



Generalisatie conversietechnieken in Vesta

Functioneel ontwerp voor het modelleren
van individuele warmtetechnieken



Committed to the Environment

Generalisatie conversietechnieken in Vesta

Functioneel ontwerp voor het modelleren van individuele warmtetechnieken

Dit rapport is geschreven door:
Katja Kruit, Emma Koster, Benno Schepers

Delft, CE Delft, november 2019

Publicatienummer: 19.5S86.163

Warmte / Koude / Techniek / Gebouwde omgeving / Utiliteit / Woningen / Kosten / Rendement
VT: Rekenmethode

Opdrachtgever: Planbureau voor de Leefomgeving

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider [Katja Kruit](#) (CE Delft)

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



Inhoud

1	Inleiding	3
	1.1 Afbakening	3
	1.2 Leeswijzer	3
2	Generalisatie berekeningsmethode	4
	2.1 Samenstelling van combinatie van conversietechnieken	4
	2.2 Kostenberekening	7
3	Technieken	10
	3.1 Ruimteverwarming	11
	3.2 Warmtapwater	24
	3.3 Koude	29
	3.4 Eigen opwekking met teruglevering	30
4	Overige modelaanpassingen	31
	4.1 Relatie Aansluitwaarde en netverzwaring	31
5	Beschouwing	32
6	Referenties	33



1 Inleiding

Het Vesta MAIS-model berekent de kosten, het energiegebruik en de CO₂-uitstoot van verschillende gebouwmaatregelen en gebiedsmaatregelen voor de gebouwde omgeving. In het Vesta MAIS-model kunnen individuele warmtetechnieken (conversietechnieken) worden opgelegd voor woningen en utiliteit.

Op dit moment worden alleen de HR-ketel, de hybride warmtepomp en de elektrische warmtepomp meegenomen in het model en is alleen de elektrische warmtepomp deel van de rentabiliteitsafweging. Deze is nu opgenomen in de methode van de schillabelsprongen. De hybride warmtepomp wordt ingevuld als 'add-on' op een bestaande CV-installatie met HR-ketel.

Het PBL wenst deze conversietechnieken, evenals een aantal nieuwe conversietechnieken, ook in te kunnen zetten op basis van rentabiliteit. De bestaande methode van de schillabelsprongen is hier echter modeltechnisch te complex voor. De methode van de rentabiliteitsafweging van conversietechnieken moet daarom worden gegeneraliseerd. Deze rapportage beschrijft een gegeneraliseerde afwegingsmethode voor conversietechnieken voor inpassing in het Vesta-model, evenals de relevante invoerparameters van deze conversietechnieken.

1.1 Afbakening

De conversietechnieken omvatten technieken voor de volgende functionele vraag:

- ruimteverwarming;
- warmtapwater;
- koude;
- elektriciteit.

En voor de volgende gebouwtypen:

- woningen;
- utiliteit.

1.2 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 is het functioneel ontwerp voor de gegeneraliseerde berekeningsmethode gegeven. In Hoofdstuk 3 zijn de technieken beschreven en bijbehorende parameters gegeven. Hoofdstuk 4 geeft de overige modelaanpassingen en Hoofdstuk 5 aanbevelingen om de berekeningen verder te verbeteren.

2 Generalisatie berekeningsmethode

De gegeneraliseerde berekeningsmethode bestaat uit de volgende stappen:

1. Samenstelling van combinatie van conversietechnieken.
2. Kostenberekening.

Deze stappen worden in dit hoofdstuk uiteengezet.

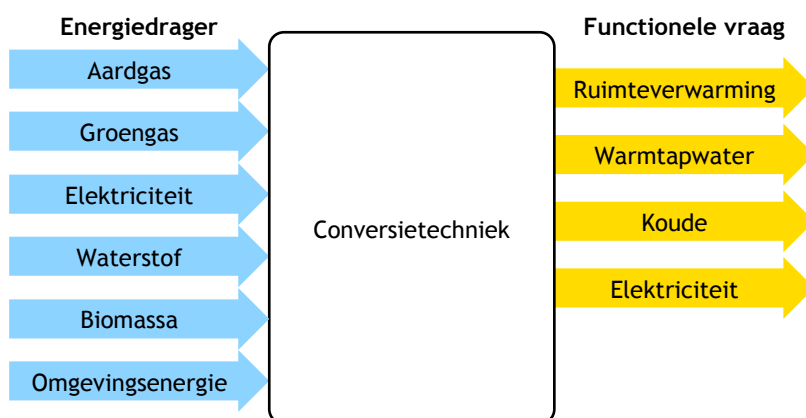
2.1 Samenstelling van combinatie van conversietechnieken

De conversietechnieken hebben allen dezelfde algemene opbouw: Een (of meer) energiedrager(s) wordt door de conversietechniek omgezet naar een functionele energiebehoefte:

$$\text{Energiedrager} \rightarrow \text{Conversietechniek} \rightarrow \text{Functionele vraag}$$

De energiedrager kan aardgas zijn, groengas, elektriciteit, biomassa, waterstof of omgevingsenergie uit de buitenlucht, grondwater of zonnestraling¹. De functionele energie-vraag kan zijn: ruimteverwarming, warmtapwater, koude of elektriciteit. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 1.

Figuur 1 - Schematische opbouw van elke conversietechniek



2.1.1 Mogelijke combinaties

In het model worden de conversietechnieken primair toegepast om ruimteverwarming te leveren. Daarnaast kan er een behoefte zijn aan warmtapwater of koude. Ten slotte kunnen sommige conversietechnieken elektriciteit leveren. De meeste conversietechnieken kunnen niet alle functies leveren; daarom moet er een samenstelling van technieken worden gemaakt om te voorzien in de energiebehoefte van het gebouw.

¹ Aan omgevingsenergie worden geen kosten toegekend en wordt daarom in de modellering niet meegenomen.

Deze samenstelling gebeurt in de volgende stappen:

1. Selectie van techniek voor ruimteverwarming (primaire techniek).
2. Levert de primaire techniek ook warmtapwater?
 - Zo niet, dan vindt selectie van een standalone techniek voor warmtapwater (TW) plaats.
3. Levert de primaire techniek ook koude?
 - Zo niet, dan vindt selectie van een standalone techniek voor koude plaats.

Voor de ruimteverwarming kan gekozen worden uit een breed scala van primaire technieken die zijn gegeven in Tabel 1. Indien niet handmatig wordt gekozen voor een combinatie-techniek voor tapwater of koude, wordt een default combinatie-techniek gekozen. De standalone technieken voor warmtapwater (TW) staan in Tabel 2. Voor het leveren van koude is op dit moment alleen airconditioning als standalone techniek beschreven. Meer add-ons en koudetechnieken kunnen op dezelfde wijze worden toegevoegd. In de samenstelling zoals hierboven geschetst ontbreekt de techniek voor elektriciteit omdat elektriciteit doorgaans wordt geleverd door het elektriciteitsnet van de distributie-bedrijven. Het is daarom niet nodig om per se een techniek toe te voegen die elektriciteit produceert. In een enkel geval levert een primaire (warmte)techniek echter wel elektriciteit zoals micro-WKK. Er zijn ook standalone technieken die elektriciteit produceren. Deze zijn niet verplicht om te kiezen maar kunnen als add-on worden bijgezet. Op dit moment is alleen zon-PV beschreven als duurzame add-on, zie Tabel 3.

Tabel 1 - Selectietabel voor default combinatie-technieken voor tapwater (TW) en koude. Indien tapwater of koude reeds is voorzien door de primaire techniek, is dit aangeduid met 'n.v.t.'

Primaire techniek (RV)	Default combinatie-techniek TW	Default combinatie-techniek koude
HR-ketel	N.v.t.	Airconditioning
e-WP (lucht)	N.v.t.	N.v.t.
e-WP (bodem)	N.v.t.	N.v.t.
e-WP (lucht-lucht)	Elektrische boiler	N.v.t.
Hybride WP (buitenlucht)	N.v.t.	Airconditioning
Hybride WP (ventilatielucht)	N.v.t.	N.v.t.
Infraroodpanelen	Elektrische boiler	Airconditioning
Micro-WKK	N.v.t.	Airconditioning
Elektrische weerstandverw.	Elektrische boiler	Airconditioning
Bio-pelletketel	N.v.t.	Airconditioning
HR-ketel (H ₂)	N.v.t.	Airconditioning

Andere mogelijke technieken voor tapwater kunnen handmatig worden gekozen.

Tabel 2 - Standalone technieken voor warmtapwater

Standalone techniek tapwater
Elektrische boiler
WP-boiler
Doorstroomapparaat
Zonneboiler

Tabel 3 - Optionele add-ons

Optionele add-ons
Zon-PV

2.1.2 Aannames voor temperatuurniveau, isolatie en afgiftesysteem

De meeste technieken verwarmen op hoge temperatuur (>70°C). Bij technieken die op lage temperatuur verwarmen, is een lagetemperatuurafgiftesysteem nodig zoals LT-radiatoren of vloerverwarming. De temperatuur waarop de techniek warmte levert hangt in sommige gevallen af van het isolatieniveau.

De aannames voor de minimale temperatuur, afgiftesysteem en ventilatie bij verschillende isolatieniveaus zijn gegeven in Tabel 4.

Tabel 4 - Aannames voor minimaal temperatuurniveau en afgiftesysteem per schillabel

Isolatieniveau	Minimaal temperatuurniveau ruimteverwarming	Afgiftesysteem	Ventilatie
A+	35°C	LT-radiatoren	Balansventilatie
B	45°C	LT-radiatoren	Mechanische ventilatie
C	55°C	LT-radiatoren	Natuurlijk
D	70°C	HT-radiatoren	Natuurlijk
E	>70°C	HT-radiatoren	Natuurlijk
F	>70°C	HT-radiatoren	Natuurlijk
G	>70°C	HT-radiatoren	Natuurlijk

Sommige ruimteverwarmingssystemen hebben geen additionele radiatoren nodig. De vereiste afgiftesystemen bij elke techniek worden gegeven in Tabel 5.

