



# Update kentallen installaties Vesta MAIS

2022



*Committed to the Environment*

# Update kentallen installaties Vesta MAIS

2022

Dit rapport is geschreven door:  
Nanda Naber en Joram Dehens

Delft, CE Delft, januari 2023

Publicatienummer: 23.210348.003

Energievoorziening / Warmte / Woningen / Utiliteit / Kosten  
VT: Validatie / Rekenmodellen

Opdrachtgever: Planbureau voor de Leefomgeving

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn verkrijgbaar via [www.ce.nl](http://www.ce.nl)

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Benno Schepers (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 meer dan 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



# Inhoud

	Inleiding	4
	Deel 1: Validatie kentallen individuele technieken	6
1	Infraroodpanelen	7
	1.1 Huidige waarden	7
	1.2 Validatie	8
	1.3 Voorstel aanpassing kengetallen in Vesta MAIS	13
2	Elektrische weerstandsverwarming	15
	2.1 Huidige waarden	15
	2.2 Validatie	15
	2.3 Voorstel aanpassing kengetallen in Vesta MAIS	16
3	Elektrische doorstroomapparaten	18
	3.1 Huidige waarden	18
	3.2 Validatie	18
	3.3 Voorstel aanpassing kengetallen in Vesta MAIS	21
4	Pelletkachels	22
	4.1 Huidige waarden Vesta MAIS	23
	4.2 Validatie	23
	4.3 Voorstel aanpassing kengetallen in Vesta MAIS	24
5	Biomassaketels	25
	5.1 Huidige waarden	25
	5.2 Validatie	26
	5.3 Voorstel aanpassing kengetallen in Vesta MAIS	30
6	Olieketels	31
	6.1 Huidige waarden	31
	6.2 Validatie	31
	6.3 Voorstel aanpassing kengetallen in Vesta MAIS	32
7	Propaangasketel met tank	33
	7.1 Huidige waarden	33
	7.2 Validatie	33
	7.3 Voorstel aanpassing kengetallen in Vesta MAIS	34



8	Zon-pv	35
	8.1 Huidige waarden	35
	8.2 Nieuw voorstel rekenmethode	35
	8.3 Voorstel aanpassing kengetallen voor Vesta MAIS	39
9	Zonneboilers	40
	9.1 Huidige waarden	40
	9.2 Nieuw voorstel rekenmethode	40
	9.3 Voorstel aanpassing kengetallen in Vesta MAIS	44
10	Hr-ketel	45
	10.1 Huidige waarden	45
	10.2 Validatie	45
	10.3 Voorstel aanpassing kengetallen in Vesta MAIS	48
11	Waterstofketel	49
	11.1 Huidige waarden	49
	11.2 Validatie	49
	11.3 Voorstel aanpassing in Vesta MAIS	50
12	Warmtepompen	51
	12.1 Individuele warmtepompen voor woningen	51
	12.2 Collectieve warmtepompen voor gestapelde bouw	56
	12.3 Grootschalige warmtepompen voor de utiliteit	59
	12.4 Warmtepomp bij LT-net en boosterwarmtepomp	62
	Deel 2: Vergelijking Dashboard Eindgebruikerskosten	65
13	Parameters in Vesta MAIS	66
14	Parameters in Dashboard Eindgebruikerskosten	68
	14.1 Financiering: Rentevoeten en afschrijftermijn	68
	14.2 Subsidies	69
	14.3 Huurverhogingen	70
	14.4 Renteaftrek	71
	14.5 Extra huurtoeslag door huurverhoging	71
	14.6 Investeringskosten	72
	14.7 Energietarieven	74
15	Bibliografie	76
A	Kostenkengetallen Arcadis - Woningbouw	79
B	Kostenkengetallen Arcadis - Utiliteitsbouw	81



# Inleiding

Het Vesta MAIS-model wordt continu aangevuld en verbeterd. Door nieuwe inzichten vanuit de praktijk en door het toepassen van het model, worden de analyses steeds beter, maar wordt ook duidelijk dat de achterkant van het model op dit moment weer een update kan gebruiken. Voor de installaties die in Vesta MAIS zijn verwerkt, zijn in de afgelopen periode nieuwe praktijkwaarden beschikbaar gekomen en is in het kader van het dashboard van de eindgebruikerskosten (ECW, 2021) een set van kengetallen opgesteld. We maken een overzicht van de verschillen en bekijken welke kengetallen het beste kunnen worden toegepast in Vesta MAIS.

Met de generalisatie van de conversietechnieken die eerder is uitgevoerd dan de Start-analyse, zijn veel nieuwe apparaten als optie toegevoegd in het ontwerp van Vesta MAIS. Een aantal daarvan zijn echter niet in de Startanalyse toegepast en niet meegenomen in de validatiesessies van de Startanalyse. Om deze reden moet van deze conversietechnieken nog worden gecontroleerd of de huidige kengetallen die nu in het model staan nog goed genoeg de werkelijkheid representeren. Voor deze conversietechnieken moet een aantal werkwaardes worden vervangen door definitieve waarden. Voor zover nodig worden ook de conversietechnieken geactualiseerd die wel zijn gebruikt in de Startanalyse.

In Deel 1 van deze notitie worden de kengetallen van de volgende installaties gevalideerd:

1. Infraroodpanelen.
2. Elektrische weerstandsverwarming.
3. Doorstroomapparaten.
4. Pelletkachels.
5. Biomassaketels.
6. Olieketels.
7. Propaangasketel.
8. Zon-pv.
9. Zonneboiler.
10. Hr-ketel.
11. Waterstofketel.
12. Warmtepompen:
  - a Individuele warmtepompen woningen.
  - b Collectieve warmtepompen in gestapelde bouw.
  - c Warmtepompen in utiliteit.
  - d Individuele water/water-warmtepompen bij een warmtenet.

De methode voor deze validatie is een bureaustudie, aangevuld met vraaggesprekken over specifieke onderdelen met specifieke stakeholders. De bureaustudie richt zich voornamelijk op algemeen geaccepteerde kengetallen. Belangrijke bronnen waarvan de bureaustudie gebruik maakt zijn afkomstig van Arcadis en Milieu Centraal:

- Arcadis levert jaarlijks kostenkengetallen aan de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO). Deze kostenkengetallen worden beschouwd als maat- en toonaangevend en worden vaak gehanteerd in verschillende onderzoeken. Extra duiding voor de kengetallen van Arcadis is opgenomen in de bijlage.
- Voorlichtingsorganisatie Milieu Centraal zorgt ervoor dat huishoudens goede informatie krijgen om hen te helpen met duurzame keuzes. Milieu Centraal bezit een kennisbasis die voortkomt uit (wetenschappelijke) publicaties en onderzoeksrapporten, informatie en databanken van onderzoeksorganisaties (zoals RIVM, CBS en TNO). Daar waar



informatie ontbreekt of beter kan, vult Milieu Centraal die aan met relevante rapporten van onderzoeksinstituten en/of brancheverenigingen.

In dit rapport wordt per onderwerp achtereenvolgens aangegeven:

1. De stand van zaken van de kengetallen in Vesta MAIS voorafgaand aan de validatie.
2. De validatie.
3. Een voorstel voor eventuele aanpassing in Vesta MAIS.

Deel 2 van het onderzoek betreft het vergelijken van de kengetallen van eindgebruikerskosten in Vesta MAIS met het Achtergrondrapport Eindgebruikerskosten van TNO. In de eindgebruikerskostentool zitten kengetallen (financieel en technisch) die in sommige gevallen overeenkomen met die in de Startanalyse, maar in andere gevallen ook verschillen.

# Deel 1: Validatie kentallen individuele technieken

In Deel 1 van deze notitie worden de kengetallen van warmtetechnieken gevalideerd. Hierbij kijken we voornamelijk naar kostenkengetallen en rendementskengetallen en andere vuistregels voor de realisatie van de individuele technieken. De kostenkengetallen omvatten alle kosten nodig voor het plaatsen, installeren en gebruiken van de installatie. De kostenkengetallen zijn exclusief btw en andere belastingen en subsidies.



# 1 Infraroodpanelen

Infraroodpanelen verwarmen de woning met stralingswarmte. Ze zijn een vorm van elektrische verwarming. Anders dan een cv-systeem met radiatoren, verwarmen de panelen niet de lucht, maar de objecten (en personen) die in het stralingsbereik staan. De warmte van een paneel is hierdoor direct voelbaar. Zodra je van het paneel wegloopt, voelt het echter direct koud aan. De infraroodpanelen kunnen aan het plafond of aan de muur worden bevestigd.

## 1.1 Huidige waarden

De huidige waarden van infraroodpanelen in Vesta MAIS zijn werkwaarden. Deze zijn nog niet gevalideerd. Infraroodpanelen zijn als techniek daarom nog niet in eerdere gepubliceerde studies met Vesta MAIS gebruikt.

Op dit moment wordt er in het Vesta MAIS-model van uitgegaan dat bij goed geïsoleerde woningen een veel groter deel van de warmtevraag kan worden ingevuld met infraroodpanelen dan bij minder goed geïsoleerde woningen. Wanneer infraroodpanelen worden ingezet als hoofdverwarming, en daarmee het hele huis moeten verwarmen, wordt uitgegaan van een efficiëntie van 100%. Het deel dat ze als bijverwarming worden ingezet, wordt een efficiëntie van 200% aangenomen, omdat de panelen alleen aan hoeven te staan op de plekken waar bewoners zich op dat moment bevinden.

Tabel 1 - Installatiewaarden infraroodpanelen FO Vesta MAIS 5.0

Naam	Beschrijving	Eenheid	Waarde	Bron
Ki_opp_IR	Kosten per vierkante meter infraroodpanelen	€/m <sup>2</sup>	371.90	FO Conversie
AT20	Deel van de investeringskosten over 20 jaar afgeschreven	Procent	100	Vesta MAIS
Levensduur		Jaar	20	Vesta MAIS

Tabel 2 - Performancewaarden infraroodpanelen FO Vesta MAIS 5.0

Naam	Beschrijving	Eenheid	Waarde	Bron
P_vol_A (IR)	Aandeel elektrisch (infrarood) op totaal RV bij label A	Procent	90.00	Werkwaarde
P_vol_B (IR)	Aandeel elektrisch (infrarood) op totaal RV bij label B	Procent	80.00	Werkwaarde
P_vol_x (IR)	Aandeel elektrisch (infrarood) op totaal RV overig label	Procent	50.00	Werkwaarde
P_cap (IR)	Dimensionering infrarood bijverwarming RV (aandeel kW)	Procent	50.00	Werkwaarde
SPF_b (IR)	Efficiency infrarood voor bijverwarming ruimteverwarming	Procent	200.00	Werkwaarde
SPF_p (IR)	Efficiency infrarood voor hoofdverwarming ruimteverwarming	Procent	100.00	Werkwaarde



## 1.2 Validatie

### Warmtevraag

Er zijn afgelopen jaren verschillende onderzoeken uitgevoerd naar toepassing van infraroodpanelen. Eén van de aspecten van deze studies is meestal hoeveel graden de lucht in de woning lager kan zijn wanneer er verwarmd wordt met infraroodpanelen, zonder comfort te verliezen, zie Tabel 3.

Tabel 3 - Mogelijke temperatuurverlaging lucht woning bij infraroodverwarming zonder comfort te verliezen

Aantal graden kouder lucht	Bron
2 tot 3 °C	Branchevereniging IG Infrarood (TKI, 2020)
1 tot 2 °C	Onderzoeksbureau Peutz (TKI, 2020)
0,5 °C	DWA (DWA, 2020)
2 tot 5 °C	Leveranciers infraroodpanelen (DWA, 2020)

Het gemiddelde van de waarden in Tabel 3 ligt rond de 2 °C. Dit betekent dat, voor hetzelfde comfortniveau, de lucht in de gehele woning 2 °C lager kan zijn wanneer de infraroodpanelen aanstaan, dan wanneer wordt verwarmd met radiatoren. De infraroodpanelen dragen indirect ook bij aan het opwarmen van de lucht. Via de objecten die worden verwarmd geven ze warmte af aan de lucht. Het idee van infraroodverwarming is dat je niet al je panelen tegelijk aanzet, maar alleen op de plek waar je je op dat moment bevindt.

