

De financiële haalbaarheid van warmtepompen in vergelijking met klassieke verwarmingssystemen

Zjef Kemps

promotor :
Prof. dr. Theo THEWYS

co-promotor :
Prof. dr. Sigrid VANDEMAELE

Woord vooraf

Deze eindverhandeling is het sluitstuk van mijn opleiding tot Handelsingenieur aan de faculteit Bedrijfseconomische wetenschappen aan de Universiteit Hasselt te Diepenbeek. Het onderwerp van deze thesis is de financiële haalbaarheid van warmtepompen.

Allereerst wil ik mijn promotor, prof. dr. Theo Thewys, en mijn co-promotor, prof. dr. Sigrid Vandemaele bedanken om deze eindverhandeling in goede banen te leiden. Zonder hun steun zou de realisatie van deze eindverhandeling niet mogelijk zijn geweest. De feedback verkregen via deze weg was immers van onmisbare waarde.

Voor het construeren van het kasstroommodel was er prijsinformatie nodig die niet in de literatuur te vinden was. Deze informatie kon enkel worden bekomen door de medewerking van verkopers en installateur. Via deze weg zou ik nogmaals iedereen willen bedanken om mijn vragen te beantwoorden.

Tot slot wil ik mijn dank betuigen aan mijn ouders en vriendin voor hun jarenlange morele steun en advies.

Samenvatting

De laatste jaren neemt de interesse van particulieren naar "groene investeringen" toe. De meest bekende investering is deze in zonnecellen. Er zijn echter nog andere toepassingen. Één hiervan is de warmtepomp, dewelke centraal staat in dit onderzoek.

De warmtepomp is een alternatief voor de klassieke verwarmingssystemen op fossiele brandstoffen. Ze haalt het grootste deel van de warmte uit de omgeving, en behaalt hierdoor een zeer hoog rendement. Door dit hoge rendement zouden er besparingen voorkomen in energiekosten ten opzichte van de klassieke systemen, die over een veel lager rendement beschikken. Er is echter wel een negatieve kant aan de warmtepomp; de zeer hoge investeringskost. Hierdoor is het moeilijk in te schatten of de warmtepomp een goede investering is. Het hoofddoel van deze masterproef is het opstellen van een model om de financiële haalbaarheid van een warmtepomp, in vergelijking met de klassieke gas- en stookolie-installaties, na te gaan.

Buiten de financiële haalbaarheid wordt er ook nog een subdoel uitgewerkt op basis van literatuur. De literatuur stelt dat het gebruik van warmtepompen een belangrijk effect zal hebben op de uitstoot van CO₂. De CO₂-uitstoot veroorzaakt door verwarming is enorm. In geïndustrialiseerde landen is ongeveer één derde van de CO₂-uitstoot afkomstig van woningverwarming. Om deze reden geven overheden een extra aanmoediging om te investeren in een warmtepomp. Dit in de vorm van premies.

Als we kijken naar de werking van een warmtepomp zien we dat deze gebaseerd is op de tweede wet van de thermodynamica. De werking is gelijkend aan deze van de koelkast. Hierdoor is het ook mogelijk dat de warmtepomp naast verwarming in de winter, eveneens instaat voor koeling in de zomer. In deze thesis hebben we echter enkel aandacht voor de verwarmingscomponent. In België is er namelijk veel minder behoefte aan koeling dan aan verwarming. Hierdoor zal de warmtepomp gedimensioneerd worden op basis van de verwarmingsbehoefte. Een goed woningontwerp houdt rekening met oververhitting, waardoor deze niet zal voorkomen en koeling overbodig maakt.

De warmtepomp bestaat in verschillende systemen. Deze systemen zijn afhankelijk van de warmtebron die aangewend wordt. De warmtebronnen zijn lucht, bodem en water. Voor de luchtwarmtepomp levert enkel de buitenlucht voldoende warmte om als warmtebron ingezet te worden. De andere mogelijkheid, ventilatielucht, is namelijk niet voldoende aanwezig. De bodemwarmtepomp maakt gebruik van een grondwarmtewisselaar en kent hierin verschillende varianten die allen toepasbaar zijn bij de verwarming van woningen. Deze varianten zijn de horizontale grondwarmtewisselaar, de verticale grondwarmtewisselaar en directe expansie. De waterwarmtepomp kan dan weer gebruik maken van zowel grond- als oppervlaktewater.

In de financiële analyse worden de verschillende typen warmtepompen, zijnde de luchtwarmtepomp, bodemwarmtepomp en waterwarmtepomp, vergeleken met klassieke verwarmingssystemen, namelijk gas- en stookolie-installatie. Een verwarmingssysteem heeft voornamelijk kosten en maar zeer beperkte monetaire baten.

Er worden 3 categorieën van kosten gedefinieerd: de investeringskosten, de operationele kosten en de kosten verbonden aan de lening. De investeringskosten voor de warmtepompen liggen 3 tot 4 maal hoger in vergelijking met gas en 1,5 tot 2 maal hoger in vergelijking met stookolie. De operationele kosten van de warmtepompen daarentegen zouden dan weer lager moeten liggen in vergelijking met de traditionele systemen. De kosten voor de lening zijn afhankelijk van het geleende bedrag.

De baten zijn afkomstig van premies. Deze premies kunnen we onderverdelen in premies afkomstig van de federale overheid, netbeheerders en andere instanties. De federale overheid geeft een belastingvermindering van 40% op de investeringskosten in het geval van de geothermische warmtepompen of wanneer er een oude stookolieketel wordt vervangen. Ook kunnen "groene" leningen worden aangegaan. Bij dit leningstype kan 40% van de betaalde intresten worden gerecupereerd door middel van een belastingvermindering. De premies van netbeheerders worden uitgekeerd indien aan de voorwaarden van de premie voldaan is. Als laatste geven er nog andere instanties premies op verwarmingssystemen, zoals onder andere de gemeenten.

Het model gebruikt de individuele kasstromen van de verschillende verwarmingssystemen (lucht-, water- en bodemwarmtepomp; gas- en stookolie-installatie) om nieuwe relatieve kasstromen te creëren. De kasstromen van de klassieke systemen worden afgetrokken van de kasstromen van de warmtepompsystemen. Door deze berekeningswijze toe te passen kan er een netto contante waarde worden berekend. Indien deze waarde positief is, dan zal de warmtepomp een rendabelere investering zijn. Indien deze negatief is, spreken we van een minder rendabele investering.

Dit model wordt in deze thesis toegepast op drie verschillende cases. Een open-, halfopen- en gesloten bebouwing. Door gebruik te maken van simulaties wordt een gemiddelde netto contante waarde berekend, alsook de kans op een positieve waarde. In alle voorgenoemde cases zijn de warmtepompen enkel een rendabelere investering in vergelijking met een stookolie-installatie. In vergelijking met gas worden slechts in enkele gevallen positieve netto contante waarden gevonden waardoor ook de gemiddelde netto contante waarde negatief zijn.

Uit de cases kunnen we enkele conclusies formuleren. Ten eerste worden zowel de bodem- als waterwarmtepomp aantrekkelijker naarmate de warmtevraag daalt. Bij de waterwarmtepomp zien we het omgekeerde effect. Deze wordt aantrekkelijker bij een hogere warmtevraag.

Uit de sensitiviteitsanalyse blijkt een grote invloed van de investeringskosten, energieprijzen en rendementen van de systemen. Uit deze invloeden kan afgeleid worden dat een gelijke stijging in energieprijzen een positieve invloed zullen hebben op de berekende netto contante waarden. Een gelijke daling in investeringskosten resulteert ook in een positieve invloed.

Inhoudsopgave

<u>Woord vooraf.....</u>	<u>2</u>
<u>Samenvatting</u>	<u>3</u>
<u>Inhoudsopgave.....</u>	<u>7</u>
<u>Lijst van figuren</u>	<u>13</u>
<u>Lijst van tabellen.....</u>	<u>15</u>
<u>Begrippenlijst</u>	<u>17</u>
<u>1 Inleiding en probleemstelling.....</u>	<u>19</u>
1.1 Omschrijving en situering.....	19
1.2 Centrale onderzoeksvraag en deelvragen	21
1.3 Onderzoeksopzet.....	21
1.3.1 Deelvraag 1: Hoe werkt een warmtepomp en welke verschillende systemen bestaan er?.....	22
1.3.2 Deelvraag 2: Wat zijn de voor – en nadelen van een warmtepomp?	22
1.3.3 Deelvraag 3: Wanneer is een warmtepomp een haalbare investering? ..	23
<u>2 De warmtepomp</u>	<u>25</u>
2.1 Geschiedenis	25
2.2 De warmtepompmarkt	26
2.2.1 De Verenigde Staten.....	27
2.2.2 Europa.....	27
2.3 Werkingsprincipe.....	28
2.3.1 Tweede hoofdwet thermodynamica.....	28
2.3.2 Warmtepompcyclus	29
2.4 Warmtebronnen	31
2.4.1 Lucht.....	31

2.4.1.1	Buitenlucht.....	32
2.4.1.2	Ventilatielucht.....	33
2.4.2	Water	33
2.4.2.1	Grondwater	33
2.4.2.2	Oppervlaktewater.....	34
2.4.3	Grond	35
2.4.3.1	Verticale grondwarmtewisselaar	35
2.4.3.2	Horizontale grondwarmtewisselaar	36
2.4.3.3	“Slinky” of spiraal grondwarmtewisselaar	36
2.4.3.4	Directe expansie	37
2.5	Warmteafgiftesystemen	37
2.5.1	Lucht.....	37
2.5.2	Water	38
2.5.2.1	Lage temperatuurssystemen.....	38
2.5.2.2	Hoge temperatuurssystemen	39
2.6	Rendement.....	40
2.6.1	Rendementsmaatstaven.....	40
2.6.2	Rendementen warmtepompsystemen	42
2.7	Voor- en nadelen.....	44
2.7.1	Algemene voordelen	44
2.7.1.1	Technisch.....	44
2.7.1.2	Economisch	45
2.7.1.3	Ecologisch	46
2.7.2	Algemene nadelen.....	47
2.7.3	Warmtebronspecifieke voor- en nadelen.....	49
2.8	Conclusies	51

<u>3</u>	<u>Model.....</u>	<u>53</u>
3.1	Kasstroomanalyse: kosten.....	54
3.1.1	Investeringskosten	55
3.1.1.1	Luchtwarmtepomp	55
3.1.1.2	Bodemwarmtepomp	56
3.1.1.3	Waterwarmtepomp.....	57
3.1.1.4	Gas	57
3.1.1.5	Stookolie.....	57
3.1.2	Levensduur van de investering.....	58
3.1.3	Lening	58
3.1.4	Kapitaalkost	59
3.1.5	Operationele kosten	59
3.1.5.1	Werkingskosten	60
3.1.5.1.1	Verbruikskosten verwarming.....	60
3.1.5.1.2	Secundaire verbruikskosten.....	61
3.1.5.1.3	Verbruikskosten bijverwarming.....	63
3.1.5.2	Onderhoudskosten	63
3.1.6	Conclusie	65
3.2	Kasstroomanalyse: baten	66
3.2.1	Belastingsverminderingen aangeboden door de overheid.....	67
3.2.2	Belastingsvermindering op intresten	68
3.2.3	Premie van netbeheerder	69
3.2.4	Andere premies.....	70
3.3	Externe baat: CO ₂ -uitstoot	70
3.4	Output	71
3.5	Conclusie	72
<u>4</u>	<u>Case studies</u>	<u>75</u>
4.1	Case voorstelling.....	75

4.1.1	Openbebouwing	75
4.1.2	Halfopen bebouwing	75
4.1.3	Gesloten bebouwing	76
4.2	Resultaten case studies	76
4.2.1	Resultaten	76
4.2.1.1	Netto contante waarde.....	76
4.2.1.1.1	Luchtwarmtepomp.....	77
4.2.1.1.2	Bodemwarmtepomp	79
4.2.1.1.3	Waterwarmtepomp	80
4.2.1.1.4	Verschillen tussen cases.....	81
4.2.1.1.5	Verschillen tussen gas en stookolie	82
4.2.1.1.6	Conclusie	82
4.2.1.2	CO ₂ -uitstoot	83
4.2.2	Gevoeligheidsanalyse.....	87
4.2.2.1	Resultaten.....	89
4.3	Conclusie	92
5	<u>Algemene conclusies en aanbevelingen.....</u>	95
5.1	Conclusies	95
5.2	Vragen voor verder onderzoek	101
6	<u>Bronnen.....</u>	103
7	<u>Bijlagen</u>	111
	<u>Bijlage 1: Investeringskosten.....</u>	111
	Luchtwarmtepomp	111
	Bodemwarmtepomp	113
	Waterwarmtepomp	115
	Gas.....	117
	Stookolie	119

Bijlage 2: Meteorologische parameters..... 123

Stookseizoen 123
Buitentemperatuur 129
Zoninstraling..... 131
Weersafhankelijkheid luchtwarmtepomp 132
Conclusie..... 135

Bijlage 3: Warmtebehoefteberekening 137

Transmissieverliezen..... 137
Ventilatieverliezen 138
Zonnwinsten 140
Interne warmtewinsten 140
Netto-energiebehoefte 141
Energiebehoefte verwarming..... 141
Het systeemrendement 142
Het opwekkingsrendement..... 142
Conclusie..... 144

Bijlage 4: Energieprijzen 145

Berekening..... 145
Elektriciteit 145
Gas..... 147
Stookolie 148
Conclusie..... 148
Data..... 148
Elektriciteit 149
Gas..... 154
Stookolie 156

Bijlage 5: Reële prijsstijgingen 159

<u>Bijlage 6: Triangulaire verdeling.....</u>	<u>161</u>
<u>Bijlage 7: Elektrisch verbruik klassieke verwarmingssystemen</u>	<u>165</u>
Gas.....	165
Stookolie.....	169
<u>Bijlage 8: Secundaire verbruik.....</u>	<u>171</u>
<u>Bijlage 9: Dataset vermogen luchtwarmtepomp.....</u>	<u>173</u>
<u>Bijlage 10: Dimensionering van een verwarmingssysteem .</u>	<u>175</u>
<u>Bijlage 11: Input</u>	<u>177</u>
Model	177
Input openbebouwing	180
Input halfopen bebouwing.....	185
Input gesloten bebouwing	190
<u>Bijlage 12: Crystal Ball</u>	<u>195</u>
Runs	195
Assumpties	195
Voorspellingen	197
Sensitiviteitsanalyse	198
<u>Bijlage 13: Netto contante waarde</u>	<u>199</u>
<u>Bijlage 14: Invloed van input en variatie binnen het model....</u>	<u>201</u>
De energieprijzen en prijsstijgingen	201
Rendement en rendementsbenutting.....	202
Stookseizoen	203
Warmtevraag.....	205
Investeringsvariabelen	207
Lening en premies	208

Lijst van figuren

Figuur 1: Schema van een warmtepompcyclus: (1) verdamper, (2) compressor, (3) condensator, (4) expansievat (Omer,2006).	30
Figuur 2: Overzicht warmtebronnen	31
Figuur 3: Voorbeeld Crystal Ball grafiek.....	72
Figuur 4: Grafiek stookseizoen (ODE Vlaanderen, 2006).....	125
Figuur 5: Kansverdeling begin stookseizoen	127
Figuur 6: Cumulatieve kansverdeling begin stookseizoen	128
Figuur 7: kansverdeling einde stookseizoen	128
Figuur 8: Cumulatieve kansverdeling einde stookseizoen	129
Figuur 9: Voorstelling triangulaire verdeling met punt q links van de modus	161
Figuur 10: Voorstelling triangulaire verdeling met punt q rechts van de modus	162
Figuur 11: Voorbeeld sensitiviteitsanalyse Crystal Ball.....	198

Lijst van tabellen

Tabel 1: Overzicht rendementen.....	43
Tabel 2: Overzicht voor- en nadelen warmtebronnen	49
Tabel 3: Overzicht waarden secundaire verbruikers.	62
Tabel 4: Overzicht onderhoudskosten.....	65
Tabel 5: Samenvatting netto contante waarden (20 jaar, 4%)	77
Tabel 6: Samenvatting CO ₂ -uitstoot.....	83
Tabel 7: Overzicht van de assumpties van de gevoeligheidsanalyse	88
Tabel 8: Resultaat van de gevoeligheidsanalyse	89
Tabel 9: Voorbeeld multiplicatoreffect energieprijzen	90
Tabel 10: Data investeringskosten luchtwarmtepomp.....	111
Tabel 11: Data investeringskosten bodemwarmtepomp	113
Tabel 12: Data investeringskosten waterwarmtepomp.....	115
Tabel 13: Data investeringskosten gasinstallatie.....	117
Tabel 14: Data investeringskosten stookolie-installatie.....	119
Tabel 15: Omzettingwaarden open hut naar gesloten hut temperaturen (Weerstation Ransberg, 2009)	124
Tabel 16: Voorspelde temperatuur tijdens stookseizoen voor de volgende 20 jaar.	131
Tabel 17: Berekening basisprijs elektriciteit 0-2000kWh	149
Tabel 18: Berekening basisprijs elektriciteit 2001-3500kWh.....	149
Tabel 19: Berekening basisprijs elektriciteit 3501-7500kWh.....	150
Tabel 20: Opsomming bijdragen elektriciteit	150
Tabel 21: Tarieven distributie in piek- en daluren alsook de meterhuur	151
Tabel 22: Tarieven transport, energiebijdrage en federale bijdrage	152
Tabel 23: Elektriciteitsprijs bij 0-2000 kWh en 2001-3500 kWh verbruik	153
Tabel 24: Elektriciteitsprijs bij 3501-7500 kWh verbruik	153
Tabel 25: Berekening basisprijs en vastrecht gas.....	154
Tabel 26: Berekening distributiekost gas bij 0-5000 kWh verbruik	154
Tabel 27: Berekening distributiekost gas bij 5001-150000 kWh verbruik.	155
Tabel 28: Uiteenzetting federale bijdrage gas.....	155
Tabel 29: Gasprijs	156
Tabel 30: Stookolieprijs.....	156
Tabel 31: Data en berekening elektrisch verbruik gasinstallatie	166

Tabel 32: data en berekening elektrisch verbruik stookolie-installaties	169
Tabel 33: Data en berekening vermogensafname luchtwarmtepomp	173
Tabel 34: Dimensionering per case	175
Tabel 35: Overzicht gegevens warmtevraag openbebouwing (Vlaams energieagentschap, 2009).....	181
Tabel 36: Overzicht efficiëntievariabelen openbebouwing.....	182
Tabel 37: Overzicht investeringsvariabelen openbebouwing	182
Tabel 38: Overzicht werkingskosten openbebouwing	183
Tabel 39: Variabelen met betrekking tot de lening openbebouwing	183
Tabel 40: Subsidies en premies openbebouwing	184
Tabel 41: Overzicht gegevens warmtevraag halfopen bebouwing (Vlaams energieagentschap, 2009)	186
Tabel 42: Overzicht efficiëntievariabelen halfopen bebouwing	187
Tabel 43: Overzicht investeringsvariabelen halfopen bebouwing	187
Tabel 44: Overzicht werkingskosten halfopen bebouwing.....	188
Tabel 45: Variabelen met betrekking tot de lening halfopen bebouwing	188
Tabel 46: Subsidies en premies halfopen bebouwing	189
Tabel 47: Overzicht gegevens warmtevraag gesloten bebouwing (Vlaams energieagentschap, 2009)	191
Tabel 48: Overzicht efficiëntievariabelen gesloten bebouwing.....	192
Tabel 49: Overzicht investeringsvariabelen gesloten bebouwing	192
Tabel 50: Overzicht werkingskosten gesloten bebouwing	193
Tabel 51: Variabelen met betrekking tot de lening gesloten bebouwing	193
Tabel 52: Subsidies en premies gesloten bebouwing	194
Tabel 53: Crystal Ball assumpties omtrent energieprijzen	195
Tabel 54: Crystal Ball omtrent investeringskosten	196
Tabel 55: Crystal Ball assumpties omtrent rendementen	197

Begrippenlijst

- U-waarde

De U-waarde is een kengetal voor de isolatie. Ze geeft aan hoeveel warmte per seconde en per °K temperatuursverschil over een oppervlakte van 1 m² door de schil van de woning aan de omgeving wordt afgegeven. Een lagere U-waarde zal dus wijzen op een betere isolatie.

Er bestaan maxima op de U-waarde van de verschillende constructiedelen van de woning. Zo is 0,40 W/m²K de maximale U-waarde voor buitenmuren en 0,30 W/m²K voor daken van toepassing sinds 2010. Voor vloeren is er een maximum van 0,40 W/m²K, 1,6 W/m²K voor beglazing en 2,9 W/m²K voor garagepoorten en deuren.

- Koudebrug

Een koudebrug is een plaats in de buitenschil van de woning waar meer warmte verloren gaat door een slechte overgang in de isolatie. Koudebruggen komen meestal voor aan de overgangen tussen muur en dak en muur en vloer. Ook kunnen ze voorkomen aan de overgang bij ramen en deuren. Door de slechte isolatie op de plek van de koudebrug zal het warmteverlies er vele malen hoger liggen.

- Compactheid

De compactheid van een woning is gelijk aan de verhouding van het beschermde volume en het verliesoppervlak. Een woning met een hogere compactheid zal dus een beter volume/verliesoppervlak ratio hebben. Bij woningen zijn er verschillende factoren die een rol spelen bij de compactheid. Deze zijn de vorm van de woning, de aard van de bebouwing en de aanwezigheid van verdiepingen.

Bij de vorm van een woning is de afwijking ten opzichte van de kubusvorm belangrijk. Indien de woning de vorm van een kubus aanneemt, is zal de compactheid het grootst zijn. Hoe groter de afwijking van de vorm, hoe lager de compactheid zal zijn.

Als tweede factor is de aard van de bebouwing belangrijk. Een gesloten bebouwing zal, voor hetzelfde volume, een grotere compactheid hebben dan een open bebouwing. De openbebouwing heeft immers twee extra muren die in contact staan met de buitenomgeving, en heeft dus een groter verliesoppervlak.

Als laatste zijn het aantal verdiepingen belangrijk. Een extra verdieping zal evenveel extra volume met zich meebrengen als de benedenverdieping, maar het verliesoppervlak zal enkel toenemen met de bijkomende oppervlakte van de buitenmuren. Het verliesoppervlak van dak en vloer blijven namelijk hetzelfde, ongeacht het aantal verdiepingen.

- K-peil

Het K-peil van een woning is een kengetal, in het leven geroepen om de verliezen door de buitenschil van de woning aan te geven. Het K-peil houdt rekening met zowel de gemiddelde warmtedoorgangscoefficiënt (isolatiegraad) en de compactheid van de woning.

In België bestaat er op nieuwbouwwoningen een K-peileis. Deze eis staat momenteel op K45.

1 Inleiding en probleemstelling

Bij het beschrijven van de probleemstelling kijken we eerst naar de omschrijving en situering van het probleem. Hierin zal een beeld worden geschetst van het probleem waarvoor de investering in warmtepompen staat. Na de toelichting van het probleem wordt er overgegaan tot de formulering van de centrale onderzoeksvraag en de bijhorende deelvragen. Door de grote verschillen in aanpak wordt het onderzoeksozet per deelvraag besproken.

1.1 Omschrijving en situering

De warmtepomp maakt gebruik van de tweede hoofdwet van de thermodynamica. Deze wet stelt dat warmte niet van een plaats met lagere temperatuur naar een plaats met hogere temperatuur kan vloeien. Om warmte toch in deze richting te laten vloeien is de toevoeging van arbeid nodig (Phetteplace, 2007). Ditzelfde principe vinden we terug bij koelkasten en diepvriezers.

Een warmtepomp is in staat om rendementen te behalen van 300 tot 400%. De enorme efficiëntie van warmtepompen zorgt ervoor dat ze steeds meer ingezet worden om woningen te verwarmen. Volgens Lund (2003) is het aantal geothermische warmtepompen in de Verenigde Staten sinds 1975 daarom ook gestaag gegroeid en zal het aantal installaties tot 2010 jaarlijks verder blijven aangroeien met 10%. Dit zal leiden tot ongeveer 1,5 miljoen warmtepompinstallaties in 2010. Recentere data van het Energy Information Administration (2009) lijken deze projecties tot 2007 te bevestigen. Uit data van het Air-Conditioning, Heating and Refrigeration Institute (2009) blijkt dat er in de VS na 2007 een daling van het aantal jaarlijkse installaties is ingezet. Deze trendbreuk is mogelijk te wijten aan enerzijds de recente crisis in de Amerikaanse woningmarkt, en anderzijds de financiële en de huidige recessie.

Maar niettegenstaande dit zijn warmtepompen tegenwoordig fel begeerd. Deze populariteit hebben warmtepompen zowel te danken aan hun efficiëntie, als aan het feit dat ze als een duurzaam alternatief voor verwarmen met fossiele brandstoffen, zoals onder andere aardgas of stookolie, aanzien worden. Want net doordat warmtepompen op elektriciteit werken in plaats van op fossiele brandstoffen, zou dit goede effecten kunnen hebben op de uitstoot van broeikasgassen. Het effect van de invoering is weliswaar mede afhankelijk van de energieproductiemix van het land. Studies die de massale invoering van warmtepompen voor woningverwarming in België modeleren, tonen alleszins aan dat er desondanks de toename van de elektriciteitsbehoefte minder broeikasgassen zullen worden uitgestoten (Luickx, Helsen & D'haeseleer, 2008). Volgens Kikuchi, Bristow & Kennedy (2009) is de verwarming van woningen één van de belangrijkste energieverbruikers. In landen zoals Canada en Japan is verwarming verantwoordelijk voor 30% van de totale energiebehoefte, evenals voor 30% van de broeikasgassen. Deze cijfers gelden ook voor andere geïndustrialiseerde landen. Omdat het aandeel van verwarming in de uitstoot van broeikasgassen zo groot is, zijn warmtepompen een geschikt alternatief om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen.

Overheden erkennen het potentieel van warmtepompen om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen. Sinds de ondertekening van het Kyoto-akkoord keren ze er dan ook subsidies voor uit. Met deze subsidies tracht de federale overheid het aantal installaties van deze duurzame verwarmingsbron positief te beïnvloeden. Gezinnen die een geothermische warmtepomp in hun woning installeren, zullen dan ook van zo een subsidie kunnen genieten. Dit gebeurt in de vorm van een fiscale aftrek tot 40% van het geïnvesteerde bedrag, met een maximumgrens van 2770 euro. Niet alleen de federale overheid zorgt voor aansporingmaatregelen, ook de regionale overheden en netbeheerders geven extra premies bij de installatie van een warmtepomp.

Subsidies op warmtepompen zorgen voor een financieel duwtje in de rug, want bij de installatie van een warmtepomp komt nog steeds een veel hogere vaste investeringskost kijken dan bij andere verwarmingsalternatieven. Niet alleen kost de basisunit meer, afhankelijk van het gebruikte systeem komen er ook nog andere kosten voor de warmtebron aan te pas. Deze hogere kostprijs kan gedeeltelijk gerechtvaardigd worden door de veronderstelling dat door het lagere energieverbruik de investering snel zal terugverdiend zijn. Maar is dit ook zo in de praktijk?

Studies lijken bovengenoemde veronderstelling te beamen. Zo is er een studie van Healy en Ugursal (1997) die aantoont dat voor verwarming en koeling in een koud klimaat een geothermische warmtepomp het goedkoopste alternatief is. Het zou beter zijn dan stookolie, een luchtwarmtepomp en elektrische verwarming. Een andere studie naar warmtepompen in kantoren gelegen in een warm en vochtig klimaat, toont wederom een besparing in energiekosten aan ten opzichte van verwarming met aardgas (Jenkins, Tucker, Ahadzi & Rawlings, 2008).

1.2 Centrale onderzoeksvraag en deelvragen

In deze eindverhandeling wordt de financiële haalbaarheid van de warmtepomp voor woningverwarming in Vlaanderen onderzocht. De onderzoeksvraag luidt als volgt:

“Welke voordelen zijn er verbonden aan een warmtepomp, en is de warmtepomp een haalbare investering voor een nieuwe of reeds bestaande woning in België?”

Om deze vraag te kunnen oplossen, verdelen we het probleem in drie deelvragen:

- Hoe werkt een warmtepomp en welke verschillende systemen bestaan er?
- Wat zijn de voor- en nadelen van een warmtepomp?
- Wanneer is een warmtepomp een haalbare investering?

Deze drie deelvragen zullen als rode draad doorheen de masterproef functioneren en zorgen dat de onderzoeksvraag stapsgewijs opgelost zal worden.

1.3 Onderzoeksopzet

De bespreking van het onderzoeksopzet zal worden opgesplitst per deelvraag. Door de uiteenlopende werkwijzen moet deze opsplitsing de overzichtelijkheid voor de lezer ten goede komen.

1.3.1 Deelvraag 1: Hoe werkt een warmtepomp en welke verschillende systemen bestaan er?

Een warmtepomp bestaat in verschillende systemen, die elk hun eigen benodigheden, kosten en rendementen hebben. Daarom is het belangrijk om eerst een diepere kennis van de warmtepomp te verwerven. In dit deel zal kort worden ingegaan op het algemene werkingsprincipe en de verschillende systemen die er gebruikt worden. Ook zullen veelgebruikte begrippen worden toegelicht. Hierbij denken we aan termen zoals COP, SPE, enz.

Deze deelvraag zal volledig aan de hand van literatuur worden uitgewerkt. De literatuurstudie zal bestaan uit wetenschappelijke artikels, boeken en brochures opgesteld door nationale overheidsagentschappen. Er bestaat zeer veel literatuur over de werking en de verschillende systemen van warmtepompen, waardoor alle benodigde informatie terug te vinden is. Het aangewende cijfermateriaal is afkomstig van websites en databases van overheidsinstellingen en beroepsfederaties.

Bij de uitwerking ligt de nadruk op de verschillende systemen en hun prestaties, evenals op de specifieke terminologie gebruikt bij warmtepompen, dewelke bij de haalbaarheidsanalyse nog van pas zullen komen.

1.3.2 Deelvraag 2: Wat zijn de voor – en nadelen van een warmtepomp?

Nadat we een goed inzicht in de systemen verworven hebben, is het nodig om deze alternatieven tegen elkaar af te wegen. Elk type warmtepompsysteem heeft voor- en nadelen ten opzichte van de andere systemen. Deze voor- en nadelen zijn bepalend bij de keuze voor een specifiek type warmtepomp.

De economische voordelen zullen primeren bij de aankoopbeslissing, maar er zijn ook enkele belangrijke voordelen te identificeren voor de samenleving en het milieu. Deze laatste mogen we zeker niet uit het oog vergeten, omdat een massale installatie van warmtepompen grote gevolgen kan hebben voor het milieu.

Net zoals deelvraag 1, zal deze deelvraag wederom bijna volledig aan de hand van literatuur worden toegelicht. Toch mogen we hier de expertise van leveranciers en installateurs ook niet uit het oog verliezen.

1.3.3 Deelvraag 3: Wanneer is een warmtepomp een haalbare investering?

Na de literatuurstudie wordt er dieper ingegaan op het belangrijkste onderdeel van deze masterproef, namelijk een investeringsstudie van de warmtepomp in een Belgische woning. De verschillende systemen zullen niet alleen onderling worden vergeleken, ze zullen ook vergeleken worden met alternatieven zoals een gas- en stookolieketel.

Voor de uiteindelijke berekeningen zal een simulatiemodel in Excel opgesteld en gebruikt worden. Dit model zal niet alleen het berekeningswerk verlichten, maar ook de betrouwbaarheid van de cijfers ten goede komen door middel van een gevoeligheidsanalyse. Het model zal rekening houden met allerhande factoren. Enkele hiervan zijn de economische parameters en meteorologische parameters. De opgenomen factoren in dit model zullen eerst worden toegelicht vooraleer overgegaan wordt tot de bespreking van de resultaten.

Om een duidelijk beeld te scheppen van de haalbaarheid zal deze studie opgesplitst worden in verschillende delen. Het eerste deel zal bestaan uit een basiscase van een nieuwbouw openbebouwing waarvoor de netto contante waarde berekening en een sensitiviteitsanalyse wordt gemaakt. Een tweede case studie zal zich situeren in een halfopen bebouwing, een derde zich in een gesloten bebouwing.

In de gevoeligheidsstudie zal getracht worden om het effect dat verschillende parameters op de haalbaarheid hebben te identificeren. Hopelijk kan er na dit onderdeel een duidelijk beeld geschept worden van de parameters die de meeste invloed uitoefenen op de haalbaarheid. Deze parameters moeten dus zeker in het oog gehouden worden als men wilt overgaan tot de aankoop van een warmtepomp voor de besparing die deze zou meebrengen.

Voor deze deelvraag wordt zowel beroep gedaan op bestaande literatuur, als op leveranciers en installateurs. Vele berekeningswijzen zijn immers terug te vinden in de literatuur. De leveranciers en installateurs worden geraadpleegd voor courante prijzen van de verschillende verwarmingssystemen.

2 De warmtepomp

In dit hoofdstuk rond de warmtepomp wordt eerst ingegaan op de geschiedenis van de warmtepomp waaruit zal blijken dat de warmtepomp al sinds de 19^{de} eeuw bestaat. Daarna wordt de warmtepompmarkt besproken zodat een beeld kan gevormd worden van de grootte en evoluties.

Hierna volgt de meer technische kant van dit hoofdstuk waar het werkingsprincipe, de verschillende warmtebronnen en mogelijke warmteafleveringsystemen aan bod komen. De rendementen vullen dit luik bij aan.

Als laatste worden de voor- en nadelen van de warmtepomp in dit hoofdstuk besproken.

2.1 Geschiedenis

Warmtepompen bestaan al sinds de ontwikkeling van de thermodynamica in het begin van de 19^{de} eeuw. De grondslag voor de thermodynamica werd in 1824 gelegd door de Franse Sadi Carnot. Hoewel zijn werk gebaseerd was op een misvatting, vormde het de basis voor verder onderzoek uitgevoerd door James Prescott Joule, William Thomson en Rudolf Clausius. Uit het onderzoek van William Thomson volgde in 1852 het eerste ontwerp van een warmtepomp (Atkins, 1988; Lund, Sanner, Rybach, Curtis & Hellström, 2004).

De praktische uitwerking volgde in het midden van de 19^{de} eeuw. In 1855 slaagt Peter Ritter von Rittinger er in om de allereerste werkende warmtepomp in Oostenrijk te installeren. Hij deed dit in een zoutwinningindustrie, als een manier om energie te sparen (Laue, 2002).

De volgende ontwikkelingen vonden pas plaats in de 20^{ste} eeuw. Zo werd in 1912 het eerste patent voor de ontwikkeling van een warmtepomp toegekend. De eerste succesvolle toepassing van grondwater als warmtebron voor een warmtepomp vond pas plaats in de jaren 30 (Hammond, 2006). De eerste commerciële toepassing van warmtepompen op grote schaal was in 1948 bij de inhuldiging van het Equitable Building in Portland (Verenigde Staten). Dit gebouw, nu bekend als het Commonwealth Building, was tevens het eerste kantoorgebouw dat warmtepompen voor zowel verwarming als koeling ging gebruiken (Hepbasli & Kalinci, 2009).

In de jaren 50 begint de eerste distributie van kant en klare warmtepompen voor gebruik in woningen. Maar door de slechte betrouwbaarheid van de eerste modellen waren deze niet succesvol. Het was wachten tot 1970 vooraleer er een grote stijging in de verkoop terug te vinden was. Hiervoor zijn meerdere factoren verantwoordelijk. De eerste factor is de verhoogde kwaliteit van de warmtepompunits door het gebruik van verbeterde kwaliteitstechnieken. Een andere factor is dat de stijgende elektriciteitsprijs de competitiviteit van de toen populaire elektrische verwarming onder druk zette (Hepbasli & Kalinci, 2009). Door nieuwe ontwikkelingen, zoals buizen van polyethyleen, werd het mogelijk om gesloten systemen te gebruiken (Hammond, 2006).

Echter, de oliecrisis van de jaren 70 had slechts een tijdelijk effect op de plaatsing van warmtepompen. Nadien nam de groei terug af. Het was pas twintig jaar later, in de jaren 90, dat er een vernieuwde interesse in het gebruik van warmtepompen als verwarming ontstond (Bloomquist, 1999). Getuige hiervan is de militaire basis van Fort Polk in de Verenigde Staten, waar 4003 bestaande woningen werden aangepast om gebruik te maken van een warmtepomp (Hammond, 2006).

2.2 De warmtepompmarkt

Sinds de eerste commerciële successen in de jaren 70 hebben warmtepompen een lange weg afgelegd. Door technische vooruitgang zijn de units efficiënter geworden en is de vaste kost van aankoop en plaatsing gedaald (Lund, 1990). De Verenigde Staten is één van de eerste landen waar de warmtepomp doorbrak en ze heeft dan ook het grootste aantal warmtepompinstallaties. In Europa heeft de doorbraak van de warmtepomp langer op zich laten wachten, maar wint ze sinds de jaren 90 aan populariteit. Buiten de VS en Europa, tonen ook Turkije en Japan het laatste decennium interesse in warmtepompen (Lund, Sanner, Rybach, Curtis & Hellström, 2004). Hieronder worden bovenbeschreven landen in nader detail besproken.

2.2.1 De Verenigde Staten

Door de vroege doorbraak tijdens de jaren 70 is de VS de belangrijkste op het vlak van het totale aantal installaties. Zo rapporteert Lund (1990) verder over 80000 bestaande warmtepompsystemen in de VS, met nog eens 18000 extra installaties in 1990. In 2000 is dit aantal al opgelopen tot 350000 bestaande installaties (Lund, 2001). Tegen 2004 was dit aantal nog verder gestegen tot 600000 installaties (Lund, Sanner, Rybach, Curtis & Hellström, 2004).

Volgens Lund (2003) zal het jaarlijkse aantal installaties tot 2010 verder blijven aangroeien met 10%. Door deze groei zal in 2010 het aantal warmtepompinstallaties aangegroeid zijn tot 1,5 miljoen. Recentere data van EIA (2009) lijken deze projecties van Lund (2003) tot 2007 te bevestigen. Uit data van AHRI (2009) blijkt echter dat er in de VS na 2007 een daling van het aantal jaarlijkse installaties is ingezet. Deze trendbreuk is mogelijk te wijten aan enerzijds de recente crisis in de Amerikaanse woningmarkt, en anderzijds de financiële en huidige recessie. Desondanks zal de VS nog lange tijd koploper blijven wat betreft het aantal installaties, omdat deze recessie ook in andere landen meespelen.

2.2.2 Europa

Volgens cijfers van Lund (2001) zijn warmtepompen in Europa vooral populair in Zweden, Zwitserland, Oostenrijk, Duitsland en Finland met respectievelijk 55000, 21000, 19000, 18000 en 10000 werkende installaties in het jaar 2000. De warmtepomp wordt in Europa voornamelijk gebruikt voor verwarming (Lund, 2001). Net zoals de Verenigde Staten, kende ook Europa kende tussen 2000 en 2004 een snelle groei in het aantal systemen. Deze groei was het grootste in Zweden, waar eind 2004 230000 eenheden in gebruik waren. In de andere landen was er sprake van een groei tussen 20 en 100 percent (Lund, Sanner, Rybach, Curtis & Hellström, 2004).

Het is dan ook niet verbazingwekkend dat de meeste fabrikanten op de Europese markt afkomstig zijn uit de bovenvermelde landen. Niet alleen voorzien deze fabrikanten Europa van warmtepompen, maar door hun bijna 30 jaar ervaring in Europa komt er steeds meer vraag van buiten de EU (European Heat Pump Association, 2008). Uit cijfers van de EHPA (2008) blijkt dat de Europese markt in 2006 ongeveer 386000 units groot was, met in de periode 2003 tot 2006 telkens dubbele groei cijfers.

Wat betreft marktaandeel van warmtepompen in nieuwbouwwoningen, merken we op dat dit percentage zeer hoog is in Zweden (95%) en Zwitserland (87%). In landen zoals Oostenrijk, Finland, Noorwegen en Duitsland kunnen we spreken van een sterke ontwikkeling en groei in het marktaandeel. In België en Nederland echter, staat het marktaandeel van de warmtepomp nog steeds in zijn kinderschoenen. En bij renovaties echter vinden we een veel kleinere populariteit en marktaandeel terug. In dit segment zijn wederom Zweden (50%) en Zwitserland (24%) de koplopers (European Heat Pump Association, 2008).

2.3 Werkingsprincipe

Er bestaan verschillende systemen en soorten van warmtepompen. De meeste warmtepompen zijn niet geschikt om in woningen te gebruiken omdat ze bijvoorbeeld gebruik maken van restwarmte van een industrieel proces. In woningen vinden we vooral één soort warmtepomp terug; de mechanische compressiewarmtepomp aangedreven door een elektromotor. Enkel de werking van dit soort warmtepomp zal in dit hoofdstuk aan bod komen, aangezien deze thesis enkel handelt over de financiële haalbaarheid in woningen.

Binnen deze mechanische compressiewarmtepompen bestaan echter nog onderverdelingen naargelang de warmtebron en het gekozen systeem voor warmteafgifte. Voor de bespreking van het werkingsprincipe zal hier abstractie van gemaakt worden aangezien de interne werking van de warmtepomp dezelfde blijft. De verschillen tussen de warmtebronnen en warmteafgiftesystemen komen later aan bod in dit hoofdstuk.

Eerst zal er meer aandacht worden besteed aan de theorie die aan de grondslag ligt van de warmtepompwerking. Deze theorie is de tweede hoofdwet van de thermodynamica. Hierna wordt er overgegaan naar de warmtepompcyclus waarin de werking van een mechanische compressiewarmtepomp aan bod komt.

2.3.1 Tweede hoofdwet thermodynamica

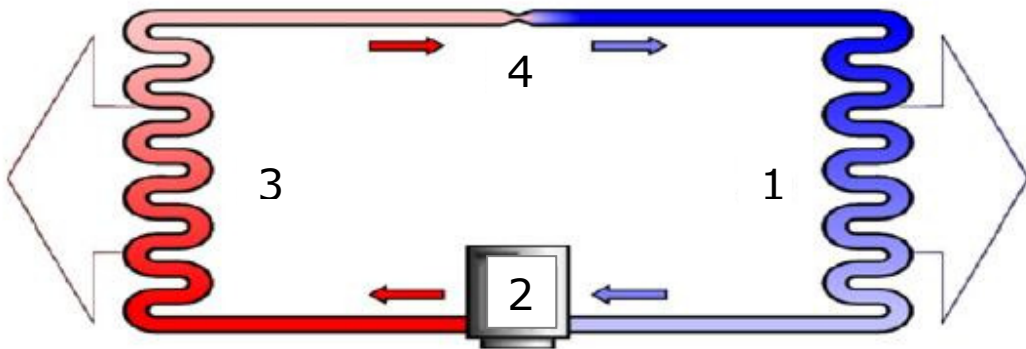
De tweede hoofdwet van de thermodynamica is ontstaan na verdere bestudering van het onderzoek van Sadi Carnot naar warmtemotoren (Hepbasli & Kalinci, 2009). Men kan deze tweede wet op verschillende manieren formuleren, maar ze zijn allen gelijk omdat de ene formulering de andere impliceert.

Een eerste formulering is afkomstig van Clausius, die het volgende formuleert; "Warmte vloeit spontaan van een warm object naar een koud object, maar warmte zal niet spontaan van een koud naar een warm object vloeien." Een tweede formulering is die van William Thomson. Hij stelt het volgende; "Het is onmogelijk om een warmtemotor met een efficiëntie van 100% te bereiken." Met andere woorden; warmte kan nooit volledig omgezet worden in arbeid. Een derde formulering, en tevens de laatste, veronderstelt dat natuurlijke processen de intentie hebben om naar een staat van grotere wanorde of grotere entropie te evolueren (; 'Giancoli, 2005, p416 & p432).

Dit inzicht in de werking van thermodynamische processen maakt duidelijk dat warmte nooit spontaan van een koud object naar een warm object zal vloeien, maar dat dit echter wel mogelijk is door het toevoegen van arbeid. Door deze ontdekking werden meerdere nieuwe toepassingen mogelijk, zoals bijvoorbeeld de koelkast, de diepvriezer en ook de warmtepomp.

