie             | 1,92          | 2,96           | 5,68                | Grond              | 5,00          | 13,00          | 1,72         | 126,85    | 18,00           | 14,88          |
|                | GLV vloer op isolatie             | 0,9           | 0,72           | 0,65                | Grond              | 5,00          | 13,00          | 1,72         | 14,46     |                 |                |
|                | GLV plafond / VDP vloer           | 1,93525       | 2              | 3,87                | Garage             | 18,00         | 0,00           | 2,71         | 0,00      |                 |                |
|                | GLV plafond / VDP vloer           | 1,99          | 1,92           | 3,82                | Badkamer           | 23,00         | -5,00          | 2,71         | -51,72    |                 |                |
|                | GLV plafond / VDP vloer           | -0,9          | 0,35           | -0,32               | Badkamer           | 23,00         | -5,00          | 2,71         | 4,26      |                 |                |
|                | N Binnendeur                      | 0,80          | 2,35           | 1,88                | Vestiaire          | 21,00         | -3,00          | 1,24         | -7,00     |                 |                |
|                | Binnenmuur niet-dragend           | 1,12          | 2,35           | 2,63                | WC 1               | 18,00         | 0,00           | 2,51         | 0,00      |                 |                |
|                | O Binnendeur                      | 0,80          | 2,35           | 1,88                | WC 1               | 18,00         | 0,00           | 1,24         | 0,00      |                 |                |
|                | Binnenmuur dragend                | 3,06          | 2,35           | 7,19                | Berging            | 18,00         | 0,00           | 2,71         | 0,00      |                 |                |
|                | Z Buitenmuur Gevelsteen           | 1,92          | 2,35           | 4,51                | Buiten             | -10,00        | 28,00          | 0,59         | 74,14     |                 |                |
|                | Binnenmuur dragend                | -1,70         | 2,05           | -3,49               | Buiten             | -10,00        | 28,00          | 2,71         | -264,58   |                 |                |
|                | Buitendeur                        | 0,99          | 2,05           | 2,03                | Buiten             | -10,00        | 28,00          | 2,90         | 164,96    |                 |                |
|                | Raam                              | 0,71          | 2,05           | 1,46                | Buiten             | -10,00        | 28,00          | 0,80         | 32,60     |                 |                |
|                | W Binnenmuur dragend              | 3,06          | 2,35           | 7,19                | Leefruimte         | 21,00         | -3,00          | 2,71         | -58,49    |                 |                |
|                | Binnendeur                        | 0,80          | 2,35           | 1,88                | Leefruimte         | 21,00         | -3,00          | 1,24         | -7,00     |                 |                |
|                | Totaal warmteverlies berging =    |               |                |                     |                    |               |                |              | 28,49     |                 |                |
| WC1            | GLV vloer op isolatie             | 1,02          | 0,80           | 0,82                | Grond              | 5,00          | 13,00          | 1,72         | 18,21     | 18,00           | 1,92           |
|                | GLV plafond / VDP vloer           | 1,02          | 0,80           | 0,82                | Garage             | 18,00         | 0,00           | 2,71         | 0,00      |                 |                |
|                | N Buitenmuur Gevelsteen           | 1,02          | 2,35           | 2,40                | Vestiaire          | 21,00         | -3,00          | 0,59         | -4,22     |                 |                |
|                | O Binnenmuur dragend              | 0,80          | 2,35           | 1,88                | WC 1               | 18,00         | 0,00           | 2,71         | 0,00      |                 |                |
|                | Z Binnenmuur niet-dragend         | 1,02          | 2,35           | 2,40                | Berging            | 18,00         | 0,00           | 2,51         | 0,00      |                 |                |
|                | W Binnendeur                      | 0,80          | 2,35           | 1,88                | Berging            | 18,00         | 0,00           | 1,24         | 0,00      |                 |                |
|                | Totaal warmteverlies WC1 =        |               |                |                     |                    |               |                |              | 13,99     |                 |                |
| Keuken         | GLV vloer op isolatie             | 1,92          | 2,60           | 4,99                | Grond              | 5,00          | 16,00          | 1,72         | 137,14    | 21,00           | 11,73          |
|                | GLV plafond / VDP vloer           | 1,92          | 2,60           | 4,99                | Polyvalente Ruimte | 20,00         | 1,00           | 2,71         | 13,52     |                 |                |
|                | GLV plafond / VDP vloer           | -0,80         | 0,45           | -0,36               | Polyvalente Ruimte | 20,00         | 1,00           | 2,71         | -0,97     |                 |                |
|                | GLV plafond / VDP vloer           | 0,80          | 0,45           | 0,36                | Garage             | 18,00         | 3,00           | 2,71         | 2,92      |                 |                |
|                | N Buitenmuur Gevelsteen           | 1,92          | 2,35           | 4,51                | Buiten             | -10,00        | 31,00          | 0,59         | 82,09     |                 |                |
|                | Buitenmuur Gevelsteen             | -0,99         | 2,35           | -2,33               | Buiten             | -10,00        | 31,00          | 0,59         | -42,33    |                 |                |
|                | Buitendeur                        | 0,99          | 2,05           | 2,03                | Buiten             | -10,00        | 31,00          | 2,90         | 182,64    |                 |                |
|                | Raam                              | 0,99          | 0,25           | 0,25                | Buiten             | -10,00        | 31,00          | 0,80         | 6,14      |                 |                |
|                | O Binnenmuur dragend              | 2,60          | 2,35           | 6,11                | Leefruimte         | 21,00         | 0,00           | 2,71         | 0,00      |                 |                |
|                | Binnendeur                        | 0,80          | 2,35           | 1,88                | Berging            | 18,00         | 3,00           | 1,24         | 7,00      |                 |                |
|                | Binnenmuur dragend                | 1,12          | 2,35           | 2,63                | WC 1               | 18,00         | 3,00           | 2,71         | 21,41     |                 |                |
|                | Totaal warmteverlies WC1 =        |               |                |                     |                    |               |                |              | 13,99     |                 |                |
|                | GLV vloer op isolatie             | 1,92          | 2,60           | 4,99                | Grond              | 5,00          | 16,00          | 1,72         | 137,14    |                 |                |
|                | GLV plafond / VDP vloer           | 1,92          | 2,60           | 4,99                | Polyvalente Ruimte | 20,00         | 1,00           | 2,71         | 13,52     |                 |                |
|                | GLV plafond / VDP vloer           | -0,80         | 0,45           | -0,36               | Polyvalente Ruimte | 20,00         | 1,00           | 2,71         | -0,97     |                 |                |
|                | GLV plafond / VDP vloer           | 0,80          | 0,45           | 0,36                | Garage             | 18,00         | 3,00           | 2,71         | 2,92      |                 |                |
|                | N Buitenmuur Gevelsteen           | 1,92          | 2,35           | 4,51                | Buiten             | -10,00        | 31,00          | 0,59         | 82,09     |                 |                |
|                | Buitenmuur Gevelsteen             | -0,99         | 2,35           | -2,33               | Buiten             | -10,00        | 31,00          | 0,59         | -42,33    |                 |                |
|                | Buitendeur                        | 0,99          | 2,05           | 2,03                | Buiten             | -10,00        | 31,00          | 2,90         | 182,64    |                 |                |
|                | Raam                              | 0,99          | 0,25           | 0,25                | Buiten             | -10,00        | 31,00          | 0,80         | 6,14      |                 |                |
|                | O Binnenmuur dragend              | 2,60          | 2,35           | 6,11                | Leefruimte         | 21,00         | 0,00           | 2,71         | 0,00      |                 |                |
|                | Binnendeur                        | 0,80          | 2,35           | 1,88                | Berging            | 18,00         | 3,00           | 1,24         | 7,00      |                 |                |
|                | Binnenmuur dragend                | 1,12          | 2,35           | 2,63                | WC 1               | 18,00         | 3,00           | 2,71         | 21,41     |                 |                |



Uitzoomen (Ctrl+Min)

## Warmteverliezen - Transmissie

made by Steven Van Lier

|                                     |                               | Lengte<br>(m) | Breedte<br>(m) | Oppervlakte<br>(m²) | Grenzend aan       | Twand<br>(°C) | Delta T<br>(K) | k<br>(W/m²K) | Ot<br>(W) | Tlokaal<br>(°C) | Volume<br>(m³) |
|-------------------------------------|-------------------------------|---------------|----------------|---------------------|--------------------|---------------|----------------|--------------|-----------|-----------------|----------------|
| W                                   | Binnenmuur dragend            | 2,60          | 2,35           | 6,11                | Vestiaire          | 21,00         | 0,00           | 2,71         | 0,00      |                 |                |
|                                     | GLV vloer op isolatie         |               |                | 0,00                | Grond              | 5,00          | -5,00          | 1,72         | 0,00      | 0,00            | 0,00           |
|                                     | GLV plafond / VDP vloer       |               |                | 0,00                | Polyvalente Ruimte | 20,00         | -20,00         | 2,71         | 0,00      |                 |                |
|                                     | N Buitenmuur Crepi            |               |                | 0,00                | Buiten             | -10,00        | 10,00          | 0,00         | 0,00      |                 |                |
|                                     | Buitendeur                    |               |                | 0,00                | Buiten             | -10,00        | 10,00          | 2,90         | 0,00      |                 |                |
|                                     | O Binnenmuur niet-dragend     |               |                | 0,00                | WC 1               | 18,00         | -18,00         | 2,51         | 0,00      |                 |                |
|                                     | Binnenmuur dragend            |               |                | 0,00                | Vestiaire          | 21,00         | -21,00         | 2,71         | 0,00      |                 |                |
|                                     | Z Binnendeur                  |               |                | 0,00                | Leefruimte         | 21,00         | -21,00         | 1,24         | 0,00      |                 |                |
|                                     | W Binnenmuur dragend (garage) |               |                | 0,00                | Garage             | 18,00         | -18,00         | 0,00         | 0,00      |                 |                |
|                                     | Binnenmuur dragend (garage)   |               |                | 0,00                | Garage             | 18,00         | -18,00         | 0,00         | 0,00      |                 |                |
|                                     | Binnendeur                    |               |                | 0,00                | Garage             | 18,00         | -18,00         | 1,24         | 0,00      |                 |                |
| Totaal warmteverlies vestiaire =    |                               |               |                |                     |                    |               |                |              | 409,55    |                 |                |
| Overloop                            | GLV vloer niet op isolatie    | 1,93525       | 2              | 3,87                | Berging            | 18,00         | 0,00           | 2,20         | 0,00      | 18,00           | 9,10           |
|                                     | GLV vloer niet op isolatie    | -0,80         | 0,50           | -0,40               | Berging            | 18,00         | 0,00           | 2,20         | 0,00      |                 |                |
|                                     | GLV vloer niet op isolatie    | 0,80          | 0,50           | 0,40                | Vestiaire          | 21,00         | -3,00          | 2,20         | -2,64     |                 |                |
|                                     | VDP plafond / ZOL vloer       | 1,93525       | 2              | 3,87                | Zolder             | 10,00         | 8,00           | 2,20         | 68,16     |                 |                |
|                                     | N Binnenmuur niet-dragend     | 1,12          | 2,35           | 2,63                | Polyvalente Ruimte | 20,00         | -2,00          | 2,51         | -13,20    |                 |                |
|                                     | Binnendeur                    | 0,80          | 2,35           | 1,88                | Polyvalente Ruimte | 20,00         | -2,00          | 1,24         | -4,67     |                 |                |
|                                     | O Binnenmuur niet-dragend     | 0,40          | 2,35           | 0,94                | Polyvalente Ruimte | 20,00         | -2,00          | 2,51         | -4,71     |                 |                |
|                                     | Binnenmuur niet-dragend       | 1,74          | 2,35           | 4,09                | Garage             | 18,00         | 0,00           | 2,51         | 0,00      |                 |                |
|                                     | Binnenmuur niet-dragend       | 3,50          | 2,35           | 8,23                | Badkamer           | 23,00         | -5,00          | 2,51         | -103,12   |                 |                |
|                                     | Z Binnenmuur niet-dragend     | 1,12          | 2,35           | 2,63                | Badkamer           | 23,00         | -5,00          | 2,51         | -33,00    |                 |                |
|                                     | Binnendeur                    | 0,80          | 2,35           | 1,88                | Badkamer           | 23,00         | -5,00          | 1,24         | -11,67    |                 |                |
| W                                   | Binnendeur                    | 0,80          | 2,35           | 1,88                | Slaapkamer 1       | 20,00         | -2,00          | 1,24         | -4,67     |                 |                |
|                                     | Binnendeur                    | 0,65          | 2,35           | 1,53                | Douchecel          | 18,00         | 0,00           | 1,24         | 0,00      |                 |                |
|                                     | Binnendeur                    | 1,00          | 2,35           | 2,35                | Slaapkamer 3       | 20,00         | -2,00          | 1,24         | -5,83     |                 |                |
| Totaal warmteverlies garage =       |                               |               |                |                     |                    |               |                |              | -115,35   |                 |                |
| Slaapkamer 1                        | GLV plafond / VDP vloer       | 3,50          | 3,07           | 10,75               | Leefruimte         | 21,00         | -1,00          | 2,71         | -29,09    | 20,00           | 25,25          |
|                                     | VDP plafond / ZOL vloer       | 3,50          | 3,07           | 10,75               | Zolder             | 10,00         | 10,00          | 2,20         | 236,54    |                 |                |
|                                     | N Buitenmuur Gevelsteen       | 3,50          | 2,35           | 8,23                | Buiten             | -10,00        | 30,00          | 0,59         | 144,81    |                 |                |
|                                     | Buitenmuur Gevelsteen         | -1,51         | 1,38           | -2,08               | Buiten             | -10,00        | 30,00          | 0,59         | -38,55    |                 |                |
|                                     | Buitenmuur Gevelsteen         | -0,99         | 2,05           | -2,03               | Buiten             | -10,00        | 30,00          | 0,59         | -35,73    |                 |                |
|                                     | Raam                          | 1,51          | 1,38           | 2,09                | Buiten             | -10,00        | 30,00          | 0,80         | 49,83     |                 |                |
|                                     | Buitendeur                    | 0,99          | 2,05           | 2,03                | Buiten             | -10,00        | 30,00          | 2,90         | 176,75    |                 |                |
|                                     | O Binnenmuur dragend          | 2,27          | 2,35           | 5,33                | Polyvalente Ruimte | 20,00         | 0,00           | 2,71         | 0,00      |                 |                |
|                                     | Binnendeur                    | 0,80          | 2,35           | 1,83                | Garage             | 18,00         | 2,00           | 1,24         | 4,67      |                 |                |
|                                     | Z Binnenmuur niet-dragend     | 1,21          | 2,35           | 2,84                | Slaapkamer 2       | 18,00         | 2,00           | 2,51         | 14,26     |                 |                |
| W                                   | Binnendeur                    | 0,80          | 2,35           | 1,83                | Douchecel          | 18,00         | 2,00           | 1,24         | 4,67      |                 |                |
|                                     | Binnenmuur niet-dragend       | 1,48          | 2,35           | 3,43                | Douchecel          | 18,00         | 2,00           | 2,51         | 17,44     |                 |                |
|                                     | Buitenmuur Crepi              | 3,07          | 2,35           | 7,21                | Slaapkamer 1       | 20,00         | 0,00           | 0,00         | 0,00      |                 |                |
| Totaal warmteverlies slaapkamer 1 = |                               |               |                |                     |                    |               |                |              | 547,59    |                 |                |
| Berging                             | GLV plafond / VDP vloer       | 0,65          | 0,75           | 0,49                | Leefruimte         | 21,00         | -3,00          | 2,71         | -3,96     | 18,00           | 1,15           |
|                                     | VDP plafond / ZOL vloer       | 0,65          | 0,75           | 0,49                | Zolder             | 10,00         | 8,00           | 2,20         | 8,59      |                 |                |
|                                     | N Binnenmuur niet-dragend     | 0,75          | 2,35           | 1,76                | Slaapkamer 1       | 20,00         | -2,00          | 2,51         | -8,84     |                 |                |
|                                     | O Binnenmuur dragend          | 0,65          | 2,35           | 1,53                | Douchecel          | 18,00         | 0,00           | 2,71         | 0,00      |                 |                |
|                                     | Z Binnendeur                  | 0,75          | 2,35           | 1,76                | Slaapkamer 3       | 20,00         | -2,00          | 1,24         | -4,38     |                 |                |
|                                     | W Buitenmuur Gevelsteen       | 0,65          | 2,35           | 1,53                | Garage             | 18,00         | 0,00           | 0,59         | 0,00      |                 |                |
| Totaal warmteverlies slaapkamer 2 = |                               |               |                |                     |                    |               |                |              | -3,59     |                 |                |
| Slaapkamer 3                        | GLV vloer niet op isolatie    | 3,50          | 2,72           | 9,52                | Leefruimte         | 21,00         | -1,00          | 2,20         | -20,96    | 20,00           | 22,37          |
|                                     | VDP plafond / ZOL vloer       | 3,50          | 2,72           | 9,52                | Zolder             | 10,00         | 10,00          | 2,20         | 209,57    |                 |                |
|                                     | N Binnenmuur niet-dragend     | 2,75          | 2,35           | 6,46                | Douchecel          | 18,00         | 2,00           | 2,51         | 32,41     |                 |                |
|                                     | Binnendeur                    | 0,75          | 2,35           | 1,76                | Douchecel          | 18,00         | 2,00           | 1,24         | 4,38      |                 |                |