Infraroodpanelen kunnen worden gebruikt als bijverwarming en in sommige gevallen als hoofdverwarming. Bij gebruik als hoofdverwarming is bij slecht geïsoleerde, grote woningen, wel veel elektrisch vermogen en elektriciteit nodig.

### Infraroodpanelen als hoofdverwarming

Wanneer ze als hoofdverwarming worden gebruikt, hebben ze twee functies. Ze zullen in de hele woning voor een aangename binnentemperatuur moeten zorgen, die iets lager is dan bij een ander type verwarming. Daarnaast moeten ze stralen op plekken waar op dat moment bewoners behoefte hebben aan warmte. De panelen kunnen op een manier worden ingeschakeld dat ze een bijdrage leveren aan het (indirect) verwarmen van de lucht in de woning en tegelijkertijd stralen op de bewoners die daar op dat moment behoefte aan hebben. De infraroodpanelen kunnen niet voorzien in de warmtapwateraanvraag. Hiervoor is een aparte warmwaterboiler- of doorstroomapparaat nodig.

Recent onderzoek van W/E Adviseurs toont aan dat uit praktijkmetingen in woningen met infraroodverwarming als hoofdverwarming blijkt dat het gemiddelde energieverbruik voor ruimteverwarming in die woningen 40 kWh/m<sup>2</sup> bedraagt. Voor een gemiddelde woning van 100 m<sup>2</sup> is dat een jaarverbruik (voor alleen ruimteverwarming) van 4.000 kWh. Dat is het energetisch equivalent van circa 450 m<sup>3</sup> aardgas. Het is fors minder dan het gemiddelde van woningen met een gasgestookte verwarming (circa 90 kWh/m<sup>2</sup>) (W/E, 2021). Hierbij moet wel worden opgemerkt dat binnen het onderzoek van W/E Adviseurs is gemeten in slechts 52 woningen met infraroodpanelen, die mogelijk niet representatief zijn voor heel Nederland. Wél zijn het woningen uit verschillende bouwjaarklassen, met verschillende energielabels en van verschillende omvang.

Verder volgt uit de bevindingen van het onderzoek dat nieuwe woningen een lager verbruik per m<sup>2</sup> gebruiksoppervlakte hebben. Het verband met het energielabel is minder duidelijk, maar dat wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de behoorlijke grote vermogens aan zonnepanelen op een groot deel van de woningen (die het energielabel behoorlijk beïnvloeden) (W/E, 2021).

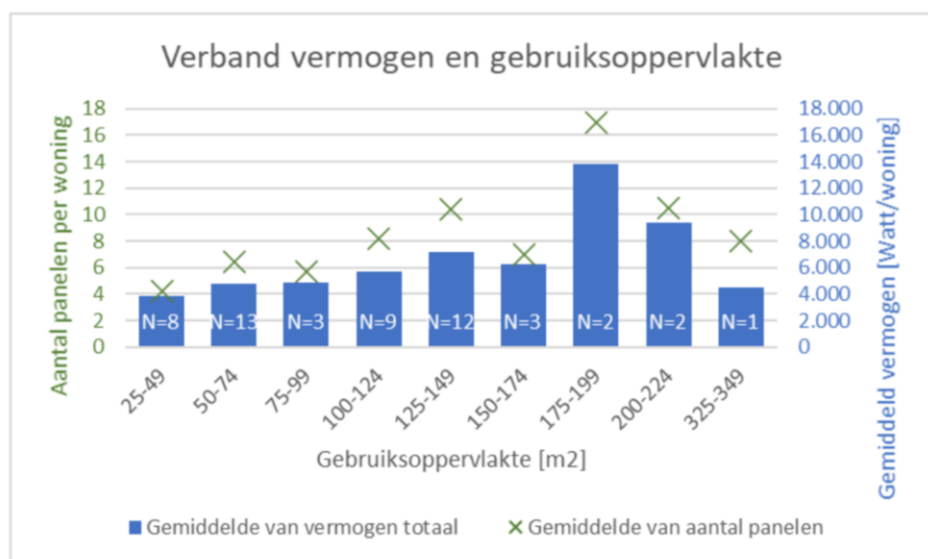
Het eerder genoemde gemiddelde verbruik van 40 kWh/m<sup>2</sup> bij gebruik van infraroodpanelen als hoofdverwarming ten opzichte van het landelijk gemiddelde 90 kWh/m<sup>2</sup> energieverbruik bij verwarming met aardgas, kun je vertalen naar een rendement van infraroodpanelen van 2,25.

### Benodigde capaciteit infraroodpanelen

In Figuur 1 is weergegeven hoeveel infraroodpanelen er hangen in de woningen die meedoen in het onderzoek van W/E Adviseurs en wat het totale vermogen van die panelen is.

De woning in het onderzoek hebben gemiddeld bijna 8 panelen per woning. Het totaal vermogen van deze panelen is gemiddeld 5.700 Watt. 80% van de woningen heeft tussen de 3 en 10 panelen, met een totaal vermogen tussen 2.500 en 6.600 Watt/woning.

Figuur 1 - Gemiddeld aantal panelen en opgesteld vermogen, naar gebruiksoppervlakte



Bron: (W/E, 2021).

Op basis van Figuur 1 kan een schatting worden gemaakt van hoeveel panelen en vermogen een woning met een bepaald oppervlak gemiddeld nodig heeft. De volgende formules geven daarvan een goede inschatting:

- Aantal panelen = 4 + ((woningoppervlak - 50) \* 0,06)
- Vermogen = 3.500 + ((woningoppervlak - 50) \* 25))

## Infraroodpanelen als bijverwarming

Wanneer infraroodpanelen worden ingezet als bijverwarming, zal een andere warmte-techniek een deel van de warmtevraag invullen op koudere dagen. De infraroodpanelen staan enkel aan op plekken in huis waar op dat moment een of meerdere bewoners zich bevinden. Ze leveren stralingswarmte, die uiteindelijk ook voor een deel zal bijdragen aan het verwarmen van de lucht in de woning. Dit deel van de warmte hoeft niet te worden opgewekt met de hr-ketel of ander type installatie. Welk deel van de warmte met de infraroodpanelen wordt opgewekt, is afhankelijk van het gebruik van de panelen door de bewoners.

We gaan ervan uit dat bewoners van slecht geïsoleerde woningen net zo veel thuis zijn als bewoners van goed geïsoleerde woningen en dat hun infraroodpanelen evenveel aanstaan met een gelijk vermogen. De warmtelevering door de panelen zal dan in beide type woningen gelijk zijn. Het percentage van de warmtevraag dat wordt ingevuld met de infraroodpanelen verschilt wel, omdat een goed geïsoleerde woning een lagere totale warmtevraag heeft.

Om te bepalen welk gedeelte van de warmtevraag kan worden ingevuld door infraroodpanelen, moet een aanname worden gedaan over hoeveel infraroodpanelen van welk vermogen hoeveel uur per jaar aanstaan. Wanneer bewoners thuis zijn, zullen de infraroodpanelen voor stralingswarmte moeten zorgen, om de thermostaat twee graden lager te kunnen zetten. Binnen het onderzoek van W/E Adviseurs is gekeken naar bewonersgedrag. Bij de woningen die meededen aan het onderzoek, waren gemiddeld genomen per dagdeel één of meerdere personen thuis. De meest voorkomende locaties van infraroodpanelen in woningen zijn zithoek, werkkamer en badkamer. Het vermogen per paneel varieert in het onderzoek van W/E Adviseurs sterk van 90 Watt tot 1.500 Watt. Bepaalde formaten zoals 550/800/1.000/1.100 Watt komen relatief vaak voor. (W/E, 2021) We doen voor de berekening de aanname dat er gebruik wordt gemaakt van infraroodpanelen met een vermogen van 800 Watt. Wanneer overdag (16 uur per dag) gemiddeld één infraroodpaneel aanstaat op vol vermogen, is het stroomverbruik  $0,8 \text{ (kW)} \times 16 \text{ (uur)} \times 30 \text{ (dagen)} \times 7 \text{ (maanden)} = 2.690 \text{ kWh}$  per jaar.

Het gedrag van bewoners loopt uiteraard sterk uiteen. In sommige huishoudens zullen het grootste deel van de week de bewoners alleen 's avonds en 's ochtends vroeg thuis zijn, terwijl in andere huishouders bijna altijd één of meerdere personen aanwezig zijn. Bij infraroodpanelen als hoofdverwarming zagen we dat de gemiddelde energievraag  $40 \text{ kWh/m}^2$  is wanneer enkel infraroodpanelen worden gebruikt. Bij IR-panelen als bijverwarming zal de warmtevraag die moet worden ingevuld door de andere warmte-techniek, voor een groot deel afhangen van de totale warmtevraag van de woning. Grotere woningen, en woningen met een slechter energielabel, hebben een hogere warmtevraag en zullen daarmee procentueel gezien een kleiner deel van de warmtevraag invullen met infraroodpanelen.

Wanneer een woning met infraroodpanelen als bijverwarming per jaar 2.690 kWh verbruikt, staat dit met een rendement van 2,25 gelijk 9,7 GJ. Dit deel van de warmtevraag hoeft niet meer met de andere warmtetechniek ingevuld te worden.

## Kosten

De investeringskosten voor infraroodpanelen (vier kleine en twee grote voor een woning) (Arcadis, 2017) zijn weergegeven in Tabel 4. Let op, hierbij zijn ook kosten voor een elektrische boiler voor warm tapwater opgenomen en sloop- en demontagekosten van de radiatoren en cv-ketel, zie Figuur 2. De kosten van de elektrische warmwaterboiler

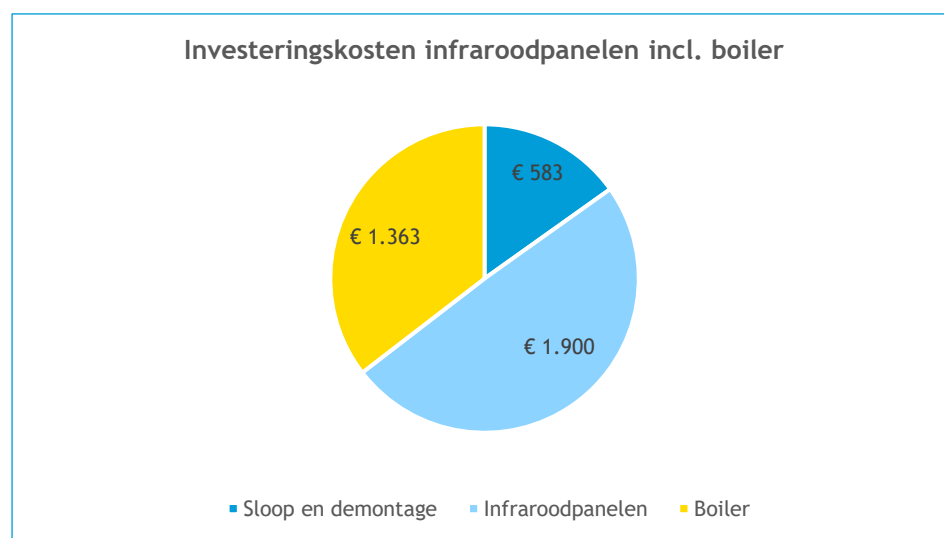


bedragen 35% van de totale investeringskosten. Als deze apart worden beschouwd in Vesta MAIS dienen deze niet meegenomen te worden in de kosten voor een infraroodpaneel. Wanneer infraroodpanelen worden gebruikt als bijverwarming, zullen alleen de kosten van de panelen hoeven te worden gemaakt. Kosten van sensoren en regelapparatuur zijn nog niet meegenomen.

Tabel 4 - Infraroodpanelen: vier kleine en twee grote infraroodpanelen inclusief elektrische boiler

	Eenheid	Op zichzelf staand	Tijdens vervangmoment	Bron
Min. kosten infraroodpanelen als hoofdverwarming in gemiddelde woning (90 m <sup>2</sup> ) (totaal incl. boiler)	€/woning	4.154	3.846	Arcadis 2020 (213b)
Max. kosten infraroodpanelen als hoofdverwarming in gemiddelde woning (90 m <sup>2</sup> ) (totaal incl. boiler)	€/woning	4.528	4.192	Arcadis 2020 (213b)
Kosten klein infraroodpaneel (ca. 600 Watt)	€/paneel	290	290	Arcadis 2020 (213b)
Kosten groot infraroodpaneel (ca. 1.000 Watt)	€/paneel	370	370	Arcadis 2020 (213b)

Figuur 2 - Investeringskosten infraroodpanelen inclusief boiler



Bron: (Arcadis 2020 (213b)).