Tabel 5 - Aannames voor leveringstemperatuur, schillabeis en afgiftesysteem per techniek

Primaire techniek (RV)	Temperatuurlevering	Schillabel	Afgiftesysteem
HR-ketel	HT (>70°C)	Allen	HT
e-WP (lucht)	Afhankelijk van schillabel	Vanaf C	Afhankelijk van schillabel
e-WP (bodem)	Afhankelijk van schillabel	Vanaf C	Afhankelijk van schillabel
e-WP (lucht-lucht) ²	N.v.t.	Allen	Geen
Hybride WP (buitenlucht)	HT (>70°C)	Allen	HT
Hybride WP (ventilatielucht)	Afhankelijk van schillabel	Vanaf B	HT
Infraroodpanelen	LT	Vanaf B	Geen
Micro-WKK	HT (>70°C)	Allen	HT
Elektrische Weerstandverwarming	HT (>70°C)	Allen	Geen
Biomassaketel	HT (>70°C)	Allen	HT
Pelletkachel	HT (>70°C)	Allen	Geen
HR-ketel (H ₂)	HT (>70°C)	Allen	HT

De waarde van de investeringskosten van het afgiftesysteem zijn geen onderdeel van deze studie.

² Deze techniek wordt enkel bij utiliteit toegepast.

2.2 Kostenberekening

Deze paragraaf beschrijft de methode waarop de de jaarlijkse kosten van de conversie-techniek worden berekend. Deze worden voor elke techniek op gelijke wijze berekend:

Formule 1

$$JK = JIK + JVK + JOK$$

Hierin zijn JK de jaarlijkse kosten, JIK de jaarlijkse investeringskosten, JVK de jaarlijkse variabele kosten en JOK de jaarlijkse onderhoudskosten. Alle kosten worden berekend in euro's en exclusief BTW.

2.2.1 Jaarlijkse investeringskosten (kapitaallasten)

De investeringskosten voor woningen en utiliteit hebben een vast en een variabel gedeelte. Het variabele gedeelte hangt af van de benodigde warmtecapaciteit.

Formule 2

$$IK = IK_{vast} + IK_{cap} \cdot ASW$$

Met: IK de investeringskosten (euro)
 IK_{vast} het vaste deel van de investeringskosten (euro)
 IK_{cap} het variabele deel van de investeringskosten (euro/kW) die afhankelijk is van de capaciteit
 ASW de aansluitwaarde, ofwel de vermogensvraag voor ruimteverwarming (kW)

De investeringskosten hebben een minimale en maximale waarde. De minimale waarde wordt als volgt berekend:

Formule 3

$$IK_{min} = IK_{vast_min} + IK_{cap_min} \cdot ASW$$

Hiermee worden dus de investeringskosten gedimensioneerd op basis van de capaciteitsvraag. Voor een aantal warmtetechnieken zijn de kostencomponenten bepaald met een regressie gedaan op de investeringskosten van apparaten met verschillende vermogens. Voor andere technieken is geen afhankelijkheid berekend. Het variabele gedeelte is dan nul. De maximale waarde wordt op vergelijkbare wijze berekend.

De jaarlijkse investeringskosten (oftewel kapitaallasten) worden berekend aan de hand van de aanschaf- en installatiekosten. Deze worden verdisconteerd over de verwachte levensduur van de verwarmingsinstallatie.

Formule 4

$$JIK = \frac{IK}{(1+t)^n}$$

Met: IK de investeringskosten (euro)
 t de discontovoet
 n de afschrijftermijn (jaar)

Wanneer meerdere technieken worden gecombineerd, zoals een aparte techniek voor ruimteverwarming en warmtapwater, of een add-on van zonnepanelen, worden de

jaarlijkse investeringskosten voor elk van de componenten afzonderlijk berekend en vervolgens gesommeerd.

Utiliteit

Waar gegevens ontbreken voor de investeringskosten voor utiliteit, wordt deze gebaseerd op de waarde voor woningen. Het variabele deel van de investeringskosten kan gelijk worden gesteld aan het variabele deel voor woningen. Indien er geen variabel deel is, wordt alleen het vaste deel geschaald met het gebruiksoppervlak (GO) van het utiliteitsgebouw. Hierbij wordt aangenomen dat de vaste kosten voor een woning gelijk staan aan de vaste kosten voor 150 m² utiliteit.

2.2.2 Jaarlijkse variabele kosten

De jaarlijkse variabele kosten betreffen de energiekosten voor het voldoen aan de warmte- en eventuele koudevraag. Ook kan in Vesta MAIS gekozen worden voor het opwekken en terugleveren van elektriciteit. Daarnaast wordt gekeken naar de hulpenergie, die nodig is voor de verwarmingstechniek, onafhankelijk van het gebruik. De hulpenergie wordt onafhankelijk van de conversietechniek verondersteld. De waarden zijn te vinden in Tabel 6.

Tabel 6 - Hulpenergie van de conversietechnieken

Gebouwtype	Energievraag hulpenergie (GJ/m ² /jaar)
Woning	0,01
Bijeenkomst	0,019
Cel	0,019
Gezondheidszorg	0,016
Kantoor	0,007
Logies	0,019
Onderwijs	0,009
Sport	0,042
Winkels	0,01

Op basis van het rapport 'Verbetering referentiebeeld utiliteitssector' (Sipma, ECN 2014).

Voor elk van de technieken en functies (ruimteverwarming, tapwater, koude) wordt de energievrage per energiedrager berekend.

Formule 5

$$EV_i = FV_{RV} \cdot \eta_{RV,i} + FV_{TW} \cdot \eta_{TW,i} + FV_k \cdot \eta_{k,i} + HE_i - OW_i$$

Met: *EV* de energievrage van energiedrager *i* (GJ)
FV de functionele vraag van ruimteverwarming, tapwater en koude (GJ)
 η_i het rendement van de techniek van ruimteverwarming, tapwater en koude voor energiedrager *i* (-)
HE de benodigde hulpenergie van die energiedrager³ (GJ)
OW_i de opwek (teruglevering) van de energiedrager¹ (GJ)

³ In de praktijk is hulpenergie en teruglevering altijd elektriciteit.



Vervolgens wordt de energievraag per energiedrager vermenigvuldigd met de energieprijs van het zichtjaar.

Formule 6

$$JVK = EV_{aardgas} \cdot P_{aardgas} + EV_{groengas} \cdot P_{groengas} + EV_{elektriciteit} \cdot P_{elektriciteit} + EV_{waterstof} \cdot P_{waterstof} + EV_{biomassa} \cdot P_{biomassa}$$

Met: EV_i de energievraag van energiedrager i (GJ)
 P_i de energieprijs van energiedrager i (euro/GJ)

Wanneer meerdere technieken worden gecombineerd, zoals een aparte techniek voor ruimteverwarming en warmtapwater, of een add-on van zonnepanelen, worden de jaarlijkse variabele kosten voor elk van de componenten afzonderlijk berekend en vervolgens gesommeerd.

2.2.3 Jaarlijkse onderhoudskosten

Voor het veilig en efficiënt functioneren van de verwarmingstechnieken is regelmatig onderhoud of inspectie nodig. De onderhoudskosten voor de technieken voor ruimteverwarming en tapwater en indien van toepassing eventuele overige technieken worden gesommeerd.

Formule 7

$$JOK = JOK_{RV} + JOK_{TW} + JOK_{koude}$$

Met: JOK de jaarlijkse onderhoudskosten (in €/jaar)
 JOK_{RV} de onderhoudskosten voor ruimteverwarming (in €/jaar)
 JOK_{TW} de onderhoudskosten voor warmtapwater (in €/jaar)
 JOK_{koude} de onderhoudskosten voor koude (in €/jaar)

De onderhoudskosten van utiliteit worden berekend op basis van een percentage van de investeringskosten:

Formule 8

$$JOK_U = OK_U \cdot IK_U$$

Met: OK_U de onderhoudskosten voor utiliteit (in % van de investeringskosten per jaar)
 IK_U de investeringskosten voor utiliteit (in €)

3 Technieken

Dit hoofdstuk licht de kentallen (rekenwaarden) van de technieken toe die zijn opgenomen in deze studie. De input (energiedragers) en output (functie) van de conversietechnieken staan in Tabel 7.

Tabel 7 - Conversietechnieken die worden meegenomen

INPUT		CONVERSIE	OUTPUT (energievraag)			
Energiedrager(*)	Reeds opgenomen?	Techniek	Warmtapwater	Ruimteverwarming	Elektriciteit	Koude
Aardgas of groengas	Ja	HR-ketel	x	x		
Elektriciteit	Ja	Elektrische warmtepomp (buitenlucht)	x	x		x
Elektriciteit	Ja	Elektrische warmtepomp (bodem)	x	x		x
Elektriciteit	Ja	Hybride warmtepomp (buitenlucht)	x	x		x
Elektriciteit + gas	Ja	hybride warmtepomp (ventilatielucht)	x	x		
Biomassa	Nee	Biomassaketel	x	x		
Elektriciteit	Nee	Infraroodpanelen		x		
Elektriciteit	Nee	Elektrische warmtepomp (lucht-lucht)		x		
Elektriciteit	Nee	Elektrische weerstandverwarming		x		
Gas	Ja	Micro-WKK	x	x	x	
Biomassa	Nee	Pelletkachel		x		
Waterstof	Nee	HR-ketel (H ₂)	x	x		
Elektriciteit	Nee	Elektrische boiler	x			
Elektriciteit	Nee	Booster-WP	x			
Elektriciteit	Nee	WP-boiler	X			
Elektriciteit	Nee	Elektrisch doorstroom-apparaat	X			
Zon	Ja	Zonneboiler	x			
Elektriciteit	Nee	Airconditioning				x
Zon	Ja	Zon-PV			x	

(*) Omgevingsenergie is hier niet opgenomen omdat hieraan geen kosten worden toegerekend.