2.3.2 Warmtepompcyclus

Om een huis van verwarming te voorzien doorloopt de warmtepomp een aantal stappen. Men noemt dit de warmtepompcyclus. Deze cyclus start door het onttrekken van warmte bij de warmtebron, en eindigt bij het afgeven van deze warmte aan het warmteafgiftesysteem. Voor dit transport van warmte gebruikt de warmtepomp een koelvloeistof (ODE Vlaanderen, 2006).



Figuur 1: Schema van een warmtepompcyclus: (1) verdamper, (2) compressor, (3) condensator, (4) expansievat (Omer,2006).

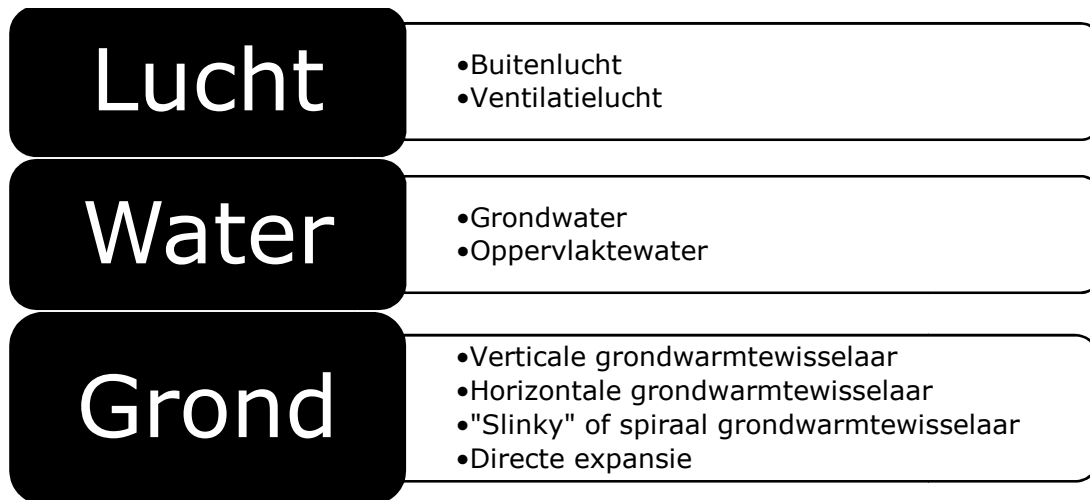
De eerste stap in de cyclus is de verdamper (nummer 1 in bovenstaande figuur), gelegen aan de warmtebron. De koelvloeistof zal op lage druk en op lagere temperatuur dan de warmtebron in de verdamper komen. Doordat de koelvloeistof warmte opneemt zal ze het kookpunt overschrijden, waardoor ze zal verdampen en vervolgens zal overgaan in gastoestand. Het medium wordt dan door de compressor (nummer 2) uit de verdamper gezogen en op hoge druk geplaatst. Hierdoor zullen temperatuur en kookpunt verhogen. De compressor levert dus met andere woorden de arbeid die nodig is om warmte van een koud naar warm object te laten vloeien (Geothermal Heat Pump Consortium, 2008).

Na de compressor arriveert het gas onder hoge druk in de condensor (nummer 3). Hier zal het gas zijn warmte afgeven aan het warmteafgiftesysteem. Tevens zal het medium condenseren en overgaan in vloeibare toestand. Hierna is het de beurt aan een expansieventiel (nummer 4), dat er voor zorgt dat de vloeistof terug op zijn oorspronkelijke druk en temperatuur komt, waarna de cyclus zich herhaalt (Geothermal Heat Pump Consortium, 2008).

Bij de meeste warmtepompen kan de cyclus omgedraaid worden tijdens de zomer, waardoor warmtepompen de woning van koeling kunnen voorzien. In deze cyclus wordt er dan warmte uit het huis onttrokken en afgegeven aan de warmtebron (Geothermal Heat Pump Consortium, 2008).

2.4 Warmtebronnen

Eerder werd al vermeld dat er verschillende soorten en systemen bestaan bij warmtepompen en dat enkel de mechanische compressiewarmtepompen in deze thesis aan bod zouden komen. Deze warmtepompen kunnen echter nog eens onderverdeeld worden afhankelijk van het type warmtebron. Algemeen wordt aangenomen dat er 3 grote bronnen van warmte voor warmtepompen zijn. Namelijk; lucht, water en grond. In onderstaand schema vindt u een overzicht van de beschikbare warmtebronnen. Deze zullen vervolgens toegelicht worden.



Figuur 2: Overzicht warmtebronnen

2.4.1 Lucht

Een luchtwarmtepomp gebruikt de alom aanwezige grondstof lucht. De warmtepomp gebruikt deze lucht om warmte aan te onttrekken. De twee luchtbronnen waar een residentiële warmtepomp gebruik van kan maken zijn buitenlucht en ventilatielucht. Aangezien buitenlucht direct is blootgesteld aan weersinvloeden, is een grote schommeling in temperatuur mogelijk. Ventilatielucht is dan weer niet voldoende aanwezig om de woning van voldoende warmte te voorzien.

2.4.1.1 Buitenlucht

Buitenlucht is de eerste en tevens meest voorkomende warmtebron voor een luchtwarmtepomp. Deze is gemakkelijk te installeren aangezien er enkel een buiten- en binnenunit nodig is. Maar het heeft toch ook enkele problemen (ODE Vlaanderen, 2006). Hieronder volgt een toelichting van de meest frequente problemen.

Een van de grootste problemen bij een luchtwarmtepomp is dat de luchttemperatuur schommelt met de seizoenen. Door deze schommelingen die net tegengesteld zijn aan de verwarming- of koelingbehoefte zal het rendement van deze warmtepompen schommelen. Door de lage temperaturen in de winter kan het zelfs mogelijk zijn dat de warmtepomp niet voldoende warmte uit de lucht kan halen. In dit geval zijn er enkele oplossingen. Zo kan de warmtepomp beschikken over een elektrisch verwarmingselement of kan er in de woning nog een andere verwarmingsbron aanwezig zijn, zoals bijvoorbeeld een gas- of stookolieketel. In ieder geval moet er rekening mee gehouden worden dat dit scenario mogelijk is en dat er dan bijkomende verwarming voorzien moet worden (Natural resources Canada's office of energy efficiency, 2004).

Een ander probleem dat deze lage temperaturen kunnen geven is bevroering aan de verdamper. Bij dit probleem zal vocht in de lucht aan de verdamper vastvriezen, waardoor de warmtepomp minder warmte kan opnemen. Om dit probleem aan te pakken zal de warmtepomp overschakelen naar een ontdooicyclus. In deze cyclus zet de warmtepomp zich in koelmodus en komt er een aanvoer van warmte op gang naar de verdamper zodat het ijs kan smelten. Een andere mogelijkheid is dat de koelvloeistof voor een korte tijd achter de compressor wordt afgetapt om vervolgens terug langs de verdamper te vloeien (Natural resources Canada's office of energy efficiency, 2004).

Vroeger werd voor de ontdooicyclus een vast tijdsinterval gebruikt. Moderne luchtwarmtepompen daarentegen maken gebruik van sensoren om vast te stellen wanneer ontdooiing nodig is. Door het gebruik van deze sensoren kan het aantal ontdooiingen worden beperkt, wat het rendement van de warmtepomp ten goede komt. Het is echter wel zo dat door de korte tijdsduur van de cyclus het verlies aan comfort minimaal is. Enkel het rendement lijdt onder het ontdooien (Natural resources Canada's office of energy efficiency, 2004).

2.4.1.2 Ventilatielucht

In huidige, goed geïsoleerde woningen zijn ventilatiesystemen niet langer weg te denken. Deze ventilatielucht kan gebruikt worden als warmtebron voor een warmtepomp. De ventilatielucht is van binnenin de woning afkomstig en bezit nog steeds een hogere warmte dan de buitenlucht. Door het vermogen om warmte in de woning te recupereren, zal er een kleiner ventilatieverlies zijn voor de woning en kan de luchtwarmtepomp een hoger rendement behalen (Compleet wonen, 2008).

Ventilatielucht is echter meestal niet in voldoende mate aanwezig. Hierdoor zal men steeds in combinatie met een andere warmtepomp of een andere vorm van verwarming moeten werken. Een andere mogelijkheid is dat men dit systeem gebruikt voor de warmwatervoorziening (Compleet wonen, 2008).

2.4.2 Water

Een andere warmtebron die gebruikt kan worden is water. Waterwarmtepompen hebben over het algemeen een hoger rendement dan luchtwarmtepompen, maar water is niet overal in voldoende mate aanwezig. Ook zijn er grotere werken en investeringen nodig in de nodige randapparatuur, zoals bijvoorbeeld pompen en waterputten.

Eerst zal grondwater als bron voor de waterwarmtepomp worden besproken. De andere mogelijk is het gebruik van oppervlaktewater.

2.4.2.1 Grondwater

Grondwaterwarmtepompen maken gebruik van het grondwater in de ondergrondse waterlagen. Omdat dit grondwater overvloedig aanwezig is in deze lagen en de waterlagen zo diep zitten, heeft het grondwater in België een constante temperatuur van 10 à 14°C. Deze temperatuur verandert niet of nauwelijks, aangezien seizoenen en warmteonttrekking weinig tot geen invloed uitoefenen (ODE Vlaanderen, 2006).

Om van dit systeem gebruik te maken moeten er twee putten geboord worden. Een pompput en een retourput. Uit de pompput zal het grondwater onttrokken worden. Nadat het grondwater langs de verdamper van de warmtepomp is gelopen, gaat het grondwater via de retourput terug de aarde in. Dit alles vormt een gesloten systeem, omdat het opgepompte grondwater niet in contact mag komen met de lucht. De zuurstof in de lucht kan immers in combinatie met de aanwezigheid van kalk en ijzer in het grondwater, leiden tot verstoppingen in het systeem. Het grondwater zelf moet ook van goede kwaliteit zijn, anders kan deze de warmtewisselaar aantasten waardoor de levensduur van de warmtepomp afneemt en de prestaties in het gedrang komen. Bovendien is het noodzakelijk dat er voldoende grondwater aanwezig is om een goede doorstroming aan de verdamper te verzekeren (Omer, 2006).

In België bevindt het grondwater zich op een diepte tussen 20 en 100 meter. Indien men dieper moet graven dan 150 meter is een grondwaterput, omwille van de prijs, minder interessant. De hoeveelheid op te pompen water hangt af van de warmtevraag. Algemeen kan men aannemen dat er per uur tussen de 0,2 en 0,3 m³ water met een temperatuur van 10°C moet opgepompt worden per kW geleverd thermisch vermogen. Indien het grondwater beschikt over een hogere temperatuur zal er minder nodig zijn (ODE Vlaanderen, 2006).

2.4.2.2 Oppervlaktewater

Indien er voldoende oppervlaktewater van goede kwaliteit aanwezig is in de buurt van de woning, kan ook dit als warmtebron fungeren. Dit water kan bijvoorbeeld afkomstig zijn van een meer, rivier of vijver (Phetteplace, 2007). Aangezien oppervlaktewater blootgesteld is aan weersinvloeden, zal de temperatuur van dit oppervlaktewater schommelen met de seizoenen. Net zoals bij de luchtwarmtepomp zal de seizoensverandering dus een negatieve invloed hebben op de COP van het systeem (ODE Vlaanderen, 2006).

Doordat de nodige grote hoeveelheid aan oppervlaktewater slechts zelden aanwezig is, wordt dit type weinig gebruikt in België (ODE Vlaanderen, 2006).

2.4.3 Grond

Bij het gebruik van grond als warmtebron gaat er steeds gebruik worden gemaakt van een buizenstelsel dat in de grond aangelegd wordt. Hierbij moet men er wel rekening met houden dat de temperatuur van de eerste meters onder het aardoppervlak nog steeds sterk afhankelijk is van de seizoenen. Zo zal de bodemtemperatuur op 5m diepte rond de 10 à 12°C liggen, terwijl dit op 1m diepte 4 tot 17°C is (ODE Vlaanderen, 2006).

In het buizenstelsel loopt meestal een mengsel van water en een antivriesproduct. Door het antivriesproduct zal het vriespunt van het mengsel lager liggen, waardoor de kans op bevriezing tijdens de winter nihil is. Dit mengsel zal warmte opnemen van de omliggende aarde, waarna het over de verdampers geleid wordt. Door dit proces zal de temperatuur van de aarde rond de warmtewisselaar afnemen naarmate het stookseizoen vordert. De warmteonttrekking is immers groter dan de warmtetoevoer. Deze evolutie zorgt ervoor dat de COP van dit type warmtepomp afneemt tijdens het gebruik. Wanneer het stookseizoen ten einde is zal de grond recupereren, maar algemeen kan aangenomen worden dat deze nooit meer zijn originele temperatuur zal kunnen bereiken. Het is pas na enkele jaren gebruik dat men de echte COP van de warmtepomp zal kunnen vastleggen (ODE Vlaanderen, 2006).

Het buizencomplex van een grondwarmtepomp kan verschillende vormen hebben, dewelke een onderverdeling van grondwarmtepompen mogelijk maken. De eerste vorm is de verticale grondwarmtewisselaar, de tweede is de horizontale grondwarmtewisselaar, de derde is de spiraal grondwarmtewisselaar en de laatste vorm maakt gebruik van directe expansie van het koelmiddel. Deze verschillende vormen worden hieronder beschreven.

2.4.3.1 Verticale grondwarmtewisselaar

De verticale grondwarmtewisselaar is een systeem waarbij met een boormachine het buizensysteem verticaal in de grond gebracht wordt. Doordat het systeem verticaal zit is er slechts een beperkte oppervlakte nodig. Een groot voordeel hiervan is dat dit systeem ook bruikbaar is op beperktere ruimtes. Ook heeft de aarde een constante temperatuur op deze diepte waardoor er minder schommelingen in het rendement zullen zijn (Omer, 2006).

De dimensionering van de aardsonde is van groot belang bij dit type grondwarmtewisselaar. Niet alleen kan het onjuist dimensioneren leiden tot een lager rendement, ook zijn er nadelen verbonden aan een overcapaciteit. Meer specifiek de kosten van de boring, want deze zijn meestal per boormeter. Het dimensioneren wordt gedaan aan de hand van een computersimulatie waarin informatie zoals de geologie, de beschikbare plaats en de warmtebehoefte worden opgenomen. Bij een gemiddelde woning volstaat het om tussen ± 150 en 200 boormeter te voorzien (ODE Vlaanderen, 2006).

2.4.3.2 Horizontale grondwarmtewisselaar

Een horizontale grondwarmtewisselaar heeft een grotere oppervlakte nodig omdat het captatienet bestaat uit horizontaal geplaatste buizen. Bij voorkeur ligt deze grondwarmtewisselaar op minimum 1 meter diepte. Indien dit niet mogelijk is zal de grondtemperatuur sterk variëren naargelang de buitentemperatuur (Florides & Kalogirou, 2007).

De benodigde grootte van het captatienet is ook hier afhankelijk van de warmtebehoefte en de bodemsamenstelling. Sommige bodems geleiden warmte immers beter dan andere. Zo zal aan een natte grond steeds een groter vermogen onttrokken kunnen worden als aan een gelijkaardige droge grond. Voor een gemiddelde woning zal men dus tussen 200 en 500m² nodig hebben (ODE Vlaanderen, 2006).

2.4.3.3 "Slinky" of spiraal grondwarmtewisselaar

Bij een spiraal grondwarmtewisselaar kan het buizencomplex zowel verticaal als horizontaal in de grond zitten. In tegenstelling tot de andere grondwarmtewisselaars zijn de buizen niet mooi recht, maar hebben ze de vorm van een uitgerekte spiraal. Hierdoor kunnen de nodige oppervlakte of de boormeters teruggebracht worden, waardoor ze ook geschikt zijn voor projecten met een kleinere oppervlakte (Phetteplace, 2007).

2.4.3.4 Directe expansie

Bij directe expansie wordt er gebruikt gemaakt van een koelmiddel dat door de grondwarmtewisselaar stroomt, in plaats van het gebruikelijke mengsel van water en antivries. Het koelmiddel gaat in het buizencomplex zelf verdampen, waardoor deze dienst doet als verdamper. Na compressie kan het koelmiddel rechtstreeks doorstromen naar het warmteafgiftesysteem waar het condenseert. Een andere mogelijkheid is dat er een gewone condensor gebruikt wordt en dat het warmteafgiftesysteem gescheiden is, waardoor het gebruikelijke mengsel van water en antivries stroomt (ODE Vlaanderen, 2006).

2.5 Warmteafgiftesystemen

Het warmteafgiftesysteem is een belangrijke component in het warmtepompsysteem. Het rendement van de warmtepomp is immers niet alleen afhankelijk van de temperatuur van de warmtebron, maar ook van de temperatuur van het warmteafgiftesysteem. Een hoog temperatuurverschil tussen beiden zal een laag rendement geven. Men kan uitgaan van een verhoging in de COP van een warmtepomp met 2% bij elke graad temperatuursverlaging van het warmteafgiftesysteem (ODE Vlaanderen, 2006). Warmteafgiftesystemen komen in verschillende vormen voor. Zo is er o.a. vloerverwarming, zijn er radiatoren en luchtverwarming.

2.5.1 Lucht

Om gebruik te maken van warme lucht als verwarming moet het huis voorzien worden van een ventilatienetwerk, waardoor de warmtelucht naar de verschillende ruimten kan stromen. Door dit netwerk is het zeer eenvoudig om bepaalde ruimten af te sluiten van verwarming indien deze tijdelijk niet gebruikt worden (ODE Vlaanderen, 2006). De warme lucht die door het netwerk stroomt zal door de warmtepomp verwarmd worden tot temperaturen van 30 à 50°C (The Ground Source Heat Pump Association, 2004).

De warmteafgifte van dit systeem is afhankelijk van de temperatuur van de warme lucht en de luchtcirculatie. Door een grotere luchtcirculatie zal een lagere temperatuur nodig zijn. Hierdoor kan de warmtepomp efficiënter werken maar is er ook een hoger verbruik in het ventilatiesysteem (The Ground Source Heat Pump Association, 2004).

Warmteluchtverwarming wordt voornamelijk gebruikt bij louter luchtwarmtepompen omdat deze een hoger rendement hebben dan lucht- waterwarmtepompen.

2.5.2 Water

Wanneer het afleversysteem gebruik maakt van water zijn er meerdere mogelijkheden. De eerste zijn de lage temperatuursystemen. De meest populaire vorm van deze lage temperatuursystemen is vloerverwarming. Maar ook de muur- en plafondverwarming behoren tot deze groep. De andere soort zijn de hoge temperatuursystemen. Deze hebben een kleinere oppervlakte nodig voor de afgifte van dezelfde hoeveelheid warmte dan de lag temperatuurssystemen door de hogere temperatuur van het water. De hoge temperatuursystemen waren in het verleden zeer populair. Voorbeelden van deze groep zijn de radiatoren en convectoren.

2.5.2.1 Lage temperatuurssystemen

Bij vloerverwarming wordt er in de vloeropbouw een buizenet ingebed. In dit netwerk zal water op lage temperatuur circuleren, meestal zal deze temperatuur tussen 30 à 45°C liggen. Vloerverwarming kan op twee manieren worden toegepast. Het enige verschil zit in de plaatsing.

Bij het eerste type wordt het buizenet in de dekvloer geplaatst, terwijl bij het tweede type de buizen dieper liggen. Namelijk in de isolatielaag. Indien de buizen in de isolatielaag liggen dan zal de warmteafgifte kleiner zijn. Door de vloerverwarming in de isolatielaag te leggen zal dit resulteren in een dunnere vloer waardoor dit tweede type van vloerverwarming te gebruiken is bij renovaties waar het eerst type vloerverwarming een te hoge vloer zou opleveren (The Ground Source Heat Pump Association, 2004).

Vloerverwarming is de efficiëntste vorm van verwarming bij het gebruik van een warmtepompsysteem. Dit komt omdat vloerverwarming gebruik kan maken van een grote oppervlakte, waardoor een lage temperatuur voldoende is. De temperatuur is sterk afhankelijk van de oppervlakte die de vloerverwarming in beslag kan nemen, maar zoals eerder vermeld zal deze steeds tussen 30 à 45°C liggen. Het verlagen van de temperatuur met 20°C brengt een genoodzaakte oppervlaktevergroting van 30% à 40% met zich mee. Maar dit zal tevens leiden naar een rendementswinst van meer dan 40% (ODE Vlaanderen, 2006)!

Een ideaal vloerverwarmingontwerp zou de vloer moeten verwarmen tot een temperatuur van 26°C, waardoor deze aangenaam aanvoelt en zorgt voor voldoende verwarming (The Ground Source Heat Pump Association, 2004). De maximale vloertemperatuur bedraagt 29°C, maar aan de randen mag deze tot 32°C stijgen. Deze maximumtemperaturen zorgen ervoor dat de maximale warmteafgifte beperkt wordt tot 100W per m². Hier moet men ook rekening houden met het feit dat op sommige plaatsen de ruimte voor vloerverwarming sterk beperkt kan zijn door de aanwezigheid van uitrusting zoals bijvoorbeeld een keuken (ODE Vlaanderen, 2006).

Een gebrek aan oppervlakte kan opgelost worden door gebruik te maken van muur- of plafondverwarming. Dit kan zowel gebeuren als hoofdverwarming, als in combinatie met vloerverwarming. Plafondverwarming biedt een bijkomende troef indien er ook koeling vereist is, aangezien dit systeem een hoog koelvermogen heeft (ODE Vlaanderen, 2006).

2.5.2.2 Hoge temperatuurssystemen

Radiatoren en convectoren zijn nog steeds de meest gebruikte warmteafgiftesystemen (ODE Vlaanderen, 2006). Door de beperkte oppervlakte moet het water naar een hoge temperatuur opgewarmd worden om voldoende warmteafgifte te bekomen. Hierdoor zijn temperaturen van 60 à 90°C niet ongebruikelijk (The Ground Source Heat Pump Association, 2004). Door de hoge nodige temperatuur zal er met een warmtepomp slechts een laag rendement worden bekomen.

2.6 Rendement

Het rendement van een warmtepomp wordt meestal aangeduid met de term coëfficiënt of performance (COP). Andere ratings zijn de energy efficiency rating (EER) en de heating seasonal performance factor (HSPF). Deze ratings zullen hierna kort aangehaald worden.

2.6.1 Rendementsmaatstaven

- Coefficient of Performance (COP)

De COP van een warmtepomp geeft de verhouding tussen de warmteoutput en de energie input weer. Zo zal een warmtepomp met een COP van 3, in staat zijn 3 kilowatt warmte produceren voor elke 1 kilowatt aan elektriciteit (Brumbaugh, 2004).

$$COP = \frac{Q_{uit}}{W} = \frac{Q_{condensor}}{W}$$

We kunnen ook nog een andere COP beschouwen namelijk de $COP_{koeling}$, hierbij draait het om de onttrokken warmte en niet om de geleverde warmte zoals bij de COP voor verwarming (Boot, Nies, Verschoor & De Wit, 1998).

$$COP_{koeling} = \frac{Q_{in}}{W} = \frac{Q_{verdampert}}{W}$$

Deze waarden zijn veelal van theoretische aard. Er wordt enkel rekening gehouden met het opgenomen vermogen van de compressor bij het produceren van warmte. Maar, er kunnen nog andere componenten energie vergen. Namelijk de motor van een pomp of aandrijving van een ventilator. Om de echte COP van een systeem te bekomen is het dus nodig om deze energieverbruikers bij in de berekening op te nemen (Boot, Nies, Verschoor & De Wit, 1998).

$$COP_{systeem} = \frac{Q_{uit}}{W_{totaal}} = \frac{Q_{condensor}}{W_{compressor} + W_{overige\ aandrijvingen}}$$

- Temperatuurlift en het theoretisch rendement

De COP van een warmtepomp, en dus zijn rendement, is sterk afhankelijk van de temperatuurlift. Hiermee wordt het verschil bedoeld tussen de temperatuur van de warmtebron en de leveringstemperatuur. Indien deze lift zeer groot is zal het rendement lager liggen omdat er relatief meer aandrijfenergie nodig zal zijn om de gewenste temperatuur te behalen.

Het theoretisch rendement van een warmtepomp is het maximale COP van een warmtepomp bij een bepaalde temperatuurlift. De theoretische COP wordt als volgt berekend (Boot, Nies, Verschoor & De Wit, 1998):

$$COP_{\text{verwarming}} = \frac{T_{\text{condensor}}}{T_{\text{condensor}} - T_{\text{verdamer}}}$$

$$COP_{\text{koeling}} = \frac{T_{\text{verdamer}}}{T_{\text{condensor}} - T_{\text{verdamer}}}$$

- Carnot rendement

Het Carnot rendement geeft een indicatie van de werkelijke efficiëntie van een warmtepomp. Dit rendement bekomen we door de COP van de warmtepomp te delen door de theoretisch haalbare COP (Boot, Nies, Verschoor & De Wit, 1998).

$$\eta_{\text{carnot}} = \frac{COP}{COP_{\text{theoretisch}}}$$

- Energy Efficiency Rating (EER) en Seasonal Energy Efficiency Ratio (SEER)

De EER en SEER zijn maatstaven voor het aanduiden van de koelprestaties van een luchtwarmtepomp, en worden weergegeven in Btu/Wh (Brumbaugh, 2004). Het enige verschil is dat de SEER rekening houdt met seizoensgebonden verschillen. Deze maatstaf is sterk gerelateerd aan de COP van een warmtepomp. Door de EER te delen door 3,413 Btu/Wh verkrijgt men de COP (koeling). Dus 1 SEER \approx 0,29 COP en 1 COP \approx 3,4 SEER (Giancoli, 2005).

$$(^S)EER = \frac{Btu}{W * uur}$$

- Heating Season Performance Factor (HSPF)

Dit is een maatstaf voor de verwarmingsefficiëntie van een luchtwarmtepomp in Btu/Wh. Ook hier geldt dat een hogere rating een hogere efficiëntie weergeeft (Brumbaugh, 2004).

De HSPF is sterk gerelateerd aan de (S)EER. Beiden worden in dezelfde eenheden weergegeven. De HSPF kan op dezelfde manier als de (S)EER omgezet worden naar de COP van de warmtepomp. Dit maal zal men de COP (verwarming) van de warmtepomp verkrijgen.

2.6.2 Rendementen warmtepompsystemen

Elke warmtepomp kan gebruik maken van een bepaalde warmtebron zoals lucht, water of aarde maar ook van een bepaald warmteafgiftesysteem op basis van lucht of water. Om het verschil tussen deze warmtepompen aan te duiden is de volgende nomenclatuur opgesteld.

Het eerste deel van de benaming geeft het type warmtebron aan, terwijl het tweede gedeelte het gebruikte type warmteafgiftesysteem aanduidt. Zo zal een water-water warmtepomp gebruik maken van een warmtebron zoals grondwater en een watergebaseerde afgiftesysteem gebruiken zoals vloerverwarming.

Er is echter nog een uitzondering hierop en dat is wanneer er gebruik wordt gemaakt van directe expansie. Het speciale hierbij is dat koelmiddel zowel door het buizen netwerk van de grondwarmtepomp als door het afgiftesysteem loopt.

De tabel op de volgende pagina geeft een indicatie van de rendementen per type warmtepomp die op de markt verkrijgbaar zijn.

Tabel 1: Overzicht rendementen

Type warmtepomp	Capaciteit verwarming (kW)	COP
Lucht-Lucht (buitentemperatuur =7°C)		
Daikin Altherma	11-16	2,88-3,08
Sanyo FRV	3,2-8,5	3,41-3,81
Lucht-Water (buitentemperatuur =7°C)		
Sanyo SHP-C90	4,5 of 9	3,1-3,7
Weishaupt WWP L	6,6-22,3	3,0-3,4
Vaillant geoTHERM VWL 2°C	10,3	3,4
Viessmann 350-A	10,6-18,5	3,2-3,6
Heliotherm	9,9-20,7	3,56-3,96
Water-Water (afgifte 35°C)		
Weishaupt WWP W	8,3-91,2	5,0-5,7
NIBE F1145	4,8-17,2	4,4-5,0
Nefit Auris E	5,7-8,21	5,27-5,39
Vaillant geoTHERM VWW	8,2-63,6	5,1-5,5
Viessmann Vitocal 300-G	8,0-21,6	5,1-5,7
Viessmann Vitocal 350	14,1 of 20,0	5,18-5,22
Heliotherm	7,85-54,5	5,89-6,51
Grond-Water (afgifte 35°C)		
Weishaupt WWP S	4,9-125,8	3,6-4,7
Vaillant geoTHERM VWS	5,9-45,9	4,3-4,4
Viessmann Vitocal 300-G	6,2-17,6	4,4-4,7
Viessmann Vitocal 242-G	5,9-10	4,2-4,3
Viessmann Vitocal 200-G	6,5-9,6	4,3
Viessmann Vitocal 350	11,0 of 17,1	4,32
Heliotherm Horizontale captatie	6,79-34,36	5,40-5,7
Heliotherm Verticale captatie	5,84-41,29	4,49-4,78
Directe expansie (afgifte = 30°C)		
Heliotherm CO₂	5,71-28,87	4,97-5,24

Voor de voorgaande tabel werden volgende bronnen geraadpleegd:

Daikin (2009), Sanyo (2008), Sanyo (z.d.), Weishaupt (2009), Nefit (2009), NIBE (2010), Vaillant (2009), Viessmann (2009a), Viessmann (2009b), Viessmann (2009c), Heliotherm (z.d. a), Heliotherm (z.d. b), Heliotherm (z.d. c), Heliotherm (z.d. d), Heliotherm (z.d. e).

2.7 Voor- en nadelen

In dit gedeelte zal er kort ingegaan worden op de algemene voor- en nadelen van warmtepompen. Ook zal er aandacht worden besteed aan de warmtebronspecifieke voor- en nadelen. De uitwerking van deze laatste zal gebeuren in een overzichtstabel.

2.7.1 Algemene voordelen

Bij de algemene voordelen kunnen we verschillende soorten onderscheiden. De eerste zijn technische voordelen die voortvloeien uit de unieke werking van de warmtepomp. Als tweede komen de economische voordelen aan bod. Deze beperken zich niet tot louter de particulier die een warmtepompinstallatie heeft, maar behandelt ook de voordelen voor de gehele economie. Als laatste komen de voordelen voor het milieu aan bod.

2.7.1.1 Technisch

- Energie-efficiënt

Zoals eerder bleek in punt 2.6 over het rendement van een warmtepomp ligt dit rendement hoger dan bij conventionele systemen. EHPA (2008) stelt dat een warmtepompsysteem ongeveer 50% minder primaire energie nodig heeft dan een vergelijkbaar traditioneel systeem. De uiteindelijke vermindering is afhankelijk van de elektriciteitsmix en de efficiëntie van opwekking.

Phetteplace (2007) haalt de resultaten van enkele studies naar het energieverbruik van warmtepompsystemen aan. De eerste studie is uitgevoerd door de American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). Uit deze studie blijkt dat het energieverbruik van een gebouw met warmtepompsysteem 37% lager ligt dan bij conventionele systemen. Een tweede studie die aangehaald wordt is deze van Shonder et al. (1999). Uit dit onderzoek bleek een vermindering in energieverbruik van 26% bij het gebruik in scholen. De laatste studie bespreekt de resultaten van het warmtepompproject in Fort Polk. In Fort Polk werden 4003 bestaande woningen voorzien van een warmtepompsysteem waardoor er een daling is van 33% in het energieverbruik.

2.7.1.2 Economisch

- Besparingen

Door de hoge efficiëntie en het hoge rendement van de warmtepomp is het potentieel om te besparen op verwarming zeer hoog. Volgens Huttner (1997) kan het verwarmen met een warmtepomp ten opzichte van fossiele brandstoffen een besparing van 45% of meer met zich meebrengen. Dit cijfer is terug te vinden in meerdere werken, zoals onder andere in EHPA (2008) waar gesproken wordt van een vermindering in kosten van 50% en een terugverdientijd van 10 tot 12 jaar. Ook het Geothermal Heat Pump Consortium (2008) maakt melding van lage werkingskosten.

Omer (2006) meldt dat de besparing die met een warmtepomp kan gehaald worden afhankelijk is van verschillende factoren zoals de grootte van de woning, de warmtebehoefte en de isolatiewaarde, de COP van het systeem, de dimensionering, het lokale klimaat en energiekosten, de gewenste temperatuur en de efficiëntie van de concurrerende verwarmingsmethoden. Deze factoren zullen later aan bod komen in hoofdstuk 3.

- Verhoogde werkgelegenheid

Als de vraag naar warmtepompsystemen stijgt, zal dit een effect hebben op de benodigde arbeid bij de productie. Er zal ook meer vraag zijn naar boringen en graafwerken waardoor ook daar meer personeel nodig is. Een laatste evolutie is het ontstaan van gespecialiseerde bedrijven die het complete pakket van zowel de warmtepomp en eventuele graafwerken of boringen aanbieden. (Huttner, 1997; European Heat Pump Association, 2008)

- Verminderde import afhankelijkheid

Voor fossiele brandstoffen is er een grote afhankelijkheid van het buitenland. Door gebruik te maken van warmtepompen kan, zoals eerder vermeldt, de vraag naar primaire energie sterk worden teruggebracht. Dit zal ook positieve effecten hebben op de handelsbalans. (European Heat Pump Association, 2008; Hutterer, 1997) Uit Calahan (2007) blijkt dat voor elke 100000 huizen voorzien van een warmtepomp de jaarlijkse olieconsumptie afneemt met 2,15 miljoen vaten.

2.7.1.3 Ecologisch

- Milieuvoordelen

De warmtepomp biedt niet alleen economische voordelen maar heeft ook voordelen voor het milieu. Het grootste voordeel voor het milieu zit in de kleinere uitstoot van broeikasgassen. Uit cijfers van de tekst EHPA (2008) blijkt dat zelfs in een land zoals Duitsland, dat veel uitstoot genereert bij de productie van elektriciteit, er een afname is van 3400 tot 4000 kg CO₂ per woning per jaar in vergelijking met stookolie. In landen met een gunstigere uitstoot kan dit oplopen naar besparingen in uitstoot van 4900 tot 5100 kg CO₂ per woning per jaar. In de toekomst kunnen er nog extra besparingen in uitstoot komen door verbeteringen in de efficiëntie van elektriciteitscentrales, de toename van hernieuwbare energie in de elektriciteitsmix en betere filtertechnieken. (European Heat Pump Association, 2008)

Om deze redenen heeft het U.S. Environmental Protection Agency (EPA) de grondgekoppelde warmtepomp uitgeroepen tot het meest efficiënte en properste verwarmingssysteem (Brumbaugh, 2004).

Een andere positieve evolutie is het verbieden van schadelijke chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's) als koelmiddel. Buiten het feit dat CFK's broeikasgassen zijn, gaan ze ook de ozonlaag aantasten. CFK's zijn verantwoordelijk geweest voor het ontstaan van het gat in de ozonlaag. Andere gebruikte koelmiddelen zijn hydrochloorfluorkoolwaterstoffen (HCFK's) en hydrofluorkoolwaterstoffen (HFK's). HCFK's hebben een geringere invloed op de ozonlaag dan CFK's en hen wacht dan ook een tragere uitfasering. Sinds januari 2010 mag binnen de Europese Unie geen gebruik meer gemaakt worden van nieuw geproduceerde HCFK's, enkel nog van gerecycleerde HCFK's. Vanaf 2015 volgt er een totaal verbod. HFK's bieden ongeveer dezelfde koelprestaties maar hebben geen schadelijk effect op de ozonlaag (Boot, Nies, Verschoor & De Wit, 1998).

- Productie van hernieuwbare warmte uit omgevingswarmte

Warmtepompen halen 75 tot 80% van de geproduceerde warmte uit de omgeving. Deze omgevingswarmte is een vorm van hernieuwbare energie. De gebruikte energie zal aangevuld worden door de omgeving. Hierdoor kan het systeem overal gebruikt worden. (European Heat Pump Association, 2008)

2.7.2 Algemene nadelen

- Hoge investeringskosten

Het grootste nadeel aan een warmtepompsysteem is het prijskaartje. Afhankelijk van het systeem zal er capaciteit ten opzichte van een verwarmingssysteem op gas, een meerkost zijn van \$600 tot \$1000 per 3,6 kWh (Kavanaugh, 1992). Deze meerkost vindt zijn oorsprong in de extra kosten van boringen of het aanleggen van een captatienet. Hiervoor is er speciale uitrusting nodig en zijn er maar een beperkt aantal spelers op de markt (ASHRAE, 1999).

Een andere factor die meespeelt is de kleine vraag naar warmtepompen, waardoor er nog geen sprake is van massaproductie. Hierdoor ontbreken er schaalvoordelen bij de productie van de warmtepompunits wat een effect heeft op de kostprijs voor particulieren. Indien de vraag stijgt, kan er wel gebruik worden gemaakt van massaproductie, waardoor de kostprijs zal zakken (Huttrer, 1997).

- Nieuwe technologie

Warmtepompen worden ondanks hun lange geschiedenis door velen nog steeds aanzien als een nieuwe technologie. Installateurs missen nog de opleiding en expertise waarover ze wel beschikken bij gas- en stookolie-installaties (Kavanaugh, 1992).

2.7.3 Warmtebronspecifieke voor- en nadelen

Tabel 2: Overzicht voor- en nadelen warmtebronnen

Warmtebron	Voordelen	Nadelen
Buitenlucht	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Beperkt grondbeslag ▪ Bijna overal toepasbaar ▪ Onbeperkt beschikbaar ▪ Onuitputbaar ▪ Lagere investeringskost 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zeer lage brontemperaturen bij grootste verwarmingsbehoefte ▪ Sterk wisselende brontemperaturen ▪ Meer onderhoud ▪ Meer geluidshinder ▪ Hulpverwarmingssysteem noodzakelijk
Ventilatielucht	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Geen grondbeslag ▪ Hoge brontemperatuur ▪ Constante brontemperatuur 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Geluidsproductie ▪ Beperkte beschikbaarheid ventilatielucht ▪ Alleen toepasbaar in bepaalde ventilatiesystemen
Grondwater	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eenvoudig ontwerp ▪ Minder boren dan verticale grondwarmtewisselaar ▪ Beter rendement ▪ Meestal laagste kost ▪ Hoge brontemperatuur ▪ Compact ▪ Bewezen technologie ▪ Onuitputbaar 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lokale wetgeving en vergunningen ▪ Aanwezigheid voldoende grondwater en debiet ▪ Onzuiverheid grondwater ▪ Meeste pompkracht nodig ▪ Hogere investeringskost ▪ Open systeem
Oppervlaktewater	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lagere investeringskosten dan grondwater ▪ Geen grondbeslag 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Water temperatuur moet boven 5,5°C blijven ▪ Mogelijk vervuiling na hoogwaterstand ▪ Grote hoeveelheid oppervlakte water nodig ▪ Meer pompkracht nodig

Warmtebron	Voordelen	Nadelen
Verticale grondwarmtewisselaar	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Beperkte grondoppervlakte ▪ Weinig tot geen variatie in grondtemperatuur ▪ Minder buizen nodig ▪ Bijna overal toepasbaar ▪ Relatief hoge brontemperatuur 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Problemen in bepaalde geologische formaties ▪ Moeilijkere installatie ▪ Brontemperatuur daalt tijdens stookseizoen
Horizontale grondwarmtewisselaar	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lagere investeringskosten ▪ Flexibele installering ▪ Residentiële toepassingen voldoende ruimte ▪ Bijna overal toepasbaar 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Grote oppervlakte nodig ▪ Variatie in brontemperaturen ▪ Warmtegeleiding afhankelijk van weer ▪ Lang buizennetwerk ▪ Lagere systeem efficiëntie ▪ Mogelijke uitputting van bodem
Spiraal grondwarmtewisselaar	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Minder grondoppervlakte ▪ Minder graafwerken ▪ Mogelijk lagere investeringskosten 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Meer buizen nodig ▪ Variatie in grondtemperaturen ▪ Meer pompkracht nodig dan horizontale grondwarmtewisselaar ▪ Moeilijkere installatie
Directe expansie	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hogere COP mogelijk 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Minder flexibele installatie

Bij het opstellen van deze tabel werden volgende bronnen gebruikt:

- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (1999)
- ODE Vlaanderen (2006)
- Phetteplace (2007)
- Omer (2008)
- Berntsson (2002)
- Kavanaugh (1992)
- Geothermal Heat Pump Consortium (2008)
- Natural Resources Canada's Office of Energy Efficiency (2004)
- Brumbaugh (2004)

2.8 Conclusies

Voor dit hoofdstuk kunnen we besluiten dat de ontdekking en formulering van de tweede hoofdwet van de thermodynamica van fundamenteel belang was. Het was namelijk door dit inzicht dat warmtepompen en koelkasten mogelijk werden.

De werking van de warmtepomp kan bondig worden samengevat als het onttrekken van warmte aan een warmtebron en deze warmte aanwenden voor verwarmingsdoeleinden. Om dit te bereiken dient er arbeid te worden geleverd door een compressor.

In de praktijk zijn er voor woningverwarming drie warmtebronnen te onderscheiden. Deze zijn lucht, bodem en water. De luchtwarmtepomp haalt haar warmte uit de buiten- of ventilatielucht. Enkel buitenlucht is voldoende aanwezig om aangewend te worden voor verwarming.

De bodemwarmtepomp haalt haar warmte uit een captatienet aangelegd in de bodem. Door dit buizencomplex vloeit een mengsel van water en antivries. Deze vloeistof zal de aardwarmte absorberen. Het captatienet kan zowel horizontaal als verticaal in de bodem worden geplaatst. Varianten hierop zijn de spiraal grondwarmtewisselaar en directe expansie. Bij de eerste worden de buizen als een spiraal in de grond geplaatst, bij de laatste vloeit er in plaats van het gebruikelijke mengsel van water en antivries een koelmiddel door het captatienet.

Na de warmtebronnen werden de warmteafleveringssystemen onder de loep genomen. We onthouden dat er twee verschillende systemen bestaan. De lage temperatuursystemen zoals vloer-, muur- en plafondverwarming en de hoge temperatuursystemen zoals radiatoren en convectoren.

De rendementen van warmtepompen worden aangeduid door de coëfficiënt of performance (COP). Deze coëfficiënt geeft weer hoeveel kWh warmte geproduceerd wordt per kWh elektriciteit. Het rendement van de warmtepomp is zeer afhankelijk van de temperatuurslift. De temperatuurslift is het verschil tussen de warmtebron temperatuur en de temperatuur van het afleversysteem. Des te groter het verschil, des te lager het rendement zal zijn. Deze temperatuurslift is het grootste voor de luchtwarmtepomp en deze heeft in de praktijk dan ook de het laagste rendement, de waterwarmtepomp heeft de hoogste brontemperatuur en dus ook het hoogste rendement.

In het onderzoek naar algemene voor- en nadelen van de warmtepomp konden er voornamelijk voordelen worden gevonden. De voordelen konden we indelen in drie groepen: de technische, economisch en ecologische voordelen. Hierbij waren voornamelijk de energie-efficiëntie, de besparingen in werkingskosten en de verminderde CO₂-uitstoot van belang. Bij de nadelen is voornamelijk de investeringskost een groot aandachtspunt.

Buiten de algemene voor- en nadelen werden er ook een heel aantal geïdentificeerd die specifiek van toepassing waren op de utilisatie van een bepaalde warmtebron. Deze hebben meestal betrekking op het plaatsgebruik, regelgeving, kosten, brontemperatuur en toepasbaarheid.

3 Model

Het doel van dit hoofdstuk is om alle elementen van verwarmingssystemen te bespreken en tot een kasstroomanalyse te komen die kan gebruikt worden in een simulatiemodel.

Dit simulatiemodel werd opgesteld in Excel. Het is in staat om variabiliteit in factoren te simuleren, door gebruik te maken van random getallen en kansverdelingen. Hiervoor wordt de software Crystal Ball gebruikt. Door deze variabiliteit zal er niet één netto contante waarde worden gevonden, maar een heel interval van waarden.

De zekerheid van de simulatie definiëren we als een 95% betrouwbaarheidsinterval met een maximale breedte van 0,5% van de gemiddelde netto contante waarde. Dit betekent concreet dat indien we dezelfde simulatie 100 maal laten lopen, het gemiddelde van de simulatie zich in 95 van de 100 dan gevallen binnen het volgende interval bevindt [$\text{€ gemiddelde} \cdot 0,9975$; $\text{€ gemiddeld} \cdot 1,0025$].