Infraroodpanelen hebben geen of nauwelijks onderhoud nodig. Daarom worden geen onderhoudskosten in rekening gebracht. Het is nog onbekend wat de levensduur van een IR-paneel is. De schattingen lopen uiteen van 15<sup>1</sup> jaar tot 30 jaar, waarbij vermeld moet worden dat de 30 jaar slechts geclaimd wordt door leveranciers.

<sup>1</sup> Bron: Kosten aardgasvrije warmteconcepten Nieuwbouwwoningen, DWA, 2018.

De omvang van woningen varieert en zodoende hebben sommige woningen meer panelen nodig dan andere woningen. We gaan uit van een woningoppervlakte van 90 m<sup>2</sup> voor de gemiddelde kosten. Wanneer we de formules voor aantal panelen en vermogen invullen, komen we op de volgende waarden:

$$\text{Aantal panelen} = 4 + ((90 - 50) * 0,05) = 6$$

$$\text{Vermogen} = 3.500 + ((90 - 50) * 25) = 4.500 \text{ Watt}$$

Het aantal panelen (6) klopt hierbij met het aantal panelen dat Arcadis aangeeft. Het vermogen van de kleine en grote panelen wordt niet gegeven door Arcadis. Een inschatting is dat een groot paneel een vermogen heeft van 1.000 Watt en een klein paneel een vermogen van 600 Watt. Volgens Arcadis zijn per woning twee grote en vier kleine panelen nodig, wat hiermee neerkomt op 4.400 Watt voor een gemiddelde woning. Dit komt ongeveer overeenkomt met de 4.500 Watt berekend met de formule.

Bij grotere of kleinere woningen, kan met behulp van de opgestelde formule worden bepaald hoeveel panelen en vermogen er nodig. Daarmee kunnen de bijbehorende kosten worden berekend.

## Infrarood in utiliteitsbouw

De toepassing van infraroodpanelen in utiliteitsgebouwen is nog beperkt. Aangezien toepassen van infraroodpanelen gepaard gaat met een gedragsaanpassing van de gebruiker lijken infraroodpanelen niet in alle sectoren wenselijk. Infraroodpanelen worden specifiek ingezet bij grote locaties die niet volledig verwarmd dienen te worden: Bijvoorbeeld bij de balie van een winkel en lokale verwarming in een tochtige bedrijfshal. Ook in kantoorpanden kunnen infraroodpanelen gebruikt worden boven de bureaus van de werknemers.

Tabel 5 - Infraroodpanelen toepasbaar per utiliteitsfunctie

Utiliteitsfunctie	Infraroodpanelen toepasbaar?
Kantoor	Ja
Winkel	Ja
Gezondheidszorg	N.v.t.
Logies	N.v.t.
Onderwijs	N.v.t.
Industrie	Ja
Bijeenkomst	N.v.t.
Cel	N.v.t.
Overig	N.v.t.



**Figuur 3 - Infraroodpanelen in winkels**



Bron: (<https://www.heatfun.eu/>).

**Figuur 4 - Infraroodpanelen in bedrijfshallen**



Bron: (<https://www.nbd-online.nl/nieuws/190983-bedrijfshallen-effici%C3%ABnt-verwarmen-met-etherma-infraroodverwarming>).

Het aantal infraroodpanelen dat nodig is hangt erg af van de activiteit die plaatsvindt in het utiliteitsgebouw. Door de beperkte ervaring met infraroodpaneel zijn hier nog geen generieke kengetallen voor ontwikkeld. Daarnaast is ook de vraag in welke mate infraroodpanelen de warmtevraag verminderen, of dat infraroodpanelen voornamelijk het comfort van de werknemers verbetert.

### **1.3 Voorstel aanpassing kengetallen in Vesta MAIS**

Met behulp van onderstaande formules kan berekend worden hoeveel panelen en vermogen een woning nodig heeft waarbij infraroodpanelen als hoofdverwarming worden gebruikt. Hiermee kunnen de kosten per woning worden bepaald:

Aantal panelen per woning =  $4 + ((\text{woningoppervlak} - 50) * 0,05)$

Vermogen panelen per woning =  $3.500 + ((\text{woningoppervlak} - 50) * 25)$

Voor de totale investeringskosten van infraroodpanelen (excl. boiler) als hoofdverwarming bij een verschillend oppervlak, komt dit neer op:

Minimale investeringskosten infraroodverwarming als hoofdverwarming (per woning) =  $583 + 4 * 290 + (\text{woningoppervlak} - 50) * 0,05 * 370$

Maximale investeringskosten infraroodverwarming als hoofdverwarming (per woning) =  $1.073 + 4 * 290 + (\text{woningoppervlak} - 50) * 0,05 * 370$

Voor infrarood als bijverwarming kan worden uitgegaan van drie panelen per woning, die geplaatst worden op de meest gebruikelijke plekken. Kosten voor sloop en demontage van radiatoren en cv-ketel en kosten voor de elektrische boiler zijn hierbij niet van toepassing.

Tabel 6 - Kengetallen infraroodverwarming

Beschrijving	Waarde	Eenheid	Bron
Min. kosten Sloop en demontage oude radiatoren en cv-ketel (bij infraroodpanelen als hoofdverwarming)	583	€/woning	(Arcadis, 2020)(213b)
Max. kosten Sloop en demontage oude radiatoren en cv-ketel (bij infraroodpanelen als hoofdverwarming)	875	€/woning	(Arcadis, 2020)(213b)
Min. kosten elektrische boiler (aanschaf en montage)	1.363	€/woning	(Arcadis, 2020)(213b)
Max. kosten elektrische boiler (aanschaf en montage)	1.753	€/woning	(Arcadis, 2020)(213b)
Minimale investeringskosten infraroodverwarming als hoofdverwarming per woning	= 583 + ((woningoppervlak - 50) * 18,5)	€/woning	(Arcadis, 2020)(213b)
Maximale investeringskosten infraroodverwarming als hoofdverwarming per woning	= 1.073 + ((woningoppervlak - 50) * 18,5)	€/woning	(Arcadis, 2020)(213b)
Investeringskosten infraroodpaneel bijverwarming klein (600 Watt)	290	€/paneel	(Arcadis, 2020)(213b)
Investeringskosten infraroodpaneel bijverwarming groot (1.000 Watt)	370	€/paneel	(Arcadis, 2020)(213b)
Rendement	2,25	-	Omrekening CE Delft o.b.v. onderzoek (W/E, 2021)
Levensduur	15	Jaar	Werkwaarde <sup>2</sup>
Onderhoud	0%	%	(Milieu Centraal, sd)

<sup>2</sup> De levensduur van infraroodpanelen is nog onbekend.

## 2 Elektrische weerstandsverwarming

Met elektrische verwarmingselementen kan een volledig gebouw verwarmd worden (hoofdverwarming) of slechts enkele kamers (bijverwarming). Elektrische weerstandsverwarming verwarmt de lucht op door middel van convectie en straling. De verwarmingselementen komen voor in de vorm van stralingsradiatoren, convectoren (zoals een convectorput) en vloerverwarming. De verwarmingselementen kunnen niet voorzien in de warmtapwatervraag. Hiervoor is een aparte warmwaterboiler of doorstroomapparaat voor nodig.

### 2.1 Huidige waarden

Elektrische weerstandsverwarming is niet opgenomen als techniek in het huidige functioneel ontwerp van Vesta MAIS.

### 2.2 Validatie

#### Kosten elektrische weerstandsverwarming

Er zijn verschillende types en toepassingen (hoofdverwarming of bijverwarming) van elektrische weerstandsverwarming. Tabel 7 geeft een kort overzicht van de toepassingen.

Tabel 7 - Types elektrische (weerstands)verwarming (incl. btw)

Type verwarming	Hoofd- of bijverwarming	Gemiddelde investering	Bron
Accumulatoren	Hoofdverwarming/ Bijverwarming	Vanaf € 12.000/woning	(Verwarminginfo, 2022)
Elektrische radiatoren	Hoofdverwarming/ Bijverwarming	€ 1.800 tot € 3.800/woning	(Verwarminginfo, 2022)
Elektrische vloerverwarming	(Hoofdverwarming)/ Bijverwarming	V.a. € 50/m <sup>2</sup>	(Verwarminginfo, 2022)
Elektrische convectoren	Bijverwarming	V.a. € 25/convector	(Verwarminginfo, 2022)
Elektrische kachel	Bijverwarming	Afhankelijk van model	

Om een hele woning elektrisch te verwarmen is veel elektriciteit nodig. Indien dit nog niet gebeurd is, is een aanpassing van de netaansluiting en de meterkast nodig om van éénfasige naar een driefasige aansluiting (3x25A) te verzwaren<sup>3</sup>. De onderhoudskosten van elektrische

<sup>3</sup> Een driefasige aansluiting (3x25A) is bij sommige woningen nog niet aanwezig. De netbeheerder rekent voor de aanleg ruim € 200 aan. Daarnaast kunnen de aanpassingen in de meterkast ook oplopen tot zo'n € 600. (Verwarminginfo, 2022).





verwarming zijn verwaarloosbaar. Dit in tegenstelling tot de verbruikskosten voor elektriciteit ter verwarming, welke hoger liggen dan bij andere verwarmingstechnieken.

We hanteren elektrische radiatoren als standaardtechniek voor de elektrische weerstandsverwarming. Elektrische radiatoren kunnen zowel als hoofdverwarming en als bijverwarming functioneren. Dit sluit goed aan bij de modellering van de warmtetechnieken in Vesta MAIS. Daarnaast hebben elektrische radiatoren relatief lage investeringskosten zie Tabel 7. Dit maakt inzichtelijk bij welke omstandigheden een overstap naar elektrische verwarming interessant is.

Een mediane woning heeft ongeveer 109 m<sup>2</sup> oppervlak en heeft 9 radiatoren nodig (Arcadis, 2020; CBS, 2021). Een grotere of kleinere woning heeft minder of respectievelijk meer ruimtes en heeft dus ook minder of meer radiatoren nodig. Dit effect kan het model lineair verrekenen bovenop de spreiding ten gevolge van radiatormodel en afwerking.

## Rendement

Het rendement van elektrische weerstandsverwarming zelf is 100%: alle elektriciteit wordt omgezet in warmte. Vanuit warmte-technisch oogpunt is er geen verschil tussen de verschillende types elektrische verwarmingen. Vanuit comfort-oogpunt ‘voelen’ sommige elektrische warmtebronnen warmer aan. Stralingswarmte is ook elektrisch en voelt voor de bewoner comfortabel aan bij lagere omgevingstemperaturen, net zoals bij infraroodpanelen. Daardoor is er dus minder warmte en elektriciteit nodig. Om het onderscheid te houden tussen infraroodpanelen (voorgaande hoofdstuk) en elektrische weerstandsverwarming beschouwen we in dit hoofdstuk reguliere elektrische radiatoren. Deze verwarmen de ruimte via convectie.

## Utiliteit

Voor utiliteitsgebouwen kunnen de investeringskosten geëxtrapoleerd worden naargelang het aantal woningequivalenten per gebouw. De toepassing van elektrische (bij)verwarming is erg gebouw- en activiteit specifiek.

## 2.3 Voorstel aanpassing kengetallen in Vesta MAIS

Tabel 8 - Kengetallen weerstandsverwarming (reguliere elektrische radiatoren)

Kengetal	Waarde	Eenheid	Bron
Investeringskosten woningen - min.	€ 1.688	€/woning	(Verwarminginfo, 2022) Inclusief montage
Investeringskosten woningen - max.	€ 3.340	€/woning	(Verwarminginfo, 2022) Inclusief montage
Investeringskosten utiliteit - min.	€ 1.688	€/weq	Extrapolatie woningen
Investeringskosten utiliteit - max.	€ 3.340	€/weq	Extrapolatie woningen
Rendement	100%	%	Alle elektriciteit wordt omgezet in omgevingswarmte
Afschrijftermijn	15	Jaar	(CE Delft, 2021)
Onderhoudskosten (OPEX)	0	%	(CE Delft, 2021)

#### **Vermogens- en warmtelevering: Welk aandeel levert de hoofdverwarming?**

De meeste huishoudens hebben één warmtebron die alle ruimteverwarming levert zoals een gasketel, een warmtenet of een warmtepomp. Het is ook mogelijk om verschillende warmtevoorzieningen met elkaar te combineren, namelijk een hoofdverwarming en bijverwarming. Hoofdverwarming, bijvoorbeeld een gasketel of een kachel, voorziet het grootste deel van de verwarming in de meest gebruikte leefruimtes zoals de woonkamer en de keuken. Bijverwarming, bijvoorbeeld een elektrische radiator of een infraroodpaneel, verwarmt minder gebruikte leefruimtes zoals de badkamer, slaapkamer, werkkamer. Gezelligheidsverwarming zoals een open haard levert ook warmte aanvullend op de hoofd- en bijverwarming. Deze is niet noodzakelijk voor de warmtevoorziening en houden we buiten beschouwing.