De kentallen beschrijven de volgende parameters:

- Investeringskosten.
- Onderhoudskosten, voor woningen uitgedrukt in €/jaar en voor utiliteit als percentage van de investeringskosten. Dit percentage is bepaald op basis van de waarden voor woningen.
- Rendement (energie-efficiëntie) en evt. afhankelijkheid van energielabel.
- Afschrijftermijn.

- Schaalvoordeel bij blokverwarming, uitgedrukt in een aftrekpercentage van de investeringskosten (geen data beschikbaar maar parameter geïntroduceerd voor latere uitwerking).
- Investeringskosten bij projectmatige aanpak (indien data beschikbaar).
- Eventuele additionele elektrische capaciteitsvraag.
- Eventuele randvoorwaarden zoals schillabels.

3.1 Ruimteverwarming

In deze paragraaf komen de primaire technieken voor de ruimteverwarming aan bod. Sommige daarvan wekken ook zelf energie op en leveren daarbij ook warmtapwater, koude en/of elektriciteit (teruglevering).

3.1.1 HR-ketel

Een hoogrendement-combiketel of HR-combiketel is een warmtetechniek voor de productie van ruimteverwarming en warmtapwater. De HR-combiketel verwarmt water door aardgas of groengas te verbranden.

In een HR-ketel wordt extra rendement verkregen door condensatie van de waterdamp in de rookgassen. Daarom is het rendement afhankelijk van de retourwatertemperatuur. In de modellering wordt uitgegaan van een HR104-ketel.

Er wordt gerekend met de onderwaarde van de verbrandingswaarde van gas.

Tabel 8 - Kengetallen HR-ketel

Kengetal	Afkorting	Rekenwaarde	Eenheid	Bron
Min investeringskosten woningen - vaste component	IK_W_VAST_MIN	1.692,19	€/woning	Arcadis (2017)
Min investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	IK_W_CAP_MIN	0,00	€/kW	
Max investeringskosten woningen - vaste component	IK_W_VAST_MAX	1.859,50	€/woning	warmtetechnieken.nl
Max investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	IK_W_CAP_MAX	-	€/kW	
Investeringskosten utiliteiten	IK_U	5,73	€/m ² GO	Arcadis (2018b)
Afschrijftermijn	AT	15	Jaar	warmtetechnieken.nl
Onderhoudskosten woning	OK_W	82,64	€/jaar	warmtetechnieken.nl
Onderhoudskosten utiliteit	OK_U	4%	% van investering	
Schaalvoordeel bij blokverwarming	BV_perc	0%	%	
Voordeel bij projectmatig	PM_perc	2%	% van investering	Arcadis (2017)
Rendement ruimteverwarming	η_{RV}	104%		warmtetechnieken.nl
Rendement tapwater	η_{TW}	72%		warmtetechnieken.nl
Rendement koude		n.v.t.		

3.1.2 Elektrische luchtwarmtepomp

Een elektrische luchtwarmtepomp gebruikt energie uit de lucht die met behulp van elektriciteit wordt opgewaardeerd voor de ruimteverwarming en eventueel het tapwater. De kostenkengetallen zijn te vinden in Tabel 9. De investeringskosten zijn gebaseerd op de validatiesessies van Vesta MAIS.

De investeringskosten en rendement/verliezen zijn inclusief buffervat.

Tabel 9 - Kengetallen elektrische luchtwarmtepomp

Kental	Afkorting	Rekenwaarde	Eenheid	Bron
Min investeringskosten woningen - vaste component ⁴	IK_W_VAST_MIN	5.359	€/woning	Vesta validatie (projectmatig)
Min investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	IK_W_CAP_MIN	320	€/kW	Vesta validatie (projectmatig)
Max investeringskosten woningen - vaste component	IK_W_VAST_MAX	4.637	€/woning	Vesta validatie (niet projectmatig)
Max investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	IK_W_CAP_MAX	500	€/kW	Vesta validatie (niet projectmatig)
Investeringskosten utiliteiten - vaste component	IK_U_VAST	4.300	€/utiliteit	ECW (2019)
Investeringskosten utiliteiten - component afh. v. capaciteit	IK_U_CAP	1.100	€/kW	ECW (2019)
Afschrijftermijn	AT	15,00	Jaar	warmtetechnieken.nl
Onderhoudskosten woning	OK_W	124	€/jaar	NIBE (2019-) en Kemkens (2019-)
Onderhoudskosten utiliteit	OK_U	2%	% van investering	Gebaseerd op woningen, IK gebaseerd op 8 kW
Schaalvoordeel bij blokverwarming	BV_perc	0%	%	N.t.b.
Investeringskosten woningen bij projectmatig - vaste component	IK_W_VAST_proj	5.359	€/woning	Vesta validatie
Investeringskosten woningen bij projectmatig - component afh. v. capaciteit	IK_W_CAP_proj	320	€/kW	Vesta validatie
Additionele elektrische capaciteitsvraag (kW _{el})	P _{el} _additieel	$ASW/\eta_{RV} * 50\% + 0,5$	kW _{el}	50% is de gelijktijdigheid van de warmtevraag (gevalideerd bij warmtenetten). 0,5 is de extra belasting bij elektrisch koken (expertise CE Delft). SPF is eta _{RV}
Rendement ruimteverwarming	η_{RV}	Zie tabel Rendement		
Rendement tapwater	η_{TW}	220%	%	Vesta validatie
Rendement koude	η_K	400%	%	(NEN, 2011)

⁴ De vaste component van de minimale investeringskosten is hoger dan die van de maximale investeringskosten. Echter, door een kleinere variabele component komen de totale minimale investeringskosten lager uit bij alle capaciteiten boven de 4 kW.

De SPF van de warmtepomp is afhankelijk van het isolatieniveau van de woning. In Tabel 10 zijn de waarden te vinden die worden gebruikt bij de schillabels A tot en met C en utiliteit. Deze verwarmingstechniek wordt niet toegepast bij woningen met label D of slechter.

Tabel 10 - Seasonal performance indicator elektrische luchtwarmtepomp, ruimteverwarming

Kengetal	Afkorting	Afgiftesysteem	SPF	Bron
Rendement ruimteverwarming: energielabel C ($\eta_{RV,C}$)	$\eta_{RV,C}$	LT-radiatoren (55 °C)	366%	Vesta validatie
Rendement ruimteverwarming: energielabel B ($\eta_{RV,B}$)	$\eta_{RV,B}$	LT-radiatoren (45 °C)	449%	Vesta validatie
Rendement ruimteverwarming: energielabel A ($\eta_{RV,A}$)	$\eta_{RV,A}$	LT-radiatoren (35 °C)	593%	Vesta validatie
Utiliteit	$\eta_{RV,util}$	LT-radiatoren (55 °C)	366%	Vesta validatie

3.1.3 Elektrische bodemwarmtepomp

Een elektrische bodemwarmtepomp gebruikt energie uit de bodem, die met behulp van elektriciteit wordt opgewaardeerd voor de ruimteverwarming en eventueel het tapwater. De kengetallen zijn te vinden in Tabel 11.

De bodemwarmtepomp bestaat uit twee onderdelen, de warmtepomp en de bodemwarmtewisselaar. De laatste heeft een afschrijftermijn van 30 jaar, twee keer zo lang als de warmtepomp. De kosten van de warmtewisselaar moet daarom over 30 jaar afgeschreven worden. Er wordt uitgegaan dat het aandeel van de kosten van de warmtewisselaar 0,4 is van de totale investeringskosten en dat deze kosten dus worden afgeschreven over 30 jaar.

De investeringskosten en rendement/verliezen zijn inclusief buffervat.

Tabel 11 - Kengetallen elektrische bodemwarmtepomp

Kengetal	Afkorting	Rekenwaarde	Eenheid	Bron
Investeringskosten woningen - vaste component	IK_W_VAST_MIN	4.628	€/woning	Vesta validatie (projectmatig)
Investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	IK_W_CAP_MIN	899	€/kW	Vesta validatie (projectmatig)
Max investeringskosten woningen - vaste component	IK_W_VAST_MAX	8.460	€/woning	Vesta validatie
Max investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	IK_W_CAP_MAX	753	€/kW	Vesta validatie
Investeringskosten utiliteiten - vaste component	IK_U_VAST	€ 5.800	€/utiliteit	ECW (2019)
Investeringskosten utiliteiten - component afh. v. capaciteit	IK_U_CAP	€ 420	€/kW	ECW (2019)

Kengetal	Afkorting	Rekenwaarde	Eenheid	Bron
Afschrijftermijn warmtepomp	AT	15	jaar	warmtetechnieken.nl
Afschrijftermijn bodemwarmtewisselaar	AT_C2	30	jaar	warmtetechnieken.nl
Aandeel van de investering in bodem-warmtepompen dat wordt afgeschreven over 30 jaar	R_BWP_afschrijf_30	0,4	Ratio	Aanname
Onderhoudskosten woning	OK_W	124	€/jaar	Kemkens (2019-)
Onderhoudskosten utiliteit	OK_U	1%	% van investering	Gebaseerd op woningen, IK gebaseerd op 8 kW.
Schaalvoordeel bij blokverwarming	BV_perc	0%	%	Nader te bepalen
Investeringskosten woningen projectmatig - vaste component	IK_W_VAST_proj	4.628		Vesta validatie
Investeringskosten woningen projectmatig - component afh. v. capaciteit	IK_W_CAP_proj	899		Vesta validatie
Additionele elektrische capaciteitsvraag (kW_el)	P_el_additioneel	$ASW/\eta_{RV} * 50\% + 0,5$	kW_el	50% is de gelijktijdigheid van de warmtevraag (gevalideerd bij warmtenetten). 0,5 is de extra belasting bij elektrisch koken (bron Stedin). SPF is η_{RV}
Rendement ruimteverwarming	η_{RV}	Zie tabel Rendement		warmtetechnieken.nl
Rendement tapwater	η_{TW}	250%		Vesta validatie
Rendement koude	η_K	800%		Expert inschatting CE Delft

De SPF van de warmtepomp is afhankelijk van het isolatieniveau van de woning. In Tabel 12 zijn de waarden te vinden die worden gebruikt bij de schillabels A tot en met C en utiliteit. Deze verwarmingstechniek wordt niet toegepast bij woningen met label D of slechter.