Het basisaantal simulaties is 100000. Wanneer dit aantal onvoldoende blijkt om de vooropgestelde zekerheid te bekomen, worden er voor de desbetreffende case extra simulaties gedaan. Door meer simulaties uit te voeren zal de zekerheid namelijk toenemen en het betrouwbaarheidsinterval kleiner worden.

Algemeen kan worden gesteld dat de netto contante waarde gelijk is aan de som van de gediscoteerde baten en kosten. Deze baten en kosten kunnen we verder opsplitsen in volgende kasstromen voor de individuele verwarmingssystemen:

Kosten

- Investeringskosten
- Operationele kosten
- Lening

Baten

- Belastingsaftrek
- Belastingsaftrek intresten
- Premie netbeheerder
- Andere premies

Deze netto contante waarde en de bijbehorende kasstromen worden in eerste instantie berekend voor de individuele systemen. Deze systemen zijn de luchtwarmtepomp, de bodemwarmtepomp, de waterwarmtepomp, de gasketel en de stookolieketel.

De netto contante waarde van de individuele verwarmingssystemen is echter niet het doel van deze studie. Het doel is nagaan of er kosten gespaard worden door het gebruik van een warmtepomp in plaats van een klassiek verwarmingssysteem. En vervolgens de netto contante waarde van dit voordeel te becijferen. Om dit te bereiken schieten de individuele analyses te kort en moet er overgegaan worden naar een vergelijking van de warmtepomp met de klassieke systemen.

Hiervoor worden relatieve kasstromen gebruikt. Deze kasstromen worden bekomen door de kasstromen van een klassiek systeem af te trekken van de kasstromen gegenereerd door een warmtepomp. Door dit systeem toe te passen kunnen we 6 kasstroomtabellen opstellen en kunnen er positieve kasstromen ontstaan in de vorm van minderuitgaven of besparingen. De uit deze kasstroomtabel verkregen netto contante waarde zal aanduiden of een bepaald type warmtepomp een betere investering is dan een klassiek verwarmingssysteem.

Maar kennis van de relevante kosten- en batenstromen is niet voldoende om het simulatiemodel te beschrijven. Er zijn nog relevante factoren, namelijk de kapitaalkost en de periode opgenomen in de analyse.

Als laatste gaan we dieper in op de output die we kunnen verwachten van het model.

3.1 Kasstroomanalyse: kosten

Een eerste deel van de kasstroomanalyse dat hier besproken wordt zijn de kosten. De kosten worden opgesplitst in drie grote groepen: de investeringskost, de operationele kost en de lening.

De eerste zijn de investeringskosten. In deze kosten worden alle investeringen die nodig zijn voor de installatie van een bepaald verwarmingssysteem opgenomen.

Hierna bespreken we de levensduur van de investering. Deze levensduur zal de periode bepalen waarover de kasstroomanalyse gebeurt. Ook afhankelijk van de investering is de lening en kapitaalkost.

De tweede groep kosten zijn de operationele kosten, deze kunnen we opsplitsen in de werkingskosten en de onderhoudskosten. De werkingskosten behelzen alle kosten die betrekking hebben op het verbruik van energie. De onderhoudskosten zijn volledig afhankelijk van het onderhoud van het systeem dat nodig is om een continue werking te garanderen.

Als laatste komt de lening en daaraan verbonden kost aan bod.

3.1.1 Investeringskosten

Elk verwarmingssysteem heeft een eigen kostenplaatje bij aanschaf. Dit wordt weerspiegeld in de investeringskosten.

De investeringskost bestaat voornamelijk uit de kosten van het verwarmingsapparaat zelf, maar met deze kost alleen stop het niet. Naargelang de gekozen methode zijn er nog bijkomende investeringen nodig. Zo zal een warmtepomp bijvoorbeeld toegang nodig hebben tot een warmtebron. Een gas- of stookolie-installatie heeft op zijn beurt dan weer een schoorsteen nodig.

De prijs van de verwarmingsunit zal steeds berekend worden aan de hand van een prijsregressie op basis van het thermisch vermogen en het rendement. Deze regressies, alsook de gebruikte data kunt u terugvinden in bijlage 1 op pagina 111. Het resultaat van de regressie dient nog te worden verhoogd met het heersende BTW percentage, gebruikelijk 21%. Voor de andere kosten zal er een vaste of variabele kost gekozen worden, naargelang de toepasbaarheid.

Uiteindelijk is de totale investeringkost niets anders dan de optelling van de verschillende componenten. Aangezien er slecht éénmalig een investering dient te gebeuren, zullen de investeringskosten enkel in jaar 1 van de kasstroomanalyse voorkomen.

Hierna zullen de geïdentificeerde investeringskosten per systeem besproken worden.

3.1.1.1 Luchtwarmtepomp

De grootste kosten van een luchtwarmtepomp zijn de binnen- en buitenunit. Aangezien de ene unit niet kan functioneren zonder de andere, worden deze voornamelijk samen aangeboden. Er zal in het model dan ook uitgegaan worden van een gezamenlijke prijs voor beide units.

Naast de kostprijs van de unit is er ook nog de kost van het installeren en afstellen. Hiervoor wordt een vaste prijs in rekening gebracht aangezien er weinig verschil bestaat tussen de verschillende vermogens. Deze vaste prijs bedraagt 750 euro, inclusief BTW¹.

3.1.1.2 Bodemwarmtepomp

Voor de bodemwarmtepomp is er, buiten de aankoop van de warmtepompunit, een captatienet noodzakelijk. Dit captatienet kan zowel verticaal als horizontaal in de grond worden geplaatst. Er wordt uitgegaan van een prijs per m², inclusief BTW voor de horizontale captatie van €20/m², en een prijs per boormeter voor de verticale captatie van 40 euro².

Omdat de grootte van het captatienet afhankelijk is van het thermische vermogen van de installatie en de warmtegeleiding van de grond, varieert de kostprijs. Voor de warmtegeleiding gaan we uit van een waarde voor horizontale captatie van 30W/m², bij verticale captatie is deze waarde 50W/m. Dit waardeverschil is hoofdzakelijk te wijten aan de temperatuursverschillen van de ondergrond.

De kost van het captatienet kan met behulp van volgende formule worden geschat:

$$\text{Kost captatienet} = \frac{(\text{Thermisch vermogen} - \text{elektrisch vermogen compressor})}{\text{Warmtegeleiding}} * \text{prijs per m}^2 \text{ of m}$$

Niet alle warmte afgegeven door de warmtepomp is afkomstig van de warmtebron. Daarom moet er bij de berekening van het captatienet alleen rekening worden gehouden met het deel dat afkomstig is van de warmtebron. Dit deel is gelijk aan het totale thermische vermogen van de warmtepomp, verminderd met het vermogen dat de compressor levert. Dit elektrisch vermogen van de compressor kan men bekomen door het thermisch vermogen te delen door de COP van de bodemwarmtepomp. Wanneer we het vermogen van de warmtebron delen door de gemiddelde warmtegeleiding, bekomen we de grootte of dimensionering van de warmtebron.

¹ Cijfer verkregen na communicatie met bedrijf actief in de installatie van warmtepompen.

² Cijfers verkregen na communicatie met bedrijf actief in de installatie van warmtepompen.

De kost voor installatie van de warmtepompunit en de afstelling ervan bedraagt net zoals bij de luchtwarmtepomp, 750 euro incl. BTW³.

3.1.1.3 Waterwarmtepomp

Ook bij de waterwarmtepomp is er buiten de binneninstallatie nog een externe warmtebron nodig, hier in de vorm van een waterbron. Deze waterbron zal de vorm van een grondwaterput aannemen. Bij deze werkwijze zijn er twee schachten nodig. Een oppompput en een retourput. We schatten de gemiddelde diepte van een oppomp- en retourput op 90m. De kostprijs hiervan wordt geraamd op 7500 euro, inclusief BTW⁴. In deze prijs zijn de boringen, evenals de nodige apparatuur inbegrepen.

De installatie- en afstellingskost zijn net dezelfde als bij de andere warmtepompsystemen; €750 incl. BTW⁵.

3.1.1.4 Gas

Een gasinstallatie heeft een aansluiting nodig op het netwerk van de gasdistributeur. Deze aansluiting kost, na tussenkomst van de distributienetbeheerder, nog €250 voor de particulier. Andere kosten zijn €950 voor de installatie, €750 voor de schoorsteenbuis en €550 voor de gasleiding van het netwerk naar de ketel (Koninklijke Vereniging van Belgische Gasvaklieden, 2009).

3.1.1.5 Stookolie

Een stookoliesysteem heeft een tank nodig voor de opslag van stookolie. Hier is er de keuze voor een bovengrondse of ondergrondse tank. Omdat de meeste tanks ondergronds liggen, zal er bij de verdere uitwerking steeds voor dit soort geopteerd worden. De kostprijs voor een ondergrondse tank van 2500 liter ligt op €2800, inclusief BTW.

³ Cijfer verkregen na communicatie met bedrijf actief in de installatie van warmtepompen.

⁴ Cijfer verkregen na communicatie met bedrijf actief in de installatie van warmtepompen.

⁵ Cijfer verkregen na communicatie met bedrijf actief in de installatie van warmtepompen.

Andere kosten bij installatie zijn de installatiekosten, het plaatsen van een schoorsteenbuis en de stookolieleiding van het reservoir naar het verwarmingsapparaat. Voor deze elementen worden volgende bedragen, inclusief BTW, voorzien; €1250 voor de installatie en afstelling, €750 voor de schoorsteenbuis en €250 voor de stookolieleiding (Koninklijke Vereniging van Belgische Gasvaklieden, 2009).

3.1.2 Levensduur van de investering

De levensduur van een verwarmingssysteem is een belangrijke factor. Ze bepaalt immers het aantal jaren aan kasstromen opgenomen in de analyse. Met een langere levensduur kunnen de resultaten van de kasstroomanalyse volledig anders zijn.

De gebruikte levensduur in deze thesis bedraagt 20 jaar. Voor gas- en stookolieketels wordt deze 20 jarige levensduur al langer aanzien als de economische levensduur. De technische levensduur is vaak langer, maar door het gedaalde rendement en de verhoogde kans op herstellingen is vervanging na 20 jaar aangeraden.

Voor warmtepompen is de levensduur moeilijker te bepalen.

In België wordt de warmtepomp nog niet zo lang gebruikt. Hierdoor kan er op basis van Belgische ervaringen geen levensduur worden geformuleerd. Fabrikanten en vakorganisaties zoals de American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) hebben echter meer ervaring op het gebied van warmtepompen. Zij geven een minimumlevensduur op van ongeveer 20 jaar. Op basis van deze cijfers nemen we voor de warmtepompen ook een levensduur van 20 jaar aan.

Omdat voor alle systemen de levensduur op 20 jaar ligt, worden in het model alle kasstromen in dit interval van 20 jaar berekend.

3.1.3 Lening

Een ander onderdeel van de kosten is de lening. Door de omvang van de investering zal er in vele gevallen een lening worden aangegaan. Het initiële verkregen geld zal worden opgenomen als een eenmalige inkomende kasstroom. Met behulp van de looptijd, het geleende bedrag en het intrestpercentage zal de jaarlijkse terugbetaling worden berekend. Deze jaarlijkse terugbetaling zorgt dan weer voor een jaarlijks terugkerende uitgaande kasstroom tijdens de looptijd van de lening.

De lening zal steeds uitgedrukt worden als een percentage van de investeringskosten.

3.1.4 Kapitaalkost

Het cijfer voor de kapitaalkost zal gebruikt worden als verdisconteringspercentage bij de berekening van de twee volgende financiële maatstaven: de netto contante waarde en de verdisconteerde terugverdiensijd.

De gehanteerde kapitaalkost kan verschillen naargelang de gebruikte financieringsmix. Indien de investering volledig zelf gefinancierd wordt, is de gehanteerde kapitaalkost gelijk aan 2%. Dit is namelijk de gemiddelde intrestvoet op een spaarrekening. Bij volledige financiering door een lening, wordt het intrestpercentage, te betalen op de lening, gebruikt als kapitaalkost. Een mix van eigen middelen en een lening is ook een mogelijkheid. Hierbij wordt er een gewogen gemiddelde gebruikt. Bijvoorbeeld: 25% eigen inbreng, 75% lening aan 4% geeft een kapitaalkost van 3,5%.

Bij de vergelijking van 2 verwarmingssystemen zal er een vaste kapitaalkost van 4% worden gehanteerd. Dit intrestpercentage is vaak terugkerend bij termijnrekeningen van lange duur. Er wordt hier doelbewust gekozen voor een vrij risicoloze vorm van beleggingen, om het risico overeen te laten komen met het risico van het verwarmingssysteem. Door te investeren in meer risicovolle beleggingen, zoals aandelen, kan er op lange termijn een hoger rendement worden behaald.

3.1.5 Operationele kosten

De operationele kosten kunnen we onderverdelen in de werkingskosten en de onderhoudskosten. De werkingskosten, tevens is dit de grootste component van de operationele kosten, komen als eerste aan bod. De onderhoudskosten volgen na de werkingskosten.

$\text{Operationele kosten} = \text{werkingskosten} + \text{onderhoudskosten}$
--

3.1.5.1 Werkingskosten

De werkingskosten hebben een nauwe band met de energie- en verbruiksprijzen. Ze geven namelijk de totale kostprijs weer van het verbruik van energie tijdens de levensduur van het verwarmingssysteem.

De eerste component van deze kosten zijn de verwarmingskosten. Niet alleen de kosten voor verwarming zijn relevant, ook moet er rekening worden gehouden met secundaire verbruikers, die nodig zijn voor de werking zoals ventilators, pompen en elektrische voedingen. Dit wordt beschouwd al de tweede component. Voor de luchtwarmtepomp is er nog een derde component van toepassing, namelijk het verbruik van de bijverwarming.

Samengevat geeft dit een jaarlijkse kasstroom die gelijk is aan:

$\text{Werkingskosten} = \text{verbruikskosten verwarming} + \text{secundaire verbruikskosten} + \text{verbruikskosten bijverwarming}$
--

3.1.5.1.1 Verbruikskosten verwarming

De kosten voor verwarming zijn volledig afhankelijk van de energiebehoefte voor verwarming. De energiebehoefte schommelt elk jaar, en dit door parameters zoals de buitentemperatuur, de zoninstraling en opwekkingsrendementen. De werkwijze gevolgd in de berekening van deze energiebehoefte en de benodigde parameters zijn terug te vinden in bijlage 2 aangaande de meteorologische parameters en bijlage 3 in verband met de warmtebehoefteberekening startend op respectievelijk pagina 123 en 137.

Door de energiebehoefte voor verwarming te vermenigvuldigen met de prijs van de grondstoffen voor de verschillende systemen, wordt de verbruikskost voor verwarming verkregen. Voor de gasinstallatie moet er ook nog rekening gehouden worden met de jaarlijkse vaste bijdrage aan de energieleverancier en de distributienetbeheerder.

De gedetailleerde berekening van deze energieprijzen is terug te vinden in bijlage 4 op pagina 145. Deze berekening resulteert in volgende energieprijzen:

- Elektriciteit: piek 0,2072 €/kWh, dal 0,1269 €/kWh
- Gas: 0,0465 €/kWh, vastrecht 138,21 €/jaar
- Stookolie: 0,6078 €/liter

De voorgaande paragrafen kunnen we samenvatten door volgende formule:

$$\text{Verbruikskosten verwarming} = \text{energiebehoefte verwarming} * \text{energieprijs} + \text{vastrecht}$$

Met:

- Energiebehoefte verwarming =
(((transmissieverlies + ventilatieverlies – zonnewinst – interne warmtewinst) /
systeemrendement) - verbruik bijverwarming) / opwekkingsrendement
(zie bijlage 3 pagina 137)
- Energieprijs =
Voor elektriciteit: (((0,2072 * (1 + reële prijsstijging)^jaar) * 75) + (0,1269 * (1 +
reële prijsstijging)^jaar * 93) / 168) * (1 + reële prijsstijging)^jaar
Voor gas: 0,0465 * (1 + reële prijsstijging)^jaar
Voor stookolie: 0,6078 * (1 + reële prijsstijging)^jaar
(zie bijlage 4 pagina 145)
- Vastrecht =
Voor gas: 138,21 * (1 + reële prijsstijging)^jaar
(zie bijlage 4 pagina 145)

3.1.5.1.2 Secundaire verbruikskosten

Een kost die veel over het hoofd wordt gezien bij het verbruik van een verwarmingssysteem is het verbruik van randapparatuur. Zo zal een gas- en stookolieketel elektriciteit nodig hebben voor zijn werking, is er voor vloerverwarming een circulatiepomp nodig en hebben warmtepompen ventilators of een pomp nodig. Sommige van deze verbruikers kunnen een aanzienlijk vermogen opnemen, wat resulteert in een aanzienlijk verbruik. We specificeren volgend secundair verbruik per kW thermisch vermogen van de verwarmingsinstallatie:

Tabel 3: Overzicht waarden secundaire verbruikers.

Systeem	Verbruik per kW thermisch vermogen installatie
Luchtwarmtepomp	7,14W
Bodemwarmtepomp	25W
Waterwarmtepomp	35,7W
Gas	3,926W
Stookolie	8,65W

Bovenop dit specifiek verbruik per verwarmingssysteem komt nog een pomp met een gemiddeld vermogen van 100W voor de vloerverwarming. Dit verbruik geldt voor alle systemen. De afkomst van de cijfers in bovenstaande tabel, evenals de berekening van het secundaire verbruik, wordt beschreven in bijlage 7 en 8 vanaf pagina 165.

De secundaire verbruikskosten kunnen worden berekend via volgende formule:

$$\text{Secundaire verbruikskosten} = \text{secundaire verbruik} * \text{elektriciteitsprijs}$$

Met:

- Verbruik apparaten =
(thermisch vermogen * secundair vermogen per thermisch vermogen) *
(warmtevraag / (thermisch vermogen * uren in stookseizoen) * uren in stookseizoen)
+ 100W * uren in stookseizoen
- Elektriciteitsprijs =
(((20,72 * (1 + reële prijsstijging)^jaar) * 75) + (12,69 * (1 + reële prijsstijging)^jaar
* 93) / 168) * (1 + reële prijsstijging)^jaar

3.1.5.1.3 Verbruikskosten bijverwarming

De kosten voor de bijverwarming zijn volledig afhankelijk van het gemiddelde verbruik van de elektrische weerstand tijdens het stookseizoen. De berekening van dit verbruik is terug te vinden in bijlage 9 op pagina 173.

Er rest ons enkel nog dit verbruik te vermenigvuldigen met de prijs van elektriciteit, om zo de kostprijs van de bijverwarming te berekenen.

$$\text{Verbruikskosten bijverwarming} = \text{verbruik bijverwarming} * \text{elektriciteitsprijs}$$

Met:

- Verbruik bijverwarming = verbruik ontdooicyclus + verbruik bijverwarming
- Elektriciteitsprijs =
$$(((20,72 * (1 + \text{reële prijsstijging})^{\text{jaar}}) * 75) + (12,69 * (1 + \text{reële prijsstijging})^{\text{jaar}} * 93) / 168) * (1 + \text{reële prijsstijging})^{\text{jaar}}$$

3.1.5.2 Onderhoudskosten

De onderhoudskosten zijn de laatste component van de operationele kosten.

De onderhoudsprijzen die uiteindelijk verantwoordelijk zijn voor de onderhoudskosten gaan tijdens de duur van de analyse ook reële prijsstijgingen ondervinden. Omdat deze prijsstijgingen gedeeltelijk samenhangen met de stijging van de energieprijzen, kan de gesimuleerde prijsstijging voor energie worden aangewend (meer info over deze prijsstijging vindt u in bijlage 5 op pagina 159). Toch wordt voor de onderhoudsprijzen niet de volledige prijsstijging doorgerekend. Dit omdat de kosten van onderhoud voornamelijk arbeidskosten zijn en de stijging van de energieprijzen slechts beperkt meetellen in de consumptieprijsindex. De traagheid van de indexaanpassingen in de lonen spelen ook een rol.

Hieronder bespreken we de veronderstellingen betreffende onderhoud voor de verschillende verwarmingssystemen. De prijzen en de regelmaat van het onderhoud zullen namelijk verschillen per systeem.

Warmtepompen worden aanzien als onderhoudsvrij, toch wordt er geadviseerd om voor de luchtwarmtepomp een regelmatig onderhoud te voorzien. Dit omdat de luchtwarmtepomp als enige warmtepomp onderhevig is aan weerinvoeden. Een tweejaarlijks nazicht wordt als voldoende geacht.

De kostprijs voor dit onderhoud wordt op €70 exclusief BTW geschat. Indien het huis jonger is dan 5 jaar, dient het bedrag met 21% BTW te worden verhoogd. Indien het ouder is dan 5 jaar, verlaagd het BTW percentage naar 6%.

Voor stookolie- en gasketels met een vermogen boven 20 kWh bestaan er wettelijke bepalingen inzake onderhoud. Zo is een jaarlijks onderhoud verplicht bij stookolie-installaties, bij gasverwarming daarentegen volstaat een tweejaarlijks onderhoud. Omdat het aangeraden wordt aan alle eigenaars van dit soort verwarmingssystemen om regelmatig onderhoud te plegen aan de installatie, wordt voor de berekening van de onderhoudskosten deze regelgeving toegepast op alle gas- en stookolie-installaties, ongeacht het vermogen.

De initiële prijzen exclusief BTW, namelijk €75 voor gas en €91 voor stookolie, werden bekomen na onderzoek bij gespecialiseerde firma's. Op deze prijzen geldt hetzelfde BTW-regime als op het onderhoud van de luchtwarmtepomp, namelijk 6 of 21% naargelang de ouderdom van de woning.

De onderhoudskosten vallen samen te vatten in volgende formule:

$$\text{Onderhoudskosten} = \text{onderhoud} \\ = (\text{onderhoudskost} * (1 + 2/3 * \text{reële prijsstijging})^{\text{jaar}}) * \text{BTW-percentage}$$

Met:

Tabel 4: Overzicht onderhoudskosten

Systeem	Onderhouds-kost	Reële prijsstijging	BTW-percentage	Kasstroom
Lucht-warmtepomp	€70	Tussen 0,5% en 2%	6%; huis < 5 jaar 21%; huis > 5 jaar	Tweejaarlijks
Water-warmtepomp	€0	Tussen 0,5% en 2%		Niet
Bodem-warmtepomp	€0	Tussen 0,5% en 2%		Niet
Gas	€75	Tussen 0,5% en 2%	6%; huis < 5 jaar 21%; huis > 5 jaar	Tweejaarlijks
Stookolie	€91	Tussen 0,5% en 2%	6%; huis < 5 jaar 21%; huis > 5 jaar	Jaarlijks

3.1.6 Conclusie

We kunnen besluiten dat er voor een verwarmingssysteem drie relevante kostensoorten zijn. Deze zijn de investeringskosten, de operationele kosten en de lening.

De investeringskost komt als eerste aan de beurt. Deze kost is grotendeels afhankelijk van de dimensionering en de keuze van verwarmingssysteem. Een groter vermogen zal altijd resulteren in een hogere investeringskost. De investeringskost komt slechts één maal tijdens de levensduur voor. Ze zal enkel in jaar 1 worden opgenomen.

Bij deze investeringskosten werd ook de levensduur van een verwarmingssysteem aangehaald. Hieruit bleek dat een levensduur van 20 jaar aanvaardbaar is en daardoor kozen we om de kasstromentabel op te stellen over een periode van 20 jaar.

Daarna werden nog de lening en kapitaalkost bekeken. De kapitaalkost toegepast op de kasstromen, is gelijk aan een gewogen gemiddelde van het rentetarief op spaarrekeningen en de intrestvoet van de lening. De lening zal een positieve kasstroom veroorzaken in jaar 1, de jaarlijkse terugbetalingen veroorzaken negatieve kasstromen gedurende de looptijd van de lening.

De tweede kasstroomgroep zijn de operationele kosten. De operationele kosten kunnen we opsplitsen in de werkingskosten en onderhoudskosten.

De werkingskosten geven het verbruik aan energie weer. Hierin zitten zowel de kosten voor verwarming, het secundaire verbruik en het mogelijke verbruik van hulpverwarming. Het grootste verbruik en dus ook de grootste kost, is het voorzien in de verwarmingsbehoefte. Het secundaire verbruik is groter bij warmtepompen dan bij traditionele verwarmingssystemen. Dit is te wijten aan de pompen en ventilatoren die noodzakelijk zijn om de warmtebron te gebruiken. De werkingskost is een jaarlijkse kasstroom gedurende de gehele levensduur.

De onderhoudskost is gelijk aan de gangbare marktprijzen en moeten nog verhoogd worden met de prijsstijgingen enerzijds en met de heersende BTW-tarief anderzijds. Afhankelijk van het gekozen systeem zal de veroorzaakte kasstroom jaarlijks, tweejaarlijks of niet worden opgenomen.

3.2 Kasstroomanalyse: baten

Naast de hierboven besproken kosten, brengt een verwarmingssysteem ook baten met zich mee. De voornaamste baat die steeds terugkomt bij de bespreking van warmtepompen is de verlaging van de energiefactuur ten opzichte van een gas- of stookolie-installatie. Deze baat zal hier echter niet aan bod komen. Dit komt door de opzet van deze analyse. We nemen namelijk het verschil van de kasstromen gegenereerd door de individuele systemen. Hierdoor worden relatieve kasstromen gecreëerd en kunnen de systemen met elkaar worden vergeleken.

De baten bij de verwarmingssystemen bestaan voornamelijk uit premies, in de vorm van belastingsverminderingen. Hieronder zullen de vier verschillende soorten worden uitgewerkt. Als eerste is er de premie van de federale overheid op de investeringskosten. De tweede premie is ook afkomstig van de federale overheid, maar deze premie is bedoeld om leningen voor energiezuinige maatregelen te stimuleren. Als voorlaatste worden de netbeheerders en hun premies uitgewerkt. De subsidies van gemeenten komen als laatste aan bod.

3.2.1 Belastingsverminderingen aangeboden door de overheid

De eerste premie neemt de vorm aan van een belastingsvermindering. Deze premie, uitgegeven door de federale overheid, is de grootste premie die aan bod komt. Echter, de voorwaarden om deze premie te bekomen, zijn verschillend voor alle systemen. Daarom zal er eerst de grootte van de premie worden toegelicht, waarna er vervolgens overgegaan wordt naar de voorwaarden per systeem.

De federale overheid laat toe om 40% van de investeringskosten van een verwarmingsinstallatie te recupereren in de vorm van een belastingsvermindering. Het maximumbedrag is echter beperkt tot 2770 euro in aanslagjaar 2010. Indien de woning ouder is dan 5 jaar mag het overschot van de premie worden overgedragen naar de volgende 3 jaren. Ook voor deze jaren geldt een maxima van 2770 euro per aanslagjaar.

Deze premie geldt overigens voor alle geothermische warmtepompen, waardoor zowel de bodem- als waterwarmtepomp in aanmerking komen voor de premie. Voor de luchtwarmtepomp is deze premie pas weggelegd wanneer de warmtepomp dient ter vervanging van een oude stookolieketel.

Voor een gas- of stookolie-installatie is deze premie geldig indien voldaan wordt aan volgende voorwaarden:

- Het betreft een vervanging van een oude stookolieketel.
- De woning waar de vervanging plaatsvindt, is ouder dan 5 jaar.
- Er moet een condenserende ketel worden geplaatst.

We kunnen besluiten dat deze premie voornamelijk in het leven geroepen is om aan te zetten tot een lager energieverbruik voor woningverwarming. Dit concluderen we uit het feit dat het systeem met het hoogste rendement niet moet voldoen aan extra voorwaarden en dat de vervanging van een oude stookolieketel in oudere woningen een veel terugkerende voorwaarde is. Ook merken we op dat deze kasstroom enkel in de eerste 4 jaar van de kasstroomanalyse kan voorkomen (Vlaams energieagentschap, 2010).

3.2.2 Belastingsvermindering op intresten

De belastingsvermindering op intresten is het directe gevolg van de invoering van de groene lening. Dit is een initiatief om lenen voor energiebesparende investeringen aantrekkelijker te maken. De voordelen van dit leningstype zijn tweedelig.

Het eerste voordeel is een bonificatie van 1,5% op het intrestpercentage van de lening. Het tweede is wat aan bod komt in deze kasstroom; de belastingsvermindering op betaalde intresten. Via deze weg kan 40% van de betaalde intresten worden gerecupereerd.

Ook aan deze belastingsvermindering zijn er enkele voorwaarden verbonden:

- Maximumbedrag van 15000 euro per jaar, per woning en per ontleners.
- Minimumbedrag van 1250 euro per jaar, per woning en per ontleners.

Buiten bovengenoemde voorwaarden kan de groene lening enkel voor bepaalde uitgaven worden afgesloten. In totaal vallen 9 soorten uitgaven hieronder. Uit deze 9 zijn enkel de volgende 3 uitgaven relevant voor verwarmingssystemen:

- De vervanging van een oude stookketel.
- Het onderhoud van de stookketel.
- De plaatsing van uitrusting voor geothermische energieopwekking.

De belastingsvermindering op de intresten kan voorkomen in de eerste 10 jaar na plaatsing en dit slechts zolang de lening loopt.(Federale overheidsdienst financiën, 2009).

3.2.3 Premie van netbeheerder

De verschillende netbeheerders, zoals onder andere Infrax en Eandis, geven ook premies op verwarmingssystemen. Deze premie verschilt ook weer voor de verschillende systemen, in zowel grootte als voorwaarden.

Voor een warmtepompinstallatie wordt de grootte van de premie berekend aan de hand van het compressorvermogen. Per kVA geïnstalleerd compressorvermogen, wordt 210 euro uitgekeerd. Deze premie heeft een minimum van 850 euro en een maximum van 1680 euro.

De voorwaarden zijn als volgt:

- Minimum COP van 4,5 voor waterwarmtepomp.
- Minimum COP van 4 voor bodemwarmtepomp.
- Aangesloten op elektriciteitsnet Eandis, Infrax of PBE voor 1 januari 2006.

Een lucht/water warmtepomp met een minimale COP van 3,6 kan ook genieten van de voorgaande premie, maar deze is enkel geldig voor woningen aangesloten op het netwerk van Infrax en PBE. Verder gelden hier dezelfde voorwaarden en bedragen als voor een water/water en bodem/water warmtepomp.

Niet enkel de warmtepompen kunnen genieten van een extra premie van de netbeheerders. Zo geven zowel Infrax, Eandis als PBE een premie van 125 euro bij de plaatsing van een condensatieketel op aardgas. De aansluiting op het elektriciteitsnetwerk dient te dateren van voor 1 januari 2006.

Enkel PBE geeft een premie op een condensatieketel op stookolie. Aansluiting op het elektriciteitsnet van PBE voor 1 januari 2006 is een vereiste voor deze premie van 125 euro (Vlaams energieagentschap, 2010).

De premie van de netbeheerders zijn eenmalig en komen dus enkel in het eerste jaar voor.

3.2.4 Andere premies

Gemeenten kunnen ook in een premie voorzien. De verschillen in deze premies tussen gemeenten onderling kunnen zeer groot zijn. Zo geeft de gemeente Alken bijvoorbeeld 15% op de kostprijs van een warmtepomp met een maximum van 250 euro. De gemeente Dessel geeft ook 15% op de kostprijs, maar dan wel met een maximum van 620 euro.

Het volledige overzicht aan premies voor uw woonplaats is terug te vinden op de website: <http://www.energiesparen.be/subsidies/subsidiemodule>.

3.3 Externe baat: CO₂-uitstoot

De ecologische impact wordt vaak geciteerd als een belangrijk voordeel van de warmtepomp. Om deze reden werd de CO₂-uitstoot van de verwarmingssystemen mee opgenomen in het model. Dit is de voornaamste manier waarom een verwarmingssysteem een impact heeft op het milieu. Verwarmingssystemen zijn immers verantwoordelijk voor ongeveer één derde van de totale CO₂-uitstoot (Kikuchi, Bristow & Kennedy, 2009).

Uit de literatuurstudie van de voordelen van warmtepompen, in hoofdstuk 2, is gebleken dat de CO₂-uitstoot, en dus de milieu-impact bij gebruik, van een warmtepomp veel lager ligt dan van een gas- of stookolie-installatie. De tekst van de EHPA (2008) spreekt over een afname in CO₂-uitstoot tot 4000 kg CO₂ per woning, per jaar in een land met een hoge uitstoot CO₂ bij de productie van elektriciteit.

De berekening van de CO₂-uitstoot maakt gebruik van cijfers uit Verbeeck, Dreesen, De Coninck, Achten en Vanderveken (2008). Dit betekent dat de gehanteerde emissiefactor voor elektriciteit 0,595 kg CO₂/kWh is, voor aardgas 0,201 kg CO₂/kWh en voor stookolie 0,276 kg CO₂/kWh.

Door de CO₂-uitstoot te vermenigvuldigen met het verbruik per verwarmingssysteem wordt de jaarlijkse CO₂-uitstoot bekend. Warmtepompen zullen enkel elektriciteit verbruiken. Een gasinstallatie zal echter zowel aardgas als elektriciteit verbruiken, net zoals een stookolie-installatie zowel stookolie als elektriciteit verbruikt.

Bij de verschillende verwarmingssystemen dienen we ook rekening te houden met het verbruik van de randapparatuur, zoals pompen en ventilatoren, en de mogelijke noodzaak van bijverwarming bij luchtwarmtepompen. De berekening van dit secundaire verbruik is terug te vinden in bijlage 8 op pagina 171. Voor warmtepompen kan dit bijkomende elektrische verbruik snel oplopen, waardoor dit bijkomende verbruik ook de CO₂-uitstoot van het gehele systeem significant zal beïnvloeden.

We kunnen besluiten dat de totale ecologische impact van de verwarmingsinstallatie zal worden weergegeven in CO₂-uitstoot en volgens onderstaande formule.

CO₂-uitstoot warmtepomp = verbruik verwarming * 0,595 kg CO₂/kWh + secundair verbruik * 0,595 kg CO₂/kWh + verbruik bijverwarming * 0,595 kg CO₂/kWh

CO₂-uitstoot gas = verbruik verwarming * 0,201 kg CO₂/kWh + secundair verbruik * 0,595 kg CO₂/kWh + verbruik bijverwarming * 0,595 kg CO₂/kWh

CO₂-uitstoot stookolie = verbruik verwarming * 0,276 kg CO₂/kWh + secundair verbruik * 0,595 kg CO₂/kWh + verbruik bijverwarming * 0,595 kg CO₂/kWh

3.4 Output

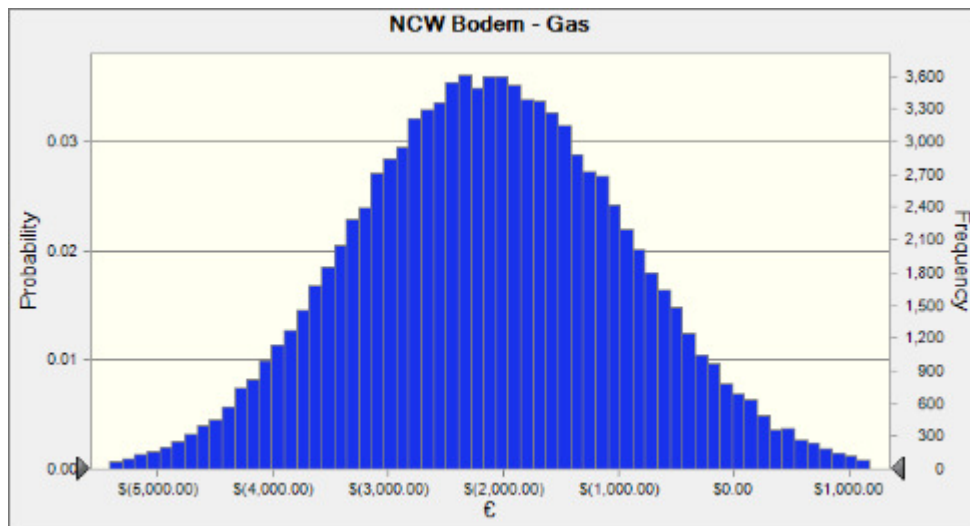
Zoals in de inleiding van dit hoofdstuk reeds vermeld werd, zal dit simulatiemodel minstens 100.000 simulaties uitvoeren. Simulaties zijn nodig omdat de netto contante waarde van een verwarmingssysteem afhankelijk is van enkele variërende variabelen zoals de buitentemperatuur.

De output bestaat uit de 6 netto contante waarden verkregen uit de 6 relatieve kasstroomtabellen, aangevuld met één extra maatstaf; de CO₂-uitstoot. Dit omdat de CO₂-uitstoot steeds als één van de grote pluspunten van warmtepompen wordt geadverteerd. Deze ecologische maatstaf is louter informatief betrokken in de analyse, ze heeft geen verdere invloed op de financiële haalbaarheid van een warmtepompsysteem.

De uitwerking per maatstaf is dezelfde. Eerst worden er door Crystal Ball 4 belangrijke kengetallen geproduceerd; het gemiddelde, de mediaan, het minimum en het maximum. Deze getallen geven een eerste beeld over de maatstaf. Het gemiddelde en de mediaan geven aan wat er verwacht mag worden. Aan de hand van het minimum en maximum zien we bijvoorbeeld het interval waarover de mogelijke waarden verspreid zijn, maar dit laatste zegt niets over de verdeling van de waarden binnen dit interval.

De verdeling binnen het interval wordt weergegeven door een grafiek, gegenereerd door Crystal Ball. Deze grafiek deelt de range aan observaties op in kleinere intervallen en geeft de frequentie binnen deze kleinere intervallen weer. Door deze grafiek is het ook mogelijk om het aantal observaties met een netto contante waarde onder nul te identificeren.

Hieronder wordt een voorbeeld van een Crystal Ball grafiek weergegeven.



Figuur 3: Voorbeeld Crystal Ball grafiek.

Omwille van de grote hoeveelheid aan kengetallen en grafieken, zullen bij de bespreking van de resultaten slechts de belangrijkste en opvallendste resultaten worden aangehaald.

3.5 Conclusie

In dit hoofdstuk zijn de relevante kasstromen voor het bepalen van de netto contante waarde geïdentificeerd.

Bij de kostenstromen zijn dit de investeringskosten, de operationele kosten en de kosten verbonden aan een lening. De batenstromen zijn de premies die afkomstig zijn van verschillende overheden en de privésector. In de tekst vinden we de meeste van de berekeningen terug. In bijlage worden de meer specifieke berekeningen en veronderstellingen uit de doeken gedaan.

Omwille van het doel van deze studie, namelijk nagaan of een warmtepomp een rendabelere investering is dan een klassiek systeem, gebruiken we niet de netto contante waarde bekomen uit de individuele kasstroomanalyses. We gebruiken deze kasstromen echter om nieuwe relatieve kasstromen te verkrijgen. De kasstroom van de warmtepompinstallatie wordt verminderd met de kasstroom van de gas- of stookolie-installatie. Door deze werkwijze kunnen er netto contante waarden worden gevonden voor de vergelijking van de systemen.

De netto contante waarden van de vergelijkingen tussen warmtepompen en klassieke verwarmingssystemen worden gegenereerd door het software programma "Crystal Ball". De gebruikte waarde bij de analyse in het volgende hoofdstuk is de mediaanwaarde na 100.000 runs van het programma.

We halen ook nog aan dat buiten de kasstroomanalyse het model ook in staat is om de CO₂-uitstoot te berekenen. Hiervoor waren geen extra aanpassingen aan het model nodig, het verbruik wordt immers al berekend voor gebruik in de bepaling van de operationele kosten. Daarna is het slechts een kleine stap om de uitstoot veroorzaakt door dit verbruik te becijferen.

4 Case studies

Er zijn 3 case studies geïdentificeerd waarop het in hoofdstuk 3 opgebouwde model zal worden toegepast. In dit hoofdstuk zullen deze verschillende cases eerst worden voorgesteld. Na deze voorstelling worden de resultaten weergegeven en besproken. Als laatste formuleren we enkele conclusies die uit de resultaten voortvloeien.

4.1 Case voorstelling

De eerste case studie betreft een open bebouwing. Voor deze case wordt er, naast de bespreking van de NCW en CO₂-uitstoot, een sensitiviteitsanalyse of gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Voor de andere case studies wordt deze sensitiviteitsanalyse niet uitgevoerd. Aangezien ze gebruik maken van hetzelfde model, met dezelfde assumpties, zullen er weinig verschillen in gevoeligheid bestaan. De andere cases zijn een halfopen en een gesloten bebouwing.

Hieronder worden de verschillende woningen voorgesteld. De input van elke case in het model is terug te vinden in bijlage 11 vanaf pagina 177.

4.1.1 Openbebouwing

De woning die het onderwerp van de eerste case uitmaakt is een openbebouwing. Op de gelijkvloerse verdieping vinden we de inkom, de keuken, twee bergingen, een garage en een woonkamer. De woning heeft ook een bovenverdieping met 3 slaapkamers, een dressing en een badkamer. De achterzijde van de woning is gericht naar het zuiden, waar tevens ook de meeste ramen terug te vinden zijn (Vlaams energieagentschap, 2009).

4.1.2 Halfopen bebouwing

Het tweede scenario is een halfopen bebouwing. Deze halfopen bebouwing heeft een kleiner verliesoppervlak dan de voorgaande openbebouwing, maar beschikt toch over een even groot beschermd volume. De woonkamer en keuken liggen op de benedenverdieping en zijn naar het zuiden gericht. Op de eerste verdieping vinden we een badkamer en drie slaapkamers terug (Vlaams energieagentschap, 2009).

4.1.3 Gesloten bebouwing

De gesloten bebouwing is het laatste scenario dat we onderzoeken. Deze woning is kleiner en compacter ten opzichte van de andere cases. Tevens is ze beter geïsoleerd, waardoor ze een lager K-peil heeft dan in de andere cases het geval is. De woning beschikt over een woonkamer en een keuken op de benedenverdieping. Op de eerste verdieping vinden we een kleine badkamer en 3 slaapkamers terug. De voorgevel is noordelijk georiënteerd en de achtergevel zuidelijk (Vlaams energieagentschap, 2009).

4.2 Resultaten case studies

4.2.1 Resultaten

Bij de resultatenbespreking vestigen we eerst onze aandacht op de netto contante waarde. In deze bespreking besluiten we of een warmtepomp een goede investering is in vergelijking met een klassiek systeem, of niet. Deze bespreking gebeurt eerst case per case. Daarna wordt er een verklaring gezocht voor de verschillen tussen de cases.

Na de netto contante waarde komt de externe baat aan bod. Deze externe baat is de CO₂-uitstoot van het verwarmingssysteem. Deze externe baat heeft geen invloed op de investeringsbeslissing, toch bespreken we hem kort omwille van het milieuvriendelijke karakter van de warmtepomp.

4.2.1.1 Netto contante waarde

We beginnen de bespreking van de netto contante waarden door de samenvattende tabel te geven. Het eerste gedeelte van de tabel geeft de gevonden medianen voor de netto contante waarde weer. Het tweede gedeelte geeft de kans dat de netto contante waarde groter is dan 0 blijkt. Met andere woorden, het procentueel aantal gevallen waar de warmtepomp een rendabelere investering bleek. De gebruikte verdisconteringvoet is gelijk aan 4%.

Tabel 5: Samenvatting netto contante waarden (20 jaar, 4%)

		Lucht - Gas	Lucht - Stookolie	Bodem - Gas	Bodem - Stookolie	Water - Gas	Water - Stookolie
Mediaan NCW (in €)	Open	-8055,47	180,00	-2123,82	6117,04	-2724,55	5513,39
	Halfopen	-10043,3	163,75	-3676,69	6526,98	-1756,5	8454,66
	Gesloten	-7332,74	506,08	-1285,64	6559,92	-2804,07	5039,01
Kans groter dan 0	Open	0.000%	54.973%	3.845%	100%	1.229%	100%
	Halfopen	0.000%	53.369%	0.906%	99.996%	12.843%	100%
	Gesloten	0.000%	64.468%	12.559%	100%	0.673%	100%

Opvallend in bovenstaande tabel zijn de negatieve waarden bij de vergelijking van de verschillende warmtepompen met gas, en de positieve waarden bij de vergelijking met stookolie. De analyse van deze resultaten beginnen we met de luchtwarmtepomp, vervolgens komen de bodemwarmtepomp en de waterwarmtepomp aan bod.