De verdeling tussen hoofdverwarming en bijverwarming is erg huishoudensafhankelijk. Een huishouden bepaalt met haar gedrag in welke mate bijverwarming wordt toegepast. In welke ruimtes wordt bijverwarming toegepast, hoe vaak worden die ruimtes gebruikt, vermindert het gebruik van bijverwarming de nood voor hoofdverwarming. Percentages zoals 70% hoofdverwarming en 30% bijverwarming van de geleverde warmte geven een richtwaarde aan (Procede Biomass BV, 2018), maar hiervan kan afgeweken worden.

Bijverwarming is vaak schaalbaar en wordt ruimte per ruimte toegepast. Schaalbare warmtetechnieken zoals elektrische radiatoren of infraroodpanelen hebben slechts gedeeltelijke investeringskosten wanneer zij als bijverwarming toegepast worden.

De hybride warmtepomp is een voorbeeld waarbij het aandeel hoofdverwarming en bijverwarming een logische regeling heeft. De warmtepomp werkt zoveel mogelijk in basislast. Als de buitentemperatuur te laag wordt of de warmtevraag te groot springt de gasketel bij. De relatie tussen hoofd- en bijverwarming wordt in het hoofdstuk Hybride warmtepomp toegelicht.



# 3 Elektrische doorstroomapparaten

Een doorstroomapparaat is een elektrisch verwarmingstoestel dat koud water meteen opwarmt tot warm tapwater van ca. 40 °C. Figuur 5 toont hoe twee individuele doorstroomapparaten een woning van warm tapwater voorzien. Het voordeel van een doorstroomapparaat is dat het water instantaan wordt verwarmd. Er is dus geen boilervat dat omwille van warmteverliezen op temperatuur moet worden gehouden.

## 3.1 Huidige waarden

Tabel 9 - Installatiewaarden doorstroomapparaten FO Vesta MAIS 5.0

Naam	Beschrijving	Eenheid	Waarde	Bron
Ki_asl_doorstroom_w	Kosten per aansluiting doorstroomapparaat woningen	€/Aansl.	826.45	FO Conversie
Ki_opp_doorstroom_u	Kosten per m <sup>2</sup> doorstroomapparaat utiliteit	€/m <sup>2</sup>	5.51	FO Conversie
R_OH (Doorstroom)	Onderhoud doorstroomapparaten tapwater	Procent	6.00	CE Delft (2019c)
Levensduur			15	VESTA MAIS

Tabel 10 - Performancewaarden doorstroomapparaten FO Vesta MAIS 5.0

Naam	Beschrijving	Eenheid	Waarde	Bron
P_vol (doorstroom)	Aandeel elektrisch op totaal TW doorstroomapparaat	Procent	70	Werkwaarde
P_cal (doorstroom)	Dimensionering doorstroomapparaat basislast	Procent	60	Werkwaarde
SPF_b	Efficiency voor basislast verwarming	Procent	100.00	Vesta MAIS
SPF_p	Efficiency voor pieklast verwarming	Procent	100.00	Vesta MAIS

## 3.2 Validatie

### Scenario's woning

Een huishouden kan op verschillende manieren tapwater verwarmen. Bijvoorbeeld door middel van een (elektrische) boiler<sup>4</sup> of een doorstroomapparaat. Een elektrische boiler kan ook worden gecombineerd met een doorstroomapparaat. Er zijn twee gangbare scenario's:

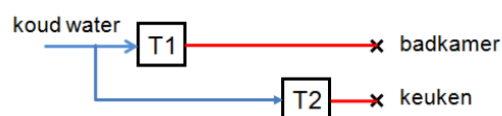
- Scenario 1: Waarbij enkel een doorstroomapparaat ingezet wordt in de keuken.
- Scenario 2: Waarbij meerdere doorstroomapparaten gebruikt worden: twee tappen waarvan één in de keuken en in de badkamer.

In 2017 waren er volgens de energiemodule van WoON2018 ongeveer twee keer zoveel doorstroomapparaten in de keuken als in de badkamer.

<sup>4</sup> Een gasgestookte combiketel bevat een geïntegreerde boiler.

Figuur 5 - Schema verwarmen tapwater met twee individuele doorstroomapparaten

Individueel warmtapwatersysteem met twee toestellen



Bron: (Van Wolferen Research, 2019).

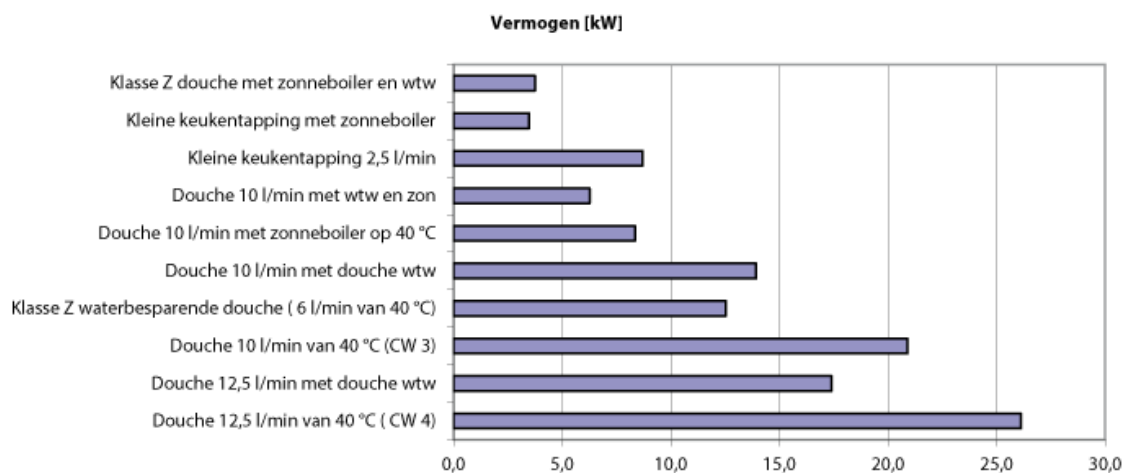
## Vermogen woning

Het vermogen van een doorstroomapparaat is hoog. Dit heeft effect op het elektriciteitsnet en de elektriciteitsaansluiting van het gebouw.

Het vermogen van een standaard 3x25A<sup>5</sup> aansluiting bedraagt 17,5 kW (bij 230V); bij een zware aansluiting is dat 30 kW (bij 400V - krachtstroom<sup>6</sup>). Om een standaard douche (CW4) te voorzien is ca. 27 kW nodig, zie Figuur 6. Om ervoor te zorgen dat andere apparaten voldoende vermogen overhouden is een zwaardere aansluiting nodig. Anderzijds kan een woningeigenaar genoeg nemen met een lager warmwaterdebiet en bijvoorbeeld een besparende douchekop gebruiken. Een douche met een besparende douchekop heeft minder vermogen nodig, en kan gebruikt worden bij een huidige 3x25A-aansluiting.

Figuur 6 toont het benodigd vermogen van een doorstroomtoestel onder verschillende condities. Het vermogen van een keukentappunt bedraagt ca. 8 kW, van een waterbesparende douche ca. 12 kW.

Figuur 6 - Vermogen doorstroomtoestel



Bron: (Klimapeda, sd).

<sup>5</sup> Een driefasige aansluiting (3x25A) is bij sommige woningen nog niet aanwezig. De netbeheerder rekent voor de aanleg ruim € 200 aan. Daarnaast kunnen de aanpassingen in de meterkast ook oplopen tot zo'n € 600. (Verwarminginfo, 2022).

<sup>6</sup> Een krachtstroomaansluiting heeft vijf elektriciteitsdraden (drie fasen) in plaats van drie en vereist aanvullende aanpassingen aan de meterkast door een gecertificeerde installateur. Een krachtstroomaansluiting kost ca. € 500 (Duurzaam bouwloket, sd).

Ten gevolge van gelijktijdigheid, is het vermogen van verschillende tappunten niet optelbaar. Vaak werkt de warmwaterlevering van douche en keuken niet op eenzelfde moment.

## Extrapolatie naar utiliteit

Het aantal tappunten bepaalt hoeveel doorstroomapparaten nodig zijn in het gebouw. Afhankelijk van de functie in het gebouw verschilt de vraag naar warm tapwater sterk. De warmwatervraag nemen we over uit de functionele vraag van bestaande utiliteit.

De warmtapwatervraag van een woning bedraagt ongeveer 6,5 GJ per jaar (Merosch, 2020). Een standaardwoning heeft twee warmtapwaterpunten: één in de keuken en één in de badkamer (waarop zowel de douche als wastafel is aangesloten). Een eerste methode om het aantal tappunten te bepalen in de utiliteit gaat er van uit dat de tappunten in woningen en utiliteit gemiddeld even veel warm water leveren. Met behulp van de tapwatervraag van de utiliteit, kun je hiermee het aantal tappunten bepalen. In de praktijk kan dit per functie verschillen. De warmtapwatervraag van de woningen en utiliteit, en het overeenkomstige aantal tappunten is weergegeven in Tabel 11.

Tabel 11 - Extrapolatie aantal tappunten/m<sup>2</sup> naar utiliteit

Type gebouw	Warmwatervraag GJ	Aantal tappunten (keuken - en badkamer)
Woning	7	2
Type utiliteit	Warmwatervraag GJ/m <sup>2</sup>	Aantal tappunten/m <sup>2</sup>
Kantoor	0,003777	0,001079
Winkel	0,003777	0,001079
Gezondheidszorg	0,038334	0,010953
Logies	0,037453	0,010701
Onderwijs	0,004616	0,001319
Industrie	0,003777	0,001079
Bijeenkomst	0,033487	0,009568
Sport	0,003777	0,001079
Overig	0,003777	0,001079
Cel	0,003777	0,001079

Als alternatief kijkt een tweede methode naar de vermogensvraag van warm tapwater. In een utiliteitsgebouw is de som van de vermogens van individuele tappunten groter dan de totale vermogensvraag naar warm tapwater. De kans is klein dat alle tappunten gelijktijdig warm water zullen moeten leveren. Met een gelijktijdigheidsfactor kan de vermogensvraag worden berekend. De gelijktijdigheidsfactor van warm tapwater bij de utiliteit bedraagt ongeveer 10% (CE Delft, 2022). De individuele vermogens van de warm tapwaterpunten zijn dus ongeveer 10 keer hoger dan het collectieve vermogen van de totale tapwatervoorziening. Een tappunt in de utiliteit heeft een vermogen van ca. 18 kW (Arcadis, 2020). Het aantal tappunten per kW bedraagt dus 0,555 tappunten per kW. Het nadeel van deze methode is dat de gelijktijdigheidsfactor voor kleinere utiliteitsgebouwen beduidend hoger ligt dan 10%. Voor grotere utiliteitsgebouwen is deze methodiek wel zinvol.