Tabel 12 - Seasonal performance indicator elektrische bodemwarmtepomp, ruimteverwarming

Kengetal	Afkorting	Afgiftesysteem	SPF	Bron
Rendement ruimteverwarming: energielabel C	η_{RV_C}	LT-radiatoren 55 °C	376%	Vesta validatie
Rendement ruimteverwarming: energielabel B	η_{RV_B}	LT-radiatoren 45 °C	468%	Vesta validatie
Rendement ruimteverwarming: energielabel A	η_{RV_A}	LT-radiatoren 35 °C	635%	Vesta validatie
Utiliteit	η_{RV_util}	LT-radiatoren 55 °C	376%	Vesta validatie

3.1.4 Hybride buitenluchtwarmtepomp

De hybride warmtepomp combineert een elektrische warmtepomp met de HR-ketel op gas. De elektrische warmtepomp kan ongeveer voor de helft van de warmtevraag zorgen. De warmtepomp gebruikt de warmte uit de buitenlucht, die met behulp van elektriciteit wordt opgewaardeerd voor de ruimteverwarming.

De kengetallen van de hybride buitenluchtwarmtepomp zijn te vinden in Tabel 13.

De investeringskosten zijn afhankelijk van het elektrisch vermogen van de warmtepomp. Dit is echter niet gelijk aan de benodigde warmtecapaciteit, omdat een groot deel van het piekvermogen wordt geleverd door de HR-ketel. De dimensionering van vermogen van de warmtepomp wordt gedaan op basis van de NEN7120.

- *Bepalen vermogen warmteafgiftesysteem*: De NEN7120 geeft aan dat er gerekend moet worden met een factor 4 tussen de warmtevraag Q en het elektrische vermogen van het warmteafgiftesysteem (Formule 14.30).
- *Bepalen vermogen warmtepomp*: Het vermogen van het warmteopwektoestel is een factor β van het vermogen van het warmteafgiftesysteem. Tabel 14.9 uit NEN7120 geeft de verhouding aan tussen opwekvermogen en de dekking van de warmtevraag; hieruit volgt dat 85% van de warmtevraag met de elektrische warmtepomp wordt ingevuld bij een factor β van 40%.

Het benodigde vermogen $P_{\text{elektrisch}}$ is dan

Formule 9

$$P_{\text{elektrisch}} [\text{kW}] = \beta \cdot \frac{Q [\text{GJ}]}{4} = 40\% \cdot \frac{Q [\text{GJ}]}{4}$$

Het elektrisch vermogen wordt niet gebruikt voor de investeringskosten, maar alleen voor het bepalen van de additionele elektrische capaciteitsvraag.

Tabel 13 - Kengetallen hybride buitenluchtwarmtepomp

Kengetal	Afkorting	Rekenwaarde	Eenheid	Bron
Investeringskosten woningen - vaste component	IK_W_VAST_MIN	3.565	€/woning	Vesta validatie
Investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	IK_W_CAP_MIN	-	€/kW_E	Vesta validatie
Max investeringskosten woningen - vaste component	IK_W_VAST_MAX	3.815	€/woning	Vesta validatie
Max investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	IK_W_CAP_MAX	-	€/kW	Vesta validatie
Investeringskosten utiliteiten	IK_U_VAST	= 5,73 * OPP_GO + 4.300	€/kW_E	Voor utiliteit wordt aangenomen dat de kosten gelijk zijn aan de kosten voor een luchtwarmtepomp gecombineerd met een HR-ketel. Hierbij geldt dat de lucht-warmtepomp gedimensioneerd is op 80% van de piekvraag.

Kengetal	Afkorting	Rekenwaarde	Eenheid	Bron
Investeringskosten utiliteiten - component afh. v. capaciteit	IK_U_CAP	880	€/kW	Voor utiliteit wordt aangenomen dat de kosten gelijk zijn aan de kosten voor een luchtwarmtepomp gecombineerd met een HR-ketel. Hierbij geldt dat de luchtwarmtepomp gedimensioneerd is op 80% van de piekvraag.
Dimensionering warmtepomp (warmtevraag/ elektrisch vermogen)	IK_U	4	GJ/kW_E	NEN7120 (2011)
Dimensionering warmtepomp (maximaal vermogen/ gevraagd piekvermogen)	DIM_WP	40%		Inschatting o.b.v. NEN7120 (2011) tabel 14.9
Afschrijftermijn	DIM_WP_piek	15	Jaar	warmtetechnieken.nl
Onderhoudskosten woning	OK_W	118,5	€/jaar	warmtetechnieken.nl
Onderhoudskosten utiliteit	OK_U	4%	% van investering	Gebaseerd op woningen
Schaalvoordeel bij blokverwarming	OK_perc	0%	%	N.t.b.
Voordeel bij projectmatig	BV_perc	3%		Arcadis (2017)
Additionele elektrische capaciteitsvraag (kW_el)	PM_perc	$P_{\text{elektrisch}} / \eta_{\text{E_RV}} * 50\% + 0,5$	kW_el	50% is de gelijktijdigheid van de warmtevraag (gevalideerd bij warmtenetten). 0,5 is de extra belasting bij elektrisch koken (bron Stedin). SPF is eta_RV
Rendement ruimteverwarming (elektrisch)	$\eta_{\text{E_RV}}$	Afhankelijk van schilabel, zie Tabel 14		Expertinschatting CE Delft
Rendement ruimteverwarming (gas)	$\eta_{\text{G_RV}}$	94%		Expertinschatting CE Delft
Rendement tapwater (gas)	η_{TW}	72%		warmtetechnieken.nl
Rendement koude	η_{K}	N.v.t.		

De seasonal performance factor van ruimteverwarming is afhankelijk van de isolatie van het gebouw. Ook is het gedeelte van de warmtevraag dat wordt geleverd door de elektrische warmtepomp afhankelijk van de isolatie. Dit is te zien in Tabel 14. Het warme tapwater wordt volledig geleverd door de HR-ketel.

Tabel 14 - Fractie van de ruimteverwarming die elektrisch wordt verzorgd en rendement van de elektrische ruimteverwarming

Woning/utiliteit	Schil	Fractie ruimteverwarming	Rendement
Woning	A	0,52	5,93
Woning	B	0,49	4,49
Woning	C	0,47	3,66
Woning	D	0,45	3,66
Woning	E	0,42	3,66
Woning	F	0,4	3,66
Woning	G	0,38	3,66
Utiliteit	Zeer goed	0,52	3,66
Utiliteit	Goed	0,49	3,66
Utiliteit	Huidig	0,38	3,66

Bron: Inschatting CE Delft.

3.1.5 Hybride ventilatiewarmtepomp

Een ander type hybride warmtepomp waarvoor gekozen kan worden, is de hybride warmtepomp op ventilatielucht. Hiervoor wordt de eis gesteld dat het schillabel minimaal label B is. De reden hiervoor is dat er een mechanisch ventilatiesysteem in de woning aanwezig moet zijn. In een oudere woning kan ook mechanische ventilatie aangebracht worden, maar kostentechnisch is de ventilatiewarmtepomp niet de meest logische keuze in woningen waar nog geen mechanische ventilatie aanwezig is.

De ventilatiewarmtepomp wordt niet bij utiliteit toegepast.

Tabel 15 - Kengetallen hybride ventilatiewarmtepomp

Kental	Afkorting	Rekenwaarde	Eenheid	Bron
Min investeringskosten woningen - vaste component	IK_W_VAST_MIN	2.975	€/woning	Milieu Centraal (2019- b)
Max investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	IK_W_CAP_MIN	-	€/kW	
Max investeringskosten woningen - vaste component	IK_W_VAST_MAX	4.793	€/woning	(Milieucentraal, 2019- b)
Max investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	IK_W_CAP_MAX	-	€/kW	
Investeringskosten utiliteiten	IK_U	N.v.t.	€	
Afschrijftermijn	AT	15	Jaar	warmtetechnieken.nl
Onderhoudskosten woning	OK_W	€ 143,80	€/jaar	Feenstra (2019-)
Onderhoudskosten utiliteit	OK_U	N.v.t.	% van investering	
Schaalvoordeel bij blokverwarming	BV_perc	0%	%	N.t.b.

Kental	Afkorting	Rekenwaarde	Eenheid	Bron
Voordeel bij projectmatig	PM_perc	0%		
Rendement elektrisch (ruimteverwarming)	η_{E_RV}	Afhankelijk van energiedrager & woning/utiliteit, zie Tabel 16		
Rendement gas (ruimteverwarming)	η_{G_RV}	94%		
Aandeel elektrisch (ruimteverwarming)	frac_E_RV	Afhankelijk van schillabel & woning/utiliteit, zie Tabel 16		Expertinschatting CE Delft
Rendement elektrisch (tapwater)	η_{E_TW}	230%		warmtetechnieken.nl
Aandeel elektrisch (tapwater)	frac_E_TW	76%		Expertinschatting CE Delft
Rendement gas (tapwater)	η_{G_TW}	72%		warmtetechnieken.nl
Rendement koude	η_K	N.v.t.		