Uitzoomen (Ctrl+Min)

## Warmteverliezen - Transmissie

made by Steven Van Lier

|                            |                            | Lengte<br>(m) | Breedte<br>(m) | Oppervlakte<br>(m²) | Grenzend aan       | Twand<br>(°C) | Delta T<br>(K) | k<br>(W/m²K) | Ot<br>(W)                                  | Tlokaal<br>(°C) | Volume<br>(m³) |
|----------------------------|----------------------------|---------------|----------------|---------------------|--------------------|---------------|----------------|--------------|--------------------------------------------|-----------------|----------------|
| Badkamer                   | O Binnendeur               | 1,00          | 2,35           | 2,35                | Garage             | 18,00         | 2,00           | 1,24         | 5,83                                       |                 |                |
|                            | Binnenmuur dragend         | 1,72          | 2,35           | 4,04                | Badkamer           | 23,00         | -3,00          | 2,71         | -32,88                                     |                 |                |
|                            | Z Buitenmuur Gevelsteen    | 3,50          | 2,35           | 8,23                | Buiten             | -10,00        | 30,00          | 0,59         | 144,81                                     |                 |                |
|                            | Buitenmuur Gevelsteen      | -2,50         | 1,38           | -3,44               | Buiten             | -10,00        | 30,00          | 0,59         | -60,52                                     |                 |                |
|                            | Raam                       | 2,50          | 1,38           | 3,44                | Buiten             | -10,00        | 30,00          | 0,80         | 82,50                                      |                 |                |
|                            | W Binnenmuur dragend       | 2,72          | 2,35           | 6,39                | Slaapkamer 3       | 20,00         | 0,00           | 2,71         | 0,00                                       |                 |                |
|                            |                            |               |                |                     |                    |               |                |              | <b>Totaal warmteverlies slaapkamer 3 =</b> |                 |                |
|                            | GLV vloer niet op isolatie | 1,99          | 1,92           | 3,82                | Berging            | 18,00         | 5,00           | 2,20         | 42,06                                      | 23,00           | 8,24           |
|                            | GLV vloer niet op isolatie | -0,9          | 0,35           | -0,32               | Berging            | 18,00         | 5,00           | 2,20         | -3,47                                      |                 |                |
|                            | VDP plafond / ZOL vloer    | 1,99          | 1,92           | 3,82                | Zolder             | 10,00         | 13,00          | 2,20         | 109,34                                     |                 |                |
| Berging trap               | VDP plafond / ZOL vloer    | -0,9          | 0,35           | -0,32               | Zolder             | 10,00         | 13,00          | 2,20         | -9,01                                      |                 |                |
|                            | N Binnendeur               | 0,80          | 2,35           | 1,88                | Garage             | 18,00         | 5,00           | 1,24         | 11,67                                      |                 |                |
|                            | Binnenmuur niet-dragend    | 1,12          | 2,35           | 2,63                | Garage             | 18,00         | 5,00           | 2,51         | 33,00                                      |                 |                |
|                            | O Buitenmuur Crepi         | 1,99          | 2,35           | 4,68                | Badkamer           | 23,00         | 0,00           | 0,00         | 0,00                                       |                 |                |
|                            | Z Buitenmuur Gevelsteen    | 1,92          | 2,35           | 4,51                | Buiten             | -10,00        | 33,00          | 0,59         | 87,38                                      |                 |                |
|                            | Buitenmuur Gevelsteen      | -0,80         | 0,80           | -0,64               | Buiten             | -10,00        | 33,00          | 0,59         | -12,39                                     |                 |                |
|                            | Raam                       | 0,80          | 0,80           | 0,64                | Buiten             | -10,00        | 33,00          | 0,80         | 16,90                                      |                 |                |
|                            | W Binnenmuur dragend       | 1,64          | 2,35           | 3,85                | Slaapkamer 3       | 20,00         | 3,00           | 2,71         | 31,35                                      |                 |                |
|                            | Binnenmuur niet-dragend    | 0,35          | 2,35           | 0,82                | Garage             | 18,00         | 5,00           | 2,51         | 10,31                                      |                 |                |
|                            |                            |               |                |                     |                    |               |                |              | <b>Totaal warmteverlies badkamer =</b>     |                 |                |
| WC2                        | GLV vloer niet op isolatie | 2,25          | 0,65           | 1,43                | Leefruimte         | 21,00         | -3,00          | 2,20         | -9,66                                      | 18,00           | 3,44           |
|                            | VDP plafond / ZOL vloer    | 2,25          | 0,65           | 1,43                | Zolder             | 10,00         | 8,00           | 2,20         | 25,78                                      |                 |                |
|                            | N Binnendeur               | 0,75          | 2,35           | 1,73                | Slaapkamer 1       | 20,00         | -2,00          | 1,24         | -4,38                                      |                 |                |
|                            | Binnenmuur niet-dragend    | 1,50          | 2,35           | 3,53                | Slaapkamer 1       | 20,00         | -2,00          | 2,51         | -17,68                                     |                 |                |
|                            | O Binnendeur               | 0,65          | 2,35           | 1,53                | Garage             | 18,00         | 0,00           | 1,24         | 0,00                                       |                 |                |
|                            | Z Binnenmuur niet-dragend  | 2,25          | 2,35           | 5,29                | Slaapkamer 3       | 20,00         | -2,00          | 2,51         | -26,52                                     |                 |                |
|                            | W Binnenmuur niet-dragend  | 0,65          | 2,35           | 1,53                | Slaapkamer 2       | 18,00         | 0,00           | 2,51         | 0,00                                       |                 |                |
|                            |                            |               |                |                     |                    |               |                |              | <b>Totaal warmteverlies doucheceel =</b>   |                 |                |
|                            | GLV plafond / VDP vloer    |               |                | 0,00                | WC 1               | 18,00         | -18,00         | 2,71         | 0,00                                       | 0,00            | 0,00           |
|                            | VDP plafond / ZOL vloer    |               |                | 0,00                | Zolder             | 10,00         | -10,00         | 2,20         | 0,00                                       |                 |                |
| Slaapkamer 2<br>(radiator) | N Buitenmuur Gevelsteen    |               |                | 0,00                | Buiten             | -10,00        | 10,00          | 0,59         | 0,00                                       |                 |                |
|                            | O Binnenmuur niet-dragend  |               |                | 0,00                | Badkamer           | 23,00         | -23,00         | 2,51         | 0,00                                       |                 |                |
|                            | Z Binnenmuur niet-dragend  |               |                | 0,00                | Badkamer           | 23,00         | -23,00         | 2,51         | 0,00                                       |                 |                |
|                            | W Binnenmuur dragend       |               |                | 0,00                | Polyvalente Ruimte | 20,00         | -20,00         | 2,71         | 0,00                                       |                 |                |
|                            | Binnenmuur dragend         |               |                | 0,00                | Polyvalente Ruimte | 20,00         | -20,00         | 2,71         | 0,00                                       |                 |                |
|                            | Binnendeur                 |               |                | 0,00                | Polyvalente Ruimte | 20,00         | -20,00         | 1,24         | 0,00                                       |                 |                |
|                            |                            |               |                |                     |                    |               |                |              | <b>Totaal warmteverlies WC2 =</b>          |                 |                |
|                            | GLV vloer niet op isolatie | 2,65          | 1,92           | 5,09                | Leefruimte         | 21,00         | -1,00          | 2,20         | -11,20                                     | 20,00           | 11,06          |
|                            | GLV vloer niet op isolatie | 0,45          | -0,85          | -0,38               | Leefruimte         | 21,00         | -1,00          | 2,20         | 0,84                                       |                 |                |
|                            | VDP plafond / ZOL vloer    | 2,65          | 1,92           | 5,09                | Inkom              | 0,00          | 20,00          | 2,20         | 224,01                                     |                 |                |
| Zolder                     | VDP plafond / ZOL vloer    | 0,45          | -0,85          | -0,38               | Zolder             | 10,00         | 10,00          | 2,20         | -8,42                                      |                 |                |
|                            | N Buitenmuur Gevelsteen    | 1,92          | 2,35           | 4,51                | Buiten             | -10,00        | 30,00          | 0,59         | 79,44                                      |                 |                |
|                            | Buitenmuur Gevelsteen      | -0,99         | 1,38           | -1,36               | Buiten             | -10,00        | 30,00          | 0,59         | -23,97                                     |                 |                |
|                            | Raam                       | 0,99          | 1,38           | 1,36                | Buiten             | -10,00        | 30,00          | 0,80         | 32,67                                      |                 |                |
|                            | O Binnenmuur dragend       | 2,65          | 2,35           | 6,23                | Polyvalente Ruimte | 20,00         | 0,00           | 2,71         | 0,00                                       |                 |                |
|                            | Z Binnenmuur niet-dragend  | 1,12          | 2,35           | 2,63                | Garage             | 18,00         | 2,00           | 2,51         | 13,20                                      |                 |                |
|                            | Binnendeur                 | 0,80          | 2,35           | 1,83                | Garage             | 18,00         | 2,00           | 1,24         | 4,67                                       |                 |                |
|                            | Binnenmuur dragend         | 2,20          | 2,35           | 5,17                | Slaapkamer 1       | 20,00         | 0,00           | 2,71         | 0,00                                       |                 |                |
|                            | Binnenmuur niet-dragend    | 0,45          | 2,35           | 1,06                | Garage             | 18,00         | 2,00           | 2,51         | 5,30                                       |                 |                |
|                            |                            |               |                |                     |                    |               |                |              | <b>Totaal warmteverlies Poly ruimte =</b>  |                 |                |
| Zolder                     | VDP plafond / ZOL vloer    | 3,07          | 3,50           | 10,75               | Slaapkamer 1       | 20,00         | -10,00         | 2,20         | -236,54                                    | 10,00           | 43,92          |
|                            | VDP plafond / ZOL vloer    | 0,65          | 0,75           | 0,49                | Slaapkamer 2       | 18,00         | -8,00          | 2,20         | -8,59                                      |                 |                |
|                            | VDP plafond / ZOL vloer    | 2,72          | 3,50           | 9,52                | Slaapkamer 3       | 20,00         | -10,00         | 2,20         | -209,57                                    |                 |                |