### 3.3 Voorstel aanpassing kengetallen in Vesta MAIS

Tabel 12 - Kengetallen doorstroomapparaat

Kengetal	Rekenwaarde	Eenheid	Bron
Investeringskosten woningen - min.	1.122	€/tappunt	(Arcadis, 2020) (keuken)
Investeringskosten woningen - max.	1.770	€/tappunt	(Arcadis, 2020) (badkamer)
Aantal tappunten per woning	2	Tappunten/ woning	CE Delft
Investeringskosten utiliteit	396	€/tappunt	(Arcadis, 2020) (tappunt 18 kW)
Aantal tappunten per utiliteit	Tabel 11 of 0,555	Tappunten/m <sup>2</sup> of tappunten/kW	
Gelijktijdigheid warm tapwater utiliteit	10%		Validatie kengetallen warmtenetten
Rendement	95%	%	(TKI Urban Energy , 2019)
Afschrijftermijn	20	Jaar	(Duurzaam bouwloket, sd)
Onderhoudskosten (OPEX)	1	%	(TKI Urban Energy , 2019)



## 4 Pelletkachels

Pelletkachels zien er hetzelfde uit als gewone houtkachels. In plaats van hout verbranden pelletkachels houtpellets, vaak op een efficiëntere wijze. Een pelletkachel verwarmt de lucht in de ruimte rechtstreeks. Een pelletkachel is niet hetzelfde als een biomassaketel, zie Figuur 7. Een biomassaketel lijkt meer op een gasketel. De verbranding vindt in het apparaat in een bergruimte plaats. Met de verbranding wordt water opgewarmd. Een centraal verwarmingssysteem verdeelt het warme water verder over de radiatoren in de woning. Indien de woningeigenaar alle leefruimtes in de volledige woning comfortabel wil verwarmen is een biomassaketel een geschiktere keuze. Dit hoofdstuk behandelt de pelletkachel. Het volgende hoofdstuk gaat verder in op de biomassaketel.

Figuur 7 - Pelletkachel (links) en Pelletketel (rechts)



Bron: (Milieu Centraal, sd) (Brouwer Installatiebedrijf, sd).

Pelletkachels kunnen zowel gebruikt worden als hoofd- en als bijverwarming. Pelletkachels zijn primair geschikt voor het verwarmen van een enkele ruimte. Door gebruik van kanalisatie kunnen tegelijk meerdere ruimten verwarmd worden. De kachel geeft het meeste warmte af aan de ruimte waarin deze staat. Deze verhouding is ongeveer 70% voor de woonkamer en 30% via kanalisatie (Procede Biomass BV, 2018). Deze verhouding is erg woning- en configuratieafhankelijk, zo zijn ook 50/50%-verhoudingen mogelijk.

Pelletkachels worden nauwelijks in de utiliteit gebruikt.

## 4.1 Huidige waarden Vesta MAIS

Tabel 13 - Installatiewaarden pelletkachel FO Vesta MAIS 5.0

Naam	Beschrijving	Eenheid	Waarde	Bron
Ki_asl_min_pellet	Min. kosten per aansluiting pelletkachels wonen/util.	€/Aansl	1074.38	FO Conversie
Ki_asl_max_pellet	Max. kosten per aansluiting pelletkachels wonen/util.	€/Aansl	3305.79	FO Conversie
R_OH (pelletkachel)	Onderhoud pelletkachels	procent	4.00	CE Delft (2019c)

Tabel 14 - Performancewaarden pelletkachel FO Vesta MAIS 5.0

Naam	Beschrijving	Eenheid	Waarde	Bron
P_vol (pellet)	Aandeel geleverd uit pelletkachel op totaal RV	Procent	70	Werkwaarde
P_cap (pellet)	Dimensionering pelletkachels basislast RV	Procent	60	Werkwaarde
SPF_rv (pellet)	Efficiency pelletkachels ruimteverwarming	Procent	85	Werkwaarde

## 4.2 Validatie

### Kosten

Volgens onderzoek van Milieu Centraal bedragen de kosten voor een pelletkachel € 2.000 of meer. Daarbovenop komt € 2.000 voor het rookkanaal (aanleg en materiaal). Deze bedragen zijn inclusief btw. Samen kost dit € 3.306 (excl. btw).

Er zijn ook goedkopere kachels beschikbaar (vanaf € 500), maar deze voldoen niet aan alle kwaliteitseisen (Milieu Centraal, sd). Andere bronnen spreken over investeringskosten welke kunnen variëren tussen ca. € 1.000 en 5.000 per toestel (Pricewise, sd). De bovengrens is dan € 4.132 (excl. btw).

Er zijn geen subsidies meer beschikbaar voor de aanschaf van een pelletkachel (Milieu Centraal, sd). Het jaarlijks onderhoud van een pelletkachel is ongeveer even duur als bij een gasketel en bedraagt ongeveer € 100. Dit volgt uit een vergelijking van aanbieders van onderhoud.

### Rendement

Rendementen van pelletkachels bedragen ca. 80-92% (Pricewise, sd). Milieu Centraal geeft een rendement van 82% en het kennisdocument Houtstook van RVO geeft een rendement van 85% (Milieu Centraal, sd) (Procédé Biomass BV, 2018).



### 4.3 Voorstel aanpassing kengetallen in Vesta MAIS

Tabel 15 - Kengetallen pelletkachel

Kengetal	Rekenwaarde	Eenheid	Bron
Investeringskosten min. woningen	€ 3.306	€/kachel	Milieu Centraal
Investeringskosten max. woningen	€ 4.132	€/kachel	(Pricewise, sd)
Rendement	85%	%	80-92% (Pricewise, sd) 85% (Procede Biomass BV, 2018)
Afschrijftermijn	12	Jaar	RVO marktkansen biomassaketel (Procede Biomass BV, 2016)
Onderhoudskosten (OPEX)	2,5%	%	Vergelijking van aanbieders
Aandeel geleverd uit pelletkachel op totaal RV	Procent	70	(Procede Biomass BV, 2018)



## 5 Biomassaketels

Een biomassaketel verwarmt een volledige woning en zorgt naast ruimteverwarming ook voor warm tapwater.<sup>7</sup> Afhankelijk van de biomassaketel kun je er houtpellets, houtsnippers (chips) of hele houtblokken in verbranden. Een pelletketel is een type biomassaketel voor huishoudens die houtpellets verbrandt. Het is de meest voorkomende vorm van biomassaketels in woningen.

De biomassaketel werkt hetzelfde als een aardgas-combiketel, maar dan op hout/biomassa in plaats van op aardgas. Door hout in de ketel te verbranden, wordt water verwarmd dat via leidingen naar de radiatoren of vloerverwarming gaat. De ketel geeft zelf nauwelijks warmte af en staat in een aparte ruimte, bijvoorbeeld de bijkeuken of garage. De ketel, het voorraadvat en de houtpellets, snippers of blokken nemen immers behoorlijk wat ruimte in.

### 5.1 Huidige waarden

Tabel 16 - Installatiewaarden biomassaketel (CV) FO Vesta MAIS 5.0

Naam	Beschrijving	Eenheid	Waarde	Bron
Ki_asl_min_bioketel_w	Min. kosten per aansluiting biomassaketels woningen	€/Aansl.	5331.00	FO Conversie
Ki_asl_max_bioketel_w	Max. kosten per aansluiting biomassaketels woningen	€/Aansl.	17716.15	FO Conversie
Ki_opp_bioketel_u	Kosten per vierkante meter biomassaketels utiliteit	€/m <sup>2</sup>	40.90	FO Conversie
R_OH (biomassaketel)	Onderhoud biomassaketels	Procent	1.00	CE Delft (2019c)
Levensduur		Jaar	20	Vesta MAIS

Tabel 17 - Performancewaarden biomassaketel (CV) FO Vesta MAIS 5.0

Naam	Beschrijving	Eenheid	Waarde	Bron
P_vol_rv (bioketel)	Aandeel geleverd uit pelletkachel op totaal RV	Procent	70	Vesta MAIS
P_vol_tw (bioketel)	Aandeel geleverd uit pelletkachel op totaal TV	Procent	70	Vesta MAIS
P_cap_rv (bioketel)	Dimensionering biomassaketel basislast RV	Procent	60	Werkwaarde
P_cal_tw (bioketel)	Dimensionering biomassaketel basislast TW	Procent	60	Werkwaarde
SPF_rv (bioketel)	Efficiency biomassaketel ruimteverwarming	Procent	98	Werkwaarde
SPF_tw (bioketel)	Efficiency biomassaketel warm tapwater	Procent	98	Werkwaarde
eEffect_cap		Hulpelektriciteit GJ/jaar per kW installatievermogen	14	Vesta MAIS
AS_Name	Type afgiftesysteem		MTAS	Vesta MAIS

<sup>7</sup> Indien er meer dan 6% van de warmte wordt afgegeven aan een cv-installatie is er volgens de ECODESIGN-definitie sprake van een ketel in plaats van een kachel.

## 5.2 Validatie

### Investeringskosten woningen

Een biomassaketel (bijvoorbeeld een pelletketel) is te koop vanaf € 6.000. De volgende kosten komen erbij:

- € 2.000 voor het rookkanaal (aanleg en materiaal, bij een pijp door het dak van een woning met 2 verdiepingen waarbij de pelletkachel of biomassaketel op de begane grond staat);
- € 500 voor een buffervat of boiler van 200 liter (een groter buffervat is duurder, elke liter extra kost ongeveer € 1,50);
- zo'n € 350 voor aansluiting op het cv-systeem (inclusief opnieuw inregelen van het systeem).

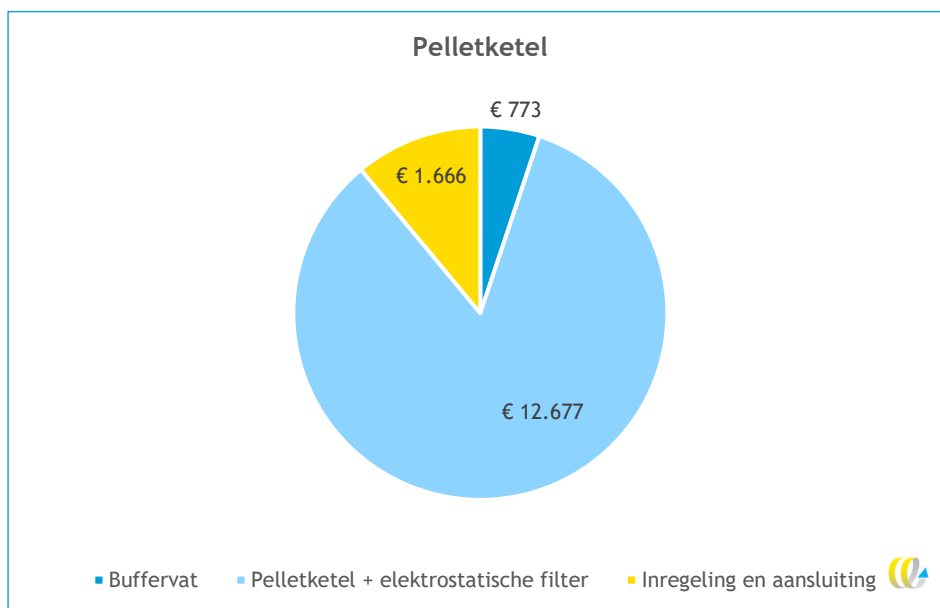
De totale kosten voor een pelletketel bedragen daarmee minimaal € 8.850 (incl. btw) (Milieu Centraal, sd).

De **gemiddelde** totale investeringskosten van een pelletketel volgens Arcadis zijn weergegeven in onderstaande tabel. De gemiddelde kosten zijn een stuk hoger dan de minimale kosten die Milieu Centraal noemt. Dit komt onder meer door hoge kosten van inregeling en aansluiting, een groter buffervat en een aanvullende dure elektrostatische filter op de schoorsteen. Bij een pelletketel is een buffervat groter dan bij andere warmte-technieken. Bij een pelletketel verwarmt het buffervat naast tapwater ook cv-water voor ruimteverwarming. Zo kan de ketel op nominaal vermogen pellets verbranden en het buffervat verwarmen en vervolgens afschakelen. Het opgewarmde buffervat levert dan warmte aan de woningen.

Tabel 18 - Kosten pelletketel Arcadis

Beschrijving	Eenheid	Waarde	Bron
Min. kosten per aansluiting pelletketel woningen	€/Aansl.	15.094	Arcadis
Gem. kosten per aansluiting pelletketel woningen	€/Aansl.	15.116	Arcadis
Max. kosten per aansluiting pelletketel woningen	€/Aansl.	15.196	Arcadis

Tabel 19 - Overzicht investeringskosten pelletketel (gemiddeld, Arcadis)



De investeringskosten van een pelletketel liggen lager dan die van **andere** biomassaketels, die naast houtpellets ook ruwere (goedkopere) vormen van biomassa kan verbranden.