Het rendement voor ruimteverwarming en tapwater is afhankelijk van de energiedrager en schillabel.

Tabel 16 - Fractie van de ruimteverwarming die elektrisch wordt verzorgd en rendement van de elektrische ruimteverwarming

Woning/utiliteit	Schil	frac_E_RV	η_{E_RV}
Woning	NoM	0,64	4,25
Woning	A	0,58	4,27
Woning	B	0,56	4,28
Woning	C	0,49	4,29
Utiliteit	Zeer goed	0,58	4,27
Utiliteit	Goed	0,54	4,28

Bron: Inschatting CE Delft.

3.1.6 Biomassaketel

Een CV-ketel op biomassapellets (pelletketel CV) is een hernieuwbaar alternatief voor de HR-ketel op aardgas. De pelletketel verbrandt houtpellets met een hoog rendement. Voor warmtapwater wordt gebruik gemaakt van een buffervat, waardoor het rendement van warmtapwaterproductie hoog kan zijn. De kengetallen zijn te vinden in Tabel 17.

Tabel 17 - Kengetallen biomassaketel

Kental	Afkorting	Rekenwaarde	Eenheid	Bron
Min investeringskosten woningen - vaste component	IK_W_VAS T_MIN	€ 5.331	€/woning	Milieu Centraal (sd)
Max investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	IK_W_CAP_MIN	€ 41	€/kW	
Max investeringskosten woningen - vaste component	IK_W_VAS T_MAX	17.716	€/woning	Arcadis (2017)
Max investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	IK_W_CAP_MAX	-	€/kW	
Investeringskosten utiliteiten	IK_U	€ 40,90	€/m ² GO	Arcadis (2018b)
Afschrijftermijn	AT	15	Jaar	

Kental	Afkorting	Reken- waarde	Eenheid	Bron
Onderhoudskosten woning	OK_W	€ 123,97	€/jaar	Vergelijking leveranciers online
Onderhoudskosten utiliteit	OK_U	1	% van investering	Gebaseerd op woningen
Schaalvoordeel bij blokverwarming	BV_perc	0%	%	Nader te bepalen
Rendement ruimteverwarming	η_{RV}	98%	%	warmtetechnieken.nl
Rendement tapwater	η_{TW}	90%	%	warmtetechnieken.nl
Voordeel bij projectmatig	PM_perc	0%		Gemiddelde Arcadis Energiebesparingsverkenner (2017)

* GO staat voor gebruiksoppervlak.

3.1.7 Infraroodpanelen

Infraroodpanelen (IR-panelen) zetten elektriciteit om in stralingswarmte. Anders dan een CV-systeem met radiatoren, verwarmen de panelen niet de lucht, maar de objecten (en personen) die in het stralingsbereik staan.

De kengetallen voor infraroodpanelen zijn te vinden in Tabel 18.

Doordat infraroodpanelen direct voor een warm gevoel zorgen en de lucht niet verwarmd wordt, daalt de warmtevraag. Daarnaast wordt er vaak voor gekozen een deel van de ruimte(n) niet te verwarmen. Het comfortniveau bij IR-panelen is hierdoor lager dan bij andere technieken. Er is nog onvoldoende ervaring met IR-panelen om te beoordelen of deze techniek een algemene oplossing kan zijn voor woningen en utiliteitsbouw.

Hier wordt gerekend met een reductie in het vermogen en de warmtevraag van 50%.

Dit wordt doorgerekend in de investeringskosten en het rendement:

- De investeringskosten zijn een vast bedrag per paneel van 1 kW. Er wordt gedimensioneerd op de helft van de vermogensvraag, waardoor er per kW vermogensvraag maar 0,5 kW aan IR-panelen wordt geïnstalleerd. De investeringskosten per kW vermogensvraag zijn dus in de modelparameters berekend als de helft van de kosten per kW-paneel.
- Hoewel het rendement in principe 100% is, wordt maar 50% van de energievraag ingevuld met de panelen, waardoor het elektriciteitsgebruik 50% minder is. Dit is verwerkt in het rendement, dat hiermee op 200% komt.

Infraroodpanelen zijn alleen geschikt om een gehele woning te verwarmen als deze goed geïsoleerd is (Milieu Centraal, 2019). Hier wordt uitgegaan van schillabel B als minimumeis.

Infraroodpanelen leveren geen warmtapwater. De standaard combinatietechniek is een elektrische boiler.

Tabel 18 - Kengetallen Infraroodpanelen

Kental	Afkorting	Reken- waarde	Eenheid	Bron
Min investeringskosten woningen - vaste component	IK_W_VAST_MIN	-	€/woning	
Max investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	IK_W_CAP_MIN	€ 372	€/kW	Nieman (2018)
Max investeringskosten woningen - vaste component	IK_W_VAST_MAX	-	€/woning	
Max investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	IK_W_CAP_MAX	€ 372	€/kW	Geen bandbreedte. Gelijk aan minimum.
Investeringskosten utiliteiten	IK_U	€ 371,90	€/kW	Nieman (2018)
Afschrijftermijn	AT	15	Jaar	inschatting CE Delft
Onderhoudskosten woning	OK_W	0	€/jaar	warmtetechnieken.nl
Onderhoudskosten utiliteit	OK_U	0%	% van investering	warmtetechnieken.nl
Schaalvoordeel bij blokverwarming	BV_perc	0%	%	N.v.t.
Voordeel bij projectmatig	PM_perc	0%	%	Nader te bepalen/ geen data
Additionele elektrische capaciteitsvraag (kW_el)	P_el_additioneel	$(ASW \cdot DIM_{ir}) / \eta_{RV} \cdot 50\% + 0,5$	kW_el	50% is de gelijktijdigheid van de warmtevraag (gevalideerd bij warmtenetten). 0,5 is de extra belasting bij elektrisch koken (bron Stedin). SPF is eta_RV
Rendement ruimteverwarming	η_{RV}	200%	%	warmtetechnieken.nl

3.1.8 Elektrische warmtepomp (lucht-lucht)

De lucht-luchtwarmtepomp wordt vooral toegepast bij utiliteit en lijkt op een airconditioner. De warmtepomp verwarmt en koelt de lucht. Er is dus geen CV-afgiftesysteem nodig.

Tabel 19 - Kengetallen elektrische warmtepomp (lucht-lucht)

Kental	Afkorting	Reken- waarde	Eenheid	Bron
Investeringskosten woningen - vaste component	IK_W_VAST	N.v.t.	€/woning	
Investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	IK_W_CAP	N.v.t.	€/kW	
Min investeringskosten utiliteiten	IK_U	13,77	€/m ² GO	Verwarminginfo.nl (2019-)

Kental	Afkorting	Reken- waarde	Eenheid	Bron
Max investeringskosten utiliteiten	IK_U	44,08	€/m ² GO	Warmtepompenadvies.be (2019-)
Afschrijftermijn	AT	-	€/kW	
Onderhoudskosten woning	OK_W	15	Jaar	Aanname: gelijk elektrische bodemwarmtepomp
Onderhoudskosten utiliteit	OK_U	N.v.t.	€/jaar	
Schaalvoordeel bij blokverwarming	BV_perc	2%	% van investering	Omrekening o.b.v. Kemkes (2019-)
Voordeel bij projectmatig	PM_perc	N.v.t.	%	Nader te bepalen
Benodigde netverzwaring	NV	N.v.t.		Nader te bepalen/ geen data
Rendement ruimteverwarming	η_{RV}	$ASW/\eta_{RV} * 50\% + 0,5$	kW	
Rendement koude	η_K	400%		Klimaatexpert.com (2019-)

3.1.9 Micro-WKK

Een HRe-ketel (ofwel micro-WKK, warmtekrachtkoppeling) is een hoogrendementsketel op gas (aardgas, groengas of waterstof) die naast warmte ook elektriciteit produceert (vandaar de 'e' in HRe). De elektriciteit wordt door een motor in de ketel geproduceerd en de warmte die daarbij vrijkomt, wordt ingezet voor het verwarmen van de woning. De elektriciteit wordt net als bij zonnepanelen gelijktijdig gebruikt of bij een overschot teruggeleverd aan het elektriciteitsnet. De HRe-ketel is op dezelfde manier als een gewone HR-ketel onderdeel van een centraal verwarmingssysteem. Hij wordt gecombineerd met een HR-ketel om de pieken op te vangen en te zorgen voor warmtapwater.