## Warmteverliezen - Transmissie

made by Steven Van Lier

|                                                 | Lengte<br>(m) | Breedte<br>(m) | Oppervlakte<br>(m²) | Grenzend aan       | Twand<br>(°C) | Delta T<br>(K) | k<br>(W/m²K) | Ot<br>(W) | Tiokaal<br>(°C) | Volume<br>(m³) |
|-------------------------------------------------|---------------|----------------|---------------------|--------------------|---------------|----------------|--------------|-----------|-----------------|----------------|
| VDP plafond / ZOL vloer                         | 1,99          | 1,92           | 3,82                | Bedkamer           | 23,00         | -13,00         | 2,20         | -109,34   |                 |                |
| VDP plafond / ZOL vloer                         | -0,9          | 0,35           | -0,32               | Bedkamer           | 23,00         | -13,00         | 2,20         | 9,01      |                 |                |
| VDP plafond / ZOL vloer                         | 1,83525       | 2              | 3,67                | Garage             | 18,00         | -8,00          | 2,20         | -88,16    |                 |                |
| VDP plafond / ZOL vloer                         | 2,25          | 0,65           | 1,46                | Douchecel          | 18,00         | -8,00          | 2,20         | -25,76    |                 |                |
| VDP plafond / ZOL vloer                         | 2,85          | 1,92           | 5,09                | Polyvalente Ruimte | 20,00         | -10,00         | 2,20         | -112,01   |                 |                |
| VDP plafond / ZOL vloer                         | 0,45          | -0,85          | -0,38               | Polyvalente Ruimte | 20,00         | -10,00         | 2,20         | 8,42      |                 |                |
| N Zadeldak noord                                | 4,27          | 5,88           | 25,10               | Buiten             | -10,00        | 20,00          | 0,20         | 101,67    |                 |                |
| O Puntgevel oost                                | 7,10          | 2,38           | 16,86               | Buiten             | -10,00        | 20,00          | 2,27         | 766,72    |                 |                |
| Z Zadeldak zuid                                 | 4,27          | 5,88           | 25,10               | Buiten             | -10,00        | 20,00          | 0,20         | 101,67    |                 |                |
| W Puntgevel west                                | 7,10          | 2,38           | 16,86               | Buiten             | -10,00        | 20,00          | 2,27         | 766,72    |                 |                |
| Totaal warmteverlies zolder *                   |               |                |                     |                    |               |                |              | 984,25    |                 |                |
| Blanco                                          |               |                | 0,00                |                    | #N/B          | #N/B           | #N/B         | #N/B      |                 |                |
| Database opzoeking (hieronder niets veranderen) |               |                |                     |                    |               |                |              |           |                 |                |
| Binnendeur                                      |               |                |                     | Bedkamer           | 23,0          |                | 1,24         |           |                 |                |
| Binnenmuur dragend                              |               |                |                     | Berging            | 18,0          |                | 2,71         |           |                 |                |
| Binnenmuur dragend (garage)                     |               |                |                     | Buiten             | -10,0         |                | 0,00         |           |                 |                |
| Binnenmuur niet-dragend                         |               |                |                     | Douchecel          | 18,0          |                | 2,51         |           |                 |                |
| Buitendeur                                      |               |                |                     | Garage             | 18,0          |                | 2,90         |           |                 |                |
| Buitenmuur Crepi                                |               |                |                     | Grond              | 5,0           |                | 0,00         |           |                 |                |
| Buitenmuur Gevelsteen                           |               |                |                     | Inkom              | 0,0           |                | 0,59         |           |                 |                |
| Garagepoort                                     |               |                |                     | Leefruimte         | 21,0          |                | 0,00         |           |                 |                |
| GLV plafond / VDP vloer                         |               |                |                     | Polyvalente Ruimte | 20,0          |                | 2,71         |           |                 |                |
| GLV plafond garage / VDP platdak                |               |                |                     | Slaapkamer 1       | 20,0          |                | 0,00         |           |                 |                |
| GLV plafond garage / VDP vloer                  |               |                |                     | Slaapkamer 2       | 18,0          |                | 0,00         |           |                 |                |
| GLV vloer niet op isolatie                      |               |                |                     | Slaapkamer 3       | 20,0          |                | 2,20         |           |                 |                |
| GLV vloer op isolatie                           |               |                |                     | Vestiaire          | 21,0          |                | 1,72         |           |                 |                |
| Puntgevel oost                                  |               |                |                     | WC 1               | 18,0          |                | 2,27         |           |                 |                |
| Puntgevel west                                  |               |                |                     | WC 2               | 0,0           |                | 2,27         |           |                 |                |
| Raam                                            |               |                |                     | Zolder             | 10,0          |                | 0,80         |           |                 |                |
| VDP plafond / ZOL vloer                         |               |                |                     |                    |               |                | 2,20         |           |                 |                |
| Zadeldak noord                                  |               |                |                     |                    |               |                | 0,20         |           |                 |                |
| Zadeldak zuid                                   |               |                |                     |                    |               |                | 0,20         |           |                 |                |

## Warmteverliezen - Totaal

made by Steven Van Lier

|                    | Correctiefactor Oriëntatie | Correctiefactor Koude Wand | Volume Ruimte | Temperatuur Ruimte | Temperatuur Aangevoerde Buitenlucht | Ventilatievoud | Warmteverlies door ventilatie | Warmteverlies door transmissie | Totaal warmteverlies | Totaal warmteverlies gecorrigeerd |
|--------------------|----------------------------|----------------------------|---------------|--------------------|-------------------------------------|----------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------|-----------------------------------|
|                    | Mo                         | Mcw                        | VI (m³)       | TI (°C)            | Teb (°C)                            | B              | Ov (W)                        | Ot (W)                         | On (W)               | On corrected (W)                  |
| Badkamer           | 0,025                      | 0                          | 8,24          | 23                 | 13                                  | 3              | 84,03                         | 317,13                         | 411,19               | 411,19                            |
| Berging            | 0,025                      | 0,01                       | 14,88         | 18                 | 13                                  | 1              | 25,29                         | 28,49                          | 55,67                | 55,67                             |
| Doucheceel         | 0                          | 0                          | 3,44          | 18                 | 13                                  | 2              | 11,69                         | -32,47                         | -20,79               | -20,79                            |
| Garage             | 0                          | 0                          | 9,10          | 18                 | 13                                  | 1              | 15,46                         | -115,35                        | -99,88               | -99,88                            |
| Inkom              | 0                          | 0                          | 0,00          | 0                  | 13                                  |                | 0,00                          | 0,00                           | 0,00                 | 0,00                              |
| Leefruimte         | 0,05                       | 0,01                       | 53,96         | 21                 | 13                                  | 3              | 440,28                        | 1.368,63                       | 1.917,45             | 1.917,45                          |
| Polyvalente Ruimte | 0,05                       | 0,01                       | 11,06         | 20                 | 13                                  | 2              | 52,64                         | 316,55                         | 391,34               | 391,34                            |
| Slaapkamer 1       | 0,05                       | 0,01                       | 25,25         | 20                 | 13                                  | 2              | 120,19                        | 547,59                         | 707,85               | 707,85                            |
| Slaapkamer 2       | 0                          | 0                          | 1,15          | 18                 | 13                                  | 2              | 3,90                          | -8,59                          | -4,69                | -4,69                             |
| Slaapkamer 3       | 0,025                      | 0,01                       | 22,37         | 20                 | 13                                  | 2              | 106,49                        | 365,15                         | 488,14               | 488,14                            |
| Vestiaire          | 0,05                       | 0,01                       | 11,73         | 21                 | 13                                  | 10             | 319,09                        | 409,55                         | 772,36               | 772,36                            |
| WC 1               | 0,025                      | 0                          | 1,92          | 18                 | 13                                  | 3              | 9,78                          | 13,99                          | 24,37                | 24,37                             |
| WC 2               | 0                          | 0                          | 0,00          | 0                  | 13                                  |                | 0,00                          | 0,00                           | 0,00                 | 0,00                              |
| Zolder             | 0,05                       | 0                          | 43,92         | 10                 | 13                                  |                | 0,00                          | 984,25                         | 1.033,46             | 1.033,46                          |
|                    |                            |                            |               |                    |                                     |                | <b>1.188,84</b>               | <b>4.194,92</b>                | <b>5.676,45</b>      | <b>5.801,82</b>                   |

### Verklarende Woordenlijst & Formules

Mo = Correctiefactor oriëntatie (Noord = 0,050 / Oost = 0,025 / Zuid = 0,000 / West = 0,025 / Altijd hoogste nemen bij meerdere richtingen)

73,44 W/m³

Mcw = Correctiefactor koude wand (Indien ruimte een wand bevat die meer dan 50% uit glas bestaat = 0,01 zoniet = 0,00)

VI = Volume ruimte

TI = Temperatuur binnenruimte

Teb = Temperatuur Aangevoerde Buitenlucht (Natuurlijk ventilatie = -10°C / Balansventilatie = 13-17°C)

B = Ventilatievoud (in welk regime ververst men de binnenlucht / 0, 1, 2 of 3)

Ov = Warmteverlies door ventilatie  $= 0,34 * B * V_L * (T_i - T_{ab})$

Ot = Warmteverlies door transmissie

On = Totaal warmteverlies  $= (O_t + O_v) * (1 + M_o + M_{cw})$

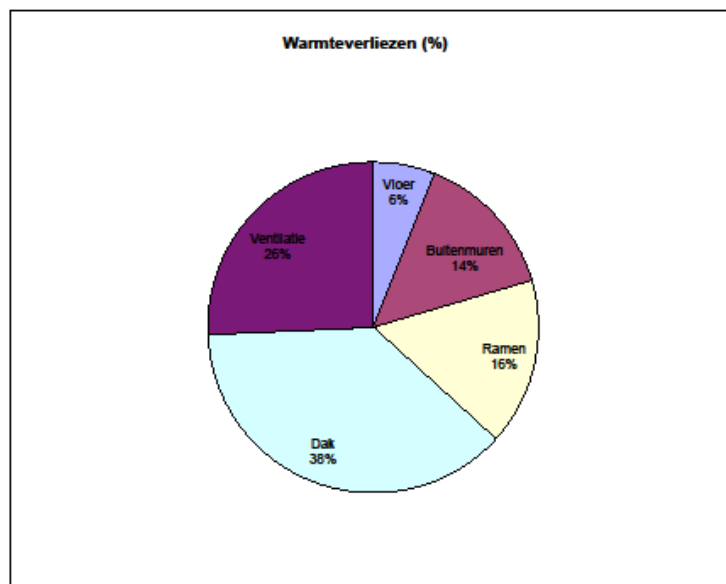
On corrected = Totaal warmteverlies gecorrigeerd (negatieve verliezen zijn m.a.w. opwarmingen en worden niet meegerekend)



## Warmteverliezen - Grafiek

made by Steven Van Lier

|                                  |         |             |          |
|----------------------------------|---------|-------------|----------|
| Binnendeur                       | 7,29    | Vloer       | 279,82   |
| Binnenmuur dragend               | -244,70 | Buitenmuren | 665,18   |
| Binnenmuur dragend (garage)      | 0,00    | Ramen       | 756,52   |
| Binnenmuur niet-dragend          | -81,14  | Dak         | 1.736,78 |
| Buitendeur                       | 542,02  | Ventilatie  | 1.188,84 |
| Buitenmuur Crepi                 | 0,00    |             |          |
| Buitenmuur Gevelsteen            | 665,18  |             |          |
| Garagepoort                      | 0,00    |             |          |
| GLV plafond / VDP vloer          | -19,54  |             |          |
| GLV plafond garage / VDP platdak | 0,00    |             |          |
| GLV plafond garage / VDP vloer   | 0,00    |             |          |
| GLV vloer niet op isolatie       | -2,39   |             |          |
| GLV vloer op isolatie            | 282,21  |             |          |
| Puntgevel oost                   | 766,72  |             |          |
| Puntgevel west                   | 766,72  |             |          |
| Raam                             | 214,50  |             |          |
| VDP plafond / ZOL vloer          | 95,00   |             |          |
| Zadeldak noord                   | 101,87  |             |          |
| Zadeldak zuid                    | 101,87  |             |          |