4.2.1.1.1 Luchtwarmtepomp

De luchtwarmtepomp geeft de slechtste cijfers. In vergelijking met gas zijn er nooit positieve waarden en zien we zeer negatieve mediaanwaarden. Aangezien de luchtwarmtepomp in geen van de cases in aanmerking komt voor een premie, moet de hogere investeringskost worden goedge maakt door lagere operationele kosten. We zien dat de meerkost van de investering deels wordt goedge maakt door lage operationele kosten.

Er wordt verwacht dat door het hoge rendement van een warmtepomp, de operationele kosten dalen. Maar hier moet wel een kanttekening bij geplaatst worden. Met een prijs van €0,1627 per kWh is elektriciteit ongeveer 3,50 maal duurder per kWh, dan gas. De warmtepomp moet dus al minstens een rendement halen dat 3,5 maal hoger ligt dan gas om deze meerkost in energieprijzen op te vangen. Voor de luchtwarmtepomp is dit niet het geval. Ze haalt slechts een ratio van 3,38⁶. Hierdoor zullen de verwarmingskosten voor gas jaarlijks zelfs iets lager liggen dan die van de luchtwarmtepomp.

⁶ Het gemiddelde rendement tijdens de levensduur is 3,14 voor de luchtwarmtepomp, en 0,93 voor gas. Dit cijfer werd verkregen door een extra analyse met Crystal Ball.

De besparing moet dus in de overige operationele kosten terug te vinden zijn. De onderhoudskost ligt iets lager voor de luchtwarmtepomp, maar deze is niet groot genoeg om het verschil te verklaren.

Het verschil wordt echter wel verklaard door de resterende componenten van de operationele kosten. Voor de luchtwarmtepomp is dit de kost van het secundaire verbruik en het verbruik van de bijverwarming. Voor de gasinstallatie is dit ook de kost van het secundaire verbruik en de vaste vergoeding. De secundaire verbruikskost is hoger voor de warmtepomp dan voor gas, maar de vaste vergoeding voor gas is dan weer hoger dan de verbruikskost van de bijverwarming. Netto zal de kost voor gas hoger liggen dan voor de luchtwarmtepomp.

Als we nu kijken naar de vergelijking van de luchtwarmtepomp met stookolie wordt er voor de luchtwarmtepomp in 50 tot 60% van de gevallen een positieve waarde gevonden. De mediaanwaarde blijkt ook steeds licht positief te zijn.

De meerinvestering in de luchtwarmtepomp ten opzichte van een stookolie-installatie is veel kleiner dan het verschil tussen de luchtwarmtepomp en gas. Ook hier dient de besparing te komen van de operationele kosten, omdat er geen premies aan bod komen.

Om een besparing op de kosten voor woningverwarming te bekomen, dient het rendement van de luchtwarmtepomp 2,84 maal hoger te liggen dan het rendement van stookolie. Dit is uitgaande van een elektriciteitsprijs van €0,1627 per kWh en een stookolieprijs van €0,6078 per liter, omgerekend €0,0573 per kWh. In de cases ligt het rendement van de luchtwarmtepomp 3,57 maal hoger. Er zal dus een besparing zijn in de verwarmingskosten.

Zoals bij gas al aangehaald, werd is de verwarmingskost niet de enige component van de operationele kosten. De secundaire kosten van de luchtwarmtepomp liggen hoger dan voor stookolie. Ook de kosten voor bijverwarming doen de besparing in operationele kosten dalen. Voor de openbebouwing case gaat het om een gemiddeld meerverbruik van ongeveer 1235 kWh per jaar.

De onderhoudskosten van de stookolie-installatie zijn het dubbele van de luchtwarmtepomp. Op dit gebied wordt er dus zeer zeker gezorgd voor een besparing in kosten.

Samenvattend voor de luchtwarmtepomp – gas netto contante waarde kunnen we stellen dat de reden voor de zeer negatieve mediaanwaarde in alle cases te wijten is aan de zeer grote meerinvestering en het uitblijven van besparingen door het lage rendement en de hoge elektriciteitsprijs ten opzichte van de gasprijs. Er worden toch lagere operationele kosten gevonden door de hoge vaste jaarlijkse vergoeding die aan de gasleveranciers afgedragen moet worden.

Voor de luchtwarmtepomp – stookolie vergelijking zien we positieve medianen. Toch behalen slechts iets meer dan 50% van de simulaties een positieve netto contante waarde. In deze vergelijking is het rendement van de luchtwarmtepomp echter wel hoog genoeg om te zorgen voor een besparing in de operationele kosten. Het verbruik van secundaire apparaten en bijverwarming vermindert de totale operationele besparing echter.

4.2.1.1.2 Bodemwarmtepomp

Ook de bodemwarmtepomp geeft negatieve contante waarden in vergelijking met gas. Het investeringsverschil is hier groter dan bij de lucht-gas vergelijking. Toch is de netto contante waarde hoger. Dit kan enkel duiden op een veel lagere operationele kost.

Redenen voor de veel lagere operationele kost zijn enerzijds het hoge rendement en anderzijds het gebrek aan onderhoudskosten bij de warmtepomp. De netto contante waarde van dit voordeel in verwarmingskost is voor de case van de openbebouwing gelijk aan ongeveer €3500, voor de onderhoudskost is de besparing ongeveer €600 in contante waarden. Buiten deze elementen zorgt de uitsparing van de vaste vergoeding voor gas voor een stijging van de NCW met €2100. De premie van €2770 moet ook nog in rekening worden gebracht.

Toch zijn al deze besparingen niet voldoende om het verschil in investering goed te maken. Daarbovenop komt nog dat de secundaire verbruikskost hoger ligt voor de bodemwarmtepomp dan voor de gasinstallatie, wat neerkomt op een daling in NCW van ongeveer €1050.

Als we de bodemwarmtepomp vergelijken met stookolie, zien we een heel ander beeld. Hier blijkt de warmtepomp wel een rendabelere investering te zijn met waarden die bijna altijd positief zijn.

Bij de bodemwarmtepomp-stookolie vergelijking doet er zich een grotere besparing voor in operationele kost. Voor verwarming is er in de case van de openbebouwing een besparing van €8100 in contante waarden. De uitsparing van onderhoud stuwt de NCW naar boven met gemiddeld €1400. Ook de premie van €2770 heeft zijn invloed. De secundaire verbruikskost volgt deze besparingen niet, ze zorgt voor een daling in de NCW met €800.

De conclusie voor de bodemwarmtepomp is dat in vergelijking met gas, de besparing in operationele kosten onvoldoende is. Dit is mede te wijten aan de hogere secundaire werkingskosten van de warmtepomp, waardoor een deel besparing teniet gaat. Voor de vergelijking met stookolie is de besparing wel voldoende.

4.2.1.1.3 Waterwarmtepomp

Ook bij de waterwarmtepomp zien we negatieve waarden bij de vergelijking met gas. De besparingen in operationele kosten hebben de kloof geslagen door de verschillen in investering deels weten te dichten.

Net zoals bij de bodemwarmtepomp wordt een poging ondernomen om deze besparingen te becijferen voor de case van de openbebouwing. De besparing op de verwarmingskosten is gelijk aan €5500 in contante waarden, op onderhoudskosten is de besparing €600 en op de vaste vergoeding €2100. Er is echter wel weer een meerverbruik van de secundaire apparatuur, wat een negatieve invloed op de NCW heeft ter waarde van ongeveer €1600.

In vergelijking met stookolie zien we, net zoals bij de bodemwarmtepomp, over de gehele lijn een zeer positieve netto contante waarde. Ook de gehele range aan waarden is positief. De redenen hiervoor zijn dezelfde als bij de bodemwarmtepomp; namelijk de premie (€2770), de enorme besparing op verwarmingskosten (€10000) en het ontbreken aan onderhoudskosten (€1400). De secundaire verbruikskost zorgt voor een daling in NCW met ongeveer €1400. Voor de case van de halfopen bebouwing loopt dit bedrag zelfs op tot €2000.

De bevindingen van de waterwarmtepomp zijn ongeveer dezelfde als voor de bodemwarmtepomp. De initiële investeringskost ten opzichte van gas wordt namelijk niet goedge maakt door besparingen in de operationele kosten. Hier kunnen we wel stellen dat zonder de opname van het secundaire verbruik er ongetwijfeld meer positieve waarden worden gevonden. En dat er een positieve mediaanwaarde wordt gevonden voor de halfopen bebouwing. In vergelijking met stookolie zijn er wel voldoende besparingen, waardoor de waterwarmtepomp in alle gevallen een betere investering blijkt.

4.2.1.1.4 Verschillen tussen cases

De drie cases verschillen onderling enkel in isolatiegraad en grootte. Deze factoren hebben een invloed op de warmtevraag van de woning. De openbebouwing heeft een gemiddelde warmtevraag van ongeveer 21000 kWh, de halfopen bebouwing heeft een warmtebehoefte van 29000 kWh en de gesloten bebouwing heeft 19300 kWh aan warmte nodig.

Voor de luchtwarmtepomp wordt het beste resultaat geboekt in de case met de laagste verwarmingsbehoefte. Dit is niet verwonderlijk, omdat eerder werd aangetoond dat het verschil in netto contante waarden in vergelijking met de klassieke systemen afkomstig was van de investeringskost. Deze investeringskost hangt af van de dimensionering van de warmtepomp. Een beter geïsoleerde woning heeft namelijk een systeem met een lager vermogen nodig. Uit de regressies in bijlage 1, terug te vinden op pagina 111, blijkt dat er per kW vermogen een supplement van €384,55 voor de warmtepomp betaald dient te worden, €25,860 voor de gasketel en €48,775 voor stookolie. Een verlaging van het nodige thermische vermogen geeft dus een positief effect voor de luchtwarmtepomp.

Bij de bodemwarmtepomp merken we hetzelfde verschijnsel op. Hier is het verschil echter wel kleiner. Er dient slechts een supplement van €194 per kW thermisch vermogen te worden betaald. De dimensionering van de warmtebron hangt ook af van de warmtevraag van de woning. Als we de formule hiervoor, gegeven in 3.1.1.2, invullen voor een thermisch vermogen van 1kW en een rendement van 4,75 krijgen we een kost van €526. Via deze weg zal er zich dus ook een besparing in investeringskosten voordoen.

De waterwarmtepomp geeft een ander beeld. Deze scoort het beste op het scenario met de hoogste verwarmingsbehoefte. Een verklaring hiervoor kan de vaste kost voor een waterbron zijn. Deze waterbron kan voorzien in een grote warmtevoorziening, waardoor één waterbron volstaat, zelfs voor grote vermogens. De enige extra investeringskost is een supplement van €156 per kW thermisch vermogen. In de case van de halfopen bebouwing wordt de lagere netto contante waarde bekomen door besparingen op operationele kosten. Het tegenovergestelde vinden we terug in de gesloten case. Omdat de kosten voor de waterbron dezelfde blijven ongeacht vermogen, wordt de waterwarmtepomp minder interessant bij kleinere vermogens en warmteverbruik.

4.2.1.1.5 Verschillen tussen gas en stookolie

De verschillen tussen gas en stookolie in vergelijking met de warmtepompen kunnen herleid worden tot enkele factoren. Deze factoren zijn verschillen in de investeringskost en operationele kosten.

Een stookolie-installatie kost voor de openbebouwing ongeveer €4800 meer dan een vergelijkbaar gassysteem. Ook de operationele kosten van de stookolie-installatie liggen hoger. Door het lagere rendement liggen de verwarmingskosten hoger voor stookolie. De onderhoudskosten liggen ook hoger evenals het secundaire verbruik. Al deze factoren zullen zorgen dat de netto contante waarden voor de warmtepomp – stookolie vergelijkingen hoger liggen dan voor de warmtepomp – gas vergelijkingen.

4.2.1.1.6 Conclusie

De algemene conclusie voor de mediaanwaarden van de netto contante waarde is dat geen van de verschillende warmtepompsystemen een rendabelere investering is ten opzichte van gas. Ten opzichte van stookolie zien we wel enkele mooie resultaten voor de bodem- en waterwarmtepomp. De luchtwarmtepomp daarentegen biedt niet dezelfde zekerheid op een goede investering.

Verder zien we dat de negatieve waarden van de warmtepomp – gas vergelijkingen deels te verantwoorden zijn door het incorporeren van het secundaire verbruik. Dit verbruik is groter bij de warmtepompen dan bij de klassieke systemen, waardoor het een negatieve invloed op de netto contante waarde zal hebben. Toch is deze extra opgenomen component in de meeste gevallen niet groot genoeg om de negatieve netto contante waarden te veroorzaken. Hierboven komt dat de besparing in contante waarden, veroorzaakt door de warmtepompen, niet voldoende is om de hogere investeringskosten te dekken.

Een andere vaststelling is de positieve invloed van een lagere warmtevraag op de netto contante waarden van de lucht- en bodemwarmtepompen. Dit valt te verklaren door de afhankelijkheid van de investeringskosten aan de dimensionering van het verwarmingssysteem. Bij een hoger vermogen zullen de kosten voor beide systemen veel sneller toenemen dan voor gas. Bij de waterwarmtepomp zien we het tegengestelde beeld. Deze scoort het beste op de case met de meeste warmtevraag. We zien dat in tegenstelling tot de andere warmtepompsystemen, de afhankelijkheid van de investeringskosten aan de dimensionering veel kleiner is.

De verschillen tussen gas en stookolie zijn in grote mate toe te schrijven aan de hogere investeringskost van stookolie en het lagere rendement. Hierdoor zal het verschil in investeringskosten tussen warmtepompen en stookolie kleiner zijn en tevens sneller worden goedgehaakt door besparingen in operationele kosten.

4.2.1.2 CO₂-uitstoot

Na de netto contante waarde kijken we naar de CO₂-uitstoot. In onderstaande tabel worden de gevonden waarden voor de verschillende systemen en cases gebundeld.

Tabel 6: Samenvatting CO₂-uitstoot

		Luchtwp	Bodemwp	Waterwp	Gas	Stookolie
CO₂- uitstoot (in kg)	Open	89218,4	68194,72	61617,78	94195,46	134149,5
	Halfopen	120741,8	92518,31	83387,03	128755,3	184388,8
	Gesloten	83013,98	63458,13	57399,09	87501,75	124428,9

De warmtepompen hebben een lagere CO₂-uitstoot dan de traditionele verwarmingssystemen, en dit in elke behandelde case. De waterwarmtepomp heeft de laagste uitstoot, de stookolie-installatie de hoogste.

Om een verklaring te vinden voor de verschillen in uitstoot, dient er eerst te worden gekeken naar de berekening van de CO₂-uitstoot. Deze, in punt 3.3 behandelde materie, neemt drie componenten in de berekening op. De eerste is het verbruik voor verwarming, de tweede is het secundaire verbruik en voor de luchtwarmtepomp is er nog het verbruik van de bijverwarming. Verschillen in uitstoot moeten dus te wijten zijn aan verschillen in deze drie factoren.

Een eerste en meest voor de hand liggende verklaring voor deze verschillen in uitstoot, ligt in het verbruik voor verwarming. Dit verbruik voor verwarming is gelijk aan de bruto-energiebehoefte van de woning, gedeeld door het opwekkingsrendement. Voor alle systemen is de bruto-energiebehoefte dezelfde. Deze is namelijk eigen aan de woning. De andere variabele, het opwekkingsrendement, kan echter wel verschillen tussen de verwarmingssystemen. Door een hoger opwekkingsrendement zal er minder verbruik van energie zijn.

Indien we een rangschikking zouden maken van de gebruikte rendementen voor alle systemen, terug te vinden in de input in bijlage 11 op pagina 177, en een rangschikking voor de CO₂-uitstoot, zien we dat deze tegengesteld zijn aan elkaar. Een systeem met een hoger rendement heeft dus een lagere uitstoot.

Het minderverbruik voor verwarming van de warmtepompen wordt deels teniet gedaan door de hogere CO₂-uitstoot van elektriciteit per kWh in vergelijking met de andere energiebronnen. De warmtepompen dienen een rendement te halen dat minstens 2,96 maal hoger ligt dan het rendement van gas, en 2,16 maal hoger dan het rendement van stookolie, om deze hogere uitstoot per kWh op te vangen. In alle cases ligt het gemiddelde rendement van de warmtepompen hoger dan het rendement van de gasinstallatie. Meer specifiek; 3,38 maal hoger voor de luchtwarmtepomp; 4,58 maal hoger voor de bodemwarmtepomp en 5,46 maal hoger voor de waterwarmtepomp. Ten opzicht van stookolie is het rendementsverschil nog groter iets groter door het lagere rendement van de stookolie-installatie.

Indien dit de enige reden voor de verschillen is, dan zal voor de openbebouwing de waterwarmtepomp ongeveer 54% (2,96/5,46) van de uitstoot van de gasinstallatie produceren, de bodemwarmtepomp 65% (2,96/4,58) en de luchtwarmtepomp 88% (2,96/3,38). De cijfers in tabel 6 op pagina 83 volgen deze percentages echter niet, waardoor de verschillen in CO₂-uitstoot dus niet volledig verklaard kunnen worden door de verschillen in rendement en energieverbruik. De verhoudingen van uitstoot in de tabel voor water, bodem en lucht ten opzichte van gas zijn respectievelijk 65,4%, 72,4% en 94,7% voor de openbebouwing. De andere cases volgen deze percentages, met slechts een minieme afwijking van ten hoogste 1,5%. Omdat deze verhoudingen hoger liggen dan het te verwachten percentage, kunnen we nu al besluiten dat de resterende factoren een negatieve invloed zullen hebben op de uitstoot van de warmtepompen ten opzichte van de klassieke systemen.

De volgende factor is het secundaire verbruik. Het secundaire verbruik werd gedefinieerd als zijnde het verbruik van ventilatoren, pompen en voedingen nodig voor de werking van het verwarmingssysteem. De wijze van berekening en de veronderstellingen van dit verbruik zijn terug te vinden in bijlage 8 op pagina 171.

Het secundaire verbruik van de warmtepompen zal hoger liggen dan bij de klassieke systemen het geval is. Dit kunnen we afleiden door te kijken naar de veronderstellingen voor het secundaire verbruik en de wijze van berekening. Het secundaire verbruik bestaat uit 2 delen. Een deel van het verbruik, namelijk voor vloerverwarming, zal voor alle systemen dezelfde zijn. Het andere deel is specifiek aan de gekozen verwarmingsinstallatie. Dit gedeelte zal zorgen voor de verschillen in uitstoot. De waterwarmtepomp heeft het grootste secundair verbruik, gevolgd door de bodemwarmtepomp, de luchtwarmtepomp, stookolie en gas.

De laatste determinant van de CO₂-uitstoot is het verbruik van de bijverwarming. Dit komt enkel voor bij de luchtwarmtepomp en heeft een jaarlijks gemiddeld verbruik van 436,12 kWh voor de openbebouwing, 475,92 kWh voor de halfopen bebouwing en 419,97 kWh voor de gesloten bebouwing. Omdat voor de bijverwarming gebruik wordt gemaakt van de ingebouwde elektrische weerstand, kunnen we aannemen dat het rendement hiervan gelijk is aan 1. Hiermee is het rendement ongeveer gelijk aan dat van gas en stookolie. Echter wordt hier elektriciteit gebruikt, waardoor de bijverwarming zal zorgen voor een meeruitstoot in vergelijking met gas en stookolie. Indien we deze meeruitstoot becijferen, komt dit neer op volgende meeruitstoot gedurende de gehele levensduur ten opzichte van gas: 3436,626 kg voor de open bebouwing, 3750,25 kg voor de halfopen bebouwing en ten slotte 3309,364 kg voor de gesloten bebouwing. Voor stookolie is de meeruitstoot gelijk aan respectievelijke 2782,446 kg, 3036,37kg en 2679,409 kg.

De verschillen tussen de cases onderling zijn terug te brengen tot het verschil in warmtevraag. Indien de warmtevraag verandert, zal de CO₂-uitstoot in dezelfde zin en met ongeveer hetzelfde percentage wijzigen. We zien namelijk dat de warmtevraag 38% hoger ligt in de case met de halfopen bebouwing en uit de tabel blijkt dat de uitstoot voor alle systemen met ongeveer hetzelfde percentage toeneemt. Bij de gesloten bebouwing is de warmtevraag kleiner dan bij de open bebouwing en zien we ook een lagere uitstoot.

Zoals verwacht, veroorzaakt een warmtepompsysteem een kleinere totale en jaarlijkse CO₂-uitstoot. Tijdens de literatuurstudie werd een tekst van de European Heat Pump Association (2008) aangehaald. Deze stelde dat zelfs in een land met een hoge CO₂-uitstoot bij de productie van elektriciteit er een mindere uitstoot van 3400 tot 4000 kg per jaar kon worden behaald met een warmtepomp. Deze cijfers hebben betrekking op de vergelijking warmtepomp – stookolie. Volgens de berekeningen van het model zal de jaarlijkse minderuitstoot voor de openbebouwing variëren van 2200 tot 3600 kg. Voor de halfopen bebouwing loopt de besparing in uitstoot op tot 5000 kg per jaar voor de waterwarmtepomp.

4.2.2 Gevoeligheidsanalyse

Op basis van het rekenmodel geïntroduceerd in hoofdstuk 3 en de bovenstaande basiscase wordt hier een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. In een gevoeligheidsanalyse laten we belangrijke determinerende variabelen variëren, om zo hun effect op de netto contante waarde te meten. Uiteindelijk hopen we de factoren met de grootste invloed te identificeren.

In de sensitiviteitsanalyse vertrekken we van een aantal factoren die we laten variëren. Hiervoor is het nodig dat we vooraf de factoren definiëren die een invloed uitoefenen op de netto contante waarde van verwarmingssystemen. Hieronder worden alle onderzochte factoren toegelicht:

- Investeringskost totaal

De investeringskost wordt toegelicht in punt 3.1.1. Hierin zijn de verschillende aannames beschreven. Omdat de investeringskost sterk kan verschillen van bedrijf tot bedrijf werd deze onzekerheid in het model geïmplementeerd. De implementatie van deze onzekerheid voorziet in een minimum en maximumwaarde die op respectievelijk -10% en +10% van de meest waarschijnlijke waarde liggen. Met deze waarde wordt een triangulaire verdeling beschreven.

- Energieprijzen

De energieprijzen spelen een belangrijke rol in de operationele kosten van een verwarmingssysteem. Deze energieprijzen kunnen we opsplitsen in het piek- en daltarief per kWh elektriciteit, de stookolieprijs per liter, de gasprijs per kWh en de vaste vergoeding voor gas. Al deze assumpties volgen een triangulaire verdeling. Het minimum en maximum van deze verdeling zullen respectievelijk -10% en +10% zijn ten opzichte van de meest waarschijnlijke waarde, berekend in bijlage 4 pagina 145.

- Rendementsfactor

Het opgegeven rendement door de leverancier is een theoretisch rendement dat in de praktijk zelden tot nooit wordt behaald. Om hier rekening mee te houden wordt er een rendementsfactor toegepast op dit theoretisch rendement. Ook hier wordt een triangulaire verdeling voor gebruikt. De modus ligt op 92,5%, met een minimum van 85%, en een maximum van 100%.

- Prijsstijgingen

In het model wordt gekozen om rekening te houden met een reële prijsstijgingen. Deze prijsstijgingen hebben een directe invloed op de energieprijzen in de analyse. We veronderstellen dat de stijging zich jaarlijks lineair doorzet gedurende de gehele 20 jaar van de kasstroomanalyse. In het model veronderstellen we een minimum van 0,5%, en een maximale stijging van 2%. De resulterende triangulaire verdeling heeft als modus 1,25%.

Voordat we overgaan naar de resultaten en de bespreking van de gevoeligheidsanalyse, geven we eerst de samenvattende tabel van de verschillende assumpties.

Tabel 7: Overzicht van de assumpties van de gevoeligheidsanalyse

Assumptie	Meest waarschijnlijk	Minimum (-10%)	Maximum (10%)
Investeringskosten			
Investeringskost Lucht	€ 14.685,62	€ 13.217,06	€ 16.154,18
Investeringskost Bodem	€ 16.421,34	€ 14.779,21	€ 18.063,47
Investeringskost Water	€ 18.582,88	€ 16.724,59	€ 20.441,16
Investeringskost Gas	€ 5.040,04	€ 4.536,03	€ 5.544,04
Investeringskost Stookolie	€ 9.841,18	€ 8.857,06	€ 10.825,30
Energieprijzen			
Piektarief elektriciteit	€ 0,2072	€ 0,18648	€ 0,22792
Daltarief elektriciteit	€ 0,1269	€ 0,11421	€ 0,13959
Stookolieprijs per liter	€ 0,6078	€ 0,54702	€ 0,66858
Gasprijs	€ 0,0465	€ 0,04185	€ 0,05115
Vastrecht gas	€ 138,21	€ 124,389	€ 152,031
Rendementsfactor			
Rendementsfactor Lucht	92,5%	85%	100%
Rendementsfactor Bodem	92,5%	85%	100%
Rendementsfactor Water	92,5%	85%	100%
Rendementsfactor Gas	92,5%	85%	100%
Rendementsfactor Stookolie	92,5%	85%	100%
Prijsstijgingen	1,25%	0,5%	2%

4.2.2.1 Resultaten

De resultaten van de sensitiviteitsanalyse zijn in onderstaande tabel terug te vinden. Ze worden gegroepeerd volgens de assumpties. Enkel de elektriciteitsprijs en de prijsstijgingen zullen een invloed uitoefenen op alle netto contante waarden. De andere variabelen zullen slechts op enkele netto contante waarden een invloed hebben.

Tabel 8: Resultaat van de gevoeligheidsanalyse

Factoren	Lucht - Gas	Lucht - Stookolie	Bodem - Gas	Bodem - Stookolie	Water - Gas	Water - Stookolie
Investeringskosten	24,3%	23,3%	33,3%	28,8%	40,4%	33,7%
Lucht	-21,8% ⁽²⁾	-15,8% ⁽²⁾				
Bodem			-30,6% ⁽²⁾	-21,1% ⁽²⁾		
Water					-37,8% ⁽²⁾	-26% ⁽²⁾
Gas	2,5%		2,7%		2,6%	
Stookolie		7,5%		7,7%		7,7%
Energieprijzen	41,7%	43,5%	37,6%	40,2%	34%	37,3%
Piek elektriciteit	-10,3% ⁽¹⁾	-7,1% ⁽¹⁾	-6,4%	-4,3%	-4,7%	-3,1%
Dal elektriciteit	-5,9% ⁽¹⁾	-4,2% ⁽¹⁾	-3,6%	-2,5%	-2,8%	-1,9%
Gas	25,5% ⁽¹⁾		27,6%		26,5%	
Vastrecht gas	0%		0%		0%	
Stookolieprijs		32,2% ⁽¹⁾		33,4%		32,3%
Rendementsfactor	33,8%	32,8%	28,5%	28,8%	24,6%	25,8%
Lucht	17,1% ⁽³⁾	12,4% ⁽³⁾				
Bodem			10,6% ⁽³⁾	7,4% ⁽³⁾		
Water					7,1% ⁽³⁾	5% ⁽³⁾
Gas	-16,7% ⁽⁴⁾		-17,9% ⁽⁴⁾		-17,5% ⁽⁴⁾	
Stookolie		-20,4% ⁽⁴⁾		-21,4% ⁽⁴⁾		-20,8% ⁽⁴⁾
Prijsstijgingen	-0,1%	0,4%	0,5%	2,3%	1%	3,1%

In de vergelijking van de warmtepomp met een klassiek systeem blijkt het grootste deel van de spreiding van de resultaten afkomstig te zijn van de variabiliteit in de energieprijzen. Voor de luchtwarmtepomp wordt er bijvoorbeeld in de vergelijking met gas, reeds 41,7% van de spreiding verklaard, en voor de vergelijking met stookolie zelfs 43,5%. Interessant aan deze cijfers is dat de positieve invloed van gas en stookolie veel hoger is dan de negatieve invloed van elektriciteit, aangeduid met ⁽¹⁾. Dit wil zeggen dat wanneer de prijs van zowel gas als elektriciteit met eenzelfde percentage zou stijgen, dat dit een positieve invloed zou hebben op de netto contante waarde. Hetzelfde geldt voor stookolie en elektriciteit. De luchtwarmtepomp zal als het ware voordeel doen bij hogere energieprijzen. Dit beeld vinden we terug bij alle vergelijkingen. Het effect lijkt zelfs te vergroten bij een hoger rendement van de warmtepomp.

Deze opmerkelijke bevinding kunnen we verklaren door het bestaan van een multiplicatoreffect. Doordat het rendement van de warmtepompen hoger ligt dan het rendement van gas, zal de prijsstijging in de uiteindelijke verwarmingskost minder doorwegen. Het bestaan hiervan kunnen we best aantonen via een voorbeeld.

Veronderstel een warmteverbruik van 20000 kWh. De initiële energieprijs is gelijk aan de meest waarschijnlijke energieprijzen gebruikt in deze gevoeligheidsanalyse, de verhoogde energieprijzen zijn gelijk aan het maximum van deze gevoeligheidsanalyse. We hanteren een rendement van 0,93 voor gas, 0,88 voor stookolie en 5,08 voor de waterwarmtepomp.

Tabel 9: Voorbeeld multiplicatoreffect energieprijzen

Waterwarmtepomp	Gas	Stookolie
Initiële energieprijs: 20000 kWh / 5.08 = 3937,01 kWh 3937,01 kWh * 0,1627 €/kWh = €640,55	Initiële energieprijs: 20000 kWh / 0,93 = 21505,38 kWh 21505,38 kWh * 0,0465 €/kWh = €1000	Initiële energieprijs: 20000 kWh / 0,88 = 22727,27 kWh 22727,27 kWh / 10,6 kWh/liter = 2144,08 liter 2144,08 liter * 0,6078 €/liter = €1303,17

Waterwarmtepomp	Gas	Stookolie
Verhoogde energieprijis: $3937,01 \text{ kWh} * 0,179$ $\text{€/kWh} = \boxed{\text{€}704,73}$	Verhoogde energieprijis: $21505,38 \text{ kWh} * 0,05115$ $\text{€/kWh} = \boxed{\text{€}1100}$	Verhoogde energieprijis: $22727,27 \text{ kWh} / 10,6$ $\text{kWh/liter} = 2144,08 \text{ liter}$ $2144,08 \text{ liter} * 0,6686$ $\text{€/liter} = \boxed{\text{€}1433,53}$
Verschil: $\text{€}704,73 - \text{€}640,55 = \text{€}64,18$	Verschil: $\text{€}1100 - \text{€}1000 = \text{€}100$	Verschil: $\text{€}1433,53 - \text{€}1303,17 = \text{€}130,36$

In bovenstaand voorbeeld zien we het effect van eenzelfde stijging in energieprijzen. Bij eenzelfde procentuele stijging in energieprijzen is de werkingskost van de gasinstallatie harder toegenomen dan de werkingskost van de waterwarmtepomp. Omdat het effect voor stookolie nog groter was, zien we dit ook terug in bovenstaand voorbeeld.

De tweede invloed is de investeringskost. De investeringskost van de warmtepompen hebben een grote invloed op de spreiding van resultaten. Deze invloed neemt toe naarmate de investeringskost groeit. Dit kunnen we besluiten uit ⁽²⁾, de luchtwarmtepomp heeft namelijk de kleinste investeringskost, de waterwarmtepomp de grootste. Hier geldt dat een daling in de investeringskost een zeer grote invloed zal hebben in de netto contante waarde. Dit was een te verwachten relatie. De investeringskost is een substantieel deel van de totale kost bij warmtepompen, bij de klassieke systemen is het aandeel van de investeringskost veel kleiner. Een toekomstige daling in de investeringskost, kan een grote positieve invloed op de netto contante waarde hebben.

De laatste belangrijke invloed wordt uitgeoefend door de rendementsfactor. Deze rendementsfactor zal het behaalde rendement van het verwarmingssysteem bepalen. Dit rendement is een bepalende factor in de berekening van het verbruik. Hierdoor was het te voorzien dat deze factor een groot gedeelte van de spreiding zou verklaren. De relaties zijn ook voor de hand liggend: een hoger rendement voor de warmtepompen heeft een positieve invloed op de netto contante waarden ⁽³⁾, en een verhoogd rendement van de klassieke systemen heeft een negatieve invloed ⁽⁴⁾.

De prijsstijgingen hebben een zeer beperkte invloed op de spreiding. De prijsstijging heeft wel, met uitzondering van de lucht – gas vergelijking, een positieve invloed op de netto contante waarden. Dit volgt uit het bovenstaande multiplicatoreffect. Aangezien alle energieprijzen in het model dezelfde reële prijsstijging ondervinden zal dit effect ook hier spelen. We zien nogmaals dat het positieve effect van de gelijke prijsstijgingen het grootste is voor de combinatie met het grootste verschil in rendement (water-gas) en het kleinste, zelfs negatief, is voor de combinatie met het kleinste verschil in rendement (lucht-gas).

Samenvattend kunnen we stellen dat de energieprijzen de grootste invloed hebben op de spreiding van de resultaten. De investeringskosten en rendementsfactoren zijn beide ongeveer even belangrijk.

4.3 Conclusie

Dit hoofdstuk heeft in eerste instantie 3 cases voorgesteld. Deze zijn gebaseerd op de meest voorkomende woningen; namelijk een open bebouwing, een halfopen bebouwing en een gesloten bebouwing. Deze cases verschillen op het eerste zicht enkel in architecturaal opzicht. Echter, deze verschillen zullen een invloed hebben op de dimensionering van de warmtepomp en op de warmtevraag van de woning.

De bespreking van de resultaten van deze cases gebeurt aan de hand van een mediaanwaarde voor de netto contante waarde. Deze mediaanwaarde wordt bekomen door het in hoofdstuk 3 beschreven model te laten runnen in Crystal Ball en dit voor elke case.

De resultaten worden vervolgens geanalyseerd op verschillende wijzen.

In eerste instantie kijken we enkele naar de vergelijking warmtepomp – gas en warmtepomp – stookolie. Dit doen we voor de 3 verschillende warmtepompsystemen; zijnde de luchtwarmtepomp, de bodemwarmtepomp en de waterwarmtepomp. Uit deze analyse blijkt dat geen enkele warmtepomp een rendabeler investeringsalternatief is voor een gasinstallatie. Ten opzichte van stookolie daarentegen zijn warmtepompen wel een valabel alternatief.

Ten tweede worden de verschillen tussen de cases besproken. Hieruit blijkt dat een hogere warmtebehoefte en dimensionering een positief effect hebben op de netto contante waarde van de waterwarmtepomp, en een negatief effect op deze van de lucht- en bodemwarmtepomp. Als laatste worden de verschillen tussen gas en stookolie toegelicht. Deze komen voornamelijk neer op hogere investerings- en operationele kosten voor de stookolie-installatie.

Daarna wordt de aandacht op de externe baat gevestigd. Deze baat wordt voorgesteld door de CO₂-uitstoot. Hier volgen de resultaten van het model de literatuur in tegenstelling tot de gevonden resultaten voor de netto contante waarden. Er wordt ongeveer dezelfde vermindering in CO₂-uitstoot opgemeten. Meer details hierover vindt u in punt 4.2.1.2.

De gevoeligheidsanalyse werd enkel voor de eerste case uitgevoerd, namelijk deze van de open bebouwing. Omdat het gebruikte model hetzelfde is voor alle cases kunnen dezelfde invloeden op de spreiding worden verondersteld. We zien dat de variabiliteit in de energieprijzen ongeveer 40% van de spreiding in de resultaten verklaren. De variabiliteit in investeringskosten en rendement verklaren ongeveer ieder gemiddeld 30% van de variatie in de netto contante waarden.

Uit de gevoeligheidsanalyse bleek ook het bestaan van een multiplicatoreffect in de energieprijzen. Indien de energieprijzen met eenzelfde percentage zouden toenemen, zal dit een positief effect hebben op de netto contante waarde van de vergelijkingen warmtepomp – klassiek systeem. Daarnaast bleken de investeringskosten in warmtepompen een grotere impact te hebben dan investeringskosten in de klassieke systemen. Dit fenomeen is hoogstwaarschijnlijk te verklaren door het verschil in grootte van investering.

Uiteindelijk kunnen we concluderen dat de bekomen resultaten tegengesteld zijn aan de opinie dat warmtepompen een rendabelere investering zouden zijn dan klassieke verwarmingssystemen. Dit verschil in resultaten komt mede door de incorporatie van het verbruik van de nodige pompen en ventilatoren. Dit verbruik ligt hoger voor de warmtepomp dan voor de klassieke systemen en vertegenwoordigd een aanzienlijk verlies in contante waarden. Ook hebben we in de gevoeligheidsanalyse een sterke afhankelijkheid gevonden tussen de investeringskost en het resultaat. Aangezien de investeringskost van de warmtepompen voor elke case werd bepaald door een regressie en met behulp van gemiddelde waarden, is het niet ondenkbaar dat de investering goedkoper kan uitvallen. Een vermindering van 15% is voldoende om voor de openbebouwing, zowel een positieve mediaanwaarde te vinden voor de bodem-gas en water-gas vergelijking.

5 Algemene conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

In de voorbije hoofdstukken trachtten we een antwoord te formuleren op de volgende centrale onderzoeksvraag:

“Welke voordelen zijn er verbonden aan een warmtepomp, en is de warmtepomp een haalbare investering voor een nieuwe of reeds bestaande woning in België?”

De daarvoor behandelde deelvragen zijn de volgende:

- Hoe werkt een warmtepomp en welke verschillende systemen bestaan er?
- Wat zijn de voor- en nadelen van een warmtepomp?
- Wanneer is een warmtepomp een haalbare investering?

De eerste deelvraag werd beantwoord in hoofdstuk 2. Hieruit is gebleken dat de werking steunt op de tweede hoofdwet van de thermodynamica. De warmtepomp zal warmte onttrekken aan de warmtebron om deze, na toevoeging van arbeid, af te geven aan de binnenomgeving van de woning. De toevoeging van arbeid is noodzakelijk, omdat de warmtebron een lagere temperatuur zal bezitten dan het warmteafleveringssysteem van de woning. Warmte zal immers niet spontaan van een object met een lage temperatuur naar een object met hogere temperatuur vloeien, het tegengestelde is wel waar te nemen.

De verschillende systemen warmtepompen kunnen we opsplitsen naargelang de warmtebron die wordt aangewend. Deze zijn lucht, bodem en water. De interne werking is telkens dezelfde. De grootste verschillen zitten in toepasbaarheid, rendement en kostprijs.

Het onderzoek naar de tweede deelvraag gebeurde aan de hand van 2 verschillende groepen voor- en nadelen. De eerste groep zijn eigenschappen zijn toe te eigenen aan alle types van warmtepompen en de tweede groep eigenschappen zijn specifiek bij het gebruik van een bepaalde warmtebron. Uit de eerste groep onthouden we voordelen zoals de efficiëntie, de besparingen in werkingskost en de vermindering van broeikasgassen. Als grote nadeel kwam de hoge investeringskost aan bod. Voor een overzicht van de tweede groep verwijs ik u naar tabel 2 op pagina 49. Voor- en nadelen hier hebben meestal betrekking op het plaatsgebruik, regelgeving, kosten, brontemperatuur en toepasbaarheid.

De kennis verkregen uit de eerste twee deelvragen werd daarna gebruikt om een model op te stellen dat een antwoord moest geven op de derde deelvraag. De vraag of een warmtepomp een haalbare investering is. Dit model houdt rekening met de belangrijkste kasstromen van een verwarmingssysteem. Aan de kostenkant zijn dit de investeringskosten, de operationele kosten en de kosten van de lening. Aan de batenkant zien we een aantal premies die van toepassing kunnen zijn op zowel de warmtepompen als op de condenserende gas- en stookolie-installaties. Hieronder volgt per kost en baat meer specifieke info.

Bij berekening van de investeringskosten is de dimensionering van het verwarmingssysteem een doorslaggevende factor. Deze dimensionering, terug te vinden in bijlage 10 pagina 175, bepaalt het thermisch vermogen waarover de verwarming moet beschikken om de woning tijdens de winter van voldoende warmte te voorzien. Niet verwonderlijk zal de prijs per kW thermisch vermogen hoger liggen voor de warmtepompen dan voor de klassieke systemen. In de cases kosten de warmtepompsystemen dan ook 3 tot 4 maal meer dan vergelijkbare gassystemen en 1,5 tot 2 maal meer dan stookoliesystemen.

De operationele kosten zijn afhankelijk van de werkingskosten en onderhoudskosten. Als eerste kijken we naar de werkingskosten. Deze werkingskosten bestaan uit de verbruikskosten voor verwarming, de secundaire verbruikskosten, voor de luchtwarmtepomp, het verbruik van de bijverwarming.

De verbruikskosten voor verwarming zijn afhankelijk van een hele reeks aan elementen. Allereerst is er de warmtevraag van de woning, terug te vinden in bijlage 3. Deze warmtevraag is op zijn beurt weer afhankelijk van de meteorologische parameters in bijlage 2, en verder bestaan er ook nog de architecturale eigenschappen van de woning. Daarnaast wordt er rekening gehouden met het rendement en worden reële prijsstijgingen (bijlage 5) in acht genomen op de berekende energieprijzen (bijlage 4).

De verbruikskosten voor verwarming is voor de klassieke systemen ontegensprekelijk de grootste kasstroom. Voor de warmtepompen zijn ze door de zeer hoge investeringkosten de tweede belangrijkste kostenstroom.

De veronderstellingen voor de secundaire verbruikskosten zijn terug te vinden in bijlage 8. Deze kosten houden rekening met het gebruik van randapparatuur, zoals de pompen bij een bodem- en waterwarmtepomp, de ventilatoren bij de luchtwarmtepomp en de elektrische voeding van de klassieke systemen. Deze kosten worden nauwelijks in rekening gebracht bij het berekenen van verwarmingssystemen. Toch is het secundair verbruik een zeer relevante kostenpost. Zonder deze apparatuur is er geen enkel verwarmingssysteem in staat om te werken. Het blijft dan ook vreemd dat deze kosten zo frequent over het hoofd worden gezien, want ze hebben toch een significante impact op het uiteindelijke resultaat.

Het verbruik van de bijverwarming van de luchtwarmtepomp is niet zo groot. Toch werd er gekozen om rekening te houden met deze kosten. De kosten voor bijverwarming komen enkel voor bij de luchtwarmtepomp indien deze in ontdooicyclus zit, of wanneer door de koude buitenlucht ze niet in staat is voldoende warmte te leveren aan de woning. De andere warmtepompen hebben hier geen last van omdat ze minder blootgesteld zijn aan weersinvloeden. Deze waarde verschilt van case tot case en is afhankelijk van de warmtevraag en dimensionering. Het berekende verbruik lag tussen de 400 en 500 kWh elektriciteit per jaar.

De aandachtige lezer zal opmerken dat er in deze kasstroomanalyse nergens wordt gesproken over besparingen in operationele kosten. Dit was bij een masterproef met deze opzet nochtans te verwachten. De reden voor het ontbreken van deze termen komt doordat er gewerkt wordt met zogenaamde relatieve kasstromen. Deze kasstromen zijn niets meer dan de kasstroom van een warmtepompsysteem, vermindert met de kasstroom van een klassiek systeem. Door deze werkwijze worden besparingen gecreëerd uit de operationele kasstromen van de individuele systemen. De meerinvestering komt dan weer naar boven bij de vergelijking van de investeringskasstromen.

De behaalde resultaten van het opgestelde model wijken echter af van wat er in eerste instantie verwacht wordt op basis van de literatuurstudie.

Uit de resultaten blijkt dat de warmtepomp niet kan concurreren met gas. De luchtwarmtepomp geeft een bedroevend resultaat met een netto contante waarde tussen € -10000 en € -7300. De bodem- en waterwarmtepomp laten betere resultaten optekenen, maar met een actuele waarde tussen € -3800 en € -1200 blijft gas veruit de beste investering. Toch waren er voor deze laatste twee warmtepompsystemen enkele positieve simulaties waar te nemen, maar deze waren helaas zeer beperkt.

Toch is er een positief punt waar te nemen in de vergelijking met gas. Bij de bodemwarmtepomp zien we een duidelijke stijging in netto contante waarde indien de warmteverliezen afnemen en de woning dus beter geïsoleerd is (case van de gesloten bebouwing). De verklaring hiervoor gegeven in hoofdstuk 4 is de forse afname in investeringskost bij een kleinere dimensionering. Voor de waterwarmtepomp zien we het tegenovergestelde beeld. Hier wordt het beste resultaat geboekt voor de case met de grootste warmtevraag (case van de halfopen bebouwing).