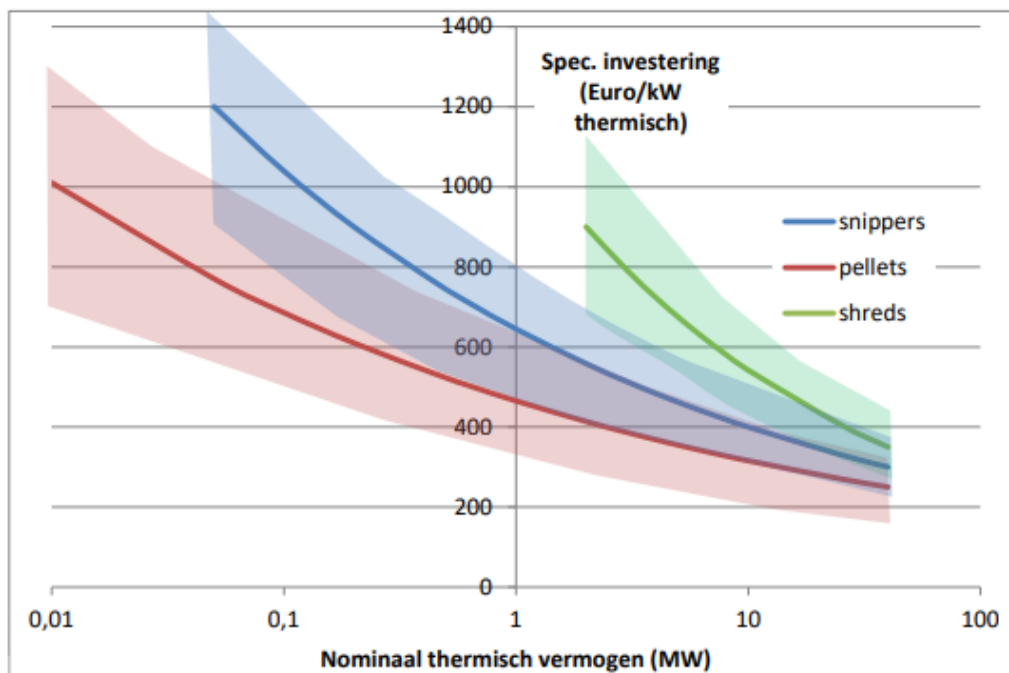
Tabel 20 - Kosten biomassaketel Arcadis

Beschrijving	Eenheid	Op zichzelf staand	Tijdens vervangmoment	Bron
Min. kosten per aansluiting biomassaketel woningen	€/Aansl.	21.315	17.408	Arcadis
Gem. kosten per aansluiting biomassaketel woningen	€/Aansl.	22.076	18.112	Arcadis
Max. kosten per aansluiting biomassaketel woningen	€/Aansl.	23.427	19.363	Arcadis

## Investeringskosten utiliteit

Figuur 8 toont de specifieke investeringsomvang van biomassaketels. De investeringsomvang bestaat uit de volledige biomassa-gestookte ketelinstallatie inclusief brandstofbunker, brandstoftoevoer, asafvoer, rookgasreinigingsinstallatie, warmtebuffer, hydraulische en regeltechnische inpassing en ketelhuis.

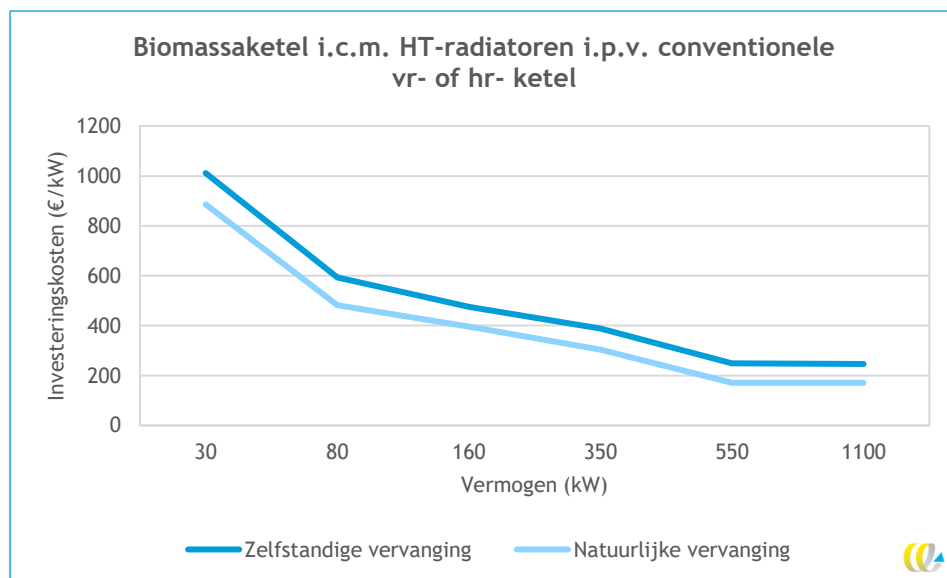
Figuur 8 - Specifieke investering bioketelinstallatie



Bron: (Procede Biomass BV, 2016).

De investeringskosten van Arcadis zijn weergegeven in Figuur 9. Deze investeringskosten bevinden zich aan de ondergrens van de onzekerheidsmarge die Procede Biomass BV aangeeft voor de kosten van een pelletketel, voor de grootste installaties > 500 kW liggen de kosten lager.

Figuur 9 - Investeringskosten utiliteit



Bron: (Arcadis, 2020).

De investeringskosten in de SDE++-conceptadviezen bedragen € 430/kW voor een installatie van 3 MW (PBL, 2021). Deze investeringskosten liggen tussen die van een biomassaketel met pellets en shreds uit Figuur 8. Vrijwel alle aangevraagde projecten uit 2021 liggen wat betreft investeringskosten ruim boven (+30%) tot ruim onder (-50%) het geadviseerde investeringsbedrag. Dit is een ruime bandbreedte.

## Rendementen

Het kennisdocument Houtstook van RVO geeft inzichten in de efficiëntie van biomassa-ketels. Omdat het verbrandingsproces continu op nominaal vermogen plaatsvindt tot de brandstof verbruikt is en de buffer vol is, is een goed rendement (ca. 90%) ook in de praktijk meestal haalbaar.

Figuur 10 - Rendementen van biomassa-installaties

Type verbrandingsinstallatie	rendement (%)
bioketel, NER-F7 <0,5 MW (<2013)	86%
bioketel, NER-F7 0,5..1,5 MW (<2013)	87%
bioketel, NER-F7 1,5..5 MW (<2010)	87%
bioketel, Act Besluit <0.5 MW (2013-2014)	86%
bioketel, Act Besluit 0.5-1 MW (2013-2014)	87%
bioketel, Act Besluit 0-1 MW (vanaf 2015)	87%
bioketel, Act Besluit 1-5 MW (sinds 2010)	87%
open haard	10%
inzethaard, conventioneel	45%
inzethaard, verbeterd	70%
inzethaard DIN+	80%
inzethaard, herziene 1 BimschV, fase 1	80%
inzethaard, herziene 1 BimschV, fase 2	80%
vrijstaand, conventioneel	50%
vrijstaand, verbeterd	75%
vrijstaand, DIN+	80%
vrijstaand, herziene 1 BimschV, fase 1	80%
vrijstaand, herziene 1 BimschV, fase 2	80%
pelletkachel	85%
pelletketel (4..25 kW)	91%

Bron: (Procede Biomass BV, 2018).

### 5.3 Voorstel aanpassing kengetallen in Vesta MAIS

Tabel 21 - Kengetallen pelletketel

Kental	Rekenwaarde	Eenheid	Bron
Investeringskosten woning min.	€ 7.314	€/woning	(Milieu Centraal, sd)
Investeringskosten woning gem.	€ 15.119	€/woning	Pelletketel (Arcadis, 2020)
Investeringskosten woning max.	€ 22.076	€/woning	Biomassaketel (Arcadis, 2020)
Rendement pelletketel (huishoudens)	90%	%	(Procede Biomass BV, 2018)
Rendement biomassaketel (utiliteit)	87%	%	(Procede Biomass BV, 2018)
Afschrijftermijn	12	Jaar	(Procede Biomass BV, 2016)
Investeringskosten utiliteit	Zie Figuur 8 -	€/kW	(Procede Biomass BV, 2016)
Onderhoudskosten woningen	1%	%	Vergelijking van aanbieders
Onderhoudskosten (OPEX)	26,5	€/kW	(Procede Biomass BV, 2016)



## 6 Olieketels

Oliegestookte cv-ketels worden steeds zeldzamer, maar ze bestaan nog steeds. Dit is met name een oplossing als men niet is aangesloten op het aardgasnet, vooral op het platteland. Een olieketel gebruikt de verbranding van stookolie om water op te warmen, dat vervolgens door het huis circuleert via leidingen, radiatoren of vloerverwarming. Tegenwoordig vindt men vooral olieketels die gebruikmaken van efficiënte technologieën: laagtemperatuurketels op stookolie en condensatieketels.

### 6.1 Huidige waarden

De huidige waarden ontbreken in het Functioneel Ontwerp. Hierna zijn werkwaarden uit Vesta MAIS weergegeven. Deze werkwaarden zijn opgesteld voor een olieketel, een olieketel wordt veelvuldiger toegepast.

Tabel 22 - Installatiewaarden olieketel FO Vesta MAIS 5.0

Naam	Beschrijving	Eenheid	Waarde	Bron
Ki_asl_min_olieketel	Min. kosten per aansluiting Olieketels wonen/util.	€/Aansl.	999	Werkwaarde
Ki_asl_max_olieketel	Max. kosten per aansluiting Olieketels wonen/util.	€/Aansl.	999	Werkwaarde

Tabel 23 - Performancewaarden olieketel FO Vesta MAIS 5.0

Naam	Beschrijving	Eenheid	Waarde	Bron
P_vol (olieketel)	Aandeel geleverd uit olieketel op totaal RV	Procent	70	Werkwaarde
P_cap (olieketel)	Dimensionering olieketel basislast RV	Procent	60	Werkwaarde
SPF_rv (olieketel)	Efficiency olieketel ruimteverwarming	Procent	85	Werkwaarde

### 6.2 Validatie

#### Kosten

De prijs van een gemiddelde nieuwe stookolieketel bedraagt ongeveer € 4.500 à 5.000 exclusief btw volgens gegevens van het Vlaamse parlement (Vlaams Parlement, 2021). Engie hanteert een aankoop prijs van € 5.800-6.800 exclusief btw (Engie, 2021). De operationele kosten van een stookolieketel zijn hoger dan een gasketel en bedragen € 200-250/jaar. Deze bestaan uit onderhoudskosten voor de olieketel (€ 100-200 excl. btw per vier jaar) en keuringskosten van de olietank (€ 80-130 excl. btw per jaar) (Verwarminginfo.nl, sd).



## Rendement

Het rendement van een olietel is afhankelijk van het type olietel. Oude olietels (20 jaar oud) hebben een rendement van 60-70%. Een moderne condensatietel bereikt 20 tot 30% besparing (Buldit, sd). Condenserende stookolietels hebben dan een rendement van 98% op lage verbrandingswaarde (Verwarminginfo.nl, sd).

In België wordt een olietel veel vaker toegepast dan in Nederland. In 2016 waren van de in gebruik zijnde stookolietels op de Belgische markt 29% hoogrendementsketels en bijna 17% condensatietels in gebruik bij huishoudens. Maar liefst 55% van de ketels is nog van een oudere generatie zonder labels (deze zijn meer dan 15 tot 20 jaar oud) (FOD economie, 2019).

### 6.3 Voorstel aanpassing kengetallen in Vesta MAIS

Tabel 24 - Kengetallen olietel

Kental	Rekenwaarde	Eenheid	Bron
Investeringskosten woning	€ 4.750	€/woning	(Vlaams Parlement, 2021)
Investeringskosten woning	€ 6.300	€/woning	Engie, 2021 (Verwarminginfo.nl, sd)
Rendement moderne ketel	98%	%	(Verwarminginfo.nl, sd)
Rendement oude ketel (15-20 jaar oud)	65%	%	(Buldit, sd)
Rendement gemiddeld	80%	%	Van bovenstaande typen volgens de verdeling van de stookolietels in België.
Afschrijftermijn	25	Jaar	(mazoutonline.be, sd) Meer dan 25 jaar.
Onderhoudskosten (OPEX)	3,5%	%	Engie, 2021)

# 7 Propaangasketel met tank

Propaangas is een alternatieve energiebron en wordt vaak gebruikt in gebouwen die niet op het aardgasnet zijn aangesloten. Propaangas wordt opgeslagen in een bovengrondse of ondergrondse opslagtank. Propaangas wordt net zoals aardgas (methaan) verbrand in een gasketel.