## Dimensionering Centrale Verwarming

|                    | Berekende warmteverlies | Gekozen warmteverlies |       |
|--------------------|-------------------------|-----------------------|-------|
| Badkamer           | 411,19                  | 500,00                | 174   |
| Berging            | 55,67                   | 0,00                  |       |
| Douchecel          |                         | 0,00                  |       |
| Garage             |                         | 0,00                  |       |
| Inkom              | 0,00                    | 0,00                  | 258   |
| Leefruimte         | 1.917,45                | 2.000,00              | 442,9 |
| Polyvalente Ruimte | 391,34                  | 500,00                | 186,7 |
| Slaapkamer 1       | 707,85                  | 750,00                | 297,8 |
| Slaapkamer 2       |                         | 0,00                  |       |
| Slaapkamer 3       | 488,14                  | 500,00                | 297,8 |
| Vestiaire          | 772,36                  | 1.000,00              | 244,8 |
| WC 1               | 24,37                   | 0,00                  |       |
| WC 2               | 0,00                    | 0,00                  |       |
| Zolder             | 1.033,46                | 0,00                  |       |

## Bijlage 9 Verbruik warmtepomp Stefan van der Eijk

|     | Forecast, COP=3.5 |          |          |       |         | Actual |       |        |         |          |         | %       |          |          |         |           |         | COP  |
|-----|-------------------|----------|----------|-------|---------|--------|-------|--------|---------|----------|---------|---------|----------|----------|---------|-----------|---------|------|
|     | GGD               | P KWh T  | P KWh    | KWh/d | Euro    | GGD    | KWh T | ch KWh | dhw KWh | KWh      | Euro    | GGD     | KWh T    | KWh   €  |         |           |         |      |
| mei | 115.8             | 397.23   | 113.49   | 3.66  | €20.02  | 86     | 192   | 1      | 191     | 61.07    | €10.77  | 74.27%  | 48.34%   | 53.81%   | €9.25   | €77.64    | €66.87  | 3.14 |
| jun | 56.6              | 318.34   | 90.95    | 3.03  | €16.04  | 33     | 204   | 0      | 204     | 65.23    | €11.51  | 58.30%  | 64.08%   | 71.72%   | €4.54   | €71.21    | €59.70  | 3.13 |
| jul | 27                | 332.78   | 95.08    | 3.07  | €16.77  | 18     | 195   | 0      | 195     | 59.05    | €10.42  | 66.67%  | 58.60%   | 62.11%   | €6.36   | €72.39    | €61.97  | 3.30 |
| aug | 27.8              | 271.67   | 77.62    | 2.50  | €13.69  | 22     | 145   | 0      | 145     | 42.86    | €7.56   | 79.14%  | 53.37%   | 55.22%   | €6.13   | €67.40    | €59.84  | 3.38 |
| sep | 80.4              | 346.67   | 99.05    | 3.30  | €17.47  | 31     | 142   | 0      | 142     | 42.03    | €7.41   | 38.56%  | 40.96%   | 42.43%   | €10.06  | €73.52    | €66.10  | 3.38 |
| okt | 197.8             | 435.56   | 124.45   | 4.01  | €21.95  | 253    | 258   | 91     | 167     | 68.68    | €12.11  | 127.91% | 59.23%   | 55.19%   | €9.84   | €80.77    | €68.65  | 3.76 |
| nov | 338               | 486.67   | 139.05   | 4.63  | €24.53  | 404    | 467   | 350    | 117     | 121.30   | €21.40  | 119.53% | 95.96%   | 87.24%   | €3.13   | €84.94    | €63.54  | 3.85 |
| dec | 406.2             | 1,218.34 | 348.10   | 11.23 | €61.40  | 463    | 961   | 724    | 237     | 234.33   | €41.34  | 113.98% | 78.88%   | 67.32%   | €20.07  | €144.63   | €103.29 | 4.10 |
| jan | 481               | 1,236.68 | 353.34   | 11.40 | €62.33  | 579    | 1298  | 985    | 313     | 376.29   | €66.38  | 120.37% | 104.96%  | 106.50%  | -€4.05  | €146.12   | €79.74  | 3.45 |
| feb | 458.2             | 1,141.68 | 326.19   | 11.55 | €57.54  | 381    | 904   | 668    | 236     | 226.67   | €39.98  | 83.15%  | 79.18%   | 69.49%   | €17.56  | €138.37   | €98.39  | 3.99 |
| mrt | 355.2             | 738.89   | 211.11   | 6.81  | €37.24  | 279    | 426   | 263    | 163     | 103.64   | €18.28  | 78.55%  | 57.65%   | 49.09%   | €18.96  | €105.51   | €87.23  | 4.11 |
| apr | 179.2             | 483.89   | 138.26   | 4.61  | €24.39  | 228    | 172   | 5      | 167     | 58.57    | €10.33  | 127.23% | 35.55%   | 42.37%   | €14.06  | €84.71    | €74.38  | 2.94 |
|     |                   |          |          |       |         |        |       |        |         |          |         |         |          |          |         |           |         |      |
|     | 2723.2            | 7,408.39 | 2,116.68 |       | €373.38 | 2777   | 5364  | 3087   | 2277    | 1,459.72 | €257.49 | 101.98% | 72.40%   | 68.96%   | €115.89 | €1,147.20 | €889.71 | 3.67 |
|     |                   | 26.67    |          |       |         |        |       | 57.55% | 42.45%  |          |         |         |          | €257.49  |         | €1,147.20 |         |      |
|     |                   |          |          |       |         |        | 19.31 |        |         |          |         |         | 5,364.00 | 1,459.72 |         | €889.71   |         |      |



## Bijlage 10 Verbruik warmtepomp Inge Kouw

|        |           | Opgewekt vermogen        |                   |                          |                    |                   |                              |                                          | Verbruik                 |                   |                          |                    |                   |
|--------|-----------|--------------------------|-------------------|--------------------------|--------------------|-------------------|------------------------------|------------------------------------------|--------------------------|-------------------|--------------------------|--------------------|-------------------|
| Weeknr | Datum     | Verwar-men<br>cumulatief | Verwarmen<br>week | Warm water<br>cumulatief | Warm water<br>week | Totaal vd<br>week | Totaal<br>cumulatief<br>2017 | Totaal<br>cumulatief<br>levensduur<br>WP | Verwar-men<br>cumulatief | Verwarmen<br>week | Warm water<br>cumulatief | Warm water<br>week | Totaal vd<br>week |
|        |           | Mwh                      | Mwh               | Mwh                      | Mwh                | Mwh               |                              | Mwh                                      | Mwh                      | Mwh               | Mwh                      | Mwh                | Mwh               |
|        | 1-1-2017  | 2,662                    |                   | 0,299                    |                    |                   |                              |                                          | 0,784                    |                   | 0,114                    |                    |                   |
| 1      | 7-1-2017  | 2,972                    | 0,31              | 0,318                    | 0,019              | 0,329             | 0,329                        | 3,29                                     | 0,883                    | 0,099             | 0,121                    | 0,007              | 0,106             |
| 2      | 14-1-2017 | 3,282                    | 0,31              | 0,336                    | 0,019              | 0,329             | 0,657                        | 3,618                                    | 0,981                    | 0,098             | 0,128                    | 0,007              | 0,106             |
| 3      | 20-1-2017 | 3,598                    | 0,316             | 0,355                    | 0,019              | 0,335             | 0,992                        | 3,953                                    | 1,091                    | 0,11              | 0,137                    | 0,009              | 0,119             |
| 4      | 27-1-2017 | 4,039                    | 0,441             | 0,376                    | 0,021              | 0,462             | 1,454                        | 4,415                                    | 1,24                     | 0,149             | 0,147                    | 0,01               | 0,159             |
| 5      | 3-2-2017  | 4,345                    | 0,306             | 0,402                    | 0,026              | 0,332             | 1,786                        | 4,747                                    | 1,329                    | 0,089             | 0,156                    | 0,009              | 0,098             |
| 6      | 12-2-2017 | 4,735                    | 0,39              | 0,441                    | 0,039              | 0,429             | 2,215                        | 5,176                                    | 1,449                    | 0,12              | 0,172                    | 0,016              | 0,136             |
| 7      | 17-2-2017 | 4,91                     | 0,175             | 0,46                     | 0,019              | 0,194             | 2,409                        | 5,37                                     | 1,513                    | 0,064             | 0,178                    | 0,006              | 0,07              |
| 8      | 24-2-2017 | 5,132                    | 0,222             | 0,489                    | 0,029              | 0,251             | 2,66                         | 5,621                                    | 1,571                    | 0,058             | 0,187                    | 0,009              | 0,067             |
| 9      | 3-3-2017  | 5,376                    | 0,244             | 0,518                    | 0,029              | 0,273             | 2,933                        | 5,894                                    | 1,64                     | 0,069             | 0,197                    | 0,01               | 0,079             |
| 10     | 10-3-2017 | 5,597                    | 0,221             | 0,545                    | 0,027              | 0,248             | 3,181                        | 6,142                                    | 1,701                    | 0,061             | 0,206                    | 0,009              | 0,07              |
| 11     | 17-3-2017 | 5,75                     | 0,153             | 0,575                    | 0,03               | 0,183             | 3,364                        | 6,325                                    | 1,743                    | 0,042             | 0,216                    | 0,01               | 0,052             |
| 12     | 24-3-2017 | 5,885                    | 0,135             | 0,603                    | 0,028              | 0,163             | 3,527                        | 6,488                                    | 1,78                     | 0,037             | 0,226                    | 0,01               | 0,047             |
| 13     | 31-3-2017 | 5,957                    | 0,072             | 0,63                     | 0,027              | 0,099             | 3,626                        | 6,587                                    | 1,8                      | 0,02              | 0,235                    | 0,009              | 0,029             |
| 14     | 7-4-2017  | 6,012                    | 0,055             | 0,661                    | 0,031              | 0,086             | 3,712                        | 6,673                                    | 1,814                    | 0,014             | 0,245                    | 0,01               | 0,024             |
| 15     | 16-4-2017 | 6,113                    | 0,101             | 0,698                    | 0,037              | 0,138             | 3,85                         | 6,811                                    | 1,843                    | 0,029             | 0,258                    | 0,013              | 0,042             |
| 16     | 23-4-2017 | 6,215                    | 0,102             | 0,729                    | 0,031              | 0,133             | 3,983                        | 6,944                                    | 1,874                    | 0,031             | 0,269                    | 0,011              | 0,042             |

|                              |                      | COP                    |                   |            |                       |                        |           |                                             | Financieel             |                                |                              | Gj                                                         |                                             |                                                   |
|------------------------------|----------------------|------------------------|-------------------|------------|-----------------------|------------------------|-----------|---------------------------------------------|------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Totaal<br>cumulatief<br>2017 | Totaal<br>cumulatief | COP<br>Verwar-<br>ming | COP Warm<br>Water | COP Totaal | Looptijd<br>verwarmen | Looptijd<br>warm water | Ontdooien | Keren dat<br>de<br>compressor<br>is gestart | Afgelopen<br>week in € | Totaal<br>cumulatief €<br>2017 | Totaal<br>cumulatief<br>in € | Mwh<br>opgewerkt<br>vermogen *<br>3,6 = Gj<br>(cumulatief) | Kosten Gj *<br>22,64 (tarief<br>april 2016) | Besparing<br>op variabele<br>kosten<br>levensduur |
|                              | Mwh                  |                        |                   |            | uren                  | uren                   | uren      | aantal                                      | €                      | €                              | €                            | Gj                                                         | €                                           | €                                                 |
|                              |                      |                        |                   |            | 364                   | 36                     | 6         | 744                                         | € 0,00                 | € 0,00                         | € 167,12                     | 10,6596                                                    | 241,33                                      | 74,21                                             |
| 0,106                        | 1,004                | 3,37                   | 2,62              | 3,28       | 414                   | 39                     | 8         | 831                                         | € 19,63                | € 19,63                        | € 186,75                     | 11,8422                                                    | 268,11                                      | 81,36                                             |
| 0,211                        | 1,109                | 3,35                   | 2,63              | 3,26       | 463                   | 42                     | 9         | 918                                         | € 19,63                | € 39,27                        | € 206,38                     | 13,0248                                                    | 294,88                                      | 88,5                                              |
| 0,33                         | 1,228                | 3,3                    | 2,59              | 3,22       | 522                   | 45                     | 10        | 993                                         | € 22,15                | € 61,41                        | € 228,53                     | 14,2308                                                    | 322,19                                      | 93,65                                             |
| 0,489                        | 1,387                | 3,26                   | 2,56              | 3,18       | 601                   | 49                     | 12        | 1105                                        | € 29,59                | € 91,00                        | € 258,12                     | 15,894                                                     | 359,84                                      | 101,72                                            |
| 0,587                        | 1,485                | 3,27                   | 2,58              | 3,2        | 643                   | 52                     | 13        | 1193                                        | € 18,24                | € 109,24                       | € 276,36                     | 17,0892                                                    | 386,9                                       | 110,54                                            |
| 0,723                        | 1,621                | 3,27                   | 2,56              | 3,19       | 703                   | 58                     | 15        | 1319                                        | € 25,31                | € 134,55                       | € 301,67                     | 18,6336                                                    | 421,86                                      | 120,2                                             |
| 0,793                        | 1,691                | 3,25                   | 2,58              | 3,18       | 735                   | 61                     | 15        | 1402                                        | € 13,03                | € 147,58                       | € 314,70                     | 19,332                                                     | 437,68                                      | 122,98                                            |
| 0,86                         | 1,758                | 3,27                   | 2,61              | 3,2        | 760                   | 64                     | 15        | 1472                                        | € 12,47                | € 160,05                       | € 327,16                     | 20,2356                                                    | 458,13                                      | 130,97                                            |
| 0,939                        | 1,837                | 3,28                   | 2,63              | 3,21       | 792                   | 68                     | 15        | 1550                                        | € 14,70                | € 174,75                       | € 341,87                     | 21,2184                                                    | 480,38                                      | 138,52                                            |
| 1,009                        | 1,907                | 3,29                   | 2,65              | 3,22       | 819                   | 72                     | 15        | 1626                                        | € 13,03                | € 187,77                       | € 354,89                     | 22,1112                                                    | 500,6                                       | 145,7                                             |
| 1,061                        | 1,959                | 3,3                    | 2,66              | 3,23       | 838                   | 75                     | 16        | 1688                                        | € 9,68                 | € 197,45                       | € 364,57                     | 22,77                                                      | 515,51                                      | 150,94                                            |
| 1,108                        | 2,006                | 3,31                   | 2,67              | 3,23       | 855                   | 78                     | 16        | 1745                                        | € 8,75                 | € 206,20                       | € 373,32                     | 23,3568                                                    | 528,8                                       | 155,48                                            |
| 1,137                        | 2,035                | 3,31                   | 2,68              | 3,24       | 864                   | 81                     | 16        | 1776                                        | € 5,40                 | € 211,60                       | € 378,71                     | 23,7132                                                    | 536,87                                      | 158,15                                            |
| 1,161                        | 2,059                | 3,31                   | 2,7               | 3,24       | 871                   | 85                     | 16        | 1810                                        | € 4,47                 | € 216,06                       | € 383,18                     | 24,0228                                                    | 543,88                                      | 160,7                                             |
| 1,203                        | 2,101                | 3,32                   | 2,71              | 3,24       | 884                   | 90                     | 16        | 1860                                        | € 7,82                 | € 223,88                       | € 391,00                     | 24,5196                                                    | 555,12                                      | 164,13                                            |
| 1,245                        | 2,143                | 3,32                   | 2,71              | 3,24       | 898                   | 93                     | 17        | 1910                                        | € 7,82                 | € 231,69                       | € 398,81                     | 24,9984                                                    | 565,96                                      | 167,15                                            |