Tabel 20 - Kentallen micro-WKK

Kental	Afkorting	Reken- waarde	Eenheid	Bron
Min investeringskosten woningen - vaste component	IK_W_VAST_MIN	9.504	€	warmtetechnieken.nl
Max investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	IK_W_CAP_MIN	-	€/kW	
Max investeringskosten woningen - vaste component	IK_W_VAST_MAX	16.963	€/woning	Arcadis (2017)
Max investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	IK_W_CAP_MAX	-	€/kW	
Investeringskosten utiliteiten	IK_U	88,22	€/m ² GO	Gebaseerd op woningen
Investeringskosten utiliteiten - component afh. v. capaciteit	IK_U_CAP	-	€/kW	
Afschrijftermijn	AT	15	jaar	warmtetechnieken.nl
Onderhoudskosten woning	OK_W	82,64	€/jaar	warmtetechnieken.nl
Onderhoudskosten utiliteit	OK_U	0,5%	% van investering	
Schaalvoordeel bij blokverwarming	BV_perc	0%	%	Nader te bepalen

Kental	Afkorting	Reken- waarde	Eenheid	Bron
Voordeel bij projectmatig	PM_perc	0%		Arcadis (2017)
Rendement ruimteverwarming	η_{RV}	83%		warmtetechnieken.nl en Expert inschatting CE Delft
Rendement tapwater	η_{TW}	72%		warmtetechnieken.nl
Elektriciteitsopwek	OW_elektriciteit	$= EV_{RV} * \eta_E / \eta_{RV}$	GJ/jr	
Rendement elektriciteitsopwek	η_{OW}	21%		warmtetechnieken.nl en Expert inschatting CE Delft

3.1.10 Elektrische Weerstandverwarming

Een elektrische weerstandsverwarming zet elektriciteit om in warmte. Dit gebeurt in het verwarmingselement (bijvoorbeeld een radiator) zelf. Er is geen centrale verwarmingsinstallatie nodig, zoals een ketel of warmtepomp. De verwarmingselementen kunnen wel als één systeem fungeren, waarbij je centraal kunt instellen hoe warm je elke ruimte wilt hebben. Voor de warmtapwatervoorziening is een elektrische boiler nodig.

Tabel 21 - Kengetallen elektrische weerstandverwarming

Kental	Afkorting	Reken- waarde	Eenheid	Bron
Min investeringskosten woningen - vaste component	IK_W_VAST_MIN	1.488		warmtetechnieken.nl
Max investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	IK_W_CAP_MIN	0,00	€/kW	
Max investeringskosten woningen - vaste component	IK_W_VAST_MAX	3.141	€/woning	warmtetechnieken.nl
Max investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	IK_W_CAP_MAX	-	€/kW	
investeringskosten utiliteiten	IK_U	15,43	€/m ² GO	Gebaseerd op woningen en 150 m ² GO/WEQ
afschrijftermijn	AT	15	Jaar	warmtetechnieken.nl
Onderhoudskosten woning	OK_W	0	€/jaar	warmtetechnieken.nl
Onderhoudskosten utiliteit	OK_U	0%	% van investering	
Schaalvoordeel bij blokverwarming	BV_perc	N.v.t.	%	n.t.b.
Voordeel bij projectmatig	PM_perc	N.v.t.		
Additionele elektrische capaciteitsvraag (kW _{el})	P _{el} _additioneel	$ASW / \eta_{RV} * 50\% + 0,5$	kW _{el}	50% is de gelijktijdigheid van de warmtevraag (gevalideerd bij warmtenetten). 0,5 is de extra belasting bij elektrisch koken (bron Stedin). SPF is η_{RV}
Rendement ruimteverwarming	η_{RV}	100%		warmtetechnieken.nl

3.1.11 Pelletkachel

Onder een pelletkachel verstaan we een losse kachel die in principe één kamer verwarmt en geen warmwater maakt.

Deze techniek wordt soms toegepast in woningen in combinatie met een elektrische radiator voor de badkamer. Meestal worden andere kamers dan niet verwarmd en is er dus sprake van een laag comfortniveau. In de utiliteitsbouw wordt de pelletkachel soms toegepast in specifieke gevallen of als bijverwarming. Vanwege deze beperkingen kan deze techniek eigenlijk niet worden beschouwd als algemene oplossing voor woningen en utiliteit, maar alleen in uitzonderlijke gevallen. Voor woningen zijn kengetallen bepaald; voor utiliteit wordt deze techniek niet meegenomen als optie.

Tabel 22 - Kengetallen pelletkachel. Kosten zijn exclusief afvoersysteem van rookgassen.

Kental	Afkorting	Reken- waarde	Eenheid	Bron
Min investeringskosten woningen - vaste component	IK_W_VAST_MIN	1.074	€	Milieu Centraal (sd)
Max investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	IK_W_CAP_MIN	0	€/kW	
Max investeringskosten woningen - vaste component	IK_W_VAST_MAX	3.306	€/woning	Milieu Centraal (2019- a)
Max investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	IK_W_CAP_MAX	-	€/kW	
Investeringskosten utiliteiten	IK_U	N.v.t.	€	
Afschrijftermijn	AT	15	Jaar	
Onderhoudskosten woning	OK_W	118,5	€/jaar	Justfire (2019-)
Onderhoudskosten utiliteit	OK_U	4%	% van investering	
Schaalvoordeel bij blokverwarming	BV_perc	0%	%	Nader te bepalen
Voordeel bij projectmatig	PM_perc	0%		Geen data
Rendement ruimteverwarming	η_{RV}	85%		Milieu Centraal (sd)

3.1.12 HR-ketel op waterstof

Een hoogrendement-combiketel of HR-combiketel is een warmtetechniek voor de productie van ruimteverwarming en warmtapwater. De HR-combiketel verwarmt water op waterstof.

De waarden van de parameters worden bepaald in een apart onderzoek voor PBL en zijn ten tijde van de publicatie van dit rapport nog niet bekend. Als voorlopige waarden worden de parameters van de HR-ketel op aardgas of groengas gehanteerd.

Tabel 23 - Kengetallen HR-ketel op waterstof

Kental	Afkorting	Reken- waarde	Eenheid	Bron
Min investeringskosten woningen - vaste component	IK_W_VAST_MIN	1.692	€	Voorlopig - zie HR-ketel
Max investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	IK_W_CAP_MIN	0,00		Voorlopig - zie HR-ketel
Max investeringskosten woningen - vaste component	IK_W_VAST_MAX	1.859	€/woning	Voorlopig - zie HR-ketel
Max investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	IK_W_CAP_MAX	0,00	€/kW	Voorlopig - zie HR-ketel
Investeringskosten utiliteiten	IK_U	5,73	€	Voorlopig - zie HR-ketel
Afschrijftermijn	AT	-		
Onderhoudskosten woning	OK_W	15,00	Jaar	Voorlopig - zie HR-ketel
Onderhoudskosten utiliteit	OK_U	82,64	€/jaar	
Schaalvoordeel bij blokverwarming	BV_perc	4%	% van investering	Berekening gebaseerd op woningen
Voordeel bij projectmatig	PM_perc	0,00	%	Voorlopig - zie HR-ketel
Rendement ruimteverwarming	η_{RV}	0,04		Voorlopig - zie HR-ketel
Rendement tapwater	η_{TW}	104%		Voorlopig - zie HR-ketel

3.2 Warmtapwater

De volgende technieken produceren alleen warmtapwater.

3.2.1 Elektrische boiler

De elektrische boiler verwarmt water voor centrale verwarming en tapwater met een elektrisch verwarmingselement.

Tabel 24 - Kengetallen elektrische boiler

Kental	Afkorting	Reken- waarde	Eenheid	Bron
Min investeringskosten woningen - vaste component	IK_W_VAST_MIN	1.240	€	Nieman (2019)
Max investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	IK_W_CAP_MIN	-	€/kW	
Max investeringskosten woningen - vaste component	IK_W_VAST_MAX	1.840	€/woning	Arcadis (2017)
Max investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	IK_W_CAP_MAX	-	€/kW	
Investeringskosten utiliteiten	IK_U	9,62	€/m ² GO	Gebaseerd op woningen
Afschrijftermijn	AT	15	Jaar	Aanname gelijk aan andere technieken
Onderhoudskosten woning	OK_W	49,59	€/jaar	Aanname
Onderhoudskosten utiliteit	OK_U	3%	% van investering	Berekening o.b.v. woningen



Kental	Afkorting	Reken- waarde	Eenheid	Bron
Schaalvoordeel bij blokverwarming	BV_perc	N.v.t.	%	N.t.b.
Voordeel bij projectmatig	PM_perc	4%		Arcadis (2017)
Rendement tapwater	η_{TW}	95%		warmtetechnieken.nl , uit Ecofys en Greenvis (2016)

3.2.2 WP-boiler

Een warmtepompboiler gebruikt energie uit de buiten- of ventilatielucht voor het verwarmen van een warmtewisselaar die het warmtapwater opwarmt. De energie uit de buitenlucht wordt verder opgewaardeerd naar een bruikbare temperatuur door middel van een elektrisch aangedreven compressor. Dit type boiler is verkrijgbaar in varianten waarbij de warmtepomp en buffervat in één apparaat zitten en varianten met een losstaand buffervat. In Nederland komt het type dat gebruik maakt van ventilatielucht het meest voor.

Tabel 25 - Kengetallen warmtepompboiler

Kental	Afkorting	Rekenwaarde	Eenheid	Bron
Min investeringskosten woningen - vaste component	IK_W_VAST_MIN	2.893	€/woning	warmtetechnieken.nl
Max investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	IK_W_CAP_MIN	-	€/kW	
Max investeringskosten woningen - vaste component	IK_W_VAST_MAX	4.928	€/woning	Arcadis (2017)
Max investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	IK_W_CAP_MAX	-	€/kW	
Investeringskosten utiliteiten	IK_U	3,80	€/m ² GO	Arcadis (2018b)
Afschrijftermijn	AT	15	Jaar	gelijk aan e-WP
Onderhoudskosten woning	OK_W	107,44	€/jaar	Kemkens (2019-)
Onderhoudskosten utiliteit	OK_U	2%	% van investering	gelijk aan e-WP
Schaalvoordeel bij blokverwarming	BV_perc	N.v.t.	%	N.t.b.
Voordeel bij projectmatig	PM_perc	N.v.t.		
Rendement tapwater	η_{TW}	275%		warmtetechnieken.nl

3.2.3 Boosterwarmtepomp

De boosterwarmtepomp voor warmtapwater maakt gebruik van verwarmingswater om warmtapwater te bereiden. Hierdoor is een hoog rendement te behalen. Dit is voornamelijk toepasbaar bij collectieve warmtelevering op lage temperatuur (20-50°C). Een buffervat is hierbij ook nodig. Dit is inbegrepen in de kosten.