In vergelijking met stookolie zien we een heel ander verhaal. Hier zijn er wel degelijk besparingen te vinden door het gebruik van een warmtepomp. Wederom blijft de luchtwarmtepomp achter op de alternatieve warmtepompen. Maar toch behaalt ze nipt een beter resultaat dan stookolie en ook de voorspellingen van de Monte-Carlosimulatie zijn de helft van de tijd positief.

De resultaten van de externe baat, namelijk de vermindering in CO₂-uitstoot, zijn vergelijkbaar met cijfers gevonden in de literatuurstudie. Hier kunnen we dan ook bondig besluiten dat deze bevindingen het algemene, milieuvriendelijke, beeld van warmtepompen bevestigen.

De gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op de case van de openbebouwing toont enkele opmerkelijke feiten. Zo is de invloed van de warmtepompinvesteringskost op de spreiding van de resultaten vele malen groter dan deze van de klassieke systemen. Waarschijnlijk wordt dit veroorzaakt door het enorme verschil in investeringskost. Een tweede observatie is het bestaan van een multiplicatoreffect in de energieprijzen. Dit effect zorgt ervoor dat bij een gelijke stijging van de initiële energieprijzen, de warmtepomp een interessanter investeringsproject wordt. De grootte van dit effect is afhankelijk van het rendementsverschil tussen warmtepomp en klassiek verwarmingssysteem. Als laatste halen we het belang van de rendementen aan. Indien, om welke reden ook, het rendement van de warmtepomp veel lager zou uitvallen dan het theoretisch aangegeven rendement zal, dit resulteren in een daling van de investeringsaantrekkelijkheid.

Op basis van de resultaten gevonden in de netto contante waarde studie moeten we concluderen voor onze centrale onderzoeksvraag dat, voor de in de thesis bestudeerde cases, de warmtepomp enkel een rendabelere investering blijkt in vergelijking met stookolie. Gas komt in alle cases naar voren als de beste financiële keuze. Dit kunnen we opmaken uit de netto contante waarden van de vergelijkingen met warmtepompen. Omdat de mediaanwaarde van deze netto contante waarden niet positief is, zal hetgeen waartegen we vergelijken een beter alternatief zijn. In dit geval dus een gasinstallatie. De besparingen in operationele kosten door gebruik van de warmtepomp zijn niet voldoende om het investeringsverschil goed te maken.

Door de grote invloed van de verschillende in de sensitiviteitsanalyse opgenomen variabelen, moeten we de gevonden resultaten en het hierdoor geformuleerde besluit relativeren. De gevonden resultaten zijn in zeer sterke mate afhankelijk van onze assumpties rond de investeringskosten. Door gebruik te maken van een regressie kregen we een goede benadering van de prijzen gevoerd door verschillende producenten. Analyse van de gebruikte data laat zien dat er op de markt goedkopere mogelijkheden zijn dan de door ons gebruikte waarden. De besparing in investeringskost zal een directe invloed hebben op de netto contante waarde.

Ook bij de investering in de warmtebron kunnen er verschillen in prijs optreden. Hier wordt gewerkt met een gemiddelde kost per m² of per boring verkregen door schattingen van bedrijven. Deze kunnen afwijkingen vertonen naargelang de structuur van de bodem. Bij het uitvoeren van een boring kan men stoten op verschillende typen bodemsamenstelling, waardoor de kostprijs kan oplopen.

Ook verschillen in architectuur en de keuze van warmtepomp zijn belangrijk. Indien er een grote warmtebehoefte is, lijkt uit de resultaten een waterwarmtepomp de meest aangewezen keuze. Bij een kleinere warmtebehoefte lijkt de bodemwarmtepomp beter. Ook deze keuze moeten we relativeren. Een warmtepomp heeft behoefte aan een lage temperatuursafleveringssysteem dat een grote oppervlakte nodig heeft. Indien de warmtevraag te hoog is, zal er niet genoeg oppervlakte aanwezig zijn en is een warmtepompinstallatie niet meer mogelijk. Bij de kleinere warmtevraag moeten we ons afvragen in hoeverre we deze kunnen terugdringen totdat de netto contante waarde terug begint te dalen. Het lijkt immers niet onwaarschijnlijk dat bij een zeer kleine warmtevraag de meerinvestering niet terugverdiend kan worden door besparingen in energieverbruik. De auteur van dit werk denkt dan ook dat er voor zowel de bodem- als de waterwarmtepomp een optimale warmtevraag bestaat, bij een bepaalde set van veronderstellingen, die de netto contante waarde zal maximaliseren.

Hierdoor sturen we aan op een case per case behandeling bij de investering in een warmtepomp voor woningverwarming. Want voor de ene woning kan een warmtepomp wel rendabel zijn, terwijl dit niet het geval is voor een andere woning.

5.2 Vragen voor verder onderzoek

In deze thesis wordt enkel aandacht gegeven aan de eenmalige investering in een warmtepomp voor woningverwarming. De boringen en het captatienet hebben echter een langere levensduur dan de levensduur van warmtepomp. Met een opgegeven levensduur van 40 tot 50 jaar kan er een tweede investering in een bodem- of waterwarmtepomp plaatsvinden zonder extra investeringskosten in de warmtebron.

Naast een tweede investering na 20 jaar kan de rendabiliteit van het combineren van een warmtepomp met zonnecellen worden onderzocht. De warmtepomp functioneert op elektriciteit. Door het combineren van beide technologieën kan er mogelijk een synergie worden gevonden.

Een laatste mogelijkheid tot uitbreiding van dit onderzoek is de incorporatie van warmwaterproductie in de berekening. Het is namelijk mogelijk om met zowel de warmtepompsystemen, als met de klassieke systemen te voorzien in de productie van warm water.

6 Bronnen

Boeken:

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). (1999). HVAC Applications. Atlanta.

Atkins, P.W. (1988). Energie en entropie: de tweede hoofdwet van de thermodynamica. Maastricht: Natuur & Techniek.

Boot, H., Nies, J., Verschoor, M.J.E. & De Wit, J.B. (1998). Handboek Industriële Warmtepompen. Deventer: Kluwer Bedrijfsinformatie.

Brumbaugh, J. (2004) Audel HVAC Fundamentals, Air Conditioning, Heat Pumps and Distribution Systems. United States of America: Wiley Publishing.

Compleet wonen. (2008). Zaventem: Uitgeverij Apro bvba.

Giancoli, D. (2005). Physics. Upper Saddle River: Pearson Education, Inc.

Mercken, R. (2004). De investeringsbeslissing. Antwerpen: Garant.

Brochure:

Federale overheidsdienst financiën. (2009). Energiebesparende uitgaven – Groene lening. Opgevraagd 19 februari 2009, via http://koba.minfin.fgov.be/commande/pdf/finished-Groene%20lening_NL%20180609.indd.pdf.

Natural resources Canada's office of energy efficiency. (2004). Heating and cooling with a heat pump. Opgevraagd 13 mei 2009, via <http://oee.nrcan-nrcan.gc.ca/publications/infosource/pub/home/heating-heat-pump/booklet.pdf>

Organisatie voor duurzame energie Vlaanderen (ODE Vlaanderen). (2006). Warmtepompen voor woningverwarming. Opgevraagd 13 mei 2009, via http://www2.vlaanderen.be/economie/energiesparen/doc/brochure_warmtepomp.pdf

The Ground Source Heat Pump Association. (2004). Domestic ground source heat pumps: design and installation of closed-loop systems. Opgevraagd 20 mei 2009, via <http://www.gshp.org.uk/documents/CE82-DomesticGroundSourceHeatPumps.pdf>

Vlaams energieagentschap (VEA). (2010). Premies voor energiebesparing in Vlaanderen. Opgevraagd op 1 februari 2010, via http://publicaties.vlaanderen.be/docfolder/16784/Premies_energiesparen_januari_2010.pdf.

Artikels:

Bloomquist, G. (1999). Geothermal heat pumps four plus decades of experience [Elektronische versie]. *GHC Bulletin, Vol 20 No. 4, p13-18*.

Calahan, S. (2007). Geothermal Technology [Elektronische versie]. *Tech Directions, Vol. 66 Issue 7, p12-15*.

European Heat Pump Association (EHPA). (2008). European Heat Pump Action Plan. Opgevraagd 23 juli 2009, via <http://www.ehpa.org/script/tool/forg/doc415/20080306%20action%20plan.pdf>

Florides, G. & Kalogirou, S. (2007). Ground heat exchangers – A review of systems, models and applications [Elektronische versie]. *Renewable Energy, Vol. 32 Issue 15, p2461-2478*.

Geothermal Heat Pump Consortium. (2008). Understanding and evaluating geothermal heat pump systems. Opgevraagd 17 juli 2009, via http://www.nyserda.org/programs/geothermal/geothermal_manual.pdf

Hammond, J. (2006). Fort Polk installation demonstrates retrofit potential of geothermal heat pumps [Elektronische versie]. *IEA Heat Pump Centre Newsletter, Vol 24 No 4, p15-17*.

Healy, P.F. & Ugursal, V.I. (1997). Performance and economic feasibility of ground source heat pumps in cold climate [Elektronische versie]. *International Journal of Energy Research, Vol 21, p857-870*.

Hepbasli, A. & Kalinci, Y. (2009). A review of heat pump water heating systems [Elektronische versie]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol 13 Issue 6-7, p1211-1229*.

Huttrer, G. (1997). Geothermal heat pumps: an increasingly successful technology [Elektronische versie]. *Renewable Energy, Vol 10, p481-488*.

Jenkins, D., Tucker, R., Ahadzi, M. & Rawlings, R. (2008). The performance of air-source heat pumps in current and future offices [Elektronische versie]. *Energy and Buildings, Vol 40*, p1901-1910.

Kavanaugh, S. (1992). Ground-coupling with water source heat pumps. Opgevraagd op 20 mei 2009, via <http://geoheat.oit.edu/pdf/tp15.pdf>

Kikuchi, E., Bristow, D. & Kennedy, C. (2009). Evaluation of region-specific residential energy systems for GHG reductions: Case studies in Canadian cities [Elektronische versie]. *Energy Policy, Vol 37*, p1257-1266.

Kikuchi, E., Bristow, D. & Kennedy, C. (2009). Evaluation of region-specific residential energy systems for GHG reductions: Case studies in Canadian cities [Elektronische versie]. *Energy Policy, Vol 37*, p1257-1266.

Laue, H.J. (2002). Regional report Europe: "heat pumps – status and trends" [Elektronische versie]. *International Journal of Refrigeration, Vol 25*, p414-420.

Luickx, P., Helsen, L. & D'haeseleer, W. (2008). Influence of massive heat-pump introduction on the electricity-generation mix and the GHG effect: Comparison between Belgium, France, Germany and The Netherlands [Elektronische versie]. *Renewable & Sustainable Energy Reviews, Vol 12 Issue 8*, p2140-2158.

Lund, J. (1990). Geothermal heat pump utilization in the United States [Elektronische versie]. *GHC Bulletin, Vol 11 No. 1*. p1-7.

Lund, J. (2001). Geothermal heat pumps – an overview [Elektronische versie]. *GHC Bulletin, Vol 22 No. 1*, p1-2.

Lund, J. (2001). Geothermal use in Europe [Elektronische versie]. *GHC Bulletin, Vol 21 No. 2*, p1-2.

Lund, J. (2003). Direct-use of geothermal energy in the USA [Elektronische versie]. *Applied Energy, Vol 74*, p33-42.

Lund, J., Sanner, B., Rybach, L., Curtis, R. & Hellström, G. (2004). Geothermal (ground-source) heat pumps – A world overview [Elektronische versie]. *GHC Bulletin, Vol 25 No. 3*, p1-10.

Omer, A.M. (2008). Ground-source heat pumps systems and applications [Elektronische versie]. *Renewable & Sustainable Energy Reviews, Vol. 12 Issue 2*, p344-371.

Passiefhuis-Platform vzw. (z.d.). Dossiersamenstelling ifv verkrijgen kwaliteitsverklaring PHPvzw. Opgevraagd op 22 november 2009, via http://www.passiefhuisplatform.be/content/seetool_media/pdf/presentatie_definitie_kwaliteitsverklaring.pdf.

Phetteplace, G. (2007). Geothermal Heat Pumps [Elektronische versie]. *Journal of Energy Engineering, Vol. 133 Issue 1*, p32-38.

Shonder, J. A., Martin, M. A., Sharp, T. R., Durfee, D. J. & Hughes, P. J. (1999). Benchmark for performance: Geothermal applications in Lincoln public schools. *Proc., American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), Vol. 104*.

Universiteit Antwerpen. (2001). Stimulatiemodel ter evaluatie van combinaties van CO₂-emissie reductiemaatregelen. *Federale diensten voor wetenschappelijke, technische en culturele aangelegenheden (DWTG)*. Opgevraagd op 31 oktober 2009, via http://www.belspo.be/belspo/home/publ/pub_ostc/CG2131/rCG21r2_nl.pdf.

Verbeeck, G., Dreesen, A., De Coninck, R., Achten, K., Vanderveken, J. (2008). Studie naar de economische haalbaarheid van het verstrengen van de EPB-eisen bij residentiële gebouwen. Opgevraagd op 19 februari 2010, via <http://www2.vlaanderen.be/economie/energiesparen/epb/doc/economischehaalbaarheidsstudieresidentieel.pdf>.

Vlaams energieagentschap (VEA). (2009). Voorbeeldwoningen. Opgevraagd op 1 november 2009, via <http://www2.vlaanderen.be/economie/energiesparen/epb/doc/voorbeeldwoningen-april%202009.pdf>.

Vlaams energieagentschap (VEA). (z.d.). Energiebesparende maatregelen. Opgevraagd op 30 oktober 2009, via <http://www.energiesparen.be/files/file/epb/energiebesparendemaatregelen.pdf>.

Vlaams energieagentschap (VEA). (z.d.(2)). EPW-methode. Opgevraagd op 1 november 2009, via <http://www.energiesparen.be/files/file/epb/epwmethode.pdf>.

Internet

Air-Conditioning, Heating and Refrigeration Institute (AHRI). (2009). *February Heating and Cooling Equipment Shipment Data Released*. Opgevraagd op 11 mei 2009, via <http://www.ahrinet.org/Pages/ShowMeMore.aspx?src=single&lpk=933>.

Belgische Petroleum Federatie. (2010). Samenstelling van de maximumprijzen van andere brandstoffen. Opgevraagd op 16 maart 2010, via http://www.petrolfed.be/dutch/docs/samenstelling_maximumprijzen_brandstoffen.xls.

Deboosere, F. (2010). Klimaat Ukkel (temperatuur, neerslaghoeveelheid en zonneshijnduur). Opgevraagd 29 januari 2010, via <http://www.frankdeboosere.be/klimaatukkel/klimaat%20algemeen.php>.

Energy Information Administration (EIA). (2009). *Geothermal Heat Pumps*. Opgevraagd op 10 mei 2009, via <http://www.eia.doe.gov/cneaf/solar.renewables/page/heatpumps/heatpumps.html>.

Eurostat. (2010). Heating degree-days – Monthly data. Opgevraagd op 30 januari 2010, via http://nui.epp.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_esdgr_m&lang=en.

Joint Research Centre. (2009). Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). Opgevraagd 29 november 2009, via <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>.

Koninklijke Vereniging van Belgische Gasvklieiden (KVBG). (2009). Besparen met aardgas. Opgevraagd op 15 maart 2010, via <http://www.aardgas.be/consumenten/besparen-met-aardgas>

Microsoft. (2008). Description of the RAND() function in Excel 2007 and in Excel 2003. Opgevraagd op 19 maart 2010, via <http://support.microsoft.com/kb/828795>.

VREG (Vlaamse reguleringsinstantie voor de elektriciteits- en gasmarkt). (2010a). *Marktgegevens elektriciteit 2010: marktaandeelen actieve leveranciers*. Opgevraagd op 6 maart 2010, via <http://www.vreg.be/vreg/marktgeving/statistieken%20marktgegevens/1%20E.pdf>.

VREG. (2009). Marktmonitor 2009. Opgevraagd op 12 december 2009, via <http://www.vreg.be/vreg/documenten/rapporten/RAPP-2009-10.pdf>.

VREG. (2010b). *Marktgegevens elektriciteit 2010: indeling afnemers en actieve leveranciers per deelgebied*. Opgevraagd op 6 maart 2010, via <http://www.vreg.be/vreg/marktgeving/statistieken%20marktgegevens/3%20E.pdf>.

VREG. (2010c). *Marktgegevens aardgas 2010: marktaandelen actieve leveranciers*. Opgevraagd op 6 maart 2010, via <http://www.vreg.be/vreg/marktgeving/statistieken%20marktgegevens/1%20G.pdf>.

VREG. (2010d). *Marktgegevens aardgas 2010: indeling afnemers en actieve leveranciers per deelgebied*. Opgevraagd op 6 maart 2010, via <http://www.vreg.be/vreg/marktgeving/statistieken%20marktgegevens/3%20G.pdf>.

Weerstation Ransberg. (2009). *Dagelijkse temperaturen sinds 1833*. Opgevraagd op 24 maart 2010, via <http://home.scarlet.be/weerstation.ransberg/Dagelijksetemperaturensinds1833.xls>.

Wilfrid Laurier University. (z.d.). *The triangular probability distribution*. Opgevraagd op 15 maart 2010, via <http://info.wlu.ca/~wwwsbe/faculty/amarshal/TriDist.pdf>.

Leveranciers:

Daikin. (2009). *Daikin Altherma - Hoge temperatuurverwarmingssysteem*. Opgevraagd op 7 februari 2010, via http://nl.daikin.be/binaries/LR_ECPNL09-725A_tcm29-143819.pdf.

Heliotherm. (z.d. a). *Air heat pump*. Opgevraagd op 8 februari 2010, via http://www.heliotherm.at/images/stories/downloads/produktblaetter_englisch/compact-air-source-heat-pump.pdf.

Heliotherm. (z.d. b). *Ground source heat pump*. Opgevraagd op 8 februari 2010, via http://www.heliotherm.at/images/stories/downloads/produktblaetter_englisch/ground-source-heat-pump-with-flat-plat-collectors.pdf.

Heliotherm. (z.d. c). *Groundwater heat pump*. Opgevraagd op 8 februari 2010, via http://www.heliotherm.at/images/stories/downloads/produktblaetter_englisch/groundwater-heat-pump.pdf.

Heliotherm. (z.d. d). *Brine heat pump*. Opgevraagd op 8 februari 2010, via http://www.heliotherm.at/images/stories/downloads/produktblaetter_englisch/ground-source-hat-pump-with-brine-probe.pdf.

Heliotherm. (z.d. e). CO₂-heat pipe. Opgevraagd op 8 februari 2010, via http://www.heliotherm.at/images/stories/downloads/produktblaetter_englisch/ground-source-heat-pump-with-co2-probe.pdf.

Nefit. (2009). Auris E Warmtepomp. Opgevraagd op 7 februari 2010, via <http://www.nefit.nl/SiteCollectionDocuments/Brochures%20ZM/AurisE.pdf>.

NIBE. (2010). Water/water spmp warmtepomp NIBE F1145/F1145 PC. Opgevraagd op 7 februari 2010, via http://iframe.nibenl.eu/docs/KIFF1145_M10774_012010def.pdf.

Sanyo. (2008). Room Air Conditioners 2008/09. Opgevraagd op 7 februari 2010, via http://www.cross-group.org/pdf/sanyo/SANYO_RAC_2008_v2.pdf.

Sanyo. (z.d.). CO₂ ECO heating system. Opgevraagd 7 februari 2010, via http://www.mergits.com/images/SANYO_CO2_ECO_Heating_System_v1.pdf.

Vaillant. (2009). Warmtepompen. Opgevraagd op 7 februari 2010, via <http://www.vaillant.be/stepone2/data/downloads/76/03/00/warmtepompen-geotherm-09.pdf>.

Viessmann. (2009a). Vitocal 300-G. Opgevraagd op 7 februari 2010, via http://www.viessmann.be/etc/medialib/internet-be/technische_dokumentatie/nederlands/folders.Par.27333.File.File.tmp/prr-VITOCAL-300-G_43kw-NL_03.pdf.

Viessmann. (2009b). Vitocal 242-G & Vitocal 222-G. Opgevraagd op 7 februari 2010, via http://www.viessmann.be/etc/medialib/internet-be/technische_dokumentatie/nederlands/folders.Par.10850.File.File.tmp/prr-VITOCAL-222-G_242-G-NL.pdf.

Viessmann. (2009c). Vitocal warmtepompen. Opgevraagd op 7 februari 2010, via http://www.viessmann.be/etc/medialib/internet-be/technische_dokumentatie/nederlands/folders.Par.13699.File.File.tmp/prr-vitocal-nl.pdf.

Weishaupt. (2009). Product Warmtepompen. Opgevraagd op 7 februari 2010, via <http://www.weishaupt.be/mainService/documents/2082/nl/pdffile>.

7 Bijlagen

Bijlage 1: Investeringskosten

In deze bijlage geven we voor elk verwarmingssysteem eerst een overzicht van de gebruikte data. Deze data is afkomstig uit de prijslijsten van enkele grote producenten zoals onder andere Viessmann, Vaillant en Buderus.

Na de voorstelling van de gebruikte data gaan we over naar de resultaten van de lineaire regressie. Deze regressie wordt door middel van het software pakket SPSS uitgevoerd op de gegeven dataset. Het resultaat van deze regressie wordt gehanteerd om de uiteindelijke investeringskost voor de verwarmingsunit te bepalen zoals besproken in punt 3.1.1 op pagina 55.

Starten doen we met de luchtwarmtepomp om zo de bodem- en waterwarmtepomp aan bod te laten komen. Na de warmtepompsystemen bespreken we de klassieke systemen op gas en stookolie.

Luchtwarmtepomp

Tabel 10: Data investeringskosten luchtwarmtepomp

Vermogen	COP	Prijs (excl. BTW)
6,6	3,5	€ 10157,22
6,9	3,2	€ 8328
8	3,3	€ 9464,28
8,1	3,4	€ 7934
9,7	3,5	€ 11561,13
10,6	3,3	€ 10063
10,6	3,3	€ 11354
10,8	3,2	€ 11167
11,6	3,6	€ 12433,11
12,2	3,2	€ 11641
13,6	3,5	€ 13332
14,8	3,3	€ 12181

Vermogen	COP	Prijs (excl. BTW)
14,8	3,3	€ 13472
14,8	3,5	€ 9176
15,7	3,7	€ 15096,12
18,5	3,2	€ 12931
18,5	3,2	€ 14217
19,2	3,2	€ 14991
19,9	3,2	€ 16341,81
21	3,5	€ 17556
22,4	3,27	€ 14980
28	3,23	€ 15580
29	3,5	€ 18018
34	3,5	€ 19558

Bron: Viessmann (2010), Buderus (2010), Vaillant (2010), Mitsubishi (2009), Inventum (2009), Brötje Heizung (2009), Roth (2009).

Regressie

$$\text{Prijs (excl. BTW)} = -1834,406 + 2611,394 * \text{COP} + 382,494 * \text{Vermogen} \\ 6446,076) \quad (1915,269) \quad (40,297)$$

Met:

$$R^2 = 0,816$$

Observaties = 24

$$3,2 < \text{COP} < 3,7$$

$$6,6\text{kW} < \text{Vermogen} < 34\text{kW}$$

Wegens het niet significant zijn van de oplossing voor de variabele COP werd deze regressie opnieuw uitgevoerd, dit maal zonder deze variabele. De verkregen regressie is de volgende:

$$\text{Prijs (excl. BTW)} = 6902,957 + 384,555 * \text{Vermogen} \\ (711,018) \quad (41,047)$$

Met:

$R^2 = 0,800$

Observaties = 24

$3,2 < \text{COP} < 3,7$

$6,6\text{kW} < \text{Vermogen} < 34\text{kW}$

Bodemwarmtepomp

Tabel 11: Data investeringskosten bodemwarmtepomp

Vermogen	COP	Prijs (excl. BTW)
5,9	4,3	€ 5524
6,2	4,5	€ 5975
6,4	4,2	€ 6046
7,8	4,1	€ 6564
7,8	4,4	€ 7448
8	4,3	€ 5880
8,4	4,6	€ 6744
9,6	4	€ 7028
10,4	4,4	€ 6043
11,8	4,4	€ 6739
12,1	4,7	€ 7760
13,4	4,4	€ 8338
13,8	4,3	€ 6921
15,1	4,6	€ 8266
16,8	4,4	€ 8721
17,1	4,6	€ 7922

Vermogen	COP	Prijs (excl. BTW)
17,3	4,3	€ 7548
17,6	4,4	€ 8763
19,8	4,5	€ 12696
21,6	4,3	€ 11115
21,9	4,66	€ 8816
23,3	4,4	€ 12791
26,8	4,4	€ 12886
29,69	4,85	€ 10896
29,9	4,4	€ 12000
32,6	4,7	€ 14250
38,3	4,4	€ 13130
45,9	4,57	€ 12974
45,9	4,4	€ 14500
55,83	4,81	€ 15699
69	4,56	€ 16787

Bron: Viessmann (2010), Buderus (2010), Vaillant (2010), Mitsubishi (2009), Inventum (2009), Brötje Heizung (2009), Roth (2009).

Regressie

$$\text{Prijs (excl. BTW)} = 3824,991 + 364,683 * \text{COP} + 192,072 * \text{Vermogen}$$

(6303,418) (1452,381) (17,675)

Met:

$$R^2 = 0,843$$

Observaties = 31

$$4,0 < \text{COP} < 4,85$$

$$5,9\text{kW} < \text{Vermogen} < 69\text{kW}$$

Wegens het niet significant zijn van de oplossing voor de variabele COP werd deze regressie opnieuw uitgevoerd, dit maal zonder deze variabele. De verkregen regressie is de volgende:

$\text{Prijs (excl. BTW)} = 5404,250 + 194,046 * \text{Vermogen}$ $(411,404) \quad (15,573)$
--

Met:

$R^2 = 0,843$

Observaties = 31

4,0 < COP < 4,85

5,9kW < Vermogen < 69kW

Waterwarmtepomp

Tabel 12: Data investeringskosten waterwarmtepomp

Vermogen	COP	Prijs (excl. BTW)
4,8	4,1	€ 5269
6,3	4,5	€ 5570
7,7	5,6	€ 9316,4
8,0	5,7	€ 6446
8,2	5,2	€ 5524
8,3	4,6	€ 5794
8,3	5,1	€ 7376
10,0	4,5	€ 5967
10,6	5,4	€ 10499,43
11,0	5,5	€ 7215
11	5,6	€ 10572
11,6	5,5	€ 5880
11,8	4,3	€ 6276
12,9	5,5	€ 11274
12,9	5,5	€ 10647,31
13,6	5,6	€ 7728
13,6	5,2	€ 8344
13,9	5,3	€ 6043

Vermogen	COP	Prijs (excl. BTW)
14,7	5,6	€ 11831
15,8	5,3	€ 8231
15,8	4,3	€ 6734
17,2	4,1	€ 7350
18,6	5,6	€ 12593
19,6	5,3	€ 6921
19,8	5,7	€ 8737
21,6	4,9	€ 9234
23,1	4,8	€ 11641
24,3	5,3	€ 7548
29,9	5,2	€ 11115
30,8	4,5	€ 12098
39	4,3	€ 12805
41,6	5,3	€ 12000
52,6	5,3	€ 13130
60,6	4,3	€ 15735
63,6	5,1	€ 14500

Bron: Viessmann (2010), Buderus (2010), Vaillant (2010), Mitsubishi (2009), Inventum (2009), Brötje Heizung (2009), Roth (2009).

Regressie

$$\text{Prijs (excl. BTW)} = -541,925 + 1286,517 * \text{COP} + 156,436 * \text{Vermogen}$$

(3100,445) (591,335) (20,322)

Met:

$$R^2 = 0,653$$

Observaties = 35

$$4,1 < \text{COP} < 5,7$$

$$4,8\text{kW} < \text{Vermogen} < 63,6\text{kW}$$

Gas

Tabel 13: Data investeringskosten gasinstallatie

Vermogen	Rendement	Prijs (excl. BTW)
13	108%	€ 1160
13	109%	€ 2504
15	110%	€ 3922
15	110,5%	€ 2263
17	91,5%	€ 1380
17	93%	€ 1799
19	109%	€ 1989
19	109%	€ 2618
21	93%	€ 1898
22	108%	€ 2300
23,9	109,7%	€ 2208,71
24	90%	€ 1135
24	91%	€ 1345
24	93%	€ 1942
24	108%	€ 1770
25	91,5%	€ 1490
25	110%	€ 4046
25	110,5%	€ 2382
25,5	108%	€ 1320
26	109%	€ 2242
26	109%	€ 2796
27	108%	€ 2340
28	90%	€ 1220
28	91%	€ 1430
28	93%	€ 1976
30	108%	€ 1620
30	110%	€ 2518
30,8	109,7%	€ 2176,32
32	91,5%	€ 1610

Vermogen	COP	Prijs (excl. BTW)
32	93%	€ 1999
35	108%	€ 2620
35	109%	€ 2352
35	109%	€ 3153
35	110%	€ 4227
35	110,5%	€ 2518
36	91%	€ 1535
36,3	109,1%	€ 2805,99
37	108%	€ 1995
38	93%	€ 2391
42	91,5%	€ 1745
44	93%	€ 2473
44,1	108%	€ 2485
45	108%	€ 3115
45	109%	€ 3340
45	110%	€ 2654
45	110%	€ 4338
45	110,5%	€ 2654
48,7	109,3%	€ 3403,25
50	91,5%	€ 1875
50	93%	€ 2552
55	93%	€ 2652
56	91,5%	€ 2015
57,3	109,3%	€ 3940,81
60	93%	€ 2761
60	109%	€ 3581
60	110%	€ 3130
62	108%	€ 3200
65	108%	€ 3130

Bron: Viessmann (2010), Buderus (2010), Vaillant (2010), ATAG (2009)

Regressie

$$\text{Prijs (excl. BTW)} = -4041,839 + 5398,853 * \text{Rendement} + 25,860 * \text{Vermogen}$$

(940,998) (892,174) (5,341)

Met:

$$R^2 = 0,521$$

Observaties = 58

$$0,90 < \text{Rendement} < 1,11$$

$$13\text{kW} < \text{Vermogen} < 65\text{kW}$$

Stookolie

Data

Tabel 14: Data investeringskosten stookolie-installatie

Vermogen	Rendement	Prijs (excl. BTW)
17	96%	€ 2643
18	94,5%	€ 2281
18	96%	€ 2666
18	104%	€ 4485
19	104,6%	€ 5596
19,3	104%	€ 5169
20,2	103%	€ 4467
21	96%	€ 2690
22	94,5%	€ 2395
22	96%	€ 2797
22	104%	€ 4550
23,5	92%	€ 1190
23,5	104%	€ 5287
24	105%	€ 4500
24,6	103%	€ 4641
27	94,5%	€ 2515
27	96%	€ 2919
27	104,6%	€ 5913

Vermogen	COP	Prijs (excl. BTW)
28	96%	€ 2811
28,9	103%	€ 4685
28,9	104%	€ 5395
30	92%	€ 1335
30	104%	€ 4669
33	94,5%	€ 2625
33	96%	€ 3037
34	96%	€ 2934
35	104%	€ 4801
35,4	103%	€ 4776
36,5	92%	€ 1370
40	94,5%	€ 3180
40	96%	€ 3207
42,8	103%	€ 5617
43	92%	€ 1473
45	96%	€ 3387
45	102%	€ 6147
49	92%	€ 1585
50	94,5%	€ 3433
50	96%	€ 3461
53,7	103%	€ 5617
55	96%	€ 3580
55	102%	€ 6570
63	94,5%	€ 3728
63	96%	€ 3754
68	96%	€ 3779
68	102%	€ 9742

Bron: Viessmann (2010), Buderus (2010), Vaillant (2010)

Regressie

$$\text{Prijs (excl. BTW)} = -30790,856 + 33410,887 * \text{Rendement} + 48,775 * \text{Vermogen}$$

(2299,645)	(2270,544)	(6,950)
------------	------------	---------

Met:

$$R^2 = 0,848$$

Observaties = 45

$$0,92 < \text{Rendement} < 1,05$$

$$17\text{kW} < \text{Vermogen} < 68\text{kW}$$

Bronnen gebruikt in bijlage 1

ATAG. (2009). Prijscatalogus 03/2009. Verkregen via verkoper.

Brötje Heizung. (2009). Addendum prijslijst 2009. Opgevraagd op 9 maart 2010, via http://www.broetje.be/pdf/NL/Prijslijst_PACBLW.pdf

Brötje Heizung. (2009). Prijslijst warmtepompen 2009. Opgevraagd op 9 maart 2010, via http://www.baxipro.be/memo/brotje/NL/5-wp/5-brochures_tarifs/prijslijst_wp2009-NL.pdf

Buderus. (2010). Prijslijst 2010. Opgevraagd op 9 maart 2010, via http://www.buderus.be/files/201003012205080.Tarif_Batibouw_2010.pdf

Inventum. (2009). Prijslijst 2009. Opgevraagd op 10 maart 2010, via http://www.inventum.info/folders/nl/prijslijstcompact_BE.pdf

Mitsubishi. (2009). Prijslijst 2009-2010. Opgevraagd op 10 maart 2010, via <http://www.luyten-airco.be/folders/modulo-nl.html>

Roth. (2009). Prijslijst 2009. Opgevraagd op 10 maart 2010, via <http://www.roth-belgium.be/nl/verwarming/documents/WPSNL280509.pdf>

Vaillant. (2010). Algemene prijslijst 2010. Opgevraagd op 9 maart 2010, via http://www.vaillant.be/stepone2/data/downloads/66/04/00/prijslijst_2010_lo.pdf

Viessmann. (2010). Prijslijst Batibouw 2010. Opgevraagd op 30 maart 2010, via http://www.viessmann.be/etc/medialib/internet-be/preislisten__paket.Par.27272.File.File.tmp/Prijslijst-Batibouw-2010-NL.pdf

Viessmann. (2010). Vitocal warmtepompen. Verkregen via verkoper.

Bijlage 2: Meteorologische parameters

Het verbruik van een verwarmingssysteem is sterk afhankelijk van de weersomstandigheden. In dit onderdeel worden alle parameters die hiermee verband houden geïdentificeerd en uitgewerkt. De meeste van deze parameters worden enkel gebruikt bij de bepaling van de warmteverliezen.

De eerste parameter is het stookseizoen. Het stookseizoen is sterk afhankelijk van de buitentemperatuur. Ook zal de lengte van het stookseizoen van jaar naar jaar verschillen. Dit is dus zeker een factor waarmee rekening gehouden moet worden bij de berekening van het stookseizoen.

De tweede parameter is de buitentemperatuur. De buitentemperatuur wordt voorspeld op basis van historische data, en met behulp van de Crystal Ball software.

De voorlaatste parameter is de zoninstraling. Deze tracht de totale inval van de zon per m² en per windstreek te becijferen. Zonnewarmte kan voorzien in een aanzienlijk aandeel van de warmtevraag.

Een laatste factor is de weersafhankelijkheid van de luchtwarmtepomp. In vergelijking met de vorige parameters is dit de enige parameter die niet zal gebruikt worden bij de berekening van de warmtebehoefte, maar rechtstreeks bij de werkingskosten.

Hieronder volgt een gedetailleerde uitleg per bovengenoemde parameter.

Stookseizoen

De bepaling van het stookseizoen zal stap voor stap worden toegelicht in onderstaande paragrafen.

Het stookseizoen wordt gedefinieerd als de periode waarin verwarming nodig is om de woning op de gewenste binnentemperatuur te houden. Het startpunt bij de bepaling van het stookseizoen is de analyse van de data van de dagtemperaturen in België. Hierna zal er uit deze data een periode worden gedistilleerd die in aanmerking komt om als begin en einde van het stookseizoen te fungeren, waarna de uiteindelijke bepaling van het stookseizoen zal worden toegelicht.

Data dagtemperaturen

De temperatuurbedata van de dagelijkse maxima en minima zijn afkomstig van het weerstation in Ukkel, en dit voor de periode 1979-2008. Deze periode van 30 jaar wordt in klimatologische kringen vaak gehanteerd. Alle maanden, met uitzondering van juni, juli en augustus, zijn opgenomen. De waarden daterend van voor mei 1983 werden gecorrigeerd van open thermometerhut naar gesloten thermometerhut gegevens door middel van de omzettingsswaarden in onderstaande tabel (Weerstation Ransberg, 2009).

Tabel 15: Omzettingsswaarden open hut naar gesloten hut temperaturen (Weerstation Ransberg, 2009)

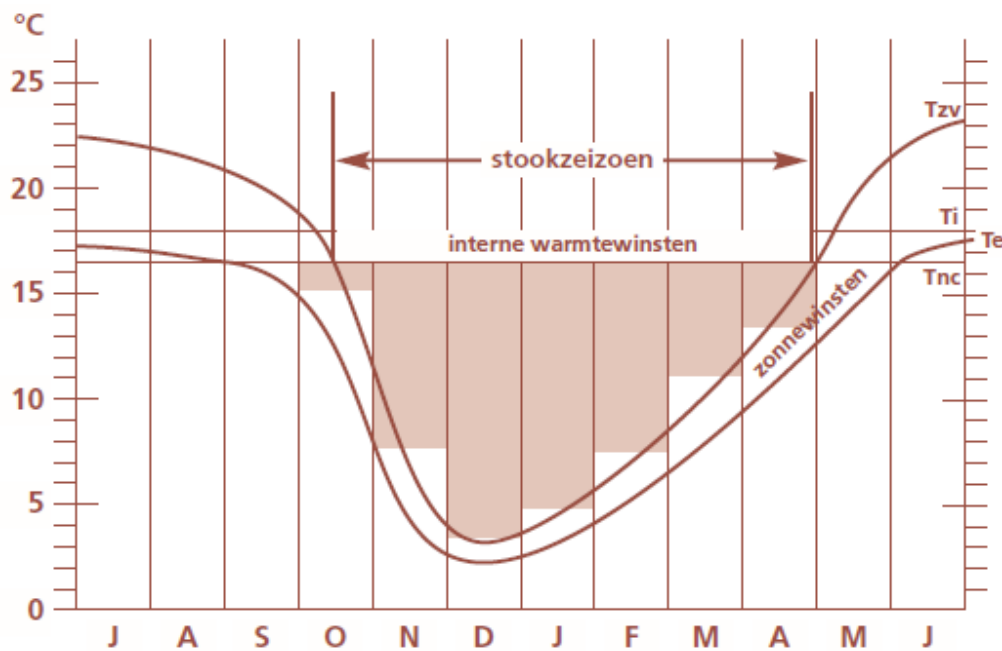
	jan	feb	maa	apr	mei	sep	okt	nov	dec
maxt°	-0,2°C	-0,4°C	-0,7°C	-1°C	-1,1°C	-1°C	-0,5°C	-0,2°C	-0,1°C
mint°	0,4°C	0,4°C	0,4°C	0,4°C	0,6°C	0,6°C	0,5°C	0,5°C	0,4°C

Omdat deze dagelijkse maxima en minima in de huidige vorm niet toepasbaar zijn voor de bepaling van het stookseizoen, worden deze temperaturen omgezet naar daggemiddelden. Het daggemiddelde in een bepaald jaar is gelijk aan de som van de maximum- en minimumtemperatuur gedeeld door 2. Deze daggemiddelden worden andermaal gebruikt bij de berekening van een gemiddelde, namelijk het daggemiddelde over de periode van 30 jaar.

De daggemiddelden en het gemiddelde van de daggemiddelden zullen gebruikt worden bij de bepaling van de periode waarin het begin en einde van het stookseizoen valt.

Periode van het stookseizoen

Nu zal de kansverdeling voor het begin en einde van het stookseizoen worden bepaald. Dit door gebruik te maken van de voorgaande data. Voor de periode die in aanmerking komt om als begin en einde van het stookseizoen te dienen, is er uitgegaan van enkele voorwaarden. Deze voorwaarden komen uit een grafiek die terug te vinden is in ODE Vlaanderen (2006).



Figuur 4: Grafiek stookseizoen (ODE Vlaanderen, 2006)

Uit deze grafiek blijkt dat wanneer de gemiddelde buitentemperatuur (T_e) rond de 13°C varieert, de zonnewinsten en de interne warmtewinsten voldoende zijn om de woning te verwarmen. Ook zien we dat het beginpunt van het stookseizoen rond midden oktober valt en het eindpunt zich rond eind april/begin mei situeert.

Uit het gemiddelde van de gemiddelde dagtemperaturen blijkt dat er zowel begin mei als begin oktober een periode is waar de gemiddelde temperatuur zich tussen 12°C en 14°C bevindt, meer specifiek telkens tussen dag 1 en dag 14. Omdat dit interval overeenkomt met de bevindingen uit de grafiek, wordt er gekozen om het beginpunt van het stookseizoen te laten vallen tussen 1 en 14 oktober, en het eindpunt tussen 1 en 14 mei.

Op basis van een gemiddelde dagtemperatuur is het moeilijk om te spreken van het einde of begin van een stookseizoen. Het kan namelijk zijn dat er een koudere dag is in het begin van het interval, maar dat de volgende dagen terug warmer zijn waardoor de start van het stookseizoen eigenlijk nog niet van toepassing is. Hiervoor werd een oplossing gevonden in de vorm van een gemiddelde temperatuur over 7 dagen. Zo zal de gebruikte temperatuur voor dag 1 in oktober 1979 het gemiddelde zijn van de dagtemperatuur van 1 oktober 1979 tot en met 7 oktober 1979.

De gemiddelde temperatuur over 7 dagen wordt gebruikt om het aantal observaties met een gemiddelde temperatuur lager dan 13°C op te sporen. Uit deze observaties wordt de

kansverdeling ontworpen. De kans dat het stookseizoen op dag 1 begint, wordt gedefinieerd als het percentage verkregen uit het aantal observaties onder 13°C van dag 1 te delen door het totale aantal observaties onder 13°C. Door deze werkwijze zal de cumulatieve kans op dag 14 steeds op 1 uitkomen.

De werkwijze voor mei is ongeveer dezelfde. Ook hier is de basis een gemiddelde over 7 dagen. Alleen zijn hier niet het aantal observaties van de temperatuur onder 13°C van belang, maar het aantal observaties boven 13°C. De kans op het einde van het stookseizoen op dag 1 is hier gelijk aan het aantal observaties op dag 1, met een temperatuur boven 13°C gedeeld door het totale aantal observaties boven de 13°C over de gehele periode.

Praktisch komen deze kansen neer op de in pagina 127 en volgende toegevoegde kansverdelingen. Uit de kansverdeling voor oktober kunnen we opmaken dat de kans op het begin van het stookseizoen stijgt naarmate oktober vordert. Deze tendens was te verwachten door de dalende temperatuur en de toename van het aantal observaties onder 13°C.

Nu richten we ons op de kansverdeling voor mei. Bij deze kansverdeling is dezelfde tendens waar te nemen als bij de kansverdeling voor oktober. Namelijk een stijging van de kans naarmate de maand vordert. Hier is deze tendens te verklaren door de toenemende temperatuur en de toename van het aantal observaties boven 13°C.