## Bijlage 11 Kostencalculatie rekenmodel

Uitzoomen (Ctrl+Min)

| Bouwkundig arbeidsloon                                  |             | 35,89   |                         |           |         |         |           |        |                     |
|---------------------------------------------------------|-------------|---------|-------------------------|-----------|---------|---------|-----------|--------|---------------------|
| Installatietechnisch arbeidsloon                        |             | 39      |                         |           |         |         |           |        |                     |
| Bewerking                                               | Hoeveelheid | Eenheid | Prijs per eenheid enkel |           |         |         |           |        | Totaal enkel        |
|                                                         |             |         | Arbeid                  | Materiaal | Verlies | Korting | Materieel | Totaal | Totaal              |
|                                                         |             |         | mu                      | €         | %       | %       | €         | €      | €                   |
| <b>Isolatie</b>                                         |             |         |                         |           |         |         |           |        |                     |
| <b>Isolatie gevels</b>                                  |             |         |                         |           |         |         |           |        |                     |
| - Buitengevel 100 mm baksteen                           |             |         |                         |           |         |         |           |        |                     |
| - Spouw 60 mm (met spouwankers?)                        |             |         |                         |           |         |         |           |        |                     |
| - Binnengevel 100 mm kalkzandsteen?                     |             |         |                         |           |         |         |           |        |                     |
| <b>Spouwmuur nisoleren</b>                              |             |         |                         |           |         |         |           |        |                     |
| Voorbereiding/inmeten/maatvoeren                        | 1 won       |         | 1,00                    |           |         |         |           | 35,89  | € 35,89             |
| Aanbrengen minerale vlokken (Rc 1,3)(Rockwool)          | m³          |         | 0,15                    | 7,50      |         |         |           | 12,88  | € 0,00              |
| Aanbrengen minerale vlokken (Rc 1,5)(Knauf)             | m²          |         | 0,15                    | 7,50      |         |         |           | 12,88  | € 0,00              |
| Aanbrengen minerale vlokken (Rc 1,7)(Insulsafe plus)    | 63,49 m²    |         | 0,15                    | 7,50      |         |         |           | 12,88  | € 817,97            |
| Aanbrengen EPS panelen (Rc ??)(??)                      | m²          |         | 0,20                    | 4,25      |         |         |           | 11,43  | € 0,00              |
| Ventilatiekokers, renovatiekokers                       | st.         |         | 0,25                    | 10,00     |         | 20%     |           | 16,97  | € 0,00              |
| Ventilatiekokers, sparing maken/afdichten               | st.         |         | 0,25                    | 15,00     |         |         |           | 23,97  | € 0,00              |
| Excl. Herstel voegwerk                                  |             |         |                         |           |         |         |           |        |                     |
| Opruimen                                                | 1 won       |         | 1,00                    |           |         |         |           | 35,89  | € 35,89             |
| <b>Totaal spouwmuur nisoleren</b>                       |             |         |                         |           |         |         |           |        | € 889,75 € 1.004,53 |
| <b>Isolatie vloer (indien mogelijk)</b>                 |             |         |                         |           |         |         |           |        |                     |
| - Cementdekvloer 30 mm?                                 |             |         |                         |           |         |         |           |        |                     |
| - Betonvloer 200 mm?                                    |             |         |                         |           |         |         |           |        |                     |
| <b>Onderkant vloer nisoleren</b>                        |             |         |                         |           |         |         |           |        |                     |
| Voorbereiding/inmeten/maatvoeren                        | won         |         | 1,00                    |           |         |         |           | 35,89  | € 0,00              |
| Levr. + aanbr. Minerale wol 100 mm (Rc 2,6)             | m²          |         | 0,25                    | 8,58      | 5%      | 25%     |           | 15,73  | € 0,00              |
| Levr. + aanbr. Minerale wol 140 mm (Rc 3,7)             | m²          |         | 0,25                    | 12,00     | 5%      | 25%     |           | 18,42  | € 0,00              |
| Levr. + aanbr. EPS 100 mm (Rc 2,6)                      | m³          |         | 0,20                    | 7,25      | 5%      | 25%     |           | 12,89  | € 0,00              |
| Levr. + aanbr. EPS 140 mm (Rc 3,6)                      | m²          |         | 0,20                    | 10,15     | 5%      | 25%     |           | 15,17  | € 0,00              |
| Bevestigingsmiddelen                                    | m²          |         |                         | 0,50      |         |         |           | 0,50   | € 0,00              |
| Levr. + aanbr. Dampremmende folie                       | m²          |         | 0,05                    | 0,75      | 15%     |         |           | 2,66   | € 0,00              |
| Opruimen                                                | won         |         | 1,00                    |           |         |         |           | 35,89  | € 0,00              |
| <b>Totaal onderkant vloer nisoleren</b>                 |             |         |                         |           |         |         |           |        | € 0,00 € 0,00       |
| <b>Kruipruimte nisoleren</b>                            |             |         |                         |           |         |         |           |        |                     |
| lev.+aanbr. bodemisolatie PS - schelpen 300 mm (Rc 3,8) | m³          |         | 0,15                    | 12,75     |         | 25%     |           | 14,95  | € 0,00              |
| <b>Totaal onderkant vloer nisoleren</b>                 |             |         |                         |           |         |         |           |        | € 0,00 € 0,00       |

**Uitzoomen (Ctrl+Min)**

Isolatie dak

- Betonnen dakpannen
- Houten dakbeschoot 18 mm?
- Gordingen 50x150 mm hoh 600 mm?

Binnenkant dak isoleren

|                                              |          |      |       |     |     |       |            |
|----------------------------------------------|----------|------|-------|-----|-----|-------|------------|
| Voorbereiding/inmeten/maatvoeren             | 1 won    | 1,00 |       |     |     | 35,89 | € 35,89    |
| Levr. + aanbr. Minerale wol 100 mm (Rc 2,4)  | m²       | 0,10 | 8,17  | 5%  | 25% | 10,02 | € 0,00     |
| Levr. + aanbr. Minerale wol 140 mm (Rc 3,2)  | m²       | 0,10 | 11,44 | 5%  | 25% | 12,60 | € 0,00     |
| Levr. + aanbr. EPS 100 mm (Rc 2,5)           | m²       | 0,15 | 8,17  | 5%  | 25% | 11,82 | € 0,00     |
| Levr. + aanbr. EPS 150 mm (Rc 3,5)           | m²       | 0,15 | 12,26 | 5%  | 25% | 15,04 | € 0,00     |
| Levr. + aanbr. PIR 120 mm (Rc 5,1)           | 50,22 m² | 0,10 | 21,30 | 5%  | 25% | 20,36 | € 1.022,62 |
| Levr. + aanbr. Regelwerk 22x50 mm hoh 600 mm | 83,7 m³  | 0,05 | 0,75  | 5%  |     | 2,58  | € 216,11   |
| Bevestigingsmiddelen                         | 83,7 m³  |      | 0,10  |     |     | 0,10  | € 8,37     |
| Levr. + aanbr. Dampremmende folie            | 50,22 m² | 0,05 | 0,75  | 15% |     | 2,66  | € 133,43   |
| Levr. + aanbr. Gipsplaten (9,5 mm)           | 50,22 m² | 0,40 | 2,50  | 7%  |     | 17,03 | € 855,30   |
| Bevestigingsmiddelen                         | 50,22 m² |      | 0,50  |     |     | 0,50  | € 25,11    |
| Opruimen                                     | 1 won    | 1,00 |       |     |     | 35,89 | € 35,89    |
| Toeslag transport materialen binnen woning   | 50,22 m² | 0,10 |       |     |     | 3,59  | € 180,24   |

Totaal binnenkant dak isoleren

€ 2.512,96 € 2.897,44

Buitenkant dak isoleren

Opmerking:

- III - Uitvoeren bovenop vorige post om ophoging dak zo gering mogelijk te houden.

|                                                  |     |       |       |     |        |        |        |
|--------------------------------------------------|-----|-------|-------|-----|--------|--------|--------|
| Voorbereiding/inmeten/maatvoeren                 | won | 1,00  |       |     |        | 35,89  | € 0,00 |
| Rolsteiger montage en demontage                  | pst | 10,00 |       |     |        | 358,90 | € 0,00 |
| Rolsteiger huur incl. veiligheidsvoorzieningen   | wk  |       |       |     | 200,00 | 200,00 | € 0,00 |
| Verwijderen en tijdelijk opslaan dakpannen       | m²  | 0,20  |       |     |        | 7,18   | € 0,00 |
| Verwijderen en afvoeren panlatten                | m²  | 0,10  |       |     | 0,05   | 3,64   | € 0,00 |
| Verwijderen en afvoeren tengels                  | m²  | 0,05  |       |     | 0,05   | 1,84   | € 0,00 |
| Verwijderen en afvoeren loodstroken              | m³  | 0,20  |       |     |        | 7,18   | € 0,00 |
| Verwijderen en afvoeren bestaande goten          | m³  | 0,25  |       |     | 2,00   | 10,97  | € 0,00 |
| Levr. + aanbr. Dakplaten Unidek Kolibri (Rc 3,0) | m²  | 0,25  | 18,00 | 10% | 20%    | 24,81  | € 0,00 |
| Levr. + aanbr. Panlatten                         | m³  | 0,05  | 0,65  | 3%  |        | 2,46   | € 0,00 |
| Opnieuw aanbrengen bestaande dakpannen           | m²  | 0,20  | 1,50  |     |        | 8,68   | € 0,00 |
| Verlies dakpannen: 10%                           | m²  |       | 25,00 |     | 15%    | 5,00   | € 0,00 |
| Levr. + aanbr. Nokvorsten                        | m³  | 0,35  | 20,00 |     |        | 32,56  | € 0,00 |
| Levr. + aanbr. Vogelschroot                      | m³  | 0,10  | 2,75  |     |        | 6,34   | € 0,00 |
| Levr. + aanbr. Nieuw voetlood                    | m³  | 0,50  | 20,00 |     |        | 37,95  | € 0,00 |
| Levr. + aanbr. Loodslabben                       | m³  | 0,75  | 25,00 |     |        | 51,92  | € 0,00 |
| Levr. + aanbr. Nieuwe dakgoot (stelpost/m³)      | m³  | 0,50  | 35,00 |     |        | 52,95  | € 0,00 |
| Opruimen                                         | won | 2,00  |       |     |        | 71,78  | € 0,00 |

Totaal buitenkant dak isoleren

€ 0,00 € 0,00

Nieuw isolatie glas in bestaande kozijnen

Opmerking:

!!! - Excl. ventilatieroosters

|                                                |          |      |       |       |       |            |
|------------------------------------------------|----------|------|-------|-------|-------|------------|
| Voorbereiding/inmeten/maatvoeren               | 1 won    | 2,00 |       |       | 71,78 | € 71,78    |
| Rolsteiger montage en demontage                | 1 pst    | 2,00 |       |       | 71,78 | € 71,78    |
| Rolsteiger huur incl. veiligheidsvoorzieningen | 1 wk     |      |       | 80,00 | 80,00 | € 80,00    |
| Verwijderen en afvoeren bestaande enkelglas    | m²       | 0,12 |       |       | 4,91  | € 0,00     |
| Verwijderen en afvoeren bestaande dubbelglas   | 16,71 m² | 0,20 |       |       | 7,78  | € 129,97   |
| Reinigen spoinning en kozijn                   | 42,19 m² | 0,05 |       |       | 1,79  | € 75,71    |
| Uitfrezan spoinning                            | 42,19 m² | 0,40 |       |       | 14,36 | € 605,68   |
| Gronden spoinning                              | 42,19 m² | 0,10 | 0,50  |       | 4,09  | € 172,51   |
| Levr. + aanbr. HR++ glas (U=1,2)               | m²       | 0,35 | 88,25 | 35%   | 69,92 | € 0,00     |
| Levr. + aanbr. HR+++ glas (U=0,8)              | 16,71 m² | 0,35 | 94,27 | 20%   | 87,98 | € 1.470,10 |
| Levr. Glaslatten hardhout                      | 42,19 m² |      | 2,75  | 3%    | 2,83  | € 119,50   |
| Schilderwerk                                   | 42,19 m² | 0,15 | 1,00  |       | 6,38  | € 269,32   |
| Opruimen                                       | 1 won    | 1,00 |       |       | 35,89 | € 35,89    |

Totaal nieuw isolatie glas in bestaande kozijnen

€ 3.102,25 € 3.947,33

Nieuw isolatie glas in bestaande kozijnen

Opmerking:

!!! - Excl. ventilatieroosters

|                                                    |     |      |        |       |        |        |
|----------------------------------------------------|-----|------|--------|-------|--------|--------|
| Voorbereiding/inmeten/maatvoeren                   | won | 2,00 |        |       | 71,78  | € 0,00 |
| Rolsteiger montage en demontage                    | pst | 2,00 |        |       | 71,78  | € 0,00 |
| Rolsteiger huur incl. veiligheidsvoorzieningen     | wk  |      |        | 80,00 | 80,00  | € 0,00 |
| Verwijderen en afvoeren bestaande enkelglas        | m²  | 0,12 |        |       | 4,91   | € 0,00 |
| Verwijderen en afvoeren bestaande dubbelglas       | m²  | 0,20 |        |       | 8,38   | € 0,00 |
| Verwijderen en afvoeren bestaande kozijn (toeslag) | m²  |      |        |       | 3,80   | € 0,00 |
| Levr. + mont. Nieuw kozijn gegrond                 | m²  | 0,50 | 113,22 |       | 131,17 | € 0,00 |
| Levr. + aanbr. HR++ glas (U=1,2)                   | m²  | 0,35 | 88,25  | 35%   | 69,92  | € 0,00 |
| Levr. + aanbr. HR+++ glas (U=0,8)                  | m²  | 0,35 | 94,27  | 20%   | 87,98  | € 0,00 |
| Levr. Glaslatten hardhout                          | m²  |      | 2,75   | 3%    | 2,83   | € 0,00 |
| Schilderwerk                                       | m²  | 0,25 | 1,00   |       | 9,97   | € 0,00 |
| Opruimen                                           | won | 1,00 |        |       | 35,89  | € 0,00 |

Totaal nieuw isolatie glas in bestaande kozijnen

€ 0,00 € 0,00

Nieuwe geïsoleerde deur in bestaande kozijn

|                                     |     |      |        |  |        |        |
|-------------------------------------|-----|------|--------|--|--------|--------|
| Voorbereiding/inmeten/maatvoeren    | won | 1,00 |        |  | 35,89  | € 0,00 |
| Verwijderen + afvoer bestaande deur | st. | 0,20 |        |  | 12,18  | € 0,00 |
| Verwijderen + afvoer tochtstrips    | m²  | 0,03 |        |  | 1,08   | € 0,00 |
| Levr. + aanbr. Deur (Rc 1,45)       | st. | 2,00 | 400,00 |  | 471,78 | € 0,00 |
| Levr. + aanbr. Hang- & sluitwerk    | st. | 1,50 | 150,00 |  | 203,84 | € 0,00 |

|                                                                                                                                                |                   |      |        |     |        |                   |                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|------|--------|-----|--------|-------------------|--------------------------|
| Levr. + aanbr. Tochtstrip                                                                                                                      | m <sup>3</sup>    | 0,05 | 2,10   | 3%  | 3,96   | € 0,00            |                          |
| Levr. + aanbr. Valdorpel                                                                                                                       | st.               | 0,10 | 12,00  |     | 15,59  | € 0,00            |                          |
| Schilderwerk (1x op werk)                                                                                                                      | st.               | 1,50 | 15,00  |     | 68,84  | € 0,00            |                          |
| Opruimen                                                                                                                                       | won               | 1,00 |        |     | 35,89  | € 0,00            |                          |
| <u>Totaal nieuwe geïsoleerde deur in bestaande kozijn</u>                                                                                      |                   |      |        |     |        | <u>€ 0,00</u>     | <u>€ 0,00</u>            |
| <b><u>Algeheel totaal isolatie</u></b>                                                                                                         |                   |      |        |     |        |                   | <b><u>€ 7.249,31</u></b> |
| <b>Ventilatie</b>                                                                                                                              |                   |      |        |     |        |                   |                          |
| <b>Opmerking:</b>                                                                                                                              |                   |      |        |     |        |                   |                          |
| III - Keuze voor ventilatiesysteem laten afhangen van voorkeur bewoner, om zo beste (energetische) effect met ventilatiesysteem te realiseren. |                   |      |        |     |        |                   |                          |
| - Kanalen in zicht                                                                                                                             |                   |      |        |     |        |                   |                          |
| - Excl. Glas- en schilderwerk                                                                                                                  |                   |      |        |     |        |                   |                          |
| <b><u>Mechanische afzuiging (gelijkstroom)</u></b>                                                                                             |                   |      |        |     |        |                   |                          |
| Afzuigunit Eco Fan 2 CVE Eco-Fan 2SE                                                                                                           | st.               | 2,00 | 189,84 | 30% | 210,89 | € 0,00            |                          |
| Bedieningspaneel draadloos                                                                                                                     | st.               |      | 79,58  | 30% | 55,71  | € 0,00            |                          |
| Ophangbevestiging                                                                                                                              | st.               |      | 9,59   |     | 9,59   | € 0,00            |                          |
| Elektrische voeding incl. bedrading, max 4 meter                                                                                               | 1 st.             | 1,00 | 52,73  |     | 91,73  | € 91,73           |                          |
| Monteren luchtkanalen 125 mm                                                                                                                   | 20 m <sup>3</sup> | 0,75 | 9,29   | 20% | 36,68  | € 733,64          |                          |
| Monteren instelbare afvoerventielen 125 mm                                                                                                     | 4 st.             | 0,25 | 16,32  | 20% | 22,81  | € 91,22           |                          |
| Dakdoorvoer hellend dank                                                                                                                       | 1 st.             | 1,00 | 80,84  | 20% | 103,67 | € 103,67          |                          |
| Hak-, breek- en herstelwerk                                                                                                                    | 1 st.             | 2,00 |        |     | 78,00  | € 78,00           |                          |
| Ventilatiroosters in beglazing                                                                                                                 | m <sup>3</sup>    | 0,50 | 76,80  | 20% | 80,94  | € 0,00            |                          |
| <u>Totaal mechanische afzuiging (gelijkstroom)</u>                                                                                             |                   |      |        |     |        | <u>€ 1.098,27</u> | <u>€ 1.179,54</u>        |
| <b><u>Vraaggestuurde ventilatie (aanvulling)</u></b>                                                                                           |                   |      |        |     |        |                   |                          |
| Zelfregelend rooster Duco                                                                                                                      | st.               | 0,50 | 75,00  |     | 94,50  | € 0,00            |                          |
| Bouwkundige voorzieningen geveldoorvoer                                                                                                        | pst               | 4,00 | 100,00 |     | 256,00 | € 0,00            |                          |
| <u>Totaal vraaggestuurde ventilatie (aanvulling)</u>                                                                                           |                   |      |        |     |        | <u>€ 0,00</u>     | <u>€ 0,00</u>            |
| <b><u>Co2 gestuurde ventilatie (aanvulling)</u></b>                                                                                            |                   |      |        |     |        |                   |                          |
| Draadloze regelset incl. Co2-sensor                                                                                                            | st.               | 2,00 | 860,02 | 20% | 766,02 | € 0,00            |                          |
| Demandflow plenum                                                                                                                              | st.               | 2,00 | 310,00 | 20% | 326,00 | € 0,00            |                          |
| Demandflow adaptor                                                                                                                             | st.               | 0,20 | 16,00  | 20% | 20,60  | € 0,00            |                          |
| Demandflow klep                                                                                                                                | st.               | 0,50 | 74,00  | 20% | 78,70  | € 0,00            |                          |
| Mechanische terugslagklep                                                                                                                      | st.               | 0,20 | 29,72  | 20% | 31,58  | € 0,00            |                          |
| Geluidsdepende slang                                                                                                                           | st.               | 1,00 | 11,51  | 20% | 48,21  | € 0,00            |                          |



|                                                               |          |      |         |     |         |            |            |
|---------------------------------------------------------------|----------|------|---------|-----|---------|------------|------------|
| Vraaggestuurde raamroosters                                   | st.      | 0,50 | 75,00   |     | 94,50   | € 0,00     |            |
| <u>Co2 gestuurde ventilatie (aanvulling)</u>                  |          |      |         |     |         | € 0,00     | € 0,00     |
| <u>Balansventilatie met HR-WTW</u>                            |          |      |         |     |         |            |            |
| Balansventilatie-eenheid fabr. Stork WHR930                   | 1 st.    | 4,00 | 1576,69 | 30% | 1259,68 | € 1.259,68 |            |
| Bedieningspaneel draadloos                                    | 1 st.    |      | 84,00   | 30% | 58,80   | € 58,80    |            |
| Ophangbevestiging                                             | 1 st.    |      | 15,00   |     | 15,00   | € 15,00    |            |
| Monteren instelbare toevoerventielen 125 mm                   | 4 st.    | 0,25 | 33,56   | 20% | 36,60   | € 146,39   |            |
| Klein materiaal                                               | 1 st.    |      | 52,73   |     | 52,73   | € 52,73    |            |
| Bouwkundige werkzaamheden                                     | 1 st.    | 8,00 | 25,00   |     | 337,00  | € 337,00   |            |
| <u>Balansventilatie met WTW</u>                               |          |      |         |     |         | € 1.869,61 | € 1.991,13 |
| <u>Decentrale mechanische ventilatie</u>                      |          |      |         |     |         |            |            |
| Climarad radiator met wtw                                     | st.      | 4,00 | 1492,27 | 14% | 1439,35 | € 0,00     |            |
| Thermostaatknop M30                                           | st.      | 0,12 | 23,06   | 14% | 24,51   | € 0,00     |            |
| Muurdoorvoer                                                  | st.      | 0,20 | 186,10  | 14% | 167,85  | € 0,00     |            |
| Elektrische voeding incl. bedrading                           | st.      | 0,15 | 50,57   |     | 56,42   | € 0,00     |            |
| <u>Decentrale mechanische ventilatie</u>                      |          |      |         |     |         | € 0,00     | € 0,00     |
| <u>Algemeen totaal ventilatie</u>                             |          |      |         |     |         |            | € 3.170,67 |
| <u>Kierdichting</u>                                           |          |      |         |     |         |            |            |
| <u>Aanbrengen kierdichting op alle ramen en deuren</u>        |          |      |         |     |         |            |            |
| Levr. + aanbr. tochtwering                                    | 57,06 m² | 0,10 | 2,25    |     | 5,84    | € 333,17   |            |
| Voorbereiding/inmeten/maatvoering                             | 1 won    | 1,00 |         |     | 35,89   | € 35,89    |            |
| Opruimen                                                      | 1 won    | 0,25 |         |     | 8,97    | € 8,97     |            |
| <u>Totaal aanbrengen kierdichting op alle ramen en deuren</u> |          |      |         |     |         | € 378,04   | € 418,86   |
| <u>Afdichting kozijn en dichte geveldelen</u>                 |          |      |         |     |         |            |            |
| Levr. + aanbr. Isolatiestrook                                 | m²       | 0,05 | 0,60    | 5%  | 2,42    | € 0,00     |            |
| Levr. + aanbr. Hoeklatten                                     | m²       | 0,10 | 2,50    | 5%  | 6,21    | € 0,00     |            |
| Voorbereiding/inmeten/maatvoering                             | won      | 1,00 |         |     | 35,89   | € 0,00     |            |
| Opruimen                                                      | won      | 0,25 |         |     | 8,97    | € 0,00     |            |
| <u>Totaal afdichting kozijn en dichte geveldelen</u>          |          |      |         |     |         | € 0,00     | € 0,00     |
| <u>Afdichting aansluiting dak/gevel</u>                       |          |      |         |     |         |            |            |
| Voorbereiding/inmeten/maatvoering                             | won      | 1,00 |         |     | 35,89   | € 0,00     |            |
| Levr. + aanbr. Isolatiestrook                                 | 28,84 m² | 0,05 | 0,60    | 5%  | 2,42    | € 69,92    |            |
| Levr. + aanbr. Hoeklatten                                     | 28,84 m² | 0,10 | 2,50    | 5%  | 6,21    | € 179,21   |            |
| Opruimen                                                      | won      | 0,25 |         |     | 8,97    | € 0,00     |            |