Tabel 26 - Kengetallen boosterwarmtepomp

Kental	Afkorting	Rekenwaarde	Eenheid	Bron
Min investeringskosten woningen - vaste component	IK_W_VAST_MIN	2.226	€/woning	Leverancier online
Max investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	IK_W_CAP_MIN	-	€/kW	
Max investeringskosten woningen - vaste component	IK_W_VAST_MAX	2.561	€/woning	Leverancier online
Max investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	IK_W_CAP_MAX	-	€/kW	
Investeringskosten utiliteiten	IK_U	15,96	€/m ² GO	Gebaseerd op woningen
Afschrijftermijn	AT	15	Jaar	Gelijk aan e-WP
Onderhoudskosten woning	OK_W	107,44	€/jaar	Gelijk aan WP-boiler
Onderhoudskosten utiliteit	OK_U	4%	% van investering	
Schaalvoordeel bij blokverwarming	BV_perc	0%	%	Nader te bepalen
Voordeel bij projectmatig	PM_perc	0%		Geen data
Rendement tapwater	η_{TW}	440%		Vergelijking leveranciers online

3.2.4 Doorstroomapparaat

Met een elektrisch doorstroomapparaat (ook wel ‘doorstromer’ of ‘instant heater’ genoemd) wordt op het moment dat er behoefte aan is (binnen circa 10 seconden) warm water geproduceerd. Er is geen opslagvat nodig. De doorstroomapparaten zijn klein van afmeting en worden vaak bijvoorbeeld boven of onder de wastafel gemonteerd. Omdat het doorstroomapparaat in een korte tijd veel warmte moet produceren, heeft hij een hoog vermogen nodig, meestal een krachtstroom 3-fase aansluiting. Het doorstroomapparaat is alleen in te zetten als er niet veel water nodig is.

Tabel 27 - Kengetallen doorstroomapparaat

Kental	Afkorting	Rekenwaarde	Eenheid	Bron
Min investeringskosten woningen - vaste component	IK_W_VAST_MIN	826,45	€/woning	Nieman (2019)
Max investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	IK_W_CAP_MIN	-	€/kW	
Max investeringskosten woningen - vaste component	IK_W_VAST_MAX	826,45	€/woning	
Max investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	IK_W_CAP_MAX	-	€/kW	
Investeringskosten utiliteiten	IK_U_VAST	5,51	€/m ² GO	Gebaseerd op woningen
Afschrijftermijn	AT	15	Jaar	Aanname gelijk aan andere technieken
Onderhoudskosten woning	OK_W	49,59	€/jaar	Aanname

Kental	Afkorting	Rekenwaarde	Eenheid	Bron
Onderhoudskosten utiliteit	OK_U	6%	% van investering	
Schaalvoordeel bij blokverwarming	BV_perc	0%	%	Nader te bepalen
Voordeel bij projectmatig	PM_perc	0%	%	N.t.b.
Rendement tapwater	η_{TW}	100%		Aanname

3.2.5 Zonneboiler

De zonneboiler wordt gedimensioneerd op 50% van de warmtapwatervraag. Er is dus altijd een additionele techniek voor warmtapwater nodig. Bij de modellering moet voor de additionele techniek het energieverbruik voor warmtapwaterproductie dus worden berekend met 50% van de functionele vraag.

Investeringskosten

Voor de warmtapwaterproductie per m² zonneboiler wordt uitgegaan van Protocol Monitoring Hernieuwbare Energie 2015 en is 1,89 GJ/m². Daarmee kan het oppervlakte worden berekend:

$$\text{oppervlakte}[m^2] = \frac{\text{opbrengst [GJ]}}{1,89 \left[\frac{GJ}{m^2} \right]}$$

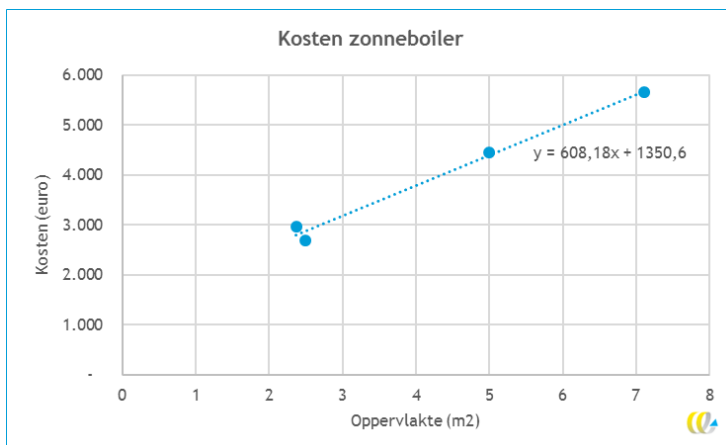
De kosten van de zonneboiler per vierkante meter zijn bepaald op basis van de Arcadis WBOUW kentallen t.b.v. de Energiebesparingsverkenner (zie Tabel 28 en Figuur 2).

Tabel 28 - Kosten van zonneboiler

Oppervlakte (m ²)	Kosten (euro)
2,37	2.955,69
2,5	2.677,83
5	4.445,92
7,11	5.649,86

Bron: (Arcadis, 2017).

Figuur 2 - Regressie van kosten zonneboiler per vierkante meter



De kosten per vierkante meter zonneboiler zijn:

Formule 10

$$IK = 1350 + 608 \cdot oppervlakte$$

De kosten per GJ warmtapwater zijn dan:

Formule 11

$$IK \text{ [€]} = 1.350 \text{ [€]} + \frac{608 \left[\frac{\text{€}}{\text{m}^2} \right]}{1,89 \left[\frac{\text{GJ}}{\text{m}^2} \right]} = 1.350 \text{ [€]} + 322 \left[\frac{\text{€}}{\text{GJ}} \right] \cdot FV_{WTW} \text{ [GJ]}$$

Met FV_{WTW} de functionele vraag naar energie voor warmtapwater.

Bij dimensionering op 50% van de warmtapwatervraag zijn dan de investeringskosten:

Formule 12

$$IK = 1.350 + 161 \cdot FV_{WTW}$$

Overige parameters

De kengetallen van de zonneboiler worden gegeven in Tabel 29.

Tabel 29 - Kengetallen zonneboiler

Kental	Afkorting	Rekenwaarde	Eenheid	Bron
Min investeringskosten woningen - vaste component	IK_W_VAST_MIN	IK = 1350+161*FV_WTW	€/woning	(Arcadis, 2017)
Max investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	IK_W_CAP_MIN	-	€/kW	
Max investeringskosten woningen - vaste component	IK_W_VAST_MAX	IK = 1350+161*FV_WTW	€/woning	
Max investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	IK_W_CAP_MAX	-	€/kW	
Investeringskosten utiliteiten	IK_U	4,86	€/m ² GO	Arcadis (2018b)
Afschrijftermijn	AT	20	Jaar	RVO; CBS (2015)
Onderhoudskosten woning	OK_W	49,59	€/jaar	Kemkens (2019-)
Onderhoudskosten utiliteit	OK_U	2%	% van investering	Aanname CE Delft
Schaalvoordeel bij blokverwarming	BV_perc	0%	%	
Voordeel bij projectmatig	PM_perc	3%		Arcadis (2017)

3.3 Koude

De enige stand-alone koudetechniek die is opgenomen, is de airconditioning.

3.3.1 Airconditioning

De airconditioning werkt net als een warmtepomp. Er bestaan monoblocksystemen en splitsystemen. Het splitsysteem is de meest voorkomende vorm van airconditioning. Een splitsysteem bestaat uit een binnen- en buitenunit, die met twee dunne koelleidingen aan elkaar verbonden worden. Hij onttrekt koude uit de buitenlucht en blaast de koude lucht de ruimte in. Er zijn diverse binnenunitmodellen beschikbaar, die op de muur, vloer en plafond geïnstalleerd kunnen worden. Een splitsysteem is vooral geschikt voor het koelen van één ruimte, zoals een slaap-, woon- of werkkamer. Het splitsysteem wordt daarom vaak geplaatst in particuliere woningen.

Tabel 30. Kengetallen airconditioning

Kental	Afkorting	Reken-waarde	Eenheid	Bron
Min investeringskosten woningen - vaste component	IK_W_VAST_MIN	1.343	€/woning	Werkspot (2019-)
Max investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	IK_W_CAP_MIN	0	€/kW	
Max investeringskosten woningen - vaste component	IK_W_VAST_MAX	2.025	€/woning	Werkspot (2019-)
Max investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	IK_W_CAP_MAX	0	€/kW	
Investeringskosten utiliteiten	IK_U	11,23	€/m ² GO	O.b.v. gemiddelde woningen en 1 WEQ = 150 m ² utiliteit
Afschrijftermijn	AT	15	Jaar	Gelijk aan warmtepomp
Onderhoudskosten woning	OK_W	132,23	€/jaar	Homedeal.nl (2019-)
Onderhoudskosten utiliteit	OK_U	7%	% van investering	O.b.v. woningen max investeringskosten
Schaalvoordeel bij blokverwarming	BV_perc	N.v.t.	%	
Benodigde netverzwaring	NV	2	kW/woning	Uitgaande van unit van 2 kW
Rendement koude	η_K	350%		W/E Adviseurs (2018)

3.4 Eigen opwekking met teruglevering

De enige standalone techniek voor teruglevering van elektriciteit is zon-PV (zonnepanelen).

3.4.1 Zon-PV

Het gebruik van zon-PV is als add-on in te stellen. Het oppervlakte kan handmatig worden ingesteld.