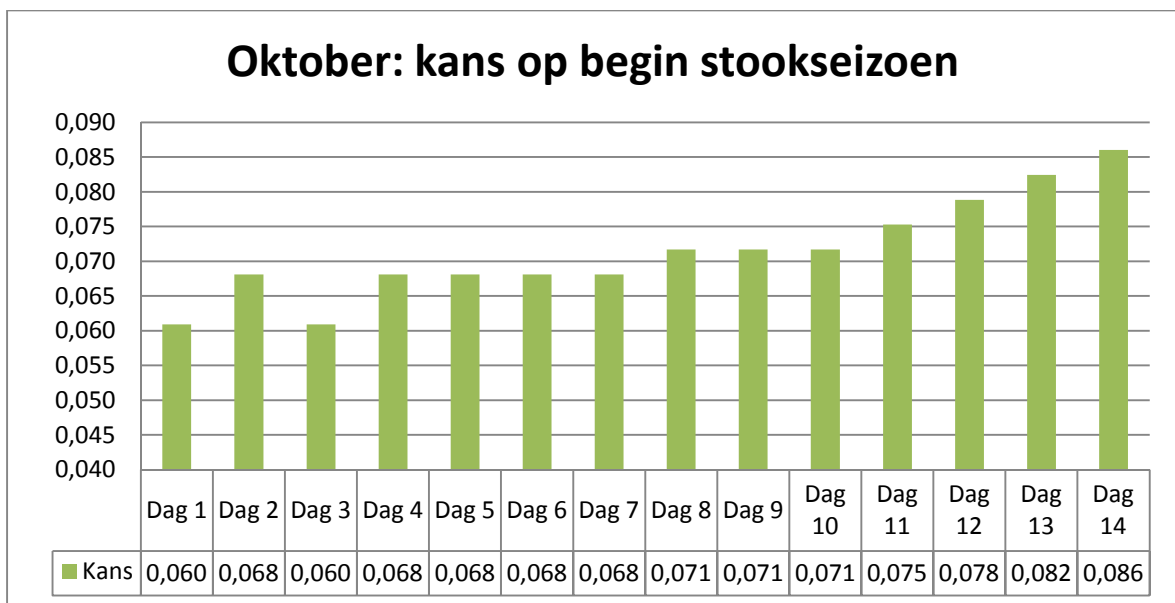
Bepaling van het stookseizoen

De duur van het stookseizoen varieert elk jaar. Door de invloed van deze duur op het resultaat van de analyse is het belangrijk dat deze in de analyse ook varieert en zo de werkelijke situatie kan simuleren. De duur van het stookseizoen wordt gebruikt bij de berekening van de warmteverliezen en het verbruik van randapparatuur.

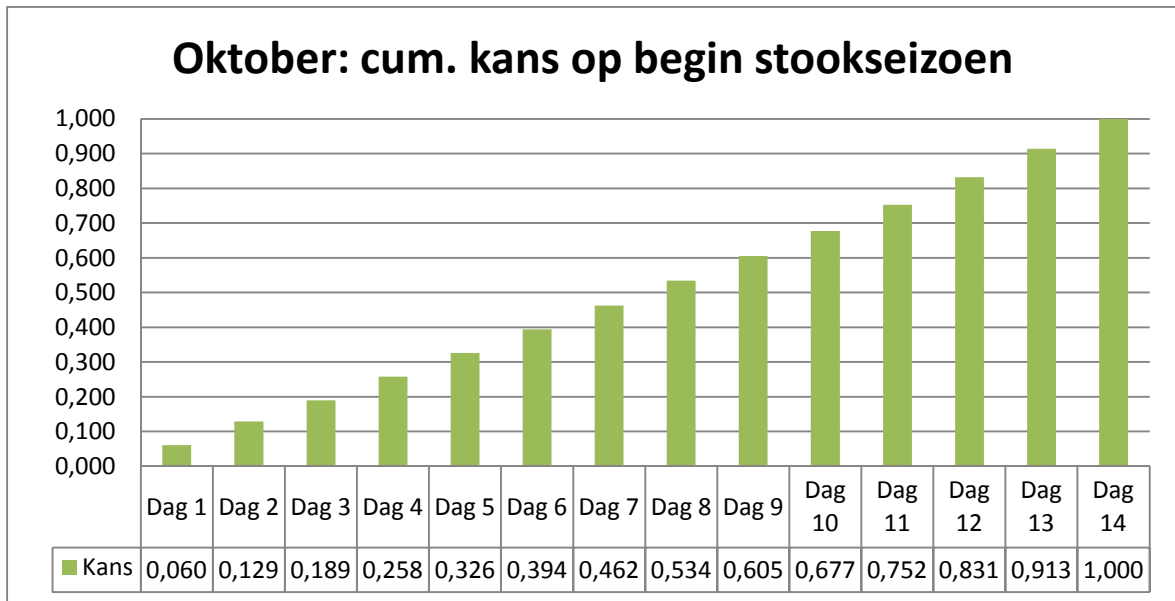
Om de duur van het stookseizoen te bepalen wordt er gebruik gemaakt van randomgetallen. Deze pseudo-willekeurige getallen (tussen 0 en 1) worden gegenereerd door de ingebouwde Excel functie RAND(). Het gebruikte algoritme om de pseudo-willekeurige getallen te produceren maakt gebruik van een geteste en beproefde procedure, en kan dus worden beschouwd als een betrouwbare bron van willekeurige getallen. Het biedt de garantie dat er meer dan 10^{13} getallen gegenereerd kunnen worden voordat er herhaling optreedt (Microsoft, 2008).

De willekeurig gegenereerde getallen van de RAND() functie zullen getoetst worden aan eerder bekomen kansverdelingen voor het begin en einde van het stookseizoen. Deze kansverdelingen zijn echter niet te gebruiken in hun huidige vorm. Omdat het randomgetal steeds tussen 0 en 1 zal liggen kan er wel gebruik worden gemaakt van de cumulatieve kansverdeling. Deze zal bestaan in hetzelfde interval als het willekeurige getal. De cumulatieve kansverdelingen zijn, net zoals de voorgaande kansverdelingen, terug te vinden op deze pagina.

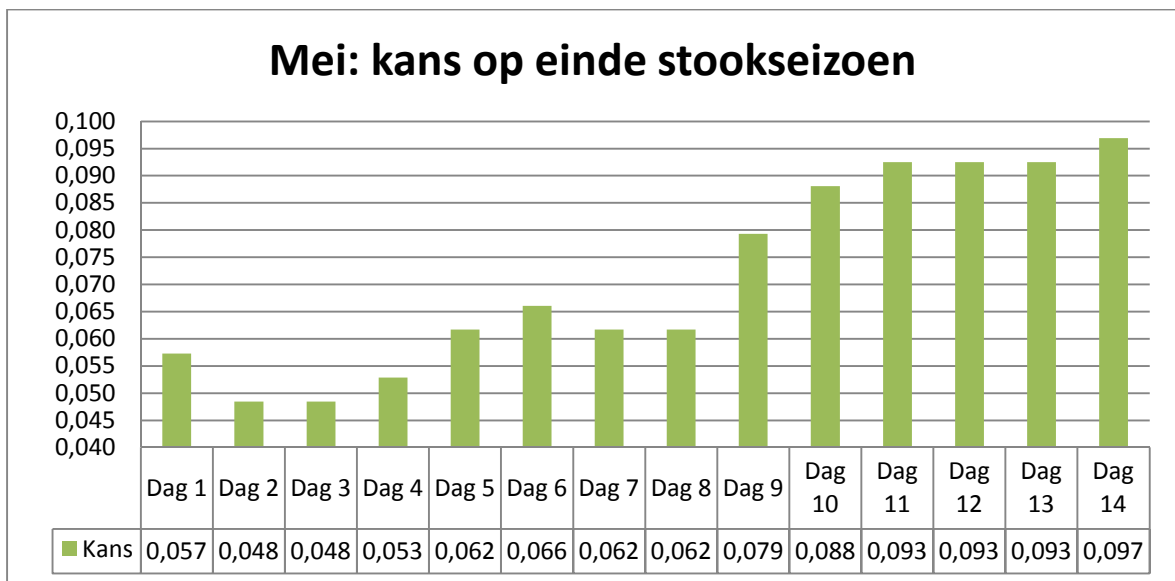
Aan de hand van het randomgetal wordt de overeenstemmende waarde uit de cumulatieve kansfunctie gehaald. De gebruikte formule zal aan de hand van het randomnummer de cumulatieve kans per dag gaan aftasten. Van zodra het randomgetal zich in het interval tussen de waarden voor dag X-1 en dag X bevindt, zal dag X gekozen worden als begin of einde van het stookseizoen.



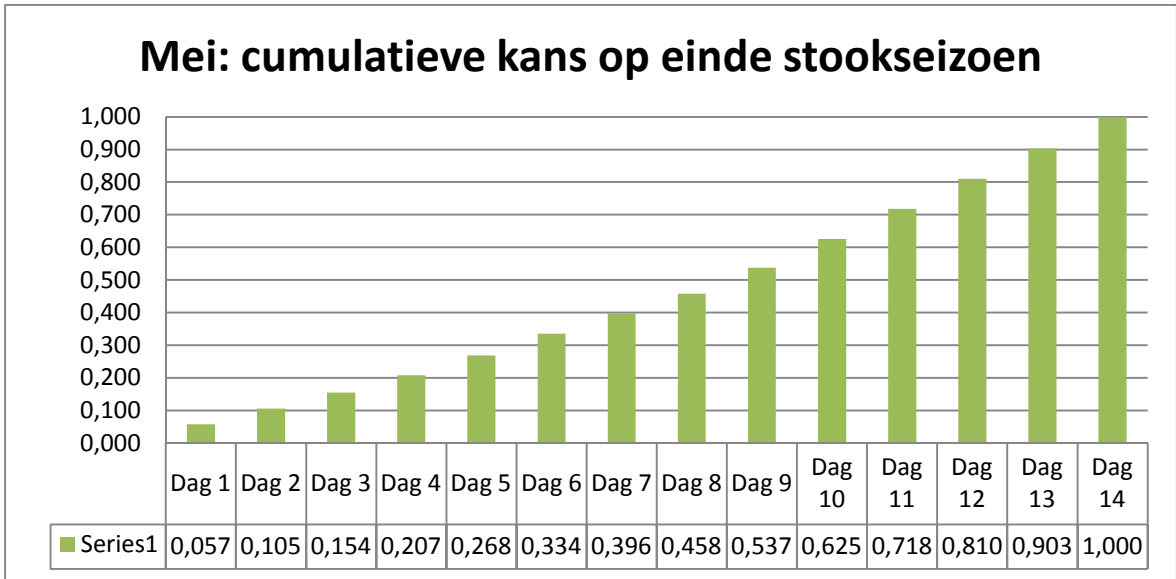
Figuur 5: Kansverdeling begin stookseizoen



Figuur 6: Cumulatieve kansverdeling begin stookseizoen



Figuur 7: kansverdeling einde stookseizoen



Figuur 8: Cumulatieve kansverdeling einde stookseizoen

Buitentemperatuur

De tweede weerparameter is de buitentemperatuur. Het betreft hier niet de gemiddelde jaarlijkse buitentemperatuur, maar de gemiddelde buitentemperatuur tijdens het stookseizoen. Enkel deze buitentemperatuur is relevant voor de berekeningen. Opname van de hogere temperaturen buiten het stookseizoen, waarbij geen verwarming nodig is, zouden ervoor zorgen dat de warmtevraag te laag wordt geschat.

Eerst zal de gebruikte data worden toegelicht, waarna er wordt overgegaan naar de berekening van de buitentemperatuur. Op basis van historische maandgemiddelden kan een voorspelling worden gemaakt voor de volgende 20 jaar. De voorspelde buitentemperatuur zal van pas komen bij de berekening van de warmteverliezen.

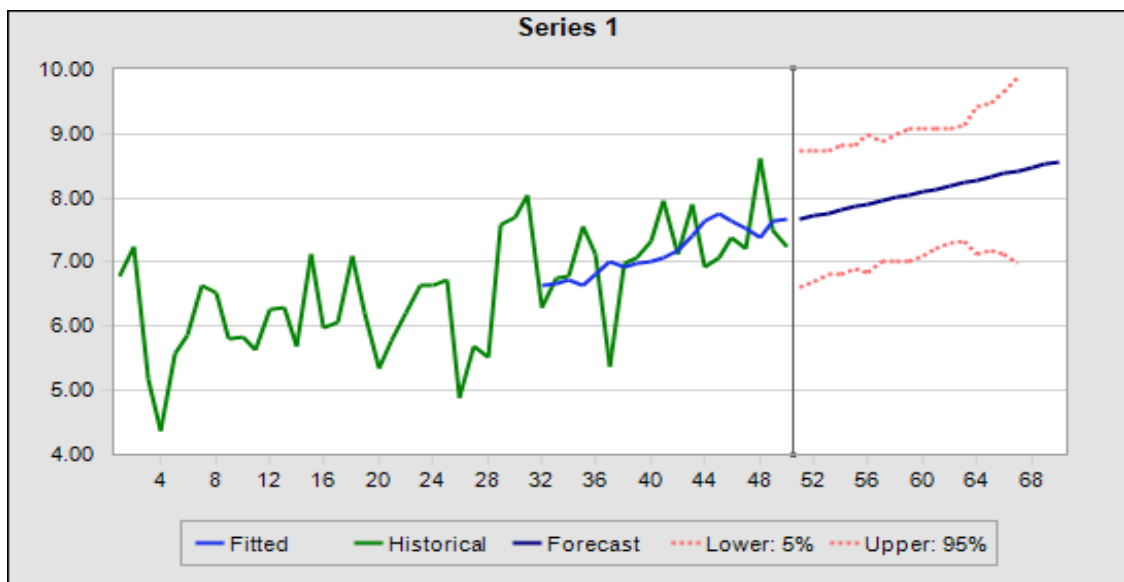
Maandtemperaturen

Om de gemiddelde temperatuur tijdens het stookseizoen te bekomen, was er nood aan weerdata voor de verschillende maanden. Deze weerdata, afkomstig van het weerstation in Ukkel, geeft de gemeten maandgemiddelden van de laatste 50 jaar weer (Deboosere, 2010). Er werd gekozen voor data van de laatste 50 jaar, omdat de te voorspellen periode 20 jaar is. Voor deze lange periode moesten voldoende data worden voorzien, om zo tot een aannemelijke voorspelling te komen. Uit deze maandgemiddelden werd een gemiddelde temperatuur voor de periode oktober tot mei berekend. De verkregen waarde noemen we de gemiddelde temperatuur tijdens het stookseizoen.

Voorspelling buitentemperatuur

Bij de voorspelling van de buitentemperatuur wordt het ingebouwde "Predictor" gereedschap gebruikt. Deze in Crystal Ball geïntegreerde software heeft aan de hand van de gemiddelde temperatuur tijdens het stookseizoen van de voorbije 50 jaar een voorspelling voor de volgende 20 jaar gemaakt.

Bij deze voorspelling bleek de methode van het double moving average het beste resultaat te geven. De root mean squared error voor deze methode is gelijk aan 0,64. Het feit dat deze methode de kleinste fout geeft, geeft aan dat er een trend in de data zit. Deze trend is ook waar te nemen in onderstaande grafiek, gegenereerd door de software.



Zoals ook in de figuur te zien is, neemt de breedte van het 95% betrouwbaarheidsinterval van de voorspelling toe vanaf het 14^{de} voorspelde jaar. Daarvoor is de breedte van het betrouwbaarheidsinterval ongeveer 2°C.

De voorspelde, en dus ook gebruikte waarden voor de gemiddelde temperatuur tijdens het stookseizoen zijn de volgende:

Tabel 16: Voorspelde temperatuur tijdens stookseizoen voor de volgende 20 jaar.

Jaar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temp. in °C	7,68	7,72	7,77	7,82	7,86	7,91	7,96	8,01	8,05	8,10
Jaar	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Temp. in °C	8,15	8,20	8,24	8,29	8,34	8,38	8,43	8,48	8,53	8,57

Zoninstraling

In dit onderdeel zal de berekening van de zoninstraling onder de loep worden genomen. De eenheid van de zoninstraling, in formules ook wel voorgesteld door de letter G, is W/m². Deze geeft met andere woorden het vermogen van de zoninstraling per vierkante meter weer. Bij dit onderzoek is vooral de zoninstraling tijdens het stookseizoen van belang.

Hieronder zal eerst de data hieromtrent aan bod komen, nadien volgt de berekeningswijze.

Data zoninstraling

Om de data voor de zoninstraling tijdens het stookseizoen te berekenen, gebruiken we gegevens afkomstig van het Joint Research Centre (2009). Deze data geeft per kwartier een cijfer voor de instraling op een verticaal vlak weer, en dit voor de vier windrichtingen. Aangezien de instraling varieert per maand, onder andere door de invalshoek van de zonnestrallen, is er data voorzien voor alle maanden van het stookseizoen.

Berekening zoninstraling

Uit de data van de zoninstraling wordt per maand en per windrichting een gemiddelde, dagelijkse instraling uitgerekend. Dit gebeurt door de uurlijkse instraling (in W/m^2) te vermenigvuldigen met het gemiddelde aantal uren zoninstraling per dag. Daarna wordt er, gebruikmakend van eerdere berekeningen voor het stookseizoen, de totale instraling tijdens het stookseizoen bepaald.

Deze totale zoninstraling is gelijk aan de som van de maandelijkse instraling. Deze maandelijkse instraling is dan op zijn beurt weer gelijk aan de zoninstraling per dag, vermenigvuldigt met het aantal dagen in de maand. Voor mei en oktober hangt het aantal dagen af van de stookseizoenbepaling.

Weersafhankelijkheid luchtwarmtepomp

De luchtwarmtepomp is het enige verwarmingssysteem dat in deze thesis aan bod komt die een zeer grote invloed ondervindt van het weer. Ze is namelijk volledig afhankelijk van de buitentemperatuur als warmtebron. Dit is geen probleem zolang de buitentemperatuur boven het vriespunt blijft. Indien deze onder het vriespunt zit, brengt dit enkele negatieve effecten met zich mee.

Een eerste negatief effect hiervan is dat het vermogen zal afnemen bij lagere temperaturen. Om dit probleem op te lossen, worden luchtwarmtepompen doorgaans geleverd met een ingebouwde elektrische weerstand die moet zorgen voor bijverwarming, indien de warmtepomp onvoldoende warmte kan leveren.

Een tweede effect van lage buitentemperaturen is de noodzaak van de ontdooicyclus om de bevroren verdamper te ontdooien. Tijdens deze cyclus zal de warmtepomp warmte onttrekken aan de woning, waardoor de bijverwarming gebruikt moet worden om niet in te boeten aan comfort.

Eerst kijken we uitgebreider naar het eerste effect, het gebrek aan thermisch vermogen bij lage temperaturen. Daarna komt de bijverwarming tijdens de ontdooicyclus aan bod. Eindigen doen we met het totale verbruik van de bijverwarming.

Gebrek aan vermogen luchtwarmtepomp

Het gebrek aan vermogen is gelijk aan het warmteverliezend vermogen van de woning bij een bepaalde buitentemperatuur, vermindert met het thermisch vermogen van de warmtepomp bij diezelfde temperatuur.

De warmtevraag van de woning bij een bepaalde temperatuur is de eerste onbekende. Deze berekening houdt enkel rekening met de warmteverliezen, meer bepaald de transmissie- en ventilatieverliezen na warmteterugwinning, en het systeemrendement. Voor de berekening van deze factoren verwijzen we naar de warmtebehoefte berekening in bijlage 3. Deze warmtevraag wordt berekend bij temperaturen van 2°C tot -12°C. Uit meerdere berekeningen blijkt dat de luchtwarmtepomp voldoende warmte kan voorzien tot een temperatuur van -5°C.

De tweede onbekende is het thermisch vermogen van de luchtwarmtepomp bij een bepaalde buitentemperatuur. Uit de dataset in bijlage 9 op pagina 173 blijkt dat men kan uitgaan van een lineaire daling van het vermogen, naarmate de buitentemperatuur daalt. Uit de 10 observaties blijkt het dalingspercentage gelijk te zijn aan 2,21% per °C. Deze daling wordt ingezet van zodra dat de buitentemperatuur onder 2°C duikt.

Nu de berekening van het vermogen bekend is, kan er overgegaan worden naar het verbruik van de elektrische weerstand wanneer het vermogen ontoereikend is. De basis bij deze berekening van het verbruik is de data omtrent de dagtemperaturen. Uit deze data worden het aantal observaties per maand gehaald, waarbij de temperatuur zich in de volgende intervallen bevindt: [-5°C;-6°C [, [-6°C;-7°C [, [-7°C;-8°C [, [-8°C;-9°C [, [-10°C;-11°C [, [-11°C;-12°C [, [-12°C;-∞ [. Dit aantal observaties per interval, per maand kan door deling met het totaal aantal observaties worden omgezet in een percentage. Dit percentage vermenigvuldigt met het aantal uren in de maand geeft het aantal uur dat de buitentemperatuur zich in het interval bevindt.

Het maandelijks aantal uren dat de temperatuur zich in een bepaald temperatuursinterval bevindt worden gesommeerd. Het resultaat hiervan is het totale aantal uren dat de temperatuur zich in een bepaald interval bevindt gedurende het stookseizoen. Door dit totaal te vermenigvuldigen met het geleverde vermogen van de bijverwarming in het respectievelijke temperatuursinterval, wordt het verbruik verkregen. Door het verbruik tijdens de verschillende temperatuursintervallen te sommeren, verkrijgen we het verbruik van de bijverwarming bij onvoldoende vermogen van de luchtwarmtepomp.

Ontdooicyclus luchtwarmtepomp

De bijverwarming wordt niet alleen gebruikt wanneer er onvoldoende warmte wordt geproduceerd door de warmtepomp, maar ook bij de ontdooicyclus. Tijdens deze ontdooicyclus levert de warmtepomp geen warmte, maar onttrekt ze warmte van de woning om de buitenunit te ontdooien. De bijverwarming activeert zich om zo min mogelijk aan comfort in te boeten. De bijverwarming heeft meestal een vermogen van 6kW, bij grotere thermische vermogens zal 9kW inbegrepen zijn.

Vanaf 0°C zal de warmtepomp uurlijks ongeveer 5 minuten doorbrengen in zijn ontdooistand. Dit komt neer op 8,33% van een uur. Bij de berekening van het gemiddeld aantal uren dat de buitentemperatuur zich onder 0°C bevindt, is gebruik gemaakt van de dagelijkse maxima en minima van de dagtemperaturen. Aan de hand van het percentage van de observaties onder 0°C en het totaal aantal uren in de maand, wordt het aantal uren dat de temperatuur zich onder 0°C bevindt gevonden. Het gemiddelde aantal uren onder 0°C blijkt gelijk te zijn aan 624,4 uur.

Het verbruik van de bijverwarming tijdens de ontdooicyclus is gelijk aan het aantal uren onder 0°C (624,4), vermenigvuldigt met het percentage per uur in ontdooistand (8,33%) en het vermogen van de bijverwarming (6kW). Dit komt neer op een jaarlijks elektrisch verbruik van 312,2 kWh.

Verbruik bijverwarming luchtwarmtepomp

Het totale verbruik van de bijverwarming gedurende het stookseizoen is gelijk aan het verbruik tijdens de ontdooicyclus en het verbruik van het bijspringen in de verwarming van de woning bij koude buitentemperaturen.

Conclusie

Bij de bespreking van de verschillende meteorologische factoren zijn verschillende van deze factoren aan bod gekomen. Elk van deze heeft zijn eigen invloed op de kosten.

De eerste factor is het stookseizoen. Er wordt vastgesteld dat het stookseizoen steeds begint in de eerste helft van oktober en eindigt in de eerste helft van mei. Op basis van zevendaagse gemiddelden werd er een kansverdeling voor deze periode opgesteld. Door de cumulatieve kansfunctie te combineren met toevalsgetallen kan het begin en eindpunt van het stookseizoen worden gesimuleerd. Een langer stookseizoen kan leiden tot hogere werkingskosten.

Daarna volgt de voorspelling van de buitentemperaturen. Deze zijn een zeer belangrijke component van de warmtebehoefteberekening. Een lagere buitentemperatuur zal zorgen voor een hoger warmteverlies, waardoor de werkingskosten zullen stijgen. De gemiddelde buitentemperatuur tijdens het stookseizoen is verschillend voor elk jaar en volgt een stijgende trend.

Belangrijk voor de warmtewinsten is de berekening van de totale zoninstraling in W per m². Dit kan gezien worden als een baat. De zoninstraling zal er namelijk voor zorgen dat de warmtebehoefte van de woning daalt. Meer raamoppervlakte gericht naar het zuiden zal het grootste positief effect hebben.

Als laatste werd de weersafhankelijkheid van de luchtwarmtepomp onder de loep genomen. Hierin werd gekeken naar het verbruik van de bijverwarming. Er werden twee scenario's geïdentificeerd waar de bijverwarming aanslaat. Het eerste scenario doet zich voor wanneer de luchtwarmtepomp onvoldoende verwarmingsvermogen kan leveren omwille van de lage buitentemperaturen. Het tweede scenario kijkt naar het verbruik tijdens de ontdooicyclus van de luchtwarmtepomp. De bijverwarming verbruikt het meeste tijdens de ontdooicyclus. Het is slechts sporadisch dat de luchtwarmtepomp over onvoldoende vermogen beschikt.

Bronnen gebruikt in bijlage 2

Deboosere, F. (2010). Klimaat Ukkel (temperatuur, neerslaghoeveelheid en zonneshijnduur). Opgevraagd 29 januari 2010, via <http://www.frankdeboosere.be/klimaatukkel/klimaat%20algemeen.php>.

Joint Research Centre. (2009). Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). Opgevraagd 29 november 2009, via <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>.

Microsoft. (2008). Description of the RAND() function in Excel 2007 and in Excel 2003. Opgevraagd op 19 maart 2010, via <http://support.microsoft.com/kb/828795>.

Organisatie voor duurzame energie Vlaanderen (ODE Vlaanderen). (2006). Warmtepompen voor woningverwarming. Opgevraagd 13 mei 2009, via http://www2.vlaanderen.be/economie/energiesparen/doc/brochure_warmtepomp.pdf

Weerstation Ransberg. (2009). Dagelijkse temperaturen sinds 1833. Opgevraagd op 24 maart 2010, via <http://home.scarlet.be/weerstation.ransberg/Dagelijksetemperaturensinds1833.xls>.

Bijlage 3: Warmtebehoefteberekening

De warmtebehoefte van een woning bestaat uit verschillende componenten. Allereerst zijn er de verliescomponenten. Deze bestaan uit de transmissie- en ventilatieverliezen. Deze verliezen van warmte kunnen ook deels gecompenseerd worden door een tweede component; warmtewinsten. De warmtewinsten zijn beperkt tot de zonnewinsten en de interne warmtewinsten. Het verschil van warmtewinsten en warmteverliezen geeft de energiebehoefte van de woning weer. Hieronder volgt meer info.

Transmissieverliezen

Transmissieverliezen worden algemeen aanschouwd als de grootste warmteverliezen in een woning. Het betreft de hoeveelheid warmte die door muren, ramen, vloer, dak en deuren verloren gaat aan de buitenomgeving. De grootte van het transmissieverlies is afhankelijk van de grootte van het verliesoppervlak (in m²), de isolerende kwaliteit van de gebruikte materialen (U-waarde) en van aanwezige koudebruggen. Het beter isoleren van de woning en het vermijden van koudebruggen kunnen een groot effect hebben op de energiebehoefte van de woning (Vlaams energieagentschap, z.d.).

Een belangrijk begrip bij de berekening van de transmissieverliezen is de warmtedoorgangscoefficiënt van de woning. Deze kan op twee manieren worden bepaald.

De eerste manier is uit het K-peil van de woning. De gebruikte formule voor deze berekening verschilt naargelang de compactheid (C) van de woning. Deze compactheid geeft de verhouding beschermd volume per verliesoppervlak weer. De gemiddelde warmtedoorgangscoefficiënt (U_m) wordt gevonden uit één van de volgende formules:

$$\text{Indien } C < 1 \quad U_m = K\text{-peil}/100$$

$$\text{Indien } 1 < C < 4 \quad U_m = K\text{-peil} \cdot (C+2)/300$$

$$\text{Indien } C > 4 \quad U_m = K\text{-peil}/50$$

De tweede manier wordt gebruikt indien er geen K-peil gegeven is. De gemiddelde warmtedoorgangscoefficiënt wordt dan berekend door het opgeven van de oppervlakte en de U-waarde per constructiedeel. Buiten deze twee waarden wordt er ook nog rekening gehouden met een weegfactor voor de vloer, dewelke ook bij de berekening van het K-peil aan bod komt. Deze weegfactor is gelijk aan $1/(1+ U\text{-waarde vloer})$. De gemiddelde warmtedoorgangscoefficiënt is afhankelijk van volgende formule:

$$U_m = \left(\frac{\sum_{i=1}^5 \text{Verliesoppervlak}_i * U\text{-waarde}_i * \text{Weegfactor}_i}{\text{Totale verliesoppervlakte}} \right)$$

Het transmissieverlies kan als volgt worden berekend indien er gewerkt wordt met temperaturen (Universiteit Antwerpen, 2001):

$$\text{Transmissieverlies } (Q_T) = U_m * A_T * (T_i - T_e)$$

Waarbij we volgende symbolen hanteren:

U_m : gemiddelde warmtedoorgangscoefficiënt van een gebouw (in Watt/m².°K)

A_T : verliesoppervlakte van een gebouw (in m²)

T_i : gewenste binnentemperatuur (in °K)

T_e : buitentemperatuur (in °K)

Ventilatieverliezen

Ventilatieverliezen treden op bij het verversen van de lucht in een woning. Dit is noodzakelijk voor de gezondheid van de bewoners. Er is niet enkel sprake van bewuste ventilatie door het openzetten van ramen en deuren, of door het gebruik van een ventilatiesysteem, ook kan er sprake zijn van onbewuste ventilatie. Dit zijn luchtstromen via naden en kieren.

Bij bewuste ventilatie kan er gebruik worden gemaakt van een ventilatiesysteem. Deze systemen kunnen opgesplitst worden in verschillende categorieën:

Categorie A: natuurlijke aanvoer en afvoer, werkt op basis van drukverschillen

Categorie B: mechanische toevoer en natuurlijke afvoer

Categorie C: natuurlijke toevoer en mechanische afvoer

Categorie D: mechanische toevoer en afvoer.

Bij systemen met natuurlijke ventilatie doet er zich geen energieverbruik voor. Mechanische ventilatie daarentegen maakt wel gebruik van ventilatoren, waardoor er wel energieverbruik is. Bij mechanische ventilatie (categorie D) is het dan ook mogelijk om door middel van een warmtepomp een deel van de warmte in de geventileerde lucht te recupereren, wat een positief effect heeft op het energieverbruik.

Veel nieuwbouwwoningen zijn dan ook uitgerust met een categorie D systeem met warmteterugwinning. Deze systemen hebben een gespecificeerd warmterecuperatiepercentage. Aan de hand van dit percentage kan de hoeveelheid teruggewonnen warmte worden berekend.

De onbewuste ventilatie, ook wel in- en exfiltratieverliezen genoemd, komt voort uit spleten en kieren aanwezig in de woning. De onbewuste ventilatie kan gemeten worden door middel van een luchtdichtheidstest of blowerdoortest. Er dient dus voldoende aandacht te worden besteed aan onbewuste ventilatie als men de energiebehoefte zo laag mogelijk wil houden (Vlaams energieagentschap, z.d.).

Het ventilatieverlies van bewuste ventilatie, uitgebreid met de warmteterugwinning, wordt als volgt berekend (Universiteit Antwerpen, 2001):

$$\text{Ventilatieverlies } (Q_L) = 0,34 * n * V_L * (T_i - T_e) * (1 - \text{WTW})$$

Waarbij:

0,34 : de soortelijke warmte van lucht (in W.h/°K.m³)

n : luchtverversingsgraad (in h⁻¹)

V_L : het beschermde volume van het gebouw (in m³)

T_i : gewenste binnentemperatuur (in °K)

T_e : buitentemperatuur (in °K)

WTW : percentage warmteterugwinning

Zonnewinsten

Tijdens de winter kan er gebruik worden gemaakt van de binnenvallende zonnewarmte en zo kan er bespaard worden op het energieverbruik. Om optimaal gebruik te maken van deze zonnewarmte tijdens het stookseizoen moet er rekening worden gehouden met de oriëntatie van de ramen. Naar het zuiden gerichte ramen zullen meer zonnewarmte binnenlaten dan naar het noorden gerichte ramen. Toch moet er op gewezen worden dat bij een te grote, naar het zuiden gerichte, glasoppervlakte er in de zomer oververhitting kan optreden, waardoor er mogelijk zonneweringen of een koelsysteem moeten aangebracht worden. Ook de grootte van het glasoppervlak is belangrijk. Zo zullen de transmissieverliezen toenemen, omdat glas slechter isoleert dan de andere onderdelen van de buitenwand, maar zullen er meer zonnewinsten zijn (Vlaams energieagentschap, z.d.).

De zonnewinsten van een woning worden als volgt berekend (Passiefhuis-Platform vzw, z.d.):

$$\text{Zonnewinsten } (Q_S) = r * g * A_F * G$$

Waarbij:

r : reductiefactor die rekening houdt met raamprofielen, beschaduwing en vervuiling

g : zonnetoetredingsfactor van de beglazing

A_F : vensteroppervlakte (in m²)

G : totale instraling tijdens dagen in het stookseizoen (afhankelijk van oriëntatie) (in W/m²)

Interne warmtewinsten

De interne warmtewinsten (Q_I) zijn afkomstig van de warmtewinsten van personen en apparaten tijdens het stookseizoen. Elk elektrisch apparaat zet een deel van de elektriciteit om naar warmte tijdens de werking. De grootte van de warmteafgifte is verschillend van apparaat tot apparaat. Ook de mens geeft warmte af aan zijn omgeving door zijn metabolisme; gemiddeld ongeveer 100 W/h.

Het Passiefhuis-Platform vzw (z.d.) gebruikt in zijn software een forfait voor deze winsten. Deze bedraagt 2,1 W/m² voor woningen, 4,1 W/m² voor tehuizen, 3,5 W/m² voor kantoorgebouwen en 2,8 W/m² voor scholen. In het model wordt gebruik gemaakt van 2,1 W/m², het forfait voor woningen.

De berekening ziet er dus als volgt uit:

$$\text{Interne warmtewinsten (} Q_I \text{)} = 2,1 * A_{\text{bew}} * t_{\text{stookseizoen}}$$

Waarbij:

2,1 : forfait voor woningen (in W/m²)

A_{bew} : de totale bewoonbare oppervlakte (in m²)

t_{stookseizoen} : de duur van het stookseizoen (in h)

Netto-energiebehoefte

De netto-energiebehoefte van een woning wordt bekomen door het verschil te nemen tussen de warmteverliezen en de warmtewinsten. Met andere woorden, volgens volgende formule (Passiefhuis-Platform vzw, z.d.):

$$\text{Netto-energiebehoefte} = Q_T + Q_L - Q_S - Q_I$$

Waarbij:

Q_T : Transmissieverlies

Q_L : Ventilatieverlies

Q_S : Zonnwinsten

Q_I : Interne warmtewinsten

Energiebehoefte verwarming

Nadat de netto-energiebehoefte bekend is, kan de bruto-energiebehoefte worden berekend. Deze energiebehoefte is het resultaat bekomen door vermenigvuldiging van de netto-energiebehoefte en het systeemrendement.

De volgende stap is de uiteindelijke energiebehoefte voor ruimteverwarming per alternatief verwarmingssysteem. Hiervoor wordt de bruto-energiebehoefte gedeeld door het opwekkingsrendement van het verwarmingssysteem.

Voor de warmtepomp en voor aardgas kan deze energiebehoefte in kWh blijven staan, voor stookolie dient er echter een omrekening naar liter te gebeuren. Bij deze omrekening wordt er gebruik gemaakt van een bovenwaarde van 10,6 kWh/liter. Door deze waarde kan er een gemakkelijke omrekening naar liter plaatsvinden. Deze uiteindelijke energiebehoefte zal gebruikt worden bij het bepalen van de werkingskosten.

Achtereenvolgens zullen eerst het systeemrendement en het opwekkingsrendement nader worden toegelicht.

Het systeemrendement

Het systeemrendement bestaat uit een vermenigvuldiging van verschillende componenten. De eerste component is het afgifterendement. Deze verrekent de onnuttige warmteafgifte die kan optreden bij vloer- of wandverwarming, radiatoren en convectoren. Zo geeft vloerverwarming warmte af aan de grond eronder en radiatoren aan de muur waartegen ze bevestigd zijn. Ook geeft het regelverliezen aan de thermostaat weer. Ten tweede is er het verdeelrendement, hetwelk de verliezen van het warmtetransport in de leidingen weergeeft. Hier is het belangrijk dat de leidingen geïsoleerd zijn en of deze leidingen zich in het beschermde volume bevinden. Als laatste is er het opslagrendement. Dit is enkel van toepassing als er een opslagvat voor de verwarming aanwezig is.

Het opwekkingsrendement

Het opwekkingsrendement is afhankelijk van het gekozen verwarmingssysteem en kan binnen het systeem verschillen vertonen naar fabrikant en grootte van de installatie. Gas- en stookolieketels kunnen tot meer dan 100% rendement halen indien het condenserende ketels betreft. Het rendement van een systeem is afhankelijk van het theoretisch rendement en de afname van het rendement tijdens de levensduur (Vlaams energieagentschap, z.d.(2)).

Het rendement van een verwarmingssysteem is in grote mate afhankelijk van zijn theoretisch rendement. Deze theoretische waarde wordt meestal enkel in gecontroleerde en optimale omstandigheden in laboratoria behaald. Daarom wordt er op deze theoretische waarde een factor toegepast.

Deze factor kan verschillen voor de verschillende systemen omdat ze allemaal verschillende specificaties en installaties hebben. Een warmtepompinstallatie en een gasinstallatie van hetzelfde vermogen zullen afhankelijk zijn van andere factoren voor het bereiken van hun werkelijke rendement. Zo zal bij een warmtepompinstallatie de brontemperatuur een grote invloed hebben, terwijl bij een gasinstallatie de schouwtemperatuur en het opgebouwde condensatieregime een belangrijke rol spelen.

De factor wordt bepaald door een willekeurig getal en een triangulaire verdeling. Meer informatie over de triangulaire verdeling is te vinden in bijlage 6, op pagina 161.

De gebruikte triangulaire verdeling voor de nominale prijsstijgingen is te definiëren door:

- Minimum: 85%
- Meest waarschijnlijk (modus): 92,5%
- Maximum: 100%

Een andere component van het rendement is de gelijkmatige afname ervan tijdens de levensduur. Dit zal voornamelijk veroorzaakt worden door slijtage. De afname is niet dezelfde voor de verschillende systemen. Hier volgt een overzicht en verantwoording:

- Een luchtwarmtepomp zal meer slijtage ondervinden doordat deze als enige warmtepomp is blootgesteld aan weersinvloeden. We verwachten voor deze warmtepomp een vermindering van de COP met 0,4 over een periode van 20 jaar. Dit komt neer op een lineaire daling van 0,02 per jaar.
- Voor een water- en bodemwarmtepomp worden geen verschillen in slijtage verwacht. Toch ligt de rendementsafname van de bodemwarmtepomp in eerste instantie hoger, door de verwachte afname in de warmtebrontemperatuur. De gebruikte COP afname is 0,02 per jaar. Na 5 jaar zal er echter een stabilisatie van deze temperatuur optreden, waardoor overgegaan wordt naar dezelfde COP afname als bij de waterwarmtepomp, namelijk 0,01 per jaar.
- Voor gas en stookolie ligt de slijtage ook gelijk. De verwachting is een afname van 15% over de levensduur van 20 jaar.

Conclusie

Voor de warmtebehoefteberekening wordt er een opsplitsing gemaakt in enerzijds de warmteverliezen en anderzijds de warmtewinsten.

De warmteverliezen zijn afhankelijk van de isolatie- en luchtdichtheidsgraad, maar ook van de verschillen tussen binnen- en buitentemperatuur. Ook het volume en verliesoppervlak van de woning spelen een rol. De zonnewinsten zijn afhankelijk van de oriëntatie en grootte van de ramen. De interne warmtewinsten hebben de kleinste impact op de warmtebehoefte, maar mogen zeker niet uit het oog worden verloren.

Uit de warmtebehoefte van de woning kan de energiebehoefte of het verbruik van elk verwarmingssysteem worden bepaald. Hiertoe worden de netto-energiebehoefte of de warmtebehoefte van de woning gedeeld door achtereenvolgens het systeemrendement, welke rekening houdt met verliezen in het centrale verwarmingssysteem, en het opwekkingsrendement van de verwarmingsinstallatie. Dit opwekkingsrendement vertrekt van het theoretisch rendement en houdt daarna rekening met een aanpassing in de vorm van een factor om zo het werkelijke te benaderen. Ook wordt het verlies in rendement door slijtage opgenomen in de berekening van het opwekkingsrendement.

Bronnen gebruikt in bijlage 3

Passiefhuis-Platform vzw. (z.d.). Dossiersamenstelling ifv verkrijgen kwaliteitsverklaring PHPvzw. Opgevraagd op 22 november 2009, via http://www.passiefhuisplatform.be/content/seetool_media/pdf/presentatie_definitie_kwaliteitsverklaring.pdf.

Universiteit Antwerpen. (2001). Stimulatiemodel ter evaluatie van combinaties van CO₂-emissie reductiemaatregelen. *Federale diensten voor wetenschappelijke, technische en culturele aangelegenheden (DWTTC)*. Opgevraagd op 31 oktober 2009, via http://www.belspo.be/belspo/home/publ/pub_ostc/CG2131/rCG21r2_nl.pdf.

Vlaams energieagentschap (VEA). (z.d.(2)). EPW-methode. Opgevraagd op 1 november 2009, via <http://www.energiesparen.be/files/file/epb/epwmethode.pdf>.

Vlaams energieagentschap (VEA). (z.d.). Energiebesparende maatregelen. Opgevraagd op 30 oktober 2009, via <http://www.energiesparen.be/files/file/epb/energiebesparendemaatregelen.pdf>.

Bijlage 4: Energieprijzen

De bijlage in verband met de energieprijzen kan opgedeeld worden in twee delen. Het eerste deel geeft de berekeningswijze van deze prijzen en het tweede deel geeft de gebruikte data weer.

Berekening

De energieprijs is een belangrijke factor in de berekening van de werkingskosten van de verwarmingssystemen. In dit gedeelte worden de prijzen voor elektriciteit, gas en stookolie bepaald op basis van cijfers voor de maand maart. Na de identificatie van de energieprijzen bij het begin van de analyse, wordt er aandacht besteed aan de reële prijsstijgingen. Uit het verleden is immers gebleken dat de stijging in de energieprijzen groter is dan de stijging te wijten aan inflatie.

Elektriciteit

De elektriciteitsprijs bestaat uit verschillende componenten. Zo is er bovenop de basisprijs aan energie betaald aan de leverancier, ook nog een deel voor de eigenaar van het distributienet voorzien, en moet er rekening worden gehouden met allerlei bijdragen zoals een bijdrage voor hernieuwbare energie.

Om de basisprijs te berekenen is er gekeken naar de drie grootste leveranciers van elektriciteit in België. Volgens een rapport van de VREG (2010a) zijn dit volgens aantal eindafnemers: Electrabel Customer Solutions (ECS) NV, SPE NV en Nuon Belgium NV. Deze leveranciers bezitten samen ongeveer 94% van de markt. Als tariefformule werd er bij ECS en SPE gekozen voor het standaardtarief. Bij Nuon daarentegen voor het Flextarief, aangezien dit het enige tarief van Nuon met geïndexeerde prijs is. Aan de hand van deze parameters, namelijk het marktaandeel en de prijs, wordt er een gewogen gemiddelde berekend. Omdat er in de prijzen van ECS een onderscheid wordt gemaakt naar verschillend jaarverbruik in de piekuren, werden deze groepen doorgetrokken in de berekening.

De beheerders van het distributienet hanteren verschillende tarieven. Om tot een gemiddelde te komen voor deze verschillende tarieven, voor zowel distributie als transport, is er wederom informatie over de marktaandelen nodig. Uit informatie van de VREG (2010b) blijkt dat elf beheerders, 99,77% van de aansluitingen uitmaken.

De verschillende bijdragen variëren van een bijdrage voor hernieuwbare energie en warmtekrachtkoppeling, tot een energiebijdrage en een federale bijdrage. Deze federale bijdrage is bestemd om:

- de kosten van regulator CREG gedeeltelijk te dekken;
- te voorzien in de financiering van het nucleaire passief;
- het beleid van de federale overheid in verband met het verminderen van broeikasgassen te financieren (Kyotofonds);
- het dekken van de openbare dienstverplichtingen (ODV-bijdrag);
- de toeslag beschermde klanten
- de premie verwarming

De bepaling van de elektriciteitsprijs bezit een extra aspect, namelijk het bestaan van een tweevoudig tarief. Uit de marktstudie 2009 van regulator VREG (2009) blijkt dat 58% van de gezinnen gebruik maakt van dit tweevoudig tarief voor elektriciteit. Ook blijkt er uit een vergelijking met cijfers van vorige jaren dat het tweevoudig tarief aan marktaandeel wint en dat het zeer populair is bij nieuwbouwwoningen. Hierdoor werd besloten om standaard uit te gaan van een tweevoudig tarief. Om dit tweevoudig tarief om te vormen tot één prijs, werd de samengestelde prijs berekend.