Totaal afdichting aansluiting dak/gevel

€ 249,13

€ 292,48

Afdichting naden tussen dakplaten

|                                   |                |      |      |    |       |        |
|-----------------------------------|----------------|------|------|----|-------|--------|
| Voorbereiding/inmeten/maatvoering | won            | 1,00 |      |    | 35,89 | € 0,00 |
| Levr. + aanbr. Isolatiestrook     | m <sup>3</sup> | 0,05 | 0,60 | 5% | 2,42  | € 0,00 |
| Levr. + aanbr. Afdeklát           | m <sup>3</sup> | 0,10 | 2,50 | 5% | 6,21  | € 0,00 |
| Opruimen                          | won            | 0,25 |      |    | 8,97  | € 0,00 |

Totaal afdichting naden tussen dakplaten

€ 0,00

€ 0,00

Afdichting nok van het dak

|                                   |                     |      |      |    |       |         |
|-----------------------------------|---------------------|------|------|----|-------|---------|
| Voorbereiding/inmeten/maatvoering | won                 | 1,00 |      |    | 35,89 | € 0,00  |
| Levr. + aanbr. Isolatiestrook     | 5,88 m <sup>3</sup> | 0,05 | 0,60 | 5% | 2,42  | € 14,26 |
| Levr. + aanbr. Afdeklát           | 5,88 m <sup>3</sup> | 0,10 | 2,50 | 5% | 6,21  | € 36,54 |
| Opruimen                          | won                 | 0,25 |      |    | 8,97  | € 0,00  |

Totaal afdichting nok van het dak

€ 50,79

€ 59,63

Algeheel totaal klierdichting

€ 770,98

Verwarming

Warmtepomp

|                                                           |                    |       |          |     |          |            |
|-----------------------------------------------------------|--------------------|-------|----------|-----|----------|------------|
| Alpha Inotec Type LW101A +HT2 9,5 kW, incl. 200 ltr vat   | st.                | 16,00 | 13832,32 | 25% | 10998,24 | € 0,00     |
| Panasonic Aquarea All-in-one HP 16 kW, incl. 200 ltr vat  | st.                | 16,00 | 10910,00 | 25% | 8806,50  | € 0,00     |
| Panasonic Aquarea All-in-one HP 12 kW, incl. 200 ltr vat  | st.                | 16,00 | 9962,00  | 25% | 8095,50  | € 0,00     |
| Panasonic Aquarea All-in-one HP 9 kW, incl. 200 ltr vat   | st.                | 16,00 | 7323,00  | 25% | 6116,25  | € 0,00     |
| Panasonic Aquarea All-in-one HP 7 kW, incl. 200 ltr vat   | 1 st.              | 16,00 | 6365,00  | 25% | 5397,75  | € 5.397,75 |
| Panasonic Aquarea All-in-one HP 5 kW, incl. 200 ltr vat   | st.                | 16,00 | 6126,00  | 25% | 5218,50  | € 0,00     |
| Panasonic Aquarea All-in-one HP 3,2 kW, incl. 200 ltr vat | st.                | 16,00 | 5937,00  | 25% | 5076,75  | € 0,00     |
| Bouwkundige opstorting t.b.v. warmtepomp                  | 1 st.              | 4,00  | 252,37   |     | 408,37   | € 408,37   |
| Warmtepomp en verwarmingsregelaar LUX                     | st.                | 4,00  | 925,00   | 20% | 896,00   | € 0,00     |
| Leidingset t.b.v. de LUX STL20                            | 0,5 m <sup>3</sup> | 6,00  | 112,72   | 20% | 324,18   | € 162,09   |
| Appendages en hulpmateriaal                               | 1 st.              | 2,00  | 84,12    |     | 162,12   | € 162,12   |
| Set trillingsdempers                                      | 1 st.              | 0,20  | 31,97    |     | 39,77    | € 39,77    |
| Dauwpuntbewaking                                          | 1 st.              | 0,40  | 138,80   | 20% | 126,64   | € 126,64   |
| Ruimtethermostaat RFL-L                                   | 1 st.              | 0,25  | 95,90    | 20% | 86,47    | € 86,47    |
| Engineering                                               | 1 won              | 12,00 |          |     | 468,00   | € 468,00   |
| Wijzigen radiatoren op LTV (3 stuks)                      | 1 won              | 16,00 | 1901,80  | 20% | 2145,44  | € 2.145,44 |
| Vullen en aftappen van de installatie                     | 1 won              | 2,00  |          |     | 78,00    | € 78,00    |

Condensleiding:

|                    |                  |      |       |     |       |         |
|--------------------|------------------|------|-------|-----|-------|---------|
| PVC leiding 40 mm  | 4 m <sup>3</sup> | 0,30 | 2,72  | 30% | 13,60 | € 54,42 |
| Hulpmateriaal 200% | 1 won            |      | 23,55 |     | 23,55 | € 23,55 |
| Sifon 40 mm        | 1 st.            | 0,12 | 6,89  | 30% | 9,50  | € 9,50  |

|                                             |       |      |        |     |         |                    |
|---------------------------------------------|-------|------|--------|-----|---------|--------------------|
| Aansluiten VWA incl. breekwerk              | 1 won | 2,00 |        |     | 78,00   | € 78,00            |
| Appendages en hulpmaterialen                | 1 won |      | 42,06  |     | 42,06   | € 42,06            |
| Elektrische voeding 400V                    | 1 st. | 8,00 | 336,49 |     | 648,49  | € 648,49           |
| Demontage oude Cv-ketel                     | 1 st. | 1,50 |        |     | 58,50   | € 58,50            |
| Afvoeren oude Cv-ketel met toebehoren       | 1 st. | 0,50 |        |     | 19,50   | € 19,50            |
| Standaard VR-ketel                          | 1 st. | 8,00 | 980,03 | 20% | 1096,02 | € 0,00             |
| Demontage keukengeiser                      | 1 st. | 0,50 |        |     | 19,50   | € 19,50            |
| Afvoeren keukengeiser                       | 1 st. | 0,20 |        |     | 7,80    | € 7,80             |
| Standaard keukengeiser                      | 1 st. | 3,00 | 239,12 | 20% | 308,30  | € 0,00             |
| <b>Voorraadbuis 200 liter geïntegreerd</b>  |       |      |        |     |         |                    |
| Omschakelklep type USV 1*                   | 1 st. | 0,40 | 121,55 | 20% | 112,84  | € 112,84           |
| Inlaatcombinatie VSH                        | 1 st. | 0,40 | 18,68  | 20% | 30,54   | € 30,54            |
| <b>Waterleidingen:</b>                      |       |      |        |     |         |                    |
| RK buis 15 mm                               | 15 m' | 0,40 | 4,89   | 30% | 19,02   | € 285,35           |
| Isolatie thermaflex 15mm                    | 8 m'  | 0,10 | 2,13   | 30% | 5,39    | € 43,13            |
| Appendages en hulpmaterialen                | 1 st. |      | 23,83  |     | 23,83   | € 23,83            |
| Muurmengkraan grohe nr. 29050               | 1 m'  | 0,40 | 48,64  | 30% | 49,65   | € 49,65            |
| Bouwkundige voorzieningen                   | 1 m'  |      | 879,27 |     | 879,27  | € 879,27           |
| <b>Totaal warmtepomp</b>                    |       |      |        |     |         | <b>€ 11.460,57</b> |
|                                             |       |      |        |     |         | <b>€ 13.626,62</b> |
| <b>Warmteafgiftesysteem</b>                 |       |      |        |     |         |                    |
| Demonteren en afvoeren bestaande radiatoren | 1 st. | 0,58 |        |     | 22,62   | € 0,00             |
| Levr. + aansl. LTV radiator (100x100 mm)    | 1 st. | 0,75 |        |     | 29,25   | € 0,00             |
| <b>Totaal warmteafgiftesysteem</b>          |       |      |        |     |         | <b>€ 0,00</b>      |
| <b>IR-panels</b>                            |       |      |        |     |         |                    |
| Levr. + aanbr. IR-panels                    | 1 st. | 0,50 |        |     | 19,50   | € 0,00             |
| <b>Totaal IR-panels</b>                     |       |      |        |     |         | <b>€ 0,00</b>      |
| <b>Optimale afregeling</b>                  |       |      |        |     |         |                    |
| Aanbr. Voetventielen bij radiatoren         | 1 st. | 0,50 | 9,72   | 25% | 26,79   | € 0,00             |
| Aanbr. Radiator thermostaatkraan            | 1 st. | 0,60 | 40,37  | 25% | 53,68   | € 0,00             |
| Inregelen                                   | 1 won | 3,00 |        |     | 117,00  | € 117,00           |
| Recirculatieleiding                         | 1 won | 2,00 | 20,00  |     | 98,00   | € 0,00             |
| Vullen en aftappen                          | 1 won | 2,00 |        |     | 78,00   | € 78,00            |
| <b>Totaal Optimale afregeling</b>           |       |      |        |     |         | <b>€ 195,00</b>    |
|                                             |       |      |        |     |         | <b>€ 231,86</b>    |
| <b>Waterbesparende douchekop</b>            |       |      |        |     |         |                    |

|                                                                                      |         |       |         |      |         |            |             |
|--------------------------------------------------------------------------------------|---------|-------|---------|------|---------|------------|-------------|
| verwijderen en afvoeren best.kop+slang                                               | st.     | 0,10  |         |      | 3,90    | € 0,00     |             |
| levr.+aanbr.doucheslang chroom                                                       | st.     | 0,10  | 12,75   | 30%  | 12,83   | € 0,00     |             |
| levr. + aanbr. handdouche, chroom, met verstelbare<br>douchestraal grohe cromia 2jet | st.     | 0,20  | 36,26   | 30%  | 33,18   | € 0,00     |             |
| <u>Totaal waterbesparende douchekop</u>                                              |         |       |         |      |         | € 0,00     | € 0,00      |
| <u>Douche WTW</u>                                                                    |         |       |         |      |         |            |             |
| Douchepijp WTW fabr. Technia kiwa kleur                                              | st.     | 1,00  | 342,93  | 20%  | 313,34  | € 0,00     |             |
| Aansluitset type 08                                                                  | pst     | 0,40  | 24,19   |      | 39,79   | € 0,00     |             |
| Syfonset                                                                             | st.     | 0,40  | 91,96   | 20%  | 89,17   | € 0,00     |             |
| Kleinmateriaal                                                                       | pst     |       | 20,00   |      | 20,00   | € 0,00     |             |
| <u>Totaal douche WTW</u>                                                             |         |       |         |      |         | € 0,00     | € 0,00      |
| <u>Douchebak WTW</u>                                                                 |         |       |         |      |         |            |             |
| Douchebak WTW -1 fabr. Technia kiwa kleur                                            | st.     | 1,00  | 734,97  | 20%  | 626,98  | € 0,00     |             |
| Installatieset douchebak wtw                                                         | pst     | 0,40  | 39,37   | 20%  | 47,10   | € 0,00     |             |
| Syfonset                                                                             | st.     | 0,25  | 91,96   | 20%  | 83,32   | € 0,00     |             |
| Douchebak 90x90x3,5 fabr. Technia                                                    | st.     | 0,50  | 290,21  | 20%  | 251,67  | € 0,00     |             |
| Afneembare plint                                                                     | pst     | 0,20  | 226,24  | 20%  | 188,79  | € 0,00     |             |
| Montageframeontageframe                                                              | st.     | 0,20  | 73,57   | 20%  | 66,66   | € 0,00     |             |
| Kleinmateriaal                                                                       | pst     |       | 30,00   |      | 30,00   | € 0,00     |             |
| <u>Totaal douchebak WTW</u>                                                          |         |       |         |      |         | € 0,00     | € 0,00      |
| <u>Algeheel totaal verwarming</u>                                                    |         |       |         |      |         |            | € 13.858,48 |
| <u>PV-panelen</u>                                                                    |         |       |         |      |         |            |             |
| <u>Opmerking:</u>                                                                    |         |       |         |      |         |            |             |
| - 10 panelen                                                                         |         |       |         |      |         |            |             |
| - 280 Wp per paneel                                                                  |         |       |         |      |         |            |             |
| - Incl. omvormer                                                                     |         |       |         |      |         |            |             |
| <u>PV-panelen</u>                                                                    |         |       |         |      |         |            |             |
| Levr. + aanbr. PV-panelen                                                            | 1,6 st. | 25,00 | 1719,17 | 10%  | 2522,25 | € 4.035,60 |             |
| Levr. + aanbr. Power optimizers                                                      | 16 st.  |       | 35,00   |      | 35,00   | € 560,00   |             |
| <u>Totaal PV-panelen</u>                                                             |         |       |         |      |         | € 4.595,60 | € 5.753,70  |
| <u>TOTAAL KOSTEN RENOVATIE</u>                                                       |         |       |         |      |         |            | € 30.803,13 |
| Algemene Bouwplaats Kosten (ABK)                                                     |         |       |         | 8,0% |         |            | € 2.464,25  |

Uitzoomen (Ctrl+Min)

|                                     |      |                    |
|-------------------------------------|------|--------------------|
| <u>Algemene bedrijfskosten (AK)</u> | 6,0% | <u>€ 1.848,19</u>  |
| <u>Winst &amp; Risico</u>           | 6,0% | <u>€ 1.848,19</u>  |
| <u>CAR verzekering</u>              | 0,5% | <u>€ 154,02</u>    |
| <u>BTW 6%</u>                       |      | <u>€ 481,22</u>    |
| <u>BTW 21%</u>                      |      | <u>€ 4.784,40</u>  |
| <u>Subsidies</u>                    |      | <u>0,00</u>        |
| <b>ALGEHEEL TOTAAL RENOVATIE</b>    |      | <b>€ 42.383,38</b> |