Figuur 11 - Propaantank



Bron: (Primagaz, 2021).

## 7.1 Huidige waarden

Een ketel op propaangas is niet opgenomen als warmtetechniek in de huidige versie van Vesta MAIS en het functioneel ontwerp.

## 7.2 Validatie

Op de cv-ketelmarkt is de prijs van een hr- of vr-ketel op propaan gelijk aan die van een hr- of vr-ketel op aardgas; circa € 1.800-€ 2.225 voor een gemiddelde hr-ketel. Voor het ombouwen van aardgas naar propaangas komt daar dan gemiddeld nog circa € 150-€ 200 bij (Primagaz, 2021).

Een gastank wordt te huur aangeboden door de gasleverancier. Een eenmalige bijdrage voor een ondergrondse tank bedragen € 2.900 tot € 4.464 voor het ingraven. Daarbovenop betaalt de woningeigenaar € 60 per jaar huur. De kosten voor een bovengrondse tank bedragen € 120 huur per jaar (Primagaz, 2021).

Eenmalige installatiekosten bedragen € 525, maar installatie wordt soms ook gratis aangeboden (Primagaz, 2021).

### 7.3 Voorstel aanpassing kengetallen in Vesta MAIS

Tabel 25 - Kengetallen olietketel

Kental	Rekenwaarde	Eenheid	Bron
Investeringskosten propaanketel woning min.	€ 1.950	€/woning	(Primagaz, 2021) excl. installatiekosten
Investeringskosten propaanketel woning max.	€ 2.425	€/woning	(Primagaz, 2021) excl. installatiekosten
Rendement ruimteverwarming	104%	%	Zie aardgasketel
Rendement tapwater	76%	%	Zie aardgasketel
Afschrijftermijn	15	Jaar	Zie aardgasketel
Onderhoudskosten propaanketel	6,3%	%	Zie aardgasketel (€ 138,82/jaar)
Jaarlijkse kosten bovengrondse tank	5,5%	%	(Primagaz, 2021) (€ 120/jaar)



# 8 Zon-pv

## 8.1 Huidige waarden

Een zon-pv-installatie is niet opgenomen als warmtetechniek in de huidige versie van Vesta MAIS en het functioneel ontwerp.

## 8.2 Nieuw voorstel rekenmethode

### Opbrengst zonnepanelen

Het zon-pv-systeemtype met een bepaalde configuratie, oriëntatie en bevestiging bepaalt de energieopbrengst. Verschillende factoren bepalen de energieopbrengst (zie ook de volgende formule):

- de specifieke opbrengst is een maat voor het aantal vollasturen dat een zonnepaneel maakt per jaar;
- het vermogen van een zonnepaneel;
- de paneeldichtheid is de combinatie van een bedekkingsgraad, namelijk hoe dicht bijeen panelen gelegd worden zonder schaduw op elkaar te werpen, en een rand- en obstakelfractie nodig voor veiligheid en onderhoud;
- de projectie zorgt ervoor dat steeds rekening gehouden wordt met een horizontaal dakoppervlak.

Kengetallen voor deze factoren zijn voor verschillende configuraties terug te vinden in Tabel 26. Het vermogen van een zonnepaneel is onafhankelijk van de zonnepaneel-configuratie en wordt in het volgende hoofdstuk besproken.

#### Vergelijking 1- Formule opbrengstberekening zon-pv

$$\begin{array}{ccccccc} \text{Energieopbrengst} & = & \text{Specifieke opbrengst} & \times & \text{Vermogen} & \times & \text{Paneeldichtheid} / \text{Projectie} \\ \\ \text{Energieopbrengst per bruto gebruiksooppervlak} & = & \text{Specifieke opbrengst} & \times & \text{Vermogen} & \times & \text{Rand- en obstakelfractie} \times \text{Bedekkingsgraad} / \text{Projectie} \\ \\ \text{kWh}_e / (\text{m}^2 \text{ gebruik-jaar}) & & \text{kWh}_e / (\text{kWp-jaar}) & & \text{kW/m}^2 & & (1 - F_{\text{rand-obstakel}}) \times R_{\text{bedekking}} / \cos \alpha \end{array}$$

Bron: (TKI Urban Energy & Generation Energy, 2021).



Tabel 26 - Opbrengstbepalende factoren voor verschillende zon-pv-systeemtypes

Omschrijving systeemtype	bedekkingsgraad bij dichtste pakking	Rand en obstakelfractie	Projectie van paneel op de grond	Specifieke opbrengst in berekeningen
Woning zuid dak (BAPV)	0,99	0,35	0,77	942
Woning zuid dak (BIPV)	0,99	0,2	0,77	942
Woning noord dak (BAPV)	0,99	0,35	0,77	501
Woning noord dak (BIPV)	0,99	0,2	0,77	501
Woning oost-west dak (BAPV)	0,99	0,35	0,77	749
Woning oost-west dak (BIPV)	0,99	0,2	0,77	749
Woning plat dak zuid (BAPV)	0,75	0,35	0,98	875
Woning plat dak oost-west (BAPV)	0,92	0,35	0,98	799
Woning gevel zuid	0,99	0,75	nvt	677
Woning gevel oost-west	0,99	0,75	nvt	485
Utiliteit plat dak flex	0,95	0,2	1,00	827
Utiliteit plat dak oost-west	0,92	0,3	0,98	799
Utiliteit plat dak zuid	0,75	0,3	0,98	875
Utiliteit complexe dakvorm	0,8	0,5	0,94	883
Utiliteit gevel zuid	0,99	0,5	nvt	677
Utiliteit gevel oost-west	0,99	0,5	nvt	485
Agrarische schuur oost-west	0,99	0,1	0,87	818
Agrarische schuur zuid	0,99	0,1	0,87	991
Agrarische schuur noord	0,99	0,1	0,87	609

Bron: (TKI Urban Energy & Generation Energy, 2021).

Opmerking: BAPV (Building applied PV) zijn losse zonnepanelen die op het gebouw bevestigd worden, BIPV (Building integrated PV) zijn in de gebouwstructuur verwerkte zonnepanelen.

### Gemiddelde waarde-specifieke opbrengst

Het CBS hanteert op dit moment het kengetal van 875 kWh/kWp/jr als gemiddelde voor alle systemen in Nederland (CBS & RVO, 2015).

## Vermogen van zonnepanelen

Het vermogen van een zonnepaneel volgt uit het rendement waarmee zonlicht wordt omgezet in zonnestroom. Het rendement en dus ook het vermogen zal de komende decennia toenemen door technologische innovatie van de zonnepanelen. Tabel 27 geeft de rendementen en vermogens van zon-pv-panelen.

Tabel 27 - Evolutie rendement en vermogen van zon-pv-panelen

	Gemiddelde rendement verkochte zon-pv-panelen	Gemiddelde vermogen verkochte zon-pv-panelen (60 cells 1,65 m <sup>2</sup> ) (Wattpiek)	Verwachte vlootgemiddelde rendement
2018	17,3%	285	
2020	18% (15-22%)	297	
2030	23% (22-25%)	380	21,5%
2050	30% (24 - >30%)	495	23%

Bron: (TKI Urban Energy & Generation Energy, 2021).

## Scenario's zon-pv-bedekking

Een gebouweigenaar kiest zelf hoeveel vermogen of vierkante meter zonnepanelen hij op het dak legt. Hier geven we een korte, onvolledige, opsomming van mogelijkheden.

- Strategie 1: Het dak vol leggen (maximum).
- Strategie 2: Voldoen aan de BENG-eisen, minimaal aantal verplichte zonnepanelen.
- Strategie 3: Zonnestroomopbrengst die ongeveer overeenkomt met het jaarlijkse elektriciteitsverbruik van een huishouden. Naarmate de salderingsregeling wordt verminderd heeft een huishouden minder redenen om deze strategie te volgen.
- Strategie 4: Enkel optimaal zuidelijk gerichte dakdelen.
- Strategie 5: Het dakoppervlak delen met een zonwarmtesysteem zoals bijvoorbeeld een zonneboiler.

Niet alle daken of dakdelen zijn technisch geschikt. Soms zijn er belemmeringen waardoor het dak niet (volledig) benut kan worden. Zo is er soms te veel schaduw op het dak. De dakconstructie is bij grote utiliteitsdaken soms onvoldoende sterk om de extra zonnepanelen inclusief ballast te dragen. Uit een studie van bedrijfsdaken in Utrecht blijkt een totale benuttingsgraad van een bedrijfsdak van 31% realistisch. Dit is inclusief de dakbedekkingsgraad en obstakelfractie (Greenspread, 2021). Uit een gisanalyse van de potentie van pv op daken in Utrecht is een gemiddelde instralingscorrectie (19%), randcorrectie (6,5%) en obstakelcorrectie (11,3%) resulteert een totale correctiefactor voor woningdakoppervlak van 33%. Gemiddeld gezien is dus 67% van het dakoppervlak geschikt. Factoren zoals stevigheid zijn bij woningdaken meestal geen probleem.

## Investeringskosten

De investeringskosten per vermogen zijn erg afhankelijk van de totale omvang en dus het vermogen van de pv-installatie. Ten gevolge van schaalvoordelen zijn grote installaties goedkoper dan kleine installaties. De pv-installaties op woningdaken zijn duurder dan op bedrijfsdaken. Uit analyse van de SDE+-aanvragen is duidelijk dat de specifieke investeringskosten voor grotere systemen lager liggen dan voor de kleinere systemen. In de range tussen 15 tot 50 kWp is de gemiddelde waarde € 1,05/Wp (TNO, 2020). De investeringskosten verschillen wel veel tussen projecten van gelijk vermogen. In de



grote range van de SDE++-adviezen (15 kWp tot 1 MWp) is de gemiddelde waarde € 0,70/Wp (CE Delft, 2020).

De investeringskosten voor pv-installaties op woningdaken zijn weergegeven in Tabel 28. Holland Solar geeft aan dat deze kosten aan de hoge kant zijn. Begin 2021 was er een range van € 0,81-1,24/Wp voor zon-pv op woningdaken met een middenwaarde van 1,06 voor de totale kosten (die middenwaarde is met ongeveer 7% gestegen in de tweede helft van 2021).

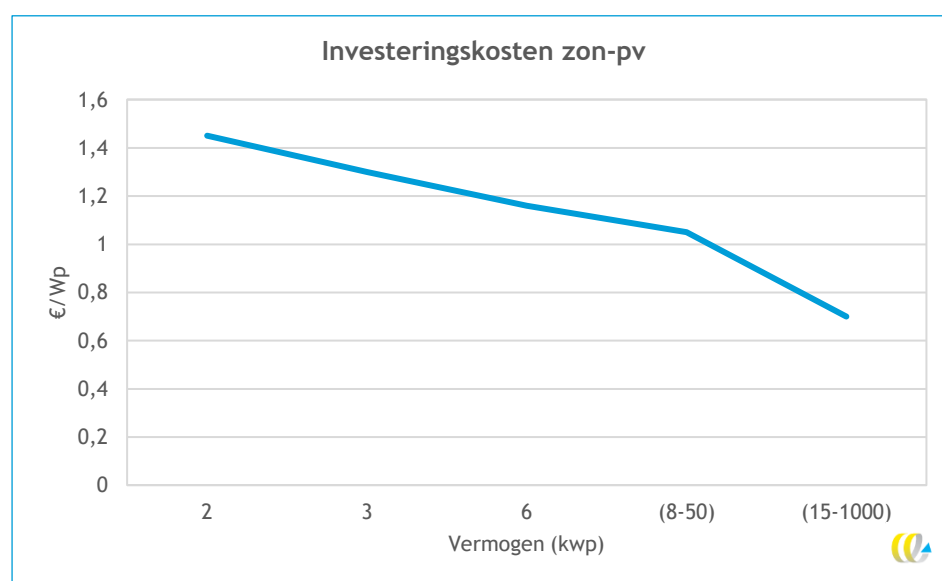
Tabel 28 - Pv-installaties op woningdaken

Aantal panelen	Totaalprijs excl. btw <sup>8</sup>	Investeringskosten (2019 excl. btw)
6	€ 3.400	€ 1,45/Wp
10	€ 5.000	€ 1,31/Wp
18	€ 7.900	€ 1,16/Wp

Bron: (TNO, 2020).