De samengestelde prijs voor elektriciteit houdt rekening met het aandeel van piek- en daluren in een week. Aangenomen wordt dat er op weekdays 15 piekuren (van 7 tot 22 uur) en 9 daluren (tussen 22 en 7 uur) zijn, en dat het weekend (48u) volledig bestaat uit daluren. Waardoor dus de week bestaat uit 75 piekuren en 93 daluren. Met deze cijfers en de elektriciteitsprijzen wordt de samengestelde prijs gevonden door middel van een gewogen gemiddelde. Deze prijs is gelijk aan €0,1627 per kWh bij een verbruik van 3501-7500 kWh/jaar tijdens de piekuren.

Gas

Net zoals voor elektriciteit bestaat de gasprijs uit verschillende componenten. Ook hier zijn dit de energieprijs, kostprijs van distributie en verschillende bijdragen, zoals een toeslag voor beschermde klanten.

Net zoals bij de elektriciteitsberekening wordt om de basisprijs van gas te berekenen er gebruik gemaakt van informatie van de VREG (2010c) in zake marktaandeel. Ook hier vinden we dezelfde top drie terug. Namelijk ECS NV, SPE NV en Nuon Belgium NV. Op de gasmarkt zijn er iets meer dan 93% van het aantal afnemers klant bij deze leveranciers. Op basis van hun standaardtarieven voor aardgas en het marktaandeel, wordt ook hier een gewogen gemiddelde berekend. Dit voor zowel minder dan 5000 kWh verbruik, als voor meer dan 5000 kWh verbruik.

De distributienetbeheerders voor gas zijn grotendeels dezelfde als deze van het elektriciteitsnet. Op basis van hun tarieven voor distributie van aardgas en hun marktaandeel verkregen bij het VREG (2010d), kan er ook hier weer een gewogen gemiddelde worden gevormd. In dit geval hebben de in de berekening opgenomen netbeheerders een gezamenlijk marktaandeel van 99,95%.

Bovenop de prijzen voor energie en distributie dienen er nog enkele bijdragen aan bod te komen. Voor aardgas is er, net zoals bij elektriciteit, een energiebijdrage en een federale bijdrage. Ook is er nog een aparte toeslag voor beschermde klanten. Deze zit bij in de elektriciteitsprijs in de federale bijdrage.

Het resultaat van deze berekening is een gasprijs van 4,65 eurocent per kWh, en een vastrecht dat gelijk is aan 138,21 euro. Alle prijzen zijn geldig voor het eerste jaar van de analyse.

Stookolie

De prijs voor een liter stookolie is gebaseerd op cijfers van de Belgische Petroleum Federatie (2010). Het betreft de maximumprijs voor een bestelling van minimaal 2000 liter en dit aan prijstarieven van 11 maart 2010. Deze maximumprijs bestaat uit verschillende onderdelen. De grootste kost is de energiecomponent. Deze wordt verhoogd met de distributiemarge, de APERTA bijdrage en een bijdrage voor het Sociaal Verwarmingsfonds. Als laatste moeten er nog accijnzen en BTW in rekening worden gebracht.

De in rekening gebrachte stookolieprijs is gelijk aan 0,6078 euro per liter.

Conclusie

De prijs van energie bekomt men uit de prijzen en marktaandelen van de drie grootste energieleveranciers en de verschillende distributienetbeheerders. Uit deze analyse blijkt dat de duurste energievorm per kWh elektriciteit is (€0,1627 per kWh). Met een kost per kWh van €0,0465 is gas iets goedkoper dan stookolie (€0,0573 per kWh).

Data

Na de toelichting van de berekeningswijze geven we in dit gedeelte de gebruikte data en uitvoering van de berekeningen weer.

Elektriciteit

Tabel 17: Berekening basisprijs elektriciteit 0-2000kWh

Leverancier	Marktaandeel (januari 2010)	0 – 2000 kWh/jaar		
		Vaste vergoeding (€/jaar)	Piekuren (c€/kWh)	Daluren (c€/kWh)
Electrabel	65,70%	90,70	10,32	4,35
SPE- Luminus	20,21%	135,22	9,64	5,71
Nuon	7,88%	75,06	10,15	5,5
Totaal	93,79%			
Gewogen gem.		98,98	10,16	4,74

Bron: VREG (2010a), Electrabel (2010a), Luminus (2010a), Nuon (2010)

Tabel 18: Berekening basisprijs elektriciteit 2001-3500kWh

Leverancier	Marktaandeel (januari 2010)	2001 – 3500 kWh/jaar		
		Vaste vergoeding (€/jaar)	Piekuren (c€/kWh)	Daluren (c€/kWh)
Electrabel	65,70%	110,36	9,34	4,35
SPE- Luminus	20,21%	135,22	9,64	5,71
Nuon	7,88%	75,06	10,15	5,5
Totaal	93,79%			
Gewogen gem.		112,75	9,47	4,74

Bron: VREG (2010a), Electrabel (2010a), Luminus (2010a), Nuon (2010)

Tabel 19: Berekening basisprijs elektriciteit 3501-7500kWh

Leverancier	Marktaandeel (januari 2010)	3501 – 7500 kWh/jaar		
		Vaste vergoeding (€/jaar)	Piekuren (c€/kWh)	Daluren (c€/kWh)
Electrabel	65,70%	115,78	9,18	4,35
SPE- Luminus	20,21%	135,22	9,64	5,71
Nuon	7,88%	75,06	10,15	5,5
Totaal	93,79%			
Gewogen gem.		116,55	9,36	4,74

Bron: VREG (2010a), Electrabel (2010a), Luminus (2010a), Nuon (2010)

Tabel 20: Opsomming bijdragen elektriciteit

	(c€/kWh)
Bijdrage Hernieuwbare Energie	0,91
Bijdrage Warmtekrachtkoppeling	0,27

Bron: Electrabel (2010a), Luminus (2010a), Nuon (2010)

Tabel 21: Tarieven distributie in piek- en daluren alsook de meterhuur

Distributienet	Marktaandeel (januari 2010)	Distributie piek (c€/kWh)	Distributie dal (c€/kWh)	Meterhuur (€/jaar)
IMEWO	17,78%	8,25	4,66	6,63
IVERLEK	15,65%	8,42	4,91	6,63
GASELWEST	13,19%	10,40	5,53	6,63
INTER- ENERGA	12,46%	8,72	5,67	9,87
IVEKA	11,30%	7,41	4,37	6,63
IMEA	9,34%	7,00	4,42	6,63
INTERGEM	9,04%	8,49	4,72	6,63
WVEM	3,99%	8,96	5,92	9,87
PBE	2,74%	7,41	6,18	14,85
IVEG	2,45%	7,66	5,09	9,87
SIBELGAS NOORD	1,83%	7,82	4,87	6,63
Totaal	99,77%			
Gewogen gem.		8,41	5,00	7,47

Bron: VREG (2010b), Electrabel (2010a), Luminus (2010a), Nuon (2010)

Tabel 22: Tarieven transport, energiebijdrage en federale bijdrage

Distributienet	Marktaandeel (januari 2010)	Transport (c€/kWh)	Energiebijdrage (c€/kWh)	Federale bijdrage (c€/kWh)
IMEWO	17,78%	1,05	0,23096	0,51959
IVERLEK	15,65%	1,02	0,23096	0,53432
GASELWEST	13,19%	0,94	0,23096	0,52720
INTER- ENERGA	12,46%	0,97	0,23096	0,52642
IVEKA	11,30%	1,00	0,23096	0,51983
IMEA	9,34%	1,08	0,23096	0,52393
INTERGEM	9,04%	1,06	0,23096	0,52792
WVEM	3,99%	1,00	0,23096	0,52642
PBE	2,74%	1,05	0,23096	0,53476
IVEG	2,45%	0,95	0,23096	0,52439
SIBELGAS NOORD	1,83%	0,98	0,23096	0,51463
Totaal	99,77%			
Gewogen gem.		1,01	0,23	0,53

Bron: VREG (2010b), Electrabel (2010a), Luminus (2010a), Nuon (2010)

Tabel 23: Elektriciteitsprijs bij 0-2000 kWh en 2001-3500 kWh verbruik

	0 – 2000 kWh/jaar		2001 – 3500 kWh/jaar	
	Piek (c€/kWh)	Dal (c€/kWh)	Piek (c€/kWh)	Dal (c€/kWh)
Basisprijs	10,16	4,74	9,47	4,74
Bijdrage Hernieuwbare Energie	0,91			
Bijdrage Warmtekrachtkoppeling	0,27			
Distributie	8,41	5,00	8,41	5,00
Transport	1,01			
Energiebijdrage	0,23			
Federale bijdrage	0,53			
Totaal (incl. BTW)	21,52	12,69	20,83	12,69

Bron: voorgaande tabellen

Tabel 24: Elektriciteitsprijs bij 3501-7500 kWh verbruik

	3501 – 7500 kWh/jaar	
	Piek (c€/kWh)	Dal (c€/kWh)
Basisprijs	9,36	4,74
Bijdrage Hernieuwbare Energie	0,91	
Bijdrage Warmtekrachtkoppeling	0,27	
Distributie	8,41	5,00
Transport	1,01	
Energiebijdrage	0,23	
Federale bijdrage	0,53	
Totaal (incl. BTW)	20,72	12,69

Bron: voorgaande tabellen

Gas

Tabel 25: Berekening basisprijs en vastrecht gas

Leverancier	Marktaandeel (januari 2010)	0 – 5000 kWh		5001 – 30000 kWh	
		Jaarlijkse vergoeding (€/jaar)	Energiekost (c€/kWh)	Jaarlijkse vergoeding (€/jaar)	Energiekost (c€/kWh)
Electrabel	67,99%	42,96	3,505	45,73	3,450
SPE- Luminus	16,95%	57,15	3,57	57,15	3,57
Nuon	8,19%	41,90	3,42	44,59	3,37
Totaal	93,13%				
Gewogen gem.		45,45	3,51	47,71	3,46

Bron: VREG (2010c), Electrabel (2010b), Luminus (2010b), Nuon (2010)

Tabel 26: Berekening distributiekost gas bij 0-5000 kWh verbruik

Distributienet	Marktaandeel (januari 2010)	Distributie (0 – 5000 kWh/jaar)	
		Vaste term (€/jaar)	Proportionele term (c€/kWh)
IMEWO	18,80%	18,73	2,822
IVERLEK	15,93%	14,45	2,164
GASELWEST	13,78%	16,19	2,425
IVEKA	12,66%	15,20	2,268
IMEA	12,25%	14,71	2,231
INTER-ENERGA	9,18%	24,26	3,165
INTERGEM	8,89%	14,93	2,249
IVEG	3,69%	24,20	2,270
WVEM	2,53%	17,25	3,202
SIBELGAS NOORD	2,24%	17,64	2,763
Totaal	99,95%		
Gewogen gem.		17,07	2,49

Bron: VREG (2010d), Electrabel (2010b), Luminus (2010b), Nuon (2010)

Tabel 27: Berekening distributiekost gas bij 5001-150000 kWh verbruik.

Distributienet	Marktaandeel (januari 2010)	Distributie (5001-150000 kWh/jaar)		Jaarlijkse meteropname (€/jaar)
		Vaste term (€/jaar)	Proportionele term (c€/kWh)	
IMEWO	18,80%	105,08	1,096	7,27
IVERLEK	15,93%	71,98	1,013	7,27
GASELWEST	13,78%	71,32	1,322	7,27
IVEKA	12,66%	81,61	0,940	7,27
IMEA	12,25%	92,00	0,686	7,27
INTER- ENERGA	9,18%	130,14	1,180	6,53
INTERGEM	8,89%	72,12	1,106	7,27
IVEG	3,69%	101,89	0,719	6,53
WVEM	2,53%	137,98	0,855	6,53
SIBELGAS NOORD	2,24%	97,89	1,158	7,27
Totaal	99,95%			
Gewogen gem.		90,50	1,03	7,16

Bron: VREG (2010d) Electrabel (2010b), Luminus (2010b), Nuon (2010)

Tabel 28: Uiteenzetting federale bijdrage gas

Federaal	(c€/kWh)
Energiebijdrage	0,11966
Federale bijdrage	0,01803
Toeslag beschermde klanten	0,01777
Totaal	0,15546

Bron: Electrabel (2010b), Luminus (2010b), Nuon (2010)

Tabel 29: Gasprijs

	0 – 5000 kWh/jaar		5001-150000 kWh/jaar	
	Vast (€/jaar)	Variabel (c€/kWh)	Vast (€/jaar)	Variabel (c€/kWh)
Basisprijs	45,45	3,51	47,71	3,46
Distributie	17,07	2,49	90,50	1,03
Energiebijdrage	0	0,11966	0	0,11966
Federale bijdrage	0	0,01803	0	0,01803
Toeslag beschermde klanten	0	0,01777	0	0,01777
Totaal (incl. BTW)	62,52	6,16	138,21	4,65

Bron: voorgaande tabellen

Stookolie

Tabel 30: Stookolieprijs

	Prijs (€/liter)	Prijs (c€/kWh)
Prijs ex-raffinage	0,4091	3,86
Distributiemarge	0,0645	0,61
Bijdrage APETRA	0,0086	0,08
Bijdrage Sociaal Verwarmingsfonds	0,0016	0,02
Accijnzen & energiebijdrage	0,0185	0,17
21% BTW	0,1055	0,99
Totaal (incl. BTW)	0,6078	5,73

Bron: Belgische Petroleum Federatie (2010).

Bronnen gebruikt in bijlage 4

Belgische Petroleum Federatie. (2010). Samenstelling van de maximumprijs van andere brandstoffen. Opgevraagd op 16 maart 2010, via http://www.petrolfed.be/dutch/docs/samenstelling_maximumprijs_brandstoffen.xls.

Electrabel. (2010a). Basisaanbod maart elektriciteit. Opgevraagd op 6 maart 2010, via <http://www.electrabel.be/priceSheet/residential/GENERAL/I/00/elec/nl/0/price.do>

Electrabel. (2010b). Basisaanbod maart gas. Opgevraagd op 6 maart 2010, via <http://www.electrabel.be/priceSheet/residential/GENERAL/I/00/gas/nl/0/price.do>

Luminus. (2010a). Luminus Standaard Elektriciteit. Opgevraagd op 6 maart 2010, via https://www.luminus.be/irj/go/km/docs/documents/SPE%20Website%20Related%20Docs/Anonymous/Nederlandse%20pdf/tarief_electriciteit_luminus_standaard.pdf

Luminus. (2010b). Luminus Standaard Gas. Opgevraagd op 6 maart 2010, via https://www.luminus.be/irj/go/km/docs/documents/SPE%20Website%20Related%20Docs/Anonymous/Nederlandse%20pdf/tarief_aardgas_luminus_standaard.pdf

Nuon. (2010). Algemene voorwaarden en tariefkaart particulieren. Opgevraagd op 6 maart 2010, via <http://www.nuon.be/download/b2c/pdf/nl/nuon-tariefkaart.pdf>

VREG. (2009). Marktmonitor 2009. Opgevraagd op 12 december 2009, via <http://www.vreg.be/vreg/documenten/rapporten/RAPP-2009-10.pdf>.

Bijlage 5: Reële prijsstijgingen

Bij prijsstijgingen opteren we ervoor enkel rekening te houden met de reële prijsstijgingen. Het gedeelte van de prijsstijgingen te wijten aan inflatie wordt dus uit de analyse gehouden. Deze stijgingen door inflatie worden door indexaanpassing van de lonen, met vertraging, opgeheven.

De reële prijsstijging heeft een invloed op alle opgenomen prijzen in de simulatie. Het betreft hier ook een lineair stijgingspercentage. Dit wil zeggen dat de prijzen jaarlijks zullen verhogen met het gesimuleerde percentage. De energieprijzen en vaste vergoedingen zullen de volle stijging ondervinden. De prijzen voor onderhoud zullen de prijsstijgingen slechts voor tweederde doorvoeren.

Ter verantwoording van eenzelfde prijsstijging voor alle energieprijzen kunnen we stellen dat ze allemaal met elkaar verbonden zijn. De connectie tussen energieprijzen onderling is al langer bekend. Elektriciteit bijvoorbeeld wordt in België voornamelijk gewonnen uit aardgas. Ook zal de vaste vergoeding voor aardgas toenemen met de energieprijzen, dit wordt immers bevestigd door de reeds goedgekeurde distributietarieven voor 2011 en 2012.

Om de reële prijsstijging te simuleren, wordt er gebruik gemaakt van een triangulaire verdeling. Deze wordt zeer veel toegepast als er weinig geweten is over de verdeling van een waarde. Voor deze verdeling zijn er slechts drie waarden nodig; namelijk de kleinste, grootste en meest waarschijnlijke waarde.

De gebruikte triangulaire verdeling voor de nominale prijsstijgingen is te definiëren door:

- Minimum: 0,5%
- Meest waarschijnlijk (modus): 1,25%
- Maximum: 2%

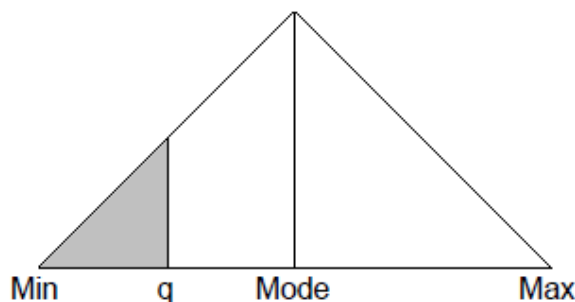
Meer informatie omtrent deze triangulaire verdeling en het gebruik ervan in Excel, is terug te vinden in de volgende bijlage.

Bijlage 6: Triangulaire verdeling

De triangulaire verdeling wordt voornamelijk toegepast in simulaties wanneer er weinig geweten is over de verdeling van de waarden. Het is eenvoudig in gebruik, omdat er slechts drie parameters nodig zijn om de verdeling op te stellen. Deze parameters zijn de minimumwaarde, de meest waarschijnlijke waarde of modus, en de maximumwaarde.

Om de triangulaire verdeling te kunnen gebruiken in simulaties moeten we de verdeling opsplitsen in twee delen. Het eerste deel is het deel links van de modus. Het tweede deel bevindt zich rechts van de modus. Eerst kijken we naar het deel links van de modus.

Stel dat een punt q links ligt van de modus en we willen de cumulatieve kans kennen van deze waarde q dan krijgen we het grijze gebied in figuur 9. De basis van de grijze driehoek is gelijk aan $(q - \text{min})$, de hoogte van de grijze driehoek noemen we H_q . Deze hoogte is dan gelijk aan:

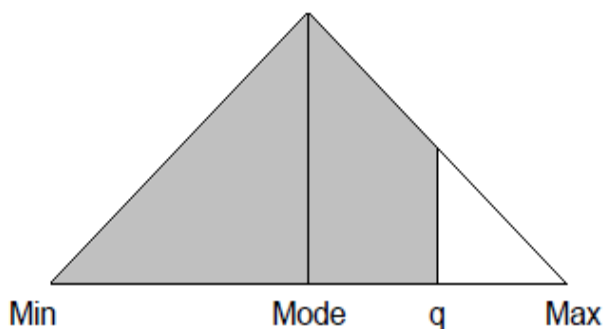


$$\begin{aligned}\frac{H_q}{(q - \text{Min})} &= \frac{H}{(\text{Mode} - \text{Min})} \\ &= \frac{2/(\text{Max} - \text{Min})}{(\text{Mode} - \text{Min})} \\ &= \frac{2}{(\text{Mode} - \text{Min})(\text{Max} - \text{Min})} \\ H_q &= \frac{2(q - \text{Min})}{(\text{Mode} - \text{Min})(\text{Max} - \text{Min})}\end{aligned}$$

Figuur 9: Voorstelling triangulaire verdeling met punt q links van de modus

De oppervlakte van het grijze gebied, die overeenkomt met de cumulatieve kans, $P(x < q)$ bekomen door de waarde q , is:

$$P(x < q) = \frac{2(q - \text{Min})}{(\text{Mode} - \text{Min})(\text{Max} - \text{Min})} \times (q - \text{Min}) \times \frac{1}{2}$$
$$= \frac{(q - \text{Min})^2}{(\text{Mode} - \text{Min})(\text{Max} - \text{Min})}$$



Indien het punt q recht ligt van de modus, kunnen we voor de bepaling van de cumulatieve kans werken met de complementaire kans $1-p$. Na toepassing hiervan krijgen we volgende cumulatieve kans:

Figuur 10: Voorstelling triangelare verdeling met punt q rechts van de modus

$$P(x < q) = 1 - P(x > q)$$
$$= 1 - \frac{2(\text{Max} - q)}{(\text{Max} - \text{Mode})(\text{Max} - \text{Min})} \times (\text{Max} - q) \times \frac{1}{2}$$
$$= 1 - \frac{(\text{Max} - q)^2}{(\text{Max} - \text{Mode})(\text{Max} - \text{Min})}$$

De twee voorgaande formules voor de cumulatieve kans kunnen op een eenvoudige manier worden omgevormd voor gebruik in simulaties. Het simuleren maakt gebruik van randomgetallen (RN) voor het bepalen van de corresponderende waarde q . De randomgetallen stellen de cumulatieve kans voor en dienen tussen 0 en 1 te liggen. Om te bepalen aan welke kant van de modus het randomnummer valt, gebruiken we de controle: random getal $< (\text{modus} - \text{minimum}) / (\text{maximum} - \text{minimum})$ (Wilfrid Laurier University, z.d.).

De formule voor het gebied links van de modus is de volgende:

$$\begin{aligned}P(x < q) = RN &= \frac{(q - \text{Min})^2}{(\text{Mode} - \text{Min})(\text{Max} - \text{Min})} \\(q - \text{Min})^2 &= (RN)(\text{Mode} - \text{Min})(\text{Max} - \text{Min}) \\(q - \text{Min}) &= \sqrt{(RN)(\text{Mode} - \text{Min})(\text{Max} - \text{Min})} \\q &= \text{Min} + \sqrt{(RN)(\text{Mode} - \text{Min})(\text{Max} - \text{Min})}\end{aligned}$$

Indien het recht van de modus ligt:

$$\begin{aligned}P(x < q) = 1 - P(x > q) &= 1 - RN \\&= 1 - \frac{(\text{Max} - q)^2}{(\text{Max} - \text{Mode})(\text{Max} - \text{Min})} \\(\text{Max} - q)^2 &= (1 - RN)(\text{Max} - \text{Mode})(\text{Max} - \text{Min}) \\(\text{Max} - q) &= \sqrt{(1 - RN)(\text{Max} - \text{Mode})(\text{Max} - \text{Min})} \\q &= \text{Max} - \sqrt{(1 - RN)(\text{Max} - \text{Mode})(\text{Max} - \text{Min})}\end{aligned}$$

Al deze berekeningen en simulaties worden voor elke assumpties uitgevoerd door de Crystal Ball software.

Bronnen gebruikt in bijlage 6

Wilfrid Laurier University. (z.d.). The triangular probability distribution. Opgevraagd op 15 maart 2010, via <http://info.wlu.ca/~wwwsbe/faculty/amarshal/TriDist.pdf>.

Bijlage 7: Elektrisch verbruik klassieke verwarmingssystemen

Beide klassieke verwarmingssystemen hebben nood aan elektriciteit voor de werking van de aanwezige elektronische componenten. Eerst bespreken we de situatie voor gasinstallaties. Daarna gaan we over naar de stookolie-installatie.

Gas

Hieronder volgt een tabel met in de eerste twee kolommen data afkomstig uit installatiehandleiding en technische fiches van verscheidene producenten en producten. De data bestaat uit het thermisch vermogen van de gasketel en het vermogen van de elektrische voeding bij vollast. In de laatste kolom wordt de verhouding van de elektrische voeding tot het thermisch vermogen gegeven. Met andere woorden het vermogen van de elektrische voeding per kW thermisch vermogen. Onderaan de tabel wordt het gemiddelde van de laatste kolom gegeven.

Dit gemiddelde op de laatste rij wordt gebruikt in de bepaling van het secundaire verbruik van de gasinstallatie. Dit gemiddelde bedraagt 3,93 W elektrisch per kW thermisch vermogen.

Tabel 31: Data en berekening elektrisch verbruik gasinstallatie

Thermisch vermogen (in kW thermisch)	Vermogen voeding bij vollast (in W elektrisch)	Vermogen voeding / thermisch vermogen (in W elektrisch/kW thermisch)
26,6	140	5,263158
15,8	101	6,392405
25,5	116	4,54902
35,9	129	3,593315
19	115	6,052632
25,2	130	5,15873
34,8	140	4,022989
15,8	80	5,063291
25,5	100	3,921569
15,2	58	3,815789
24,9	70	2,811245
35,1	95	2,706553
62	90	1,451613
94,8	147	1,550633
24	120	5
24	96	4
30	117	3,9
46,3	64	1,382289
62,1	82	1,320451
24	105	4,375
24	140	5,833333
23,7	110	4,64135
19	85	4,473684
26	95	3,653846
35	115	3,285714
13	60	4,615385
19	60	3,157895
Gemiddeld vermogen voeding / thermisch vermogen (in W elektrisch/kW thermisch)		3,925625

Bronnen tabel

Buderus. (2006). Montage- en onderhoudsvoorschrift – Condenserende gaswandketel Logamax plus GB132-24/24K. Opgevraagd op 30 maart 2010, via [http://www.buderus.be/files/200801161002170.M&W%20-%20GB132%20-%207218%200500%20\(nl\)%20-%2002.2006.pdf](http://www.buderus.be/files/200801161002170.M&W%20-%20GB132%20-%207218%200500%20(nl)%20-%2002.2006.pdf)

Buderus. (2006). Montage- en onderhoudsvoorschrift - Logamax plus GB142-24/30/45/60. Opgevraagd op 30 maart 2010, via [http://www.buderus.be/files/200803181340290.Fiche%20Logamax%20plus%20GB142%20tot%2060%20kW%20\(nl\)%20-%202006.pdf](http://www.buderus.be/files/200803181340290.Fiche%20Logamax%20plus%20GB142%20tot%2060%20kW%20(nl)%20-%202006.pdf)

Buderus. (2007). Installatie- en onderhoudshandleiding – Logamax U152-24K. Opgevraagd op 30 maart 2010, via [http://www.buderus.be/files/200804041447150.M&W%20-%20U152\(K\)%20-%206%20720%20612%20183%20\(nl\).pdf](http://www.buderus.be/files/200804041447150.M&W%20-%20U152(K)%20-%206%20720%20612%20183%20(nl).pdf)

Buderus. (2007). Installatie- en onderhoudshandleiding – Logamax U154-24K. Opgevraagd op 30 maart 2010, via [http://www.buderus.be/files/200804041447560.M&W%20-%20U154\(K\)%20-%206%20720%20612%20185%20\(nl\).pdf](http://www.buderus.be/files/200804041447560.M&W%20-%20U154(K)%20-%206%20720%20612%20185%20(nl).pdf)

Buderus. (2007). Montage- en onderhoudshandleiding – Logamax plus GB152-24T. Opgevraagd op 30 maart 2010, via [http://www.buderus.be/files/200801161011570.M&W%20-%20GB152T%20-%206%20720%20614%20628%20\(nl\)%20-%2006.2007.pdf](http://www.buderus.be/files/200801161011570.M&W%20-%20GB152T%20-%206%20720%20614%20628%20(nl)%20-%2006.2007.pdf)

Buderus. (2008). Montage- en onderhoudshandleiding – Logano plus GB202-15/25/35/45. Opgevraagd op 30 maart 2010, via [http://www.buderus.be/files/200809081432320.BA%20-%20GB202%20-%206720616789%20\(nl\).pdf](http://www.buderus.be/files/200809081432320.BA%20-%20GB202%20-%206720616789%20(nl).pdf)

Buderus. (z.d.). Technische gegevens – Logamax plus GB162. Opgevraagd op 30 maart 2010, via http://www.buderus.be/files/200808202145170.Technische%20gegevens_GB162%2015-45_NL.pdf

Mampaey bvba. (z.d.). Remeha Calenta 15s, 25s, 28c, 35s en 40c. Opgevraagd op 25 maart 2010, via

http://www.mampaey.be/files/CF_N_1.1.9_Remeha_Calenta_15s_25s_28c_35s_40c_P-10-0555.pdf

Oertli. (2005). Gasketels GS 140 J BE – handleiding voor installatie, indienststelling en onderhoud. Opgevraagd op 25 maart 2010, via http://www.domotech.be/PDF-files/Oertli/GS_140F.pdf

Oertli. (2009). GMR 3000 Condens. Opgevraagd op 25 maart 2010, via <http://www.up-with-oertli.be/download/productfolder-nl.pdf>

RAPIDO. (2009). Econcompact Plus GBW Condensatie-gasketel met 18, 25 en 35 kW. Opgevraagd op 25 maart 2010, via http://www.rapido.de/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=310&Itemid=76&virtuemart=65e1373465a9c4dee0a5ed9e0faa72bb

Vaillant. (2005). Installatiehandleiding CWK. Opgevraagd op 25 maart 2010, via http://www.bosmasiddeburen.nl/uploadedfiles/120-Vaillant_cv-ketels_CWK-245-3_Installatiehandleiding.pdf

Viessmann. (2006). Vitodens 300 – Technisch blad. Opgevraagd op 30 maart 2010, via http://www.viessmann.be/etc/medialib/internet-be/technische_dokumentatie/nederlands/dbl.Par.10021.File.File.tmp/DB_Vitodens300.pdf

Viessmann. (2007). Vitodens 200-W – Datenblatt. Opgevraagd op 30 maart 2010, via http://www.viessmann.be/etc/medialib/internet-be/technische_dokumentatie/nederlands/dbl.Par.3439.File.File.tmp/DB-Vitodens-200-W.pdf

Stookolie

In het geval van de stookolie-installatie gebruiken we dezelfde berekeningswijze als voor de gasinstallatie. Het resultaat van deze berekening ligt hoger voor de stookolie-installatie dan bij de gasinstallatie. Hierdoor zal het secundaire verbruik van de stookolie-installatie hoger liggen. We gaan uit van 8,65 W elektrisch per kW thermisch vermogen.

Tabel 32: data en berekening elektrisch verbruik stookolie-installaties

Thermisch vermogen (in kW thermisch)	Vermogen voeding bij vollast (in W elektrisch)	Vermogen voeding / thermisch vermogen (in W elektrisch/kW thermisch)
14,8	260	17,56757
19	260	13,68421
24,3	260	10,69959
13,1	99	7,557252
19	139	7,315789
18,5	129	6,972973
28,2	178	6,312057
12,9	140	10,85271
19,3	210	10,88083
16,1	140	8,695652
23,5	210	8,93617
23	150	6,521739
30	150	5
49	150	3,061224
18	250	13,88889
22	250	11,36364
26	250	9,615385
32	250	7,8125
24	80	3,333333
22	140	6,363636
27	140	5,185185
Gemiddeld vermogen voeding / thermisch vermogen (in W elektrisch/kW thermisch)		8,648587

Bronnen tabel

ACV. (z.d.). Handboek voor installatie, gebruik en onderhoud – N-mini/N1/N2/N3.

Opgevraagd op 30 maart 2010, via

http://www.acv.com/dwl_gateaway.php?f=Mzk2X2Rvd25sb2FkLnBkZg==&n=VE1fNjY0WTEwMDBfQ190Jk4tTWluaV90TC5wZGY=

Chappée. (z.d.). Bora - Oliestookketels van 24 tot 45 kW. Opgevraagd op 31 maart

2010, via http://www.hostyn.be/Productfolder_Bora.pdf

Chappée. (z.d.). Sempra Progress – Oliestookketels van 22 tot 70 kW. Opgevraagd op 31

maart 2010, via [http://www.baxipro.be/memo/chappee/NL/2-mazout/10-](http://www.baxipro.be/memo/chappee/NL/2-mazout/10-brochures_tarifs/brochure%20Sempra%20Progress%20-%20NL.pdf)

[brochures_tarifs/brochure%20Sempra%20Progress%20-%20NL.pdf](http://www.baxipro.be/memo/chappee/NL/2-mazout/10-brochures_tarifs/brochure%20Sempra%20Progress%20-%20NL.pdf)

Elco. (2007). Gebruiksaanwijzing mazoutketel STRATON 17/21/26/31. Opgevraagd op 31

maart 2010, via http://www.kemps.be/files/STRATON_nl.pdf

Vaillant. (2008). IcoVIT exclusiv. Opgevraagd op 30 maart 2010, via

<http://www.vaillant.be/stepone2/data/downloads/c0/03/00/bedieningsvoorschrift-icovit-exclusiv.pdf>

Viessmann. (2007). Vitoladens 300-W – Technisch blad. Opgevraagd op 30 maart 2010,

via <http://www.viessmann.be/etc/medialib/internet->

[be/technische_dokumentatie/nederlands/dbl_-](http://www.viessmann.be/etc/medialib/internet-be/technische_dokumentatie/nederlands/dbl_-)

[_2007.Par.83470.File.File.tmp/DB_Vitoladens300-W_NL.pdf](http://www.viessmann.be/etc/medialib/internet-be/technische_dokumentatie/nederlands/dbl_-_2007.Par.83470.File.File.tmp/DB_Vitoladens300-W_NL.pdf)

Wolf. (z.d.). Condenserende stookolieketel met geïntegreerde 2-traps

blauwevlambrander COB/COB-CS. Opgevraagd op 30 maart 2010, via

http://www.iit.be/web/Folder_COB_N.pdf

Bijlage 8: Secundaire verbruik

Bij de berekening van het secundaire verbruik waren er eerst enkele veronderstellingen in verband met het verbruik van de externe apparaten nodig. Deze veronderstellingen worden hieronder beschreven.

- De buitenunit van een luchtwarmtepomp met een thermisch vermogen van 14 kW beschikt over twee ventilatoren met een vermogen van 100W per stuk. Dit komt neer op een ventilatorvermogen van 7,14W per kW thermisch vermogen.
- De circulatiepomp voor de bodemwarmtepomp heeft een gemiddeld vermogen van 350W, ongeacht of het een verticale of horizontale grondwarmtewisselaar betreft. Ook hier betreft het een installatie van 14 kW thermisch vermogen, wat neerkomt op een pompvermogen van 25W per kW thermisch vermogen.
- De pomp, verantwoordelijk voor het oppompen van grondwater, heeft een gemiddeld vermogen van 500W. Dit is hoger dan voor de bodemwarmtepomp voor een warmtepomp met een identiek thermisch vermogen, omdat het te overwinnen hoogteverschil groter is. Er wordt dus uitgegaan van een pompvermogen van 35,7W per kW thermisch vermogen.
- Voor het gas en stookolieverwarmingssysteem wordt een vermogen van respectievelijk 3,926W en 8,65W genomen, en dit op basis van technische fiches van enkele merken. De gebruikte cijfers bij de bepaling van deze waarden zijn terug te vinden in bijlage 7 op pagina 165.
- De circulatiepomp voor vloerverwarming heeft voor alle verwarmingssystemen een verbruik van 100W/h.

Nu de secundaire verbruikers van de verschillende systemen gedefinieerd zijn, kan er overgegaan worden naar de berekening van het totale secundaire verbruik per jaar. Omdat de verwarming niet continu op het maximum van zijn vermogen zal opereren, dienen de secundaire verbruikers dat ook niet te doen. Immers dient er bij de warmtepompen een lager debiet aan lucht of water te zijn bij een lager thermisch vermogen. Hierdoor kunnen de ventilatoren op een lager toerental draaien en dienen pompen niet zoveel aan te slaan.

De werkelijke capaciteitsbenutting van de secundaire verbruikers is te bekomen door de werkelijke warmtevraag van de woning tijdens het stookseizoen te delen door de maximale warmteproductie van de installatie. Deze maximale warmteproductie is gelijk aan de duur van het stookseizoen (in uren), vermenigvuldigt met het thermische vermogen van de verwarming. Door het verkregen percentage te vermenigvuldigen met het vermogen van de secundaire verbruiker en daarna te vermenigvuldigen met de lengte van het stookseizoen, krijgen we het verbruik tijdens het stookseizoen.

Bijlage 9: Dataset vermogen luchtwarmtepomp

In deze bijlage wordt de dataset gegeven die gebruikt wordt bij de bepaling van de gemiddelde lineaire afname in het vermogen van de luchtwarmtepomp bij dalende buitentemperaturen. Uit de opgegeven vermogensdaling tussen 2°C en -7°C kunnen we een lineaire daling per °C bekomen.

Tabel 33: Data en berekening vermogensafname luchtwarmtepomp

Vermogen bij -7°C (in kW)	Vermogen bij 2°C (in kW)	Vermogen bij -7°C / Vermogen bij 2°C
5,4	6,7	0,80597
6,6	8,1	0,814815
9,6	11,3	0,849558
13	14,8	0,878378
18	21	0,857143
23	29	0,793103
28	34	0,823529
6,3	8,1	0,777778
9,2	12	0,766667
15	18,5	0,810811
Gemiddelde		0,817775
Lineaire daling per °C		0,0221

Bronnen tabel:

Mitsubishi. (2009). Prijslijst 2009-2010. Opgevraagd op 10 maart 2010, via <http://www.luyten-airco.be/folders/modulo-nl.html>

Roth. (z.d.). Warmtepompensystemen. Opgevraagd op 10 maart 2010, via

Stiebel Eltron. (2009). Water en warmte in een groene wereld. Opgevraagd op 10 maart 2010, via http://www.stiebel-eltron.nl/imperia/md/content/lg/stiebel-eltronnederland/vakpartners/producten/duurzame_energie_algemeen_2009.pdf

Bijlage 10: Dimensionering van een verwarmingssysteem

De dimensionering van een verwarmingssysteem is een belangrijke stap. In deze stap wordt namelijk de grootte van het nodige thermische vermogen van de installatie bepaald. Een over- of ondergedimensioneerde verwarming zal zorgen voor een respectievelijk te hoge investeringskost of onvoldoende verwarming tijdens de winter.

De dimensionering van een systeem is dus een compromis tussen een hoge investering en onvoldoende verwarming. Algemeen aanvaard is dat, voor België, de verwarming in staat moet zijn om het huis te verwarmen, indien de buitentemperatuur gelijk is aan -10°C . In de berekening van het warmteverlies per uur worden de transmissieverliezen en de ventilatieverliezen betrokken.

Aan de hand van de vastgestelde buitentemperatuur van -10°C worden het transmissieverlies en het ventilatieverlies na warmteterugwinning per uur berekend. En dit volgens de formules in bijlage 3 op pagina 137. De som van deze verliezen wordt vervolgens vermenigvuldigd met het systeemrendement om zo de energiebehoefte per uur te bekomen. Aangezien vermogen maal uur gelijk is aan verbruik kan er simpel worden overgegaan van het verbruik, aan warmte per uur naar het benodigde thermische vermogen van de verwarmingsinstallatie.

Hieronder wordt de dimensionering van de verwarmingssystemen voor de verschillende cases gegeven.

Tabel 34: Dimensionering per case

Case	Dimensionering (in kW thermisch)
Open bebouwing	11,99 kW
Halfopen bebouwing	15,85 kW
Gesloten bebouwing	10,43 kW

Bijlage 11: Input

In deze bijlage wordt in eerste instantie de input voor het model bekeken. Nadat de verschillende inputrubrieken aan bod zijn gekomen focussen we op de input van de verschillende cases.

Model

De input van de gebruiker bestaat uit verschillende luiken. Hierna worden deze opgesomd:

- Variabelen met betrekking tot de warmtevraag van de woning
- Efficiëntievariabelen
- Investeringsvariabelen
- Werkingskosten
- Variabelen in verband met de lening
- Subsidies en premies

Het eerste luik behelst de inputvariabelen die invloed hebben op de warmtevraag van de woning. Hierna volgt een lijst met alle benodigde input in dit luik. Indien er gekozen moet worden uit een antwoordenlijst staan de mogelijke antwoorden aangegeven.

- De oppervlakte en U-waarde van de constructiedelen
- De oriëntatie en karakteristieken van de ramen of transparante onderdelen
- Het K-peil
- De luchtverversingsgraad van de woning
- Het totale beschermde volume van de woning
- De bewoonbare oppervlakte
- De gewenste binnentemperatuur
- Het percentage warmterecuperatie in het ventilatiesysteem
- De regeling van de binnentemperatuur (centraal of decentraal)
- De regeling van de vertrektemperatuur van de warmtetransporterende vloeistof (constant of variabel)
- De plaatsing van alle leidingen binnen het beschermde volume (ja of nee)
- De plaatsing van buffervaten binnen het beschermde volume (ja of nee)

Het tweede luik zijn de efficiëntievariabelen. De theoretische efficiëntie van een verwarmingssysteem zal, na verwerking, gebruikt worden in de bepaling van de energiebehoefte voor woningverwarming. De gevraagde parameters zijn de volgende:

- Prestatiecoëfficiënt luchtwarmtepomp
- Prestatiecoëfficiënt bodemwarmtepomp
- Prestatiecoëfficiënt waterwarmtepomp
- Theoretische efficiëntie gasketel
- Theoretische efficiëntie stookolieketel

Het derde luik zijn de investeringsvariabelen. Deze variabelen zijn afhankelijk van de grootte van het vermogen van het systeem en het type systeem. Alle ingevoerde prijzen betreffen prijzen inclusief BTW.

- Luchtwarmtepomp
 - Kostprijs warmtepomp
 - Kosten installering
- Bodemwarmtepomp
 - Kostprijs warmtepomp
 - Kosten captatienet
 - Kosten installering
- Waterwarmtepomp
 - Kostprijs warmtepomp
 - Kosten warmtebron
 - Kosten installering
- Stookolie
 - Kostprijs stookolieketel
 - Kostprijs reservoir
 - Kosten installering
 - Plaatsing schoorsteenbuis
 - Stookolieleiding

- Gas
 - Kostprijs gasketel
 - Kostprijs aansluiting
 - Kosten installering
 - Plaatsing van schoorsteenbuis
 - Gasleiding

De werkingskosten zijn het vierde luik. Hier moeten de prijzen van de verschillende grondstoffen worden gegeven voor de berekening van de werkingskosten.

- Dagtarief elektriciteit, per kWh
- Nachttarief elektriciteit, per kWh
- Prijs per liter stookolie
- Prijs per kWh gas
- Vaste vergoedingen gas

Hierna volgen als voorlaatste luik de parameters voor de lening. De parameters komen per verwarmingssysteem voor omdat het onwaarschijnlijk is dat er, door de grote verschillen in investeringskosten, voor elk systeem dezelfde lening zal worden aangegaan.

- Geleend bedrag
- Intrestpercentage lening
- Looptijd lening
- Terugbetaling in het begin of einde van de maand

Het laatste luik betreft de subsidies en premies. Vanzelfsprekend zullen deze parameters aan bod komen bij de bepaling van het aantal premies en de grootte ervan. De premies zijn gelding voor investeringen tijdens 2010.

- Bouwjaar woning
- Vervanging oude stookolieketel (ja of nee)
- Groene lening (ja of nee)
- Compressorvermogen
 - Luchtwarmtepomp
 - Grondwarmtepomp
 - Waterwarmtepomp
- Netbeheerder (Eandis, Infrac, PBE)

- Gemeenteggebonden subsidies
 - Luchtwarmtepomp
 - Grondwarmtepomp
 - Waterwarmtepomp
 - Gas
- Andere subsidies
 - Luchtwarmtepomp
 - Grondwarmtepomp
 - Waterwarmtepomp
 - Gas

Input openbebouwing

Hieronder wordt de input van de eerste case gegeven. In deze case staat een openbebouwing centraal. De opsomming van de gegevens gebeurt in de volgorde bepaald in de vorige bijlage. We krijgen dus opeenvolgend:

- Variabelen met betrekking tot de warmtevraag van de woning
- Efficiëntievariabelen
- Investeringsvariabelen
- Werkingskosten
- Variabelen in verband met de lening
- Subsidies en premies

Beginnen doen we dus met de variabelen in verband met de warmtevraag van de woning.