## Bijlage 12 Rapport warmtepomp berekening

geen Bedrijf rapport

|               |                                                                                                                          |                  |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
|               | <b>Ontwerp van een warmtepompverwarmingssysteem met Aquarea Designer</b>                                                 |                  |
|               | Project: Prinsessenlaan 19                                                                                               | Datum: 30-5-2017 |
| Gemaakt door: | ?, (Geen data beschikbaar), (Geen data beschikbaar)<br>Telefoon: (Geen data beschikbaar) E-mail: (Geen data beschikbaar) |                  |

**Gebouwgegevens**

|                                                    |                                                                                       |
|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Adres                                              | Stichting Woonbedrijf<br>Prinsessenlaan 19<br>5615 SL Eindhoven                       |
| Locatie                                            | Eindhoven (NL) (van database)                                                         |
| Gebouwooppervlak                                   | 79 m <sup>2</sup>                                                                     |
| Standaard warmtebehoefte                           | 5.8 kW                                                                                |
| Koeling                                            | - kW                                                                                  |
| Interne opbrengsten                                | 2370 kWh/jaar                                                                         |
| Zonne-energieopbrengsten (vensters)                | 1422 kWh/jaar                                                                         |
| Gewenste binnentemperatuur                         | 20 °C                                                                                 |
| Max. buitentemperatuurlimiet voor verwarming 'aan' | 15 °C                                                                                 |
| Warmteverdeling                                    | Vloerverwarming met -- %<br>Radiatorenverwarming met 100 %<br>Muurverwarming met -- % |
| Max. temperatuur doorsiroomwater                   | 50 °C                                                                                 |
| Max. temperatuur terugloopwater                    | 40 °C                                                                                 |
| Gebied van de zonne-energiecollector               | -- m <sup>2</sup>                                                                     |

**Warmwatervoorziening**

|                                       |                           |
|---------------------------------------|---------------------------|
| Type service                          | Warm water met warmtepomp |
| Volume tank                           | 200 liter                 |
| Totale dagelijkse behoefte            | 120 liter                 |
| Temperatuur koudwateraanvoer          | 10 °C                     |
| Gewenste warmwatertanktemperatuur     | 50 °C                     |
| Omzetverliezen                        | 5 K                       |
| Vereiste extra elektrische verwarming | nee                       |



qgas.nu Designator: 00000000

### Tariefgegevens

|                                                     |                                     |            |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------------|------------|
| Omschrijving                                        | ja                                  |            |
| Uitschakeltijden totaal                             | 0,0 u/dag                           |            |
| Weekends met uitschakeltijden                       | ja                                  |            |
| Dagtarief voor warmtepomp                           | Tijd voor dagtarief<br>5 - 19 uur   | 18,0 CtkWh |
| Nachttarief voor warmtepomp                         | Tijd voor nachttarief<br>19 - 5 uur | 18,0 CtkWh |
| Warmtecirculatiepomp(en)                            | als warmtepomp: ja                  | -- CtkWh   |
| Verwarmingselementen voor mono-energetische werking | als warmtepomp: nee                 | 18,0 CtkWh |
| Verwarmingselement voor naverwarming van warm water | als warmtepomp: ja                  | -- CtkWh   |

### Klimaatdata

|                                            |                               |     |      |  |
|--------------------------------------------|-------------------------------|-----|------|--|
| Klimaatlocatie                             | Eindhoven (NL) (van database) |     |      |  |
| Maandelijkse gemiddelde temperaturen in °C |                               |     |      |  |
| Jan                                        | 2.9                           | Jul | 17.9 |  |
| Feb                                        | 3.3                           | Aug | 17.7 |  |
| Mrt                                        | 6.0                           | Sep | 14.3 |  |
| Apr                                        | 9.0                           | Ok  | 10.9 |  |
| Mai                                        | 13.5                          | Nov | 6.3  |  |
| Jun                                        | 15.7                          | Dec | 4.1  |  |

### Gebruikte Panasonic warmtepomp

|                                                          |                                     |
|----------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Omschrijving                                             | WH-ADC1216G3E5 + WH-UD12FE5         |
| Warmwatertank                                            | All in one                          |
| Type warmtepomp                                          | lucht / water                       |
| Wattage bij 2/35                                         | warmte: 12,0 kW, elektrisch: 3,4 kW |
| Aanbevolen luchtdoorstroming                             | 4800,0 m³/h                         |
| Max. stromings-temperatuur                               | 55 °C                               |
| Bedrijfsmodus                                            | monovalent                          |
| Gewenste/bivalente temperatuur                           | -10,0 °C                            |
| Aantal gebruikte warmtepompen                            | 1                                   |
| Wattage ventilator (opgenomen in warmtepompgegevens: ja) | 60 W                                |
| Wattage van warmtecirculatiepomp(en)                     | 60 W                                |

ijcna.12-2012: rapport

## Berekeningsresultaten

### Maandelijks warmteverbruik

### Totaal warmteverbruik

| Geleverd warmteverbruik | Ruimteverwarming | Warmwatervoorziening | Koeling |
|-------------------------|------------------|----------------------|---------|
| met warmtepomp          | 11.178 kWh       | 2404 kWh             | -- kWh  |
| met tweede warmtebron   | 0 kWh            | 0 kWh                |         |

### Stroomverbruik

| met warmtepomp            |               |
|---------------------------|---------------|
| voor ruimteverwarming     | 2715 kWh/jaar |
| voor koeling              | -- kWh/jaar   |
| voor warmwatervoorziening | 775 kWh/jaar  |

| Door Verwarmingselement   | (extra vermogen voor non-monovalente bedrijfsmodus) |
|---------------------------|-----------------------------------------------------|
| voor ruimteverwarming     | 0 kWh/jaar                                          |
| voor warmwatervoorziening | 0 kWh/jaar                                          |

| Door aanvullende componenten                                    |              |
|-----------------------------------------------------------------|--------------|
| Ventilator<br>(opgenomen in<br>warmtepompprestatiegegevens: ja) | 72 kWh/jaar  |
| Warmtecirculatiepomp(en)                                        | 317 kWh/jaar |

### Looptijd van warmtepomp

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| voor ruimteverwarming     | 980 u/jaar |
| voor koeling              | -- u/jaar  |
| voor warmwatervoorziening | 217 u/jaar |

### Warmteontrekking aan warmtebron

|                           |               |
|---------------------------|---------------|
| voor ruimteverwarming     | 8798 kWh/jaar |
| voor warmwatervoorziening | 1658 kWh/jaar |



energie Toeslagatrap rapport

### Jaarlijkse energiekosten

#### Veroorzaakt door warmtebronnen

|                    |       |
|--------------------|-------|
| Warmtepomp         | 586 € |
| Verwarmingselement | 0 €   |

#### Veroorzaakt door warmteverbruikers

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| Ruimteverwarming         | 488 € |
| Koeling                  | 0 €   |
| Warmwatervoorziening     | 140 € |
| Warmtecirculatiepomp(en) | 50 €  |

#### Totaal

|  |       |
|--|-------|
|  | 586 € |
|--|-------|

#### Jaarlijkse C.O.P.

|     |                                                       |
|-----|-------------------------------------------------------|
| 4.0 | (inclusief aanvullend vermogen: Verwarmingselementen) |
| -   | (met koeling)                                         |

quarta Daagster rapport

### Operationele kosten

| Type verwarming                  | Prijs in €/kWh | Efficiëntie [%] | Extra kosten in €/jaar | Totale kosten in €/jaar |
|----------------------------------|----------------|-----------------|------------------------|-------------------------|
| Warmtepomp                       |                |                 | 50                     | 736                     |
| Olie                             | 6.5            | 85              | 265                    | 1389                    |
| Gas                              | 7.0            | 90              | 350                    | 1492                    |
| Elektrische nachtopslagverwarmer | 12.0           | 100             | 100                    | 1765                    |
| Elektrisch verwarmingselement    | 20.0           | 100             | 0                      | 2776                    |
| Wood heating                     | 5.0            | 80              | 343                    | 1273                    |

### Investeringskosten

|                    |         |
|--------------------|---------|
| Referentieperiode: | 20 jaar |
| Rentetoriel:       | 6.0 %   |

| Type verwarming                  | Som van de investeringskosten in € | Operationele kosten in €/jaar | Investeringskosten in €/jaar | Totale kosten in €/jaar |
|----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------|
| Warmtepomp                       | --                                 | 736                           | --                           | --                      |
| Olie                             | 12900                              | 1389                          | 1022                         | 2411                    |
| Gas                              | 9800                               | 1492                          | 760                          | 2252                    |
| Elektrische nachtopslagverwarmer | 4000                               | 1765                          | 348                          | 2113                    |
| Elektrisch verwarmingselement    | 800                                | 2776                          | 69                           | 2845                    |
| Wood heating                     | 16200                              | 1273                          | 1310                         | 2583                    |

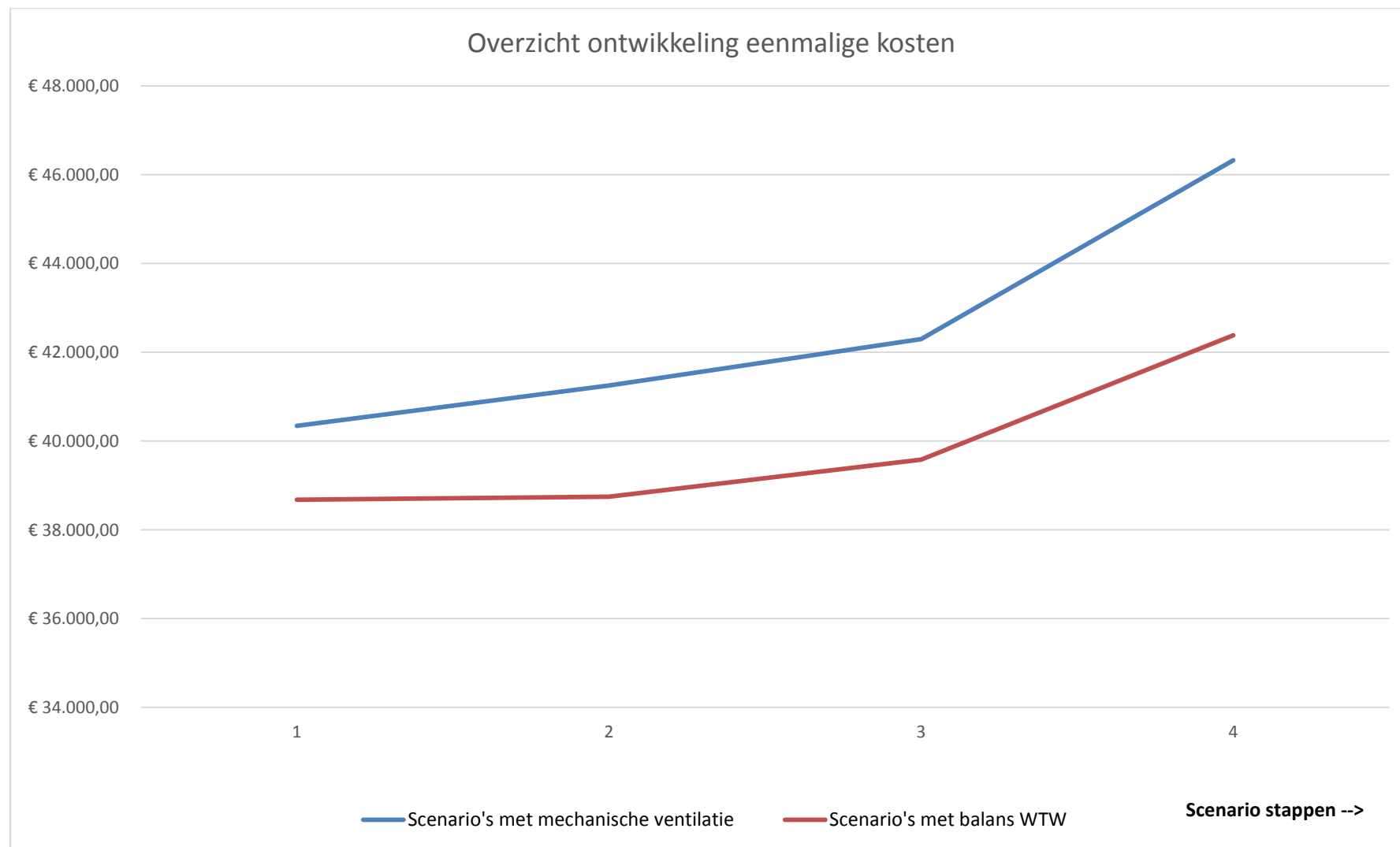
quarta Daagster rapport

### Energieidekking

### Vergelijking van CO<sub>2</sub>-uitstoot

Deze berekening is gebaseerd op gebruikerswaarden en geldig onder normale meteorologische condities. Er wordt uitgegaan van de juiste aanpassing van het warmtepompverwarmingssysteem. Deze berekening garandeert niet dat de berekende waarden in de praktijk worden gerealiseerd.

## Bijlage 13 Grafiek aanschafkosten



## Bijlage 14 Grafiek verbruikskosten