Tabel 31 - Kengetallen zon-PV

Kental	Afkorting	Reken- waarde	Eenheid	Bron
Min investeringskosten woningen - vaste component	IK_W_VA ST_MIN	IK=200*Opp_ paneel	€/m ² paneel	Nieman en Milieu Centraal (2018)
Max investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	IK_W_CA P_MIN	-		
Max investeringskosten woningen - vaste component	IK_W_VA ST_MAX	IK=225*Opp_ paneel	€/m ² paneel	Nieman (2019)
Max investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	IK_W_CA P_MAX	-	€/kW	
Investeringskosten utiliteiten	IK_U	IK=191,40*O pp_paneel	€	Gemiddelde van bronnen woningen, gecorrigeerd met projectmatig voordeel
Afschrijftermijn	AT	20	Jaar	Gaat in principe langer mee (25 jaar volgens RVO; CBS (2015)), maar mensen vervangen het voor het eind van de levensduur
Onderhoudskosten woning	OK_W	0		
Onderhoudskosten utiliteit	OK_U	0%	% van investering	Aanname CE Delft
Schaalvoordeel bij blokverwarming	BV_perc	N.v.t.	%	
Voordeel bij projectmatig	PM_perc	10%		Arcadis (2017)
Elektriciteitsopwek	OW_elektriciteit	0,54	GJ/m ² /jr	Pagina 22 CE Delft (2013)

4 Overige modelaanpassingen

Dit rapport richt zich op de gebouwgebonden technieken. Echter, sommige van deze technieken hebben buiten het gebouw ook impact op de infrastructuur. Het gaat hierbij om technieken die een additionele elektrische capaciteitsvraag (vermogensvraag) hebben.

4.1 Relatie Aansluitwaarde en netverzwaring

De elektrische warmtepompen, hybride warmtepompen en infraroodpanelen hebben een additionele elektrische vermogensvraag. Deze kan leiden tot benodigde verzwaring van het LS-net en MS-ruimtes. De nieuwe vermogensvraag wordt gegeven door:

Formule 13

$$P_{el_nieuw} = P_{el_huidig} + P_{el_additioneel}$$

De gelijktijdige vermogensvraag per object is afhankelijk van het elektrisch vermogen van het apparaat en het rendement. Ook de gelijktijdigheid van de warmtevraag en de additionele vermogensvraag van elektrisch koken zijn van belang.

Techniek	Bepaling additionele vermogensvraag
Elektrische luchtwarmtepomp	$P_{el,additioneel} = ASW / \eta_{E,RV} * y + P_{koken}$
Elektrische bodemwarmtepomp	$P_{el,additioneel} = ASW / \eta_{E,RV} * y + P_{koken}$
Hybride buitenluchtwarmtepomp	$P_{el,additioneel} = (ASW / DIM_{WP}) / \eta_{E,RV} * y + P_{koken}$
Infraroodpanelen	$P_{el,additioneel} = (ASW / DIM_{ir}) / \eta_{E,RV} * y + P_{koken}$
Elektrisch koken	$P_{koken} = 0,5 \text{ kW}$

Hierbij is:

- y = gelijktijdigheid van de warmtevraag = 50%;
- P_{koken} = gelijktijdige vermogensvraag van elektrisch koken = 0,5 kW (bron: uitvraag bij Stedin).

5 Beschouwing

In dit functioneel ontwerp is een gegeneraliseerde methode beschreven om individuele warmtetechnieken te modelleren in Vesta MAIS. De relevante kosten- en efficiëntieparameters zijn bepaald uit openbare data. Om de berekeningen te verbeteren, bevelen wij een aantal vervolgstappen aan.

Ten eerste kunnen andere gebouwmaatregelen die in dit rapport niet zijn beschreven, volgens dezelfde methodiek worden gemodelleerd. Het gaat hierbij om de gebouwinstallaties die horen bij collectieve maatregelen, zoals warmtewisselaars (afleversets) van warmtenetten en water-waterwarmtepompen die worden toegepast bij lagetemperatuurwarmtenetten en warmtekuudeopslag (WKO).

Een ander punt van aandacht is de utiliteit. De kosten van installaties in de utiliteitsbouw zijn voor veel technieken niet openbaar beschikbaar. In deze studie is een beste inschatting gemaakt op basis van beschikbare data. Dit zou verfijnd kunnen worden met de bouwsector, ingenieursbureaus en/of de installatiebranche.

Ten slotte is voor sommige technieken te vinden wat de investeringskosten zijn bij een projectmatige aanpak, maar van de meeste technieken ontbreekt hiervoor de data. De kosten bij blokverwarming zijn in geen van de gevallen bepaald. Deze twee kostencomponenten dienen verder onderzocht te worden.

6 Referenties

Arcadis, 2013. *Maatregelen EPA-Maatwerkadvies Bestaande Woningbouw 2013*, Arnhem: Arcadis.

Arcadis, 2017. *Actualisatie en uitbreiding investeringskosten maatregelen EPA-maatwerkadvies bestaande woningbouw 2017*, Arnhem: Arcadis.

Arcadis, 2018b. *Onderbouwing Kostenkengetallen Ubouw KOS BENG 15 okt.2018 : Excelsheet E06071.002426*. Arnhem: Arcadis.

CE Delft, 2013. *Uitbreidingen en dataverificaties Vesta 2.0*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2019a. *Alle warmtetechnieken voor bewoners : factsheets Individuele technieken*. [Online]

Available at: <https://www.ce.nl/warmtetechnieken>
[Geopend 2019].

CE Delft, 2019b. *Expert inschatting CE Delft*. Delft: CE Delft.

CE Delft, 2019c. *Overzicht aanpassingen Vesta Mais*, Delft: CE Delft.

Ecofys ; Greenvis, 2016. *Collectieve warmte naar lage temperatuur : Een verkenning van mogelijkheden en routes*, Utrecht: Ecofys ; Greenvis.

ECW, 2019. *Memo analyse investeringskosten warmtepompen voor utiliteitsgebouwen (niet gepubliceerd)*, online : Expertisecentrum Warmte (ECW).

Feenstra, 2019-. *Onderhoud warmtepomp*. [Online]

Available at: <https://www.feenstra.com/warmtepomp/onderhoud-warmtepomp/>
[Geopend 2019].

Homedeaal.nl, 2019-. *Airco onderhoudskosten*. [Online]

Available at: <https://www.homedeaal.nl/airco/airco-onderhoudskosten/>
[Geopend 2019].

Justfire, 2019-. *Onderhoud is behoud!*. [Online]

Available at: <https://justfire.nl/onderhoudscontract>
[Geopend 2019].

Kemkens, 2019-. *Onderhoud tarieven*. [Online]

Available at: <https://www.kemkens.nl/page/311/onderhoud-tarieven/#>
[Geopend 2019].

Klimaatexpert.com, 2019-. *Lucht/Lucht Warmtepomp : Dit klimaatstelsel haalt energie uit de lucht*. [Online]

Available at: <https://www.klimaatexpert.com/warmtepomp/soorten/lucht-lucht-warmtepomp>
[Geopend 2019].

Milieu Centraal, 2019. *Infraroodpanelen voor verwarming*. [Online]

Available at: <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/energiezuinig-huis/energiezuinig-verwarmen-en-warm-water/infraroodpanelen-voor-verwarming/>
[Geopend 15 08 2019].

Milieucentraal, 2019- a. *Pelletkachel of biomassaketel*. [Online]

Available at: <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/energiezuinig->



huis/energiezuinig-verwarmen-en-warm-water/pelletkachel-of-biomassaketel/
[Geopend 2019].

Milieucentraal, 2019- b. *Ventilatiewarmtepomp*. [Online]
Available at: <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/energiezuinig-huis/energiezuinig-verwarmen-en-warm-water/ventilatiewarmtepomp/>
[Geopend 2019].

Milieucentraal, sd *CO2 en PM uit biowarmte : berekeningen actueel aanp AD. (Excelsheet verkregen via Lex Bosselaar RVO d.d. 15-5-2019))*, Utrecht: Milieu Centraal.

NEN, 2011. *Nederlandse norm NEN 7120 (nl) Energieprestatie van gebouwen - Bepalingsmethode Energy performance of buildings - Determination method*, Delft: NEN.

NIBE, 2019-. *Onderhoud en onderhoudskosten van een warmtepomp*. [Online]
Available at: <https://aardgasvrij.nibenl.eu/kosten-en-subsidie/onderhoud-en-onderhoudskosten-van-een-warmtepomp>
[Geopend 2019].

Nieman ; Milieu Centraal, 2018. *Verkenning tool aardgasvrije bestaande woningen*, Utrecht: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO).

Nieman , 2019. *No Regret Aanpak : Bestaande bouw Rotterdam*, Zwolle/Utrecht: Nieman Raadgevende Ingenieurs.

RVO ; CBS, 2015. *Protocol Monitoring Hernieuwbare Energie, Herziening 2015 : Methodiek voor het berekenen en registreren van de bijdrage van hernieuwbare energiebronnen*, Utrecht: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO).

Verwarminginfo.nl, 2019-. *Lucht-lucht warmtepomp: werking en prijzen*. [Online]
Available at: <https://www.verwarminginfo.nl/warmtepomp/warmtepomp-lucht-lucht>
[Geopend 2019].

W/E adviseurs, 2018. *Ontwikkeling van koudevraag van woningen Factsheets met conclusies en aanbevelingen*, Utrecht: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO).

Warmtepompenadvies.be, 2019-. *Warmtepomp prijzen*. [Online]
Available at: <https://warmtepompenadvies.be/warmtepomp-prijzen/>
[Geopend 2019].

Werkspot, 2019-. *Gemiddelde kosten voor een airco installeren*. [Online]
Available at: <https://www.werkspot.nl/airco-installeren-vervangen/prijzen-kosten>
[Geopend 2019].