Tabel 35: Overzicht gegevens warmtevraag openbebouwing (Vlaams energieagentschap, 2009)

Variabelen met betrekking tot de warmtevraag van de woning		
Beschermd volume	720,72 m ³	
Verliesoppervlak	511,00 m ²	
Compactheid	1,41	
Bruto vloeroppervlakte	247,00 m ²	
Transmissieverliezen	Oppervlakte	U-waarde
Verliesoppervlakken vloer	143 m ²	0,27 W/m ² K
Verliesoppervlakken ramen	32,94 m ²	1,1 W/m ² K
Verliesoppervlakken buitendeuren	9,24 m ²	1,31 W/m ² K
Verliesoppervlakken buitenmuren	158,78 m ²	0,35 W/m ² K
Verliesoppervlakken dak	167,38 m ²	0,27 W/m ² K
K-peil woning	K40	
Oriëntatie van de ramen		
Raamoppervlakken	Noord	4,68 m ²
	Zuid	15,87 m ²
	West	2,70 m ²
	Oost	9,69 m ²
Ventilatieverliezen		
Luchtdichtheid	4 m ³ /hm ² of omgerekend 2,837 h ⁻¹	
Ventilatiesysteem	D (85%)	
Zonnewinsten		
Zonnetoetredingsfactor beglazing	0,60	
Reductiefactor	Geen waarde opgegeven	
Resterende gegevens		
Gewenste binnentemperatuur	21°C	
Regeling van de binnentemperatuur	Centraal	
Regeling van de vertrektemperatuur van de warmtetransporterende vloeistof	Variabel	
Leidingen in beschermd volume	Ja	
Buffervaten in beschermd volume	Ja	

Tabel 36: Overzicht efficiëntievariabelen openbebouwing

Efficiëntievariabelen	
COP luchtwarmtepomp	3,6
COP bodemwarmtepomp	4,75
COP waterwarmtepomp	5,6
Efficiëntie gasketel	108%
Efficiëntie stookolieketel	103%

Tabel 37: Overzicht investeringsvariabelen openbebouwing

Investeringsvariabelen	
Luchtwarmtepomp	
- Kostprijs warmtepomp	€ 13935,62
- Kosten installering	€ 750
Bodemwarmtepomp	
- Kostprijs warmtepomp	€ 9356,34
- Kosten captatienet	€ 6315,00
- Kosten installering	€ 750
Water warmtepomp	
- Kostprijs warmtepomp	€ 10332,88
- Kosten waterbron	€ 7500
- Kosten installering	€ 750
Gas	
- Kostprijs gasketel	€ 5091,18
- Kostprijs aansluiting	€ 2500
- Kosten installering	€ 1250
- Plaatsing van schoorsteenbuis (10m)	€ 750
- Gasleiding (10m)	€ 250
Stookolie	
- Kostprijs stookolieketel	€ 2540,04
- Kostprijs reservoir	€ 250
- Kosten installering	€ 950
- Plaatsing van schoorsteenbuis (10m)	€ 750
- Stookolieleiding (10m)	€ 550

Tabel 38: Overzicht werkingskosten openbebouwing

Werkingskosten	
Dagtarief elektriciteit	€ 0,2072 per kWh
Nachttarief elektriciteit	€ 0,1269 per kWh
Gas	€ 0,0465 per kWh
Vaste vergoeding gas	€ 138,21
Stookolie	€ 0,6078 per liter

Tabel 39: Variabelen met betrekking tot de lening openbebouwing

Variabelen in verband met de lening					
Type verwarming	Geleend bedrag	Intrest-percentage	Looptijd (jaar)	Terugbetaling	Andere kosten
Luchtwarmtepomp	100%	4%	10	Einde	0
Bodemwarmtepomp	100%	4%	10	Einde	0
Waterwarmtepomp	100%	4%	10	Einde	0
Gasketel	100%	4%	7	Einde	0
Stookolieketel	100%	4%	5	Einde	0

Tabel 40: Subsidies en premies openbebouwing

Subsidies en premies	
Bouwjaar woning	2010
Vervanging oude stookolieketel	Nee
Groene lening	Ja
Compressorvermogen	
- Luchtwarmtepomp	3,33
- Bodemwarmtepomp	2,53
- Waterwarmtepomp	2,14
Netbeheerder	Eandis
Gemeentegebonden subsidies	
- Luchtwarmtepomp	0
- Bodemwarmtepomp	0
- Waterwarmtepomp	0
- Gas	0
Andere subsidies	
- Luchtwarmtepomp	0
- Bodemwarmtepomp	0
- Waterwarmtepomp	0
- Gas	0

Input halfopen bebouwing

Na de input gebruikt in de case van de openbebouwing kijken we naar de input voor de volgende case. In deze case staat een halfopen bebouwing centraal. Het voordeel van deze woning met betrekking tot warmtevraag doet zich voor in de grotere compactheid door een kleiner verliesoppervlak. Dit kleinere verliesoppervlak wordt bekomen door de gemeenschappelijke muur. Toch zal de uiteindelijke warmtevraag hoger liggen door de hogere ventilatieverliezen. Er is namelijk geen warmteterugwinning aanwezig.

Ook hier komen de volgende rubrieken voor:

- Variabelen met betrekking tot de warmtevraag van de woning
- Efficiëntievariabelen
- Investeringsvariabelen
- Werkingskosten
- Variabelen in verband met de lening
- Subsidies en premies

Beginnen doen we met de variabelen in verband met de warmtevraag van de woning.

Tabel 41: Overzicht gegevens warmtevraag halfopen bebouwing (Vlaams energieagentschap, 2009)

Variabelen met betrekking tot de warmtevraag van de woning		
Beschermd volume	723,07 m ³	
Verliesoppervlak	403,94 m ²	
Compactheid	1,79	
Bruto vloeroppervlakte	256,81 m ²	
Transmissieverliezen	Oppervlakte	U-waarde
Verliesoppervlakken vloer	103,68 m ²	0,20 W/m ² K
Verliesoppervlakken ramen	32,24 m ²	1,1 W/m ² K
Verliesoppervlakken buitendeuren	9,24 m ²	1,30 W/m ² K
Verliesoppervlakken buitenmuren	135,21 m ²	0,35 W/m ² K
Verliesoppervlakken dak	123,57 m ²	0,27 W/m ² K
K-peil woning	K39	
Oriëntatie van de ramen		
Raamoppervlakken	Noord	2,72 m ²
	Zuid	16,44 m ²
	West	13,08 m ²
	Oost	0 m ²
Ventilatieverliezen		
Luchtdichtheid	1 h ⁻¹	
Ventilatiesysteem	C	
Zonnewinsten		
Zonnetoetredingsfactor beglazing	0,64	
Reductiefactor	Geen waarde opgegeven	
Resterende gegevens		
Gewenste binnentemperatuur	21°C	
Regeling van de binnentemperatuur	Centraal	
Regeling van de vertrektemperatuur van de warmtetransporterende vloeistof	Variabel	
Leidingen in beschermd volume	Ja	
Buffervaten in beschermd volume	Ja	

Tabel 42: Overzicht efficiëntievariabelen halfopen bebouwing

Efficiëntievariabelen	
COP luchtwarmtepomp	3,6
COP bodemwarmtepomp	4,75
COP waterwarmtepomp	5,6
Efficiëntie gasketel	108%
Efficiëntie stookolieketel	103%

Tabel 43: Overzicht investeringsvariabelen halfopen bebouwing

Investeringsvariabelen	
Luchtwarmtepomp	
- Kostprijs warmtepomp	€ 15728,51
- Kosten installering	€ 750
Bodemwarmtepomp	
- Kostprijs warmtepomp	€ 10261,03
- Kosten captatienet	€ 8342,944
- Kosten installering	€ 750
Water warmtepomp	
- Kostprijs warmtepomp	€ 11062,22
- Kosten waterbron	€ 7500
- Kosten installering	€ 750
Gas	
- Kostprijs gasketel	€ 5318,58
- Kostprijs aansluiting	€ 2500
- Kosten installering	€ 1250
- Plaatsing van schoorsteenbuis (10m)	€ 750
- Gasleiding (10m)	€ 250
Stookolie	
- Kostprijs stookolieketel	€ 2660,60
- Kostprijs reservoir	€ 250
- Kosten installering	€ 950
- Plaatsing van schoorsteenbuis (10m)	€ 750
- Stookolieleiding (10m)	€ 550

Tabel 44: Overzicht werkingskosten halfopen bebouwing

Werkingskosten	
Dagtarief elektriciteit	€ 0,2072 per kWh
Nachttarief elektriciteit	€ 0,1269 per kWh
Gas	€ 0,0465 per kWh
Vaste vergoeding gas	€ 138,21
Stookolie	€ 0,6078 per liter

Tabel 45: Variabelen met betrekking tot de lening halfopen bebouwing

Variabelen in verband met de lening					
Type verwarming	Geleend bedrag	Intrest-percentage	Looptijd (jaar)	Terugbetaling	Andere kosten
Luchtwarmtepomp	100%	4%	10	Einde	0
Bodemwarmtepomp	100%	4%	10	Einde	0
Waterwarmtepomp	100%	4%	10	Einde	0
Gasketel	100%	4%	7	Einde	0
Stookolieketel	100%	4%	5	Einde	0

Tabel 46: Subsidies en premies halfopen bebouwing

Subsidies en premies	
Bouwjaar woning	2010
Vervanging oude stookolieketel	Nee
Groene lening	Ja
Compressorvermogen	
- Luchtwarmtepomp	4,4
- Bodemwarmtepomp	3,34
- Waterwarmtepomp	2,83
Netbeheerder	Infracx
Gemeenteggebonden subsidies	
- Luchtwarmtepomp	0
- Bodemwarmtepomp	0
- Waterwarmtepomp	0
- Gas	0
Andere subsidies	
- Luchtwarmtepomp	0
- Bodemwarmtepomp	0
- Waterwarmtepomp	0
- Gas	0

Input gesloten bebouwing

Als laatste wordt de input van de gesloten bebouwing toegelicht. Ook hier wordt de vertrouwde voorstellingswijze gebruikt met volgende volgorde:

- Variabelen met betrekking tot de warmtevraag van de woning
- Efficiëntievariabelen
- Investeringsvariabelen
- Werkingskosten
- Variabelen in verband met de lening
- Subsidies en premies

Deze gesloten bebouwing heeft nog een grotere compactheid dan de halfopen bebouwing, ook heeft ze de beste isolatiewaarde. Ondanks het ontbreken van warmteterugwinning van de ventilatieverliezen is de warmtevraag de kleinste van alle cases.

Het overzicht van de input van deze case beginnen we met de variabelen in verband met de warmtevraag van de woning.

Tabel 47: Overzicht gegevens warmtevraag gesloten bebouwing (Vlaams energieagentschap, 2009)

Variabelen met betrekking tot de warmtevraag van de woning		
Beschermd volume	546,20 m ³	
Verliesoppervlak	245,24 m ²	
Compactheid	2,23	
Bruto vloeroppervlakte	182,71 m ²	
Transmissieverliezen	Oppervlakte	U-waarde
Verliesoppervlakken vloer	68,68 m ²	0,24 W/m ² K
Verliesoppervlakken ramen	18,93 m ²	1,1 W/m ² K
Verliesoppervlakken buitendeuren	3,95 m ²	1,49 W/m ² K
Verliesoppervlakken buitenmuren	73,45 m ²	0,34 W/m ² K
Verliesoppervlakken dak	80,23 m ²	0,27 W/m ² K
K-peil woning	K31	
Oriëntatie van de ramen		
Raamoppervlakken	Noord	6,53 m ²
	Zuid	12,4 m ²
	West	0 m ²
	Oost	0 m ²
Ventilatieverliezen		
Luchtdichtheid	1 h ⁻¹	
Ventilatiesysteem	C	
Zonnewinsten		
Zonnetoetredingsfactor beglazing	0,60	
Reductiefactor	Geen waarde opgegeven	
Resterende gegevens		
Gewenste binnentemperatuur	21°C	
Regeling van de binnentemperatuur	Centraal	
Regeling van de vertrektemperatuur van de warmtetransporterende vloeistof	Variabel	
Leidingen in beschermd volume	Ja	
Buffervaten in beschermd volume	Ja	

Tabel 48: Overzicht efficiëntievariabelen gesloten bebouwing

Efficiëntievariabelen	
COP luchtwarmtepomp	3,6
COP bodemwarmtepomp	4,75
COP waterwarmtepomp	5,6
Efficiëntie gasketel	108%
Efficiëntie stookolieketel	103%

Tabel 49: Overzicht investeringsvariabelen gesloten bebouwing

Investeringsvariabelen	
Luchtwarmtepomp	
- Kostprijs warmtepomp	€ 13207,75
- Kosten installering	€ 750
Bodemwarmtepomp	
- Kostprijs warmtepomp	€ 8989,05
- Kosten captatienet	€ 5491,7
- Kosten installering	€ 750
Water warmtepomp	
- Kostprijs warmtepomp	€ 10036,78
- Kosten waterbron	€ 7500
- Kosten installering	€ 750
Gas	
- Kostprijs gasketel	€ 4998,86
- Kostprijs aansluiting	€ 2500
- Kosten installering	€ 1250
- Plaatsing van schoorsteenbuis (10m)	€ 750
- Gasleiding (10m)	€ 250
Stookolie	
- Kostprijs stookolieketel	€ 2491,09
- Kostprijs reservoir	€ 250
- Kosten installering	€ 950
- Plaatsing van schoorsteenbuis (10m)	€ 750
- Stookolieleiding (10m)	€ 550

Tabel 50: Overzicht werkingskosten gesloten bebouwing

Werkingskosten	
Dagtarief elektriciteit	€ 0,2072 per kWh
Nachttarief elektriciteit	€ 0,1269 per kWh
Gas	€ 0,0465 per kWh
Vaste vergoeding gas	€ 138,21
Stookolie	€ 0,6078 per liter

Tabel 51: Variabelen met betrekking tot de lening gesloten bebouwing

Variabelen in verband met de lening					
Type verwarming	Geleend bedrag	Intrest-percentage	Looptijd (jaar)	Terugbetaling	Andere kosten
Luchtwarmtepomp	100%	4%	10	Einde	0
Bodemwarmtepomp	100%	4%	10	Einde	0
Waterwarmtepomp	100%	4%	10	Einde	0
Gasketel	100%	4%	7	Einde	0
Stookolieketel	100%	4%	5	Einde	0

Tabel 52: Subsidies en premies gesloten bebouwing

Subsidies en premies	
Bouwjaar woning	2010
Vervanging oude stookolieketel	Nee
Groene lening	Ja
Compressorvermogen	
- Luchtwarmtepomp	2,9
- Bodemwarmtepomp	2,2
- Waterwarmtepomp	1,86
Netbeheerder	Eandis
Gemeentegebonden subsidies	
- Luchtwarmtepomp	0
- Bodemwarmtepomp	0
- Waterwarmtepomp	0
- Gas	0
Andere subsidies	
- Luchtwarmtepomp	0
- Bodemwarmtepomp	0
- Waterwarmtepomp	0
- Gas	0

Bronnen gebruikt in bijlage 11

Vlaams energieagentschap (VEA). (2009). Voorbeeldwoningen. Opgevraagd op 1 november 2009, via <http://www2.vlaanderen.be/economie/energiesparen/epb/doc/voorbeeldwoningen-april%202009.pdf>.

Bijlage 12: Crystal Ball

Runs

Er werd gekozen om 100.000 simulaties uit te voeren per case. Door de "extreme speed" optie van de gebruikte Crystal Ball software wordt dit aantal simulaties uitgevoerd in slechts 15 seconden.

Assumpties

Energieprijzen

- Piek tarief elektriciteit
- Daltarief elektriciteit
- Stookolieprijs per liter
- Gasprijs
- Vastrecht gas

Tabel 53: Crystal Ball assumpties omtrent energieprijzen

Assumptie	Meest waarschijnlijk	Minimum (-10%)	Maximum (10%)
Piektarief elektriciteit	€ 0,2072	€ 0,18648	€ 0,22792
Daltarief elektriciteit	€ 0,1269	€ 0,11421	€ 0,13959
Stookolieprijs per liter	€ 0,6078	€ 0,54702	€ 0,66858
Gasprijs	€ 0,0465	€ 0,04185	€ 0,05115
Vastrecht gas	€ 138,21	€ 124,389	€ 152,031

Investeringskosten

- Lucht
- Bodem
- Water
- Gas
- Stookolie

Tabel 54: Crystal Ball omtrent investeringskosten

Assumptie	Meest waarschijnlijk	Minimum (-10%)	Maximum (10%)
Investeringskost Lucht	€ 14.685,62	€ 13.217,06	€ 16.154,18
Investeringskost Bodem	€ 16.421,34	€ 14.779,21	€ 18.063,47
Investeringskost Water	€ 18.582,88	€ 16.724,59	€ 20.441,16
Investeringskost Gas	€ 5.040,04	€ 4.536,03	€ 5.544,04
Investeringskost Stookolie	€ 9.841,18	€ 8.857,06	€ 10.825,30

Reële prijsstijgingen

Rendementen

- Lucht
- Bodem
- Water
- Gas
- Stookolie

Tabel 55: Crystal Ball assumpties omtrent rendementen

Assumptie	Meest waarschijnlijk	Minimum (-10%)	Maximum (10%)
Prijsstijgingen	1,25%	0,5%	2%
Rendementsfactor Lucht	92,5%	85%	100%
Rendementsfactor Bodem	92,5%	85%	100%
Rendementsfactor Water	92,5%	85%	100%
Rendementsfactor Gas	92,5%	85%	100%
Rendementsfactor Stookolie	92,5%	85%	100%

Voorspellingen

Netto contante waarde

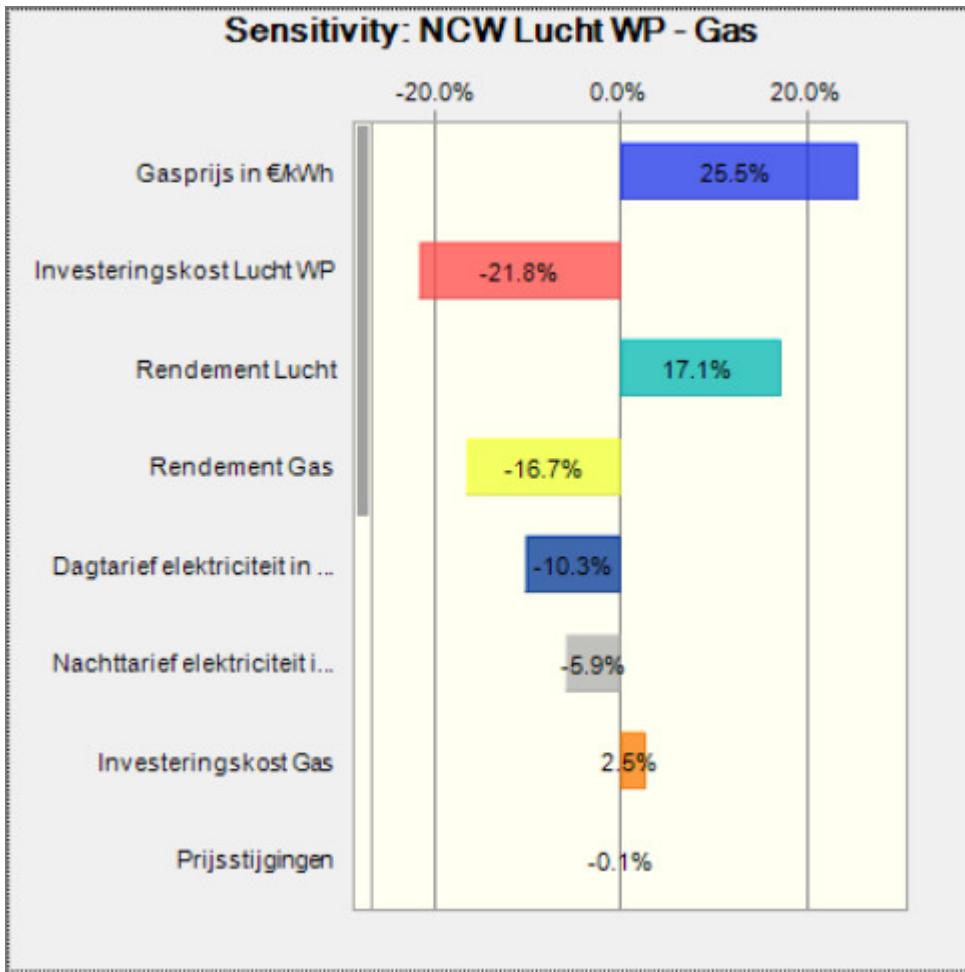
- Luchtwarmtepomp - Gas
- Bodemwarmtepomp - Gas
- Waterwarmtepomp - Gas
- Luchtwarmtepomp - Stookolie
- Bodemwarmtepomp - Stookolie
- Waterwarmtepomp - Stookolie

CO₂-uitstoot

- Luchtwarmtepomp
- Bodemwarmtepomp
- Waterwarmtepomp
- Gas
- Stookolie

Sensitiviteitsanalyse

De sensitiviteitsanalyse wordt enkel uitgevoerd voor de voorspelling van de netto contante waarden. Ze houdt rekening met de assumpties geïdentificeerd in deze bijlage. Als resultaat wordt een grafiek zoals onderstaande weergegeven. In deze figuur kan de invloed van de assumpties op de spreiding van de netto contante waarde worden afgelezen.



Figuur 11: Voorbeeld sensitiviteitsanalyse Crystal Ball.

Bijlage 13: Netto contante waarde

In de investeringsliteratuur zijn er verschillende evaluatiemaatstaven terug te vinden. Deze maatstaven kunnen in twee onderdelen worden opgesplitst.

Het eerste onderdeel zijn de maatstaven die geen rekening houden met de tijdswaarde van geld, het tweede onderdeel houdt wel rekening met de tijdswaarde van geld (Mercken, 2004).

De netto contante houdt rekening met de tijdswaarde van geld en stelt ons in staat om na te gaan of een investering rendabeler is dan een andere. Door deze eigenschappen wordt gekozen om met enkel deze financiële maatstaf te werken. Hieronder wordt de netto contante waarde toegelicht, evenals enkele voor- en nadelen.

Netto contante waarde

Bij deze benadering worden de kasstromen verdisconteerd aan een gekende kapitaalkost of een vereist rendement. Bij een conventioneel project duidt een positieve netto contante waarde op een goede investering, bij een negatieve netto contante waarde wordt het project verworpen (Mercken, 2004).

Een hogere netto contante waarde duidt op een betere investering dan een lagere netto contante waarde.

Voordelen

- Tijdswaarde van geld
- Alle relevante kasstromen komen aan bod
- Dezelfde beslissingsregel voor alle investeringen
- Waarde van de investering wordt weergegeven in actuele monetaire termen

Nadelen

- Kapitaalkost moet gekend zijn
- Risico moet ingecalculeerd worden in rendementseis

Bronnen gebruikt in bijlage 13

Mercken, R. (2004). De investeringsbeslissing. Antwerpen: Garant.

Bijlage 14: Invloed van input en variatie binnen het model

De energieprijzen en prijsstijgingen

Variërende variabelen:

- Prijsstijgingen: triangulair (min 0,5%; modus 1,25%; max 2%)

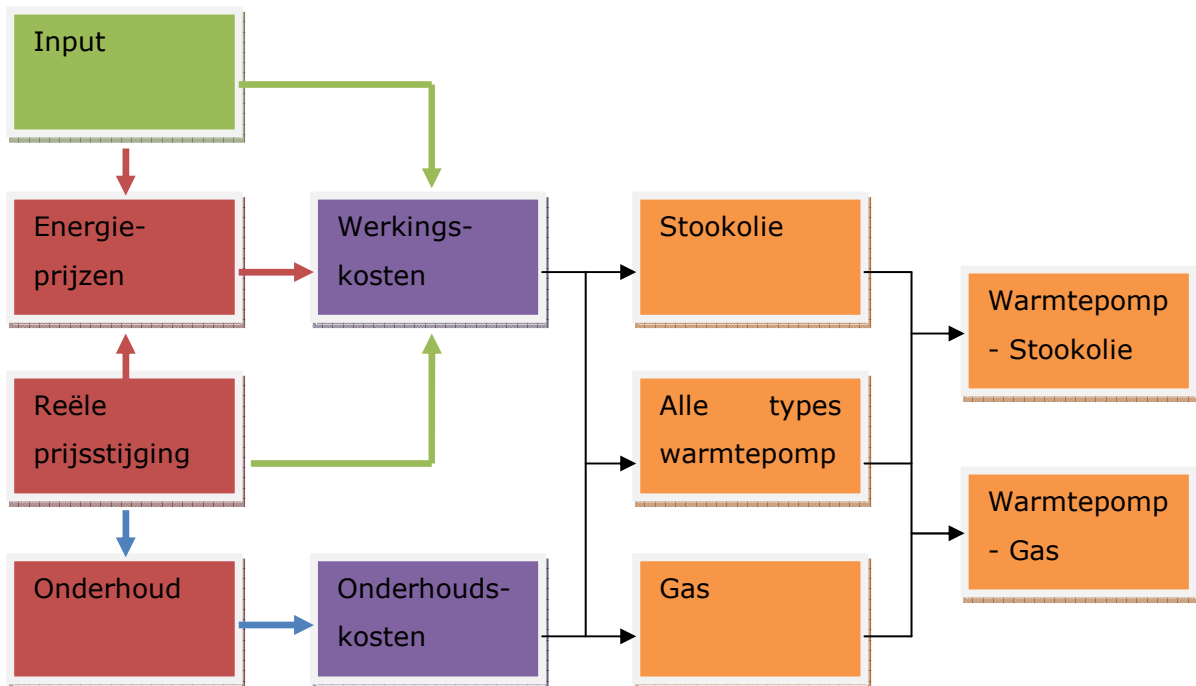
Input:

- Dagtarief elektriciteit, per kWh
- Nachttarief elektriciteit, per kWh
- Prijs per liter stookolie
- Prijs per kWh gas
- Vaste vergoedingen gas

(Rode pad in figuur) De energieprijzen worden ingegeven in het vierde luik van de input. Deze cijfers worden dan jaarlijks verhoogd met het prijsstijgingspercentage. Hierna worden deze energieprijzen vermenigvuldigd met het verbruik voor woningverwarming om de verwarmingskosten te bekomen. De verkregen kosten zijn een onderdeel van de werkingskosten dewelke een kasstroom is in de kasstroomanalyse.

(Groene pad in figuur) De prijsstijgingen hebben niet enkel een effect op de energieprijzen maar ook op het vastrecht dat betaald moet worden voor gas. Deze kost wordt verrekend in de werkingskosten van gas.

(Blauwe pad in figuur) Als laatste hebben de prijsstijgingen een invloed op het onderhoud. Voor onderhoud zal de prijsstijging slechts voor 2/3 worden doorgerekend. Deze prijsstijging heeft een invloed op de onderhoudskosten van de luchtwarmtepomp, gas en stookolie, en zal zo in de kasstroomanalyse worden opgenomen.



Rendement en rendementsbenutting

Variërende variabelen:

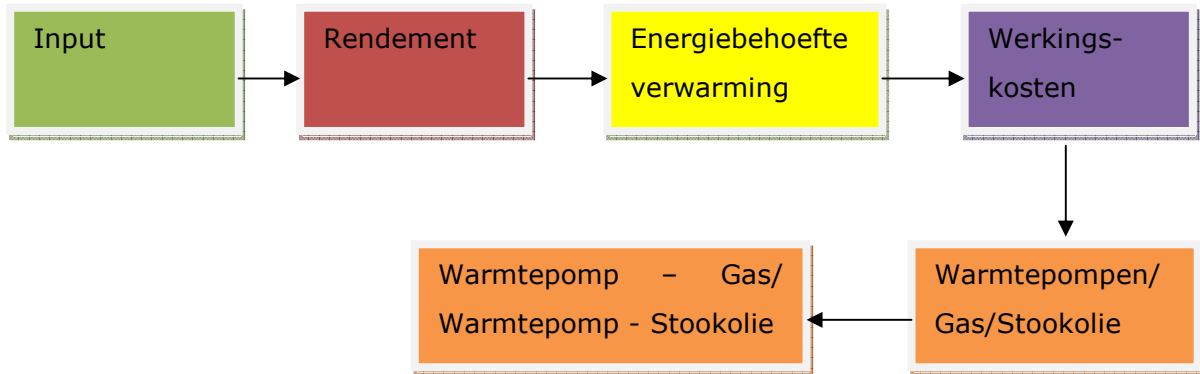
- Rendementsbenutting: triangulair (min 85%; modus 92,5%; max 100%)

Input:

- Prestatiecoëfficiënt luchtwarmtepomp
- Prestatiecoëfficiënt bodemwarmtepomp
- Prestatiecoëfficiënt waterwarmtepomp
- Theoretische efficiëntie gasketel
- Theoretische efficiëntie stookolieketel

In de input vinden we de theoretische rendementen van de verschillende verwarmingssystemen terug. Deze worden opgenomen in het tabblad rendementen. Hier wordt er eerst rekening gehouden met het rendementsverlies door slijtage, waarna er een factor op de waarde wordt toegepast. Deze rendementbenuttingsfactor zorgt voor de overgang van de theoretische rendementen opgegeven door de producenten en het behaalde rendement in de realiteit.

Het verkregen rendement wordt dan gebruikt als opwekkingsrendement bij de berekening van het verbruik voor verwarming. Dit verbruik wordt in de werkingskosten vermenigvuldigd met de energieprijzen (zie vorige pagina) om zo een invloed te hebben op de kasstroomanalyse.



Stookseizoen

Variërende variabelen:

- Begin stookseizoen (eigen verdeling, tussen 1 en 14 oktober)
- Einde stookseizoen (eigen verdeling, tussen 1 en 14 mei)

Input:

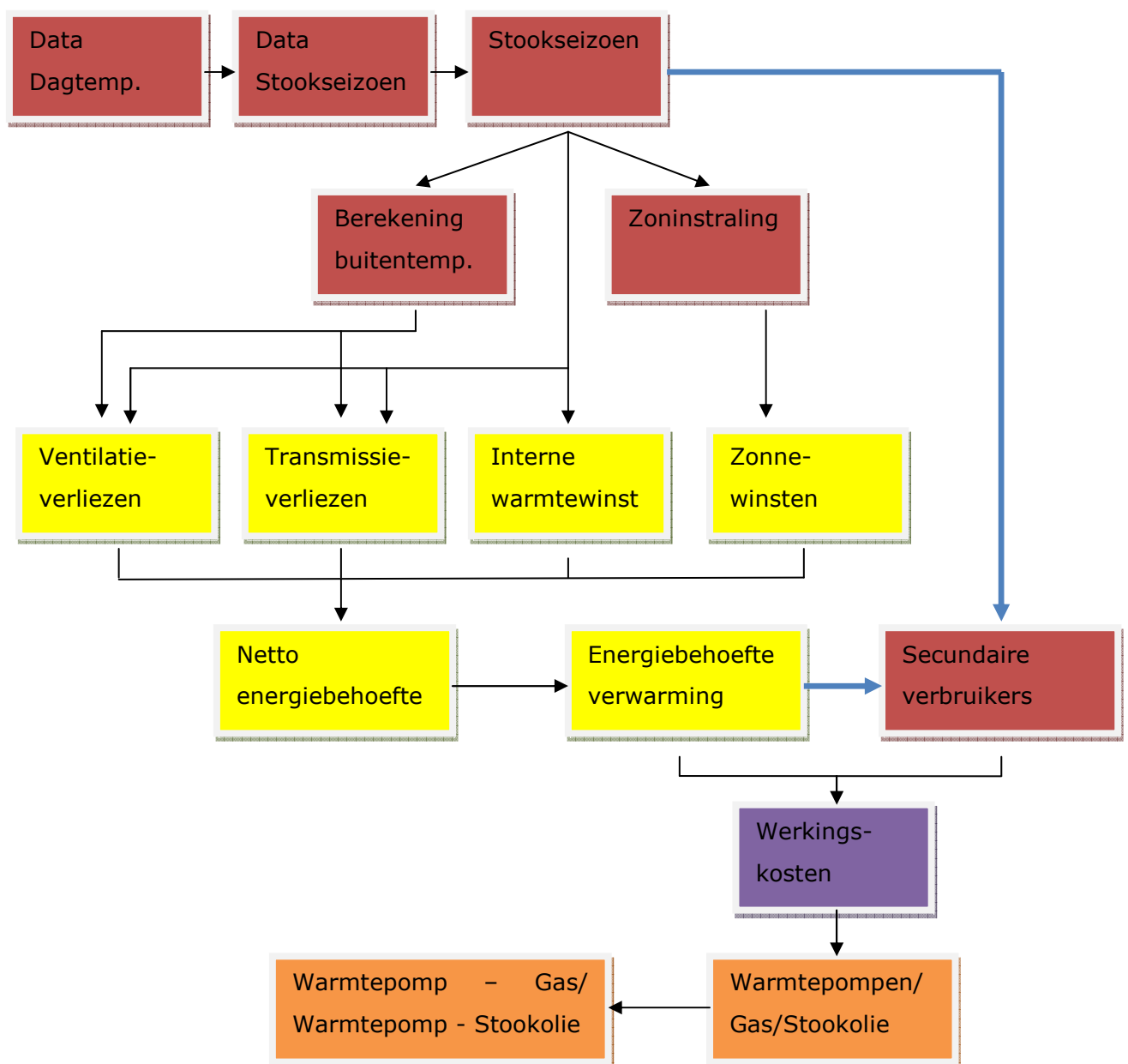
- Dagtemperatuurdata

Het stookseizoen heeft een invloed op de kasstroomanalyse op verschillende manieren.

(Zwarte pad op figuur) De eerste manier is via de energiebehoefte voor verwarming. Het stookseizoen wordt gebruikt om de totale zoninstraling en de buitentemperatuur tijdens het stookseizoen te bepalen. Hierdoor is er een indirect verband met de ventilatie- en transmissieverliezen, alsook met de zonneprijzen. Verder zijn er nog rechtstreekse verbanden met de verliezen en interne warmtewinsten. Bij de bepaling van deze verliezen en interne warmtewinsten wordt de duur van het stookseizoen rechtstreeks gebruikt.

(Blauwe pad op figuur) De tweede manier is via de secundaire verbruikers. De duur van het stookseizoen heeft een directe band en een indirecte via de energiebehoefte voor verwarming. De directe band is in de vorm van de duur van het stookseizoen. De indirecte band via de energiebehoefte is hierboven aangeduid. De energiebehoefte wordt bij de bepaling van het secundaire verbruik aangewend om het aantal draaiuren en dus het verbruik te bepalen.

Zowel de energiebehoefte voor verwarming, als het secundaire verbruik vinden via de werkingskosten hun weg naar de kasstroomanalyse.



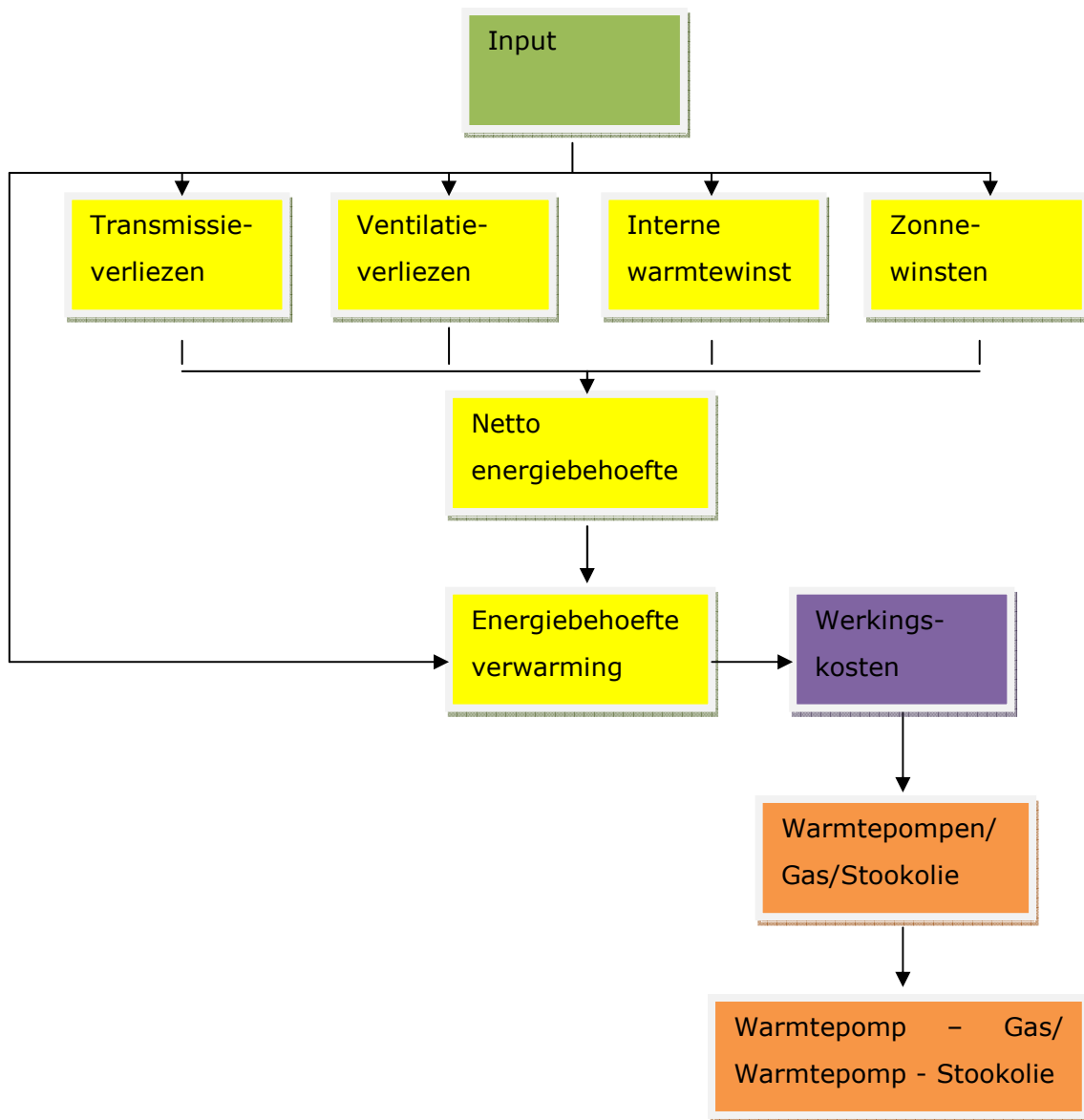
Warmtevraag

Input:

- De oppervlakte en U-waarde van de constructiedelen
- De oriëntatie en karakteristieken van de ramen of transparante onderdelen
- Het K-peil
- De luchtverversingsgraad van de woning
- Het totale beschermde volume van de woning
- De bewoonbare oppervlakte
- De gewenste binnentemperatuur
- Het percentage warmterecuperatie in het ventilatiesysteem
- De regeling van de binnentemperatuur (centraal of decentraal)
- De regeling van de vertrektemperatuur van de warmtetransporterende vloeistof (constant of variabel)
- De plaatsing van alle leidingen binnen het beschermde volume (ja of nee)
- De plaatsing van buffervaten binnen het beschermde volume (ja of nee)

De input voor de warmtevraag wordt gebruikt om het verbruik voor verwarming te berekenen.

De eerste 8 inputfactoren worden gebruikt in de verschillende componenten van de netto-energiebehoefte. Via deze weg hebben ze een invloed op de energiebehoefte voor verwarming en de werkingskosten. De laatste 4 factoren bepalen het systeemrendement en worden rechtstreeks gebruikt bij de energiebehoefteberekening voor verwarming.

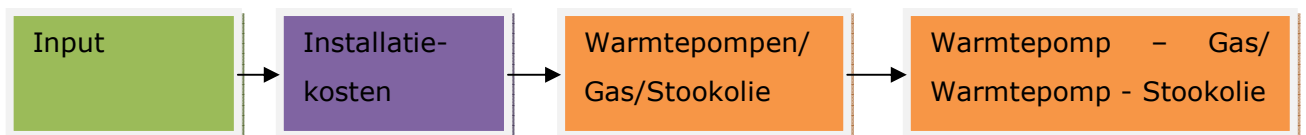


Investeringsvariabelen

Input:

- Luchtwarmtepomp
 - Kostprijs warmtepomp
 - Kosten installering
- Bodemwarmtepomp
 - Kostprijs warmtepomp
 - Kosten captatienet
 - Kosten installering
- Waterwarmtepomp
 - Kostprijs warmtepomp
 - Kosten warmtebron
 - Kosten installering
- Stookolie
 - Kostprijs stookolieketel
 - Kostprijs reservoir
 - Kosten installering
 - Plaatsing schoorsteenbuis
 - Stookolieleiding
- Gas
 - Kostprijs gasketel
 - Kostprijs aansluiting
 - Kosten installering
 - Plaatsing van schoorsteenbuis
 - Gasleiding

De investeringsvariabelen worden vrijwel direct opgenomen in de netto contante waarde berekening. Ze worden samengeteld en opgenomen als investeringskosten in de kasstromentabel.



Lening en premies

Input lening;

- Geleend bedrag
- Intrestpercentage lening
- Looptijd lening
- Terugbetaling in het begin of einde van de maand

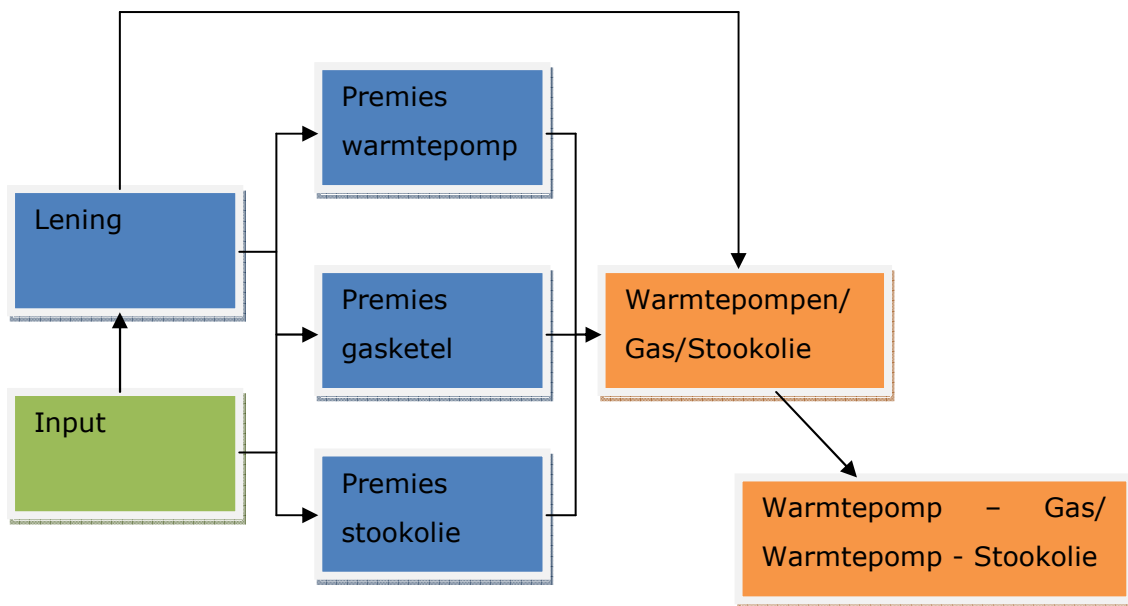
Input premies:

- Bouwjaar woning
- Vervanging oude stookolieketel (ja of nee)
- Groene lening (ja of nee)
- Compressorvermogen
 - Luchtwarmtepomp
 - Grondwarmtepomp
 - Waterwarmtepomp
- Netbeheerder (Eandis, Infrax, PBE)
- Gemeenteggebonden subsidies
 - Luchtwarmtepomp
 - Grondwarmtepomp
 - Waterwarmtepomp
 - Gas
- Andere subsidies
 - Luchtwarmtepomp
 - Grondwarmtepomp
 - Waterwarmtepomp
 - Gas

We behandelen de lening en premies samen. De premies hebben namelijk data nodig over de lening, om het voordeel van de groene lening te kunnen berekenen.

De meeste input van premies wordt gebruikt om te bepalen voor welke premies men in aanmerking komt. De waarde van deze premies vertegenwoordigen een kasstroom in de berekening van de netto contante waarde. Enkel voor de bepaling van de belastingsvermindering verbonden aan de groene lening wordt er een beroep gedaan op berekeningen van de lening.

De lening heeft een direct effect door de inkomende kasstroom van de geleende som en de uitgaande kasstromen van betalingen.



Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:

De financiële haalbaarheid van warmtepompen in vergelijking met klassieke verwarmingssystemen

Richting: **master in de toegepaste economische wetenschappen: handelsingenieur-accountancy en financiering**

Jaar: **2010**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

Kemps, Zjef

Datum: **1/06/2010**