De investeringskosten dalen naar gelang het vermogen van de zon-pv-installatie stijgt. Deze trend is weergegeven in Figuur 12.

Figuur 12 - Investeringskosten zon-pv per vermogen



<sup>8</sup> Ter stimulering van zon-pv kan de woningeigenaar aanspraak maken op btw-teruggave.

## 8.3 Voorstel aanpassing kengetallen voor Vesta MAIS

Tabel 29 - kengetallen Vesta Mais

Kental	Rekenwaarde	Eenheid	Bron
Investeringskosten woningen - component afh. v. oppervlak	189	€/m <sup>2</sup> zonnepaneel	(Arcadis, 2020) range € 178-200/m <sup>2</sup>
Kosten utiliteit (8-50 kWp)	€ 1,05	€/Wp	(TNO, 2020)
Kosten Utiliteit (>15 kWp-1 MWp)	€ 0,70	€/Wp	(CE Delft, 2020)
Jaarlijkse kostendaling	3,5% <sup>9</sup>	%/jaar	(TNO, 2020)
Specifieke opbrengst	Ca. 875	kWh/kWp	Afhankelijk van de configuratie zie Tabel 26 - . Gemiddelde waarde (CBS & RVO, 2015).
Vermogen per paneel	180 (2020) 200-210 (2021) 230 (2030) 300 (2050)	Wp/m <sup>2</sup> zonnepaneel	(TKI Urban Energy & Generation Energy, 2021) (Gemiddeld 60 cells paneel is 1,65 m <sup>2</sup> )
Levensduur	27	Jaar	Een zonnestroomsysteem gaat gemiddeld 27 jaar mee (uitgaande van nominaal 30 jaar, met beperkte eerder uitval) (TKI Urban Energy & Generation Energy, 2021).
Onderhoud woning	0%		Onderhoudsvrij
Onderhoud utiliteit	2,4%	%	(CE Delft, 2020)
Levensduur omvormer	12	Jaar	(TNO, 2020)

<sup>9</sup> Dit komt overeen met een kostendaling van 30, 49 en 66% in 10, 20 respectievelijk 30 jaar.



# 9 Zonneboilers

De standaard zonneboiler wordt enkel ingezet voor warmtapwater (douche en keuken). Een zonneboiler bespaart gemiddeld 50% op het gasverbruik voor verwarming van tapwater. Het is niet mogelijk om met een zonneboiler de volledige warmtevraag te dekken. Voor het resterende deel is altijd nog een andere warmtetechniek nodig.

## 9.1 Huidige waarden

Een zonneboiler is niet opgenomen als warmtetechniek in de huidige versie van Vesta MAIS en het functioneel ontwerp.

## 9.2 Nieuw voorstel rekenmethode

### Opbrengst zonneboiler

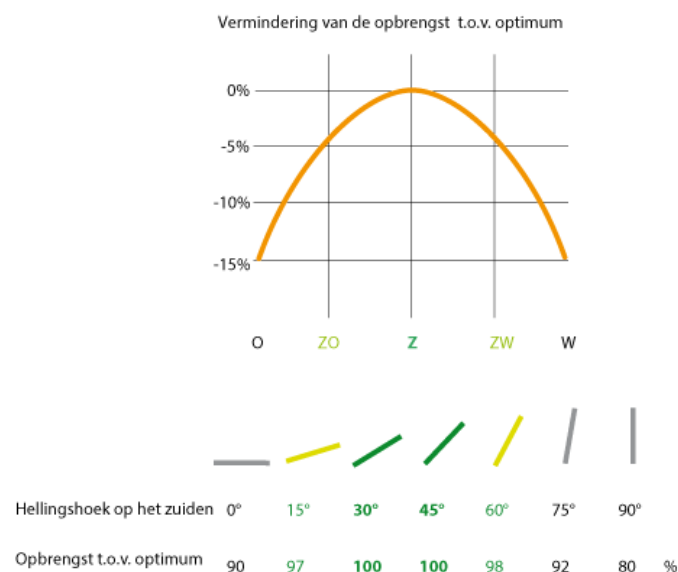
De opbrengst van een zonneboiler schaalt lineair met het oppervlak. De opbrengst is bepaald aan de hand van het Protocol Monitoring Hernieuwbare Energie 2015 (CBS & RVO, 2015).

Vergelijking 2 - Verhouding opbrengst per collectoroppervlak

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

Bovenstaande relatie over de zonnewarmteopbrengst van een zonneboiler gaat uit van de instraling van de zon onder optimale condities (voor Nederland 45° zuid). Figuur 13 toont de opbrengstvermindering wanneer van deze ideale omstandigheden wordt afgeweken.

Figuur 13 - Opbrengst zonneboiler voor tapwaterverwarming in relatie tot oriëntatie en hellingshoek



Bron: (Klimapeda, sd).

Tabel 30 toont de opbrengst (gasbesparing) van een optimaal geplaatst klein zonneboiler-systeem voor een woning volgens Milieu Centraal (Milieu Centraal, sd). Deze gasbesparing komt overeen met de bovenstaande verhouding<sup>10</sup>. Volgens Techniek Nederland wordt een standaard zonneboiler voor een huishouden gekenmerkt door een 100 liter boilervat en een 3 m<sup>2</sup> collectoroppervlak. Bij een gemiddeld gezin is de besparing dan ongeveer 175 m<sup>3</sup> aardgas (Techniek Nederland, 2021).

Tabel 30 - Opbrengst en kosten zonneboiler

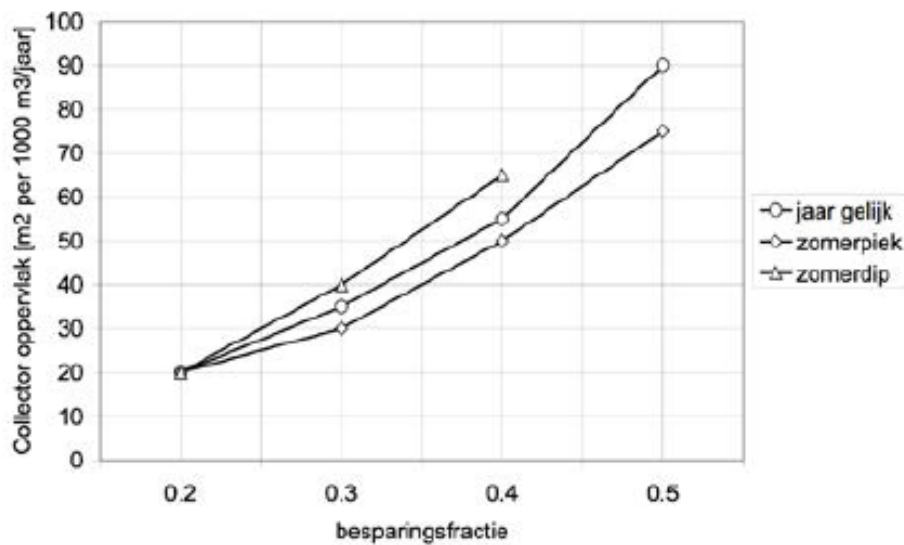
Aantal personen	Collector/Vorraadvat (m <sup>2</sup> /liter)	Besparing gas in m <sup>3</sup>
2	2 m <sup>2</sup> /80 liter	120 m <sup>3</sup>
4	3,5 m <sup>2</sup> /150 liter	180 m <sup>3</sup>
6	5 m <sup>2</sup> /220 liter	240 m <sup>3</sup>

Bron: (Milieu Centraal, sd).

De energiebesparing (besparingsfractie) bij grote zonneboilersystemen is afhankelijk van het systeemontwerp. Hoe groter het collectoroppervlak, hoe groter de besparingsfractie. Een besparingsfractie van meer dan 0,5 is niet gebruikelijk. Een richtlijn voor de besparing per m<sup>2</sup> collectoroppervlak is 50 m<sup>3</sup> aardgas (Techniek Nederland, 2021). Dit wordt gerealiseerd bij een besparingsfractie van 20%. Daarvoor is 35 tot 50 liter voorraadvat nodig per m<sup>2</sup> collectoroppervlak.

<sup>10</sup> Bij de berekening van de gasbesparing is de efficiëntie van de gasketel niet meegenomen. 1 m<sup>2</sup> zonneboiler geeft een gasbesparing van 60 m<sup>3</sup>. Dit komt overeen met 1,89 GJ via de onderwaarde van gasverbranding (31,65 MJ/m<sup>3</sup>). Hierbij ontbreekt een ketefficiëntie van ca. 75% voor het verwarmen van tapwater. Er wordt dus meer gas bespaard.

Figuur 14 - Globale bepaling van collectoroppervlak in relatie tot de besparingsfractie



Bron: (Techniek Nederland, 2021).

## Scenario's zonneboiler

Voor woningen wordt een zonneboiler gedimensioneerd op basis van de (helft van de) warmtevraag voor warm tapwater. Bij woningen geldt de vuistregel dat 50% van de warm tapwaterbehoefte voorzien wordt door de zonneboiler. De warmtapwatervraag bepaalt het benodigde oppervlak van de zonneboilercollector.

Voor utiliteit is er meer variatie mogelijk met de besparingsfractie, het aandeel warm tapwater dat door de zonneboiler wordt geleverd. Afhankelijk van de keuze voor een bepaalde besparingsfractie wordt het systeem gedimensioneerd. Techniek Nederland geeft een richtlijn die overeenkomt met 20%, maar ook hogere besparingsfracties tot 50% zijn mogelijk (Techniek Nederland, 2021).

Tot slot is er concurrentie mogelijk met ander ruimtegebruik op het dak en moet het dak voldoende zonlicht hebben. Ongeveer 65-80% van de daken is geschikt volgens de Zonatlas. De Zonatlas definieert een dak als geschikt als er minimaal 8 m<sup>2</sup> aaneengesloten dakoppervlak beschikbaar is. Dit is ruim voldoende voor een zonneboiler. (CE Delft, 2020)

Zonneboilers voor individueel verketelde meergezinswoningen zijn mogelijk, maar zijn complexer te installeren dus duurder.

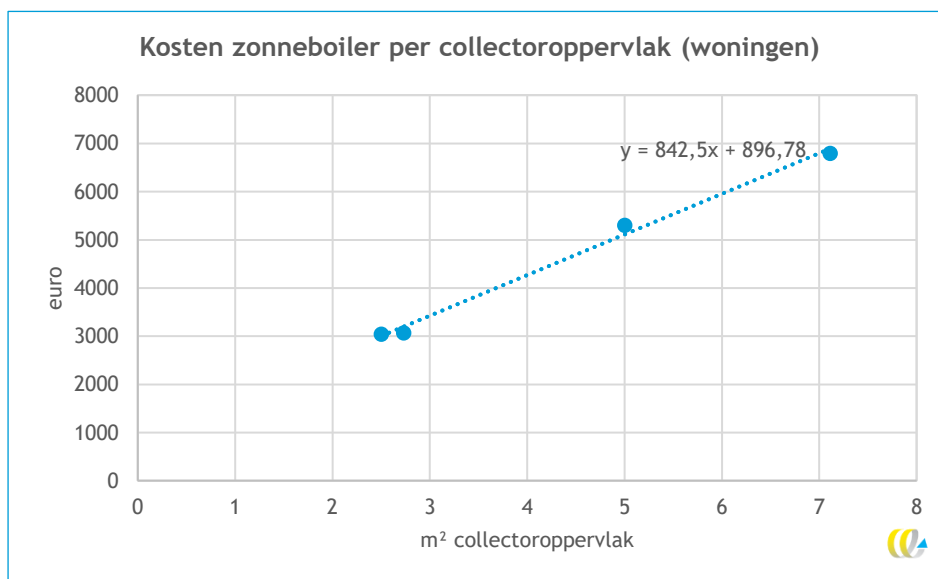
## Investeringskosten en operationele kosten

De investeringskosten voor een kleine zonneboilerinstallatie zijn hieronder weergegeven. In Tabel 31 volgen kostenramingen van Milieu Centraal, en in Figuur 15 volgen kostenramingen van Arcadis.

Tabel 31 - Kosten kleine zonneboilerinstallatie Milieu Centraal

Aantal personen	Collector/Vorraadvat (m <sup>2</sup> /liter)	Aankoop prijs (eenmalig)	Subsidie 2021 (eenmalig)
2	2 m <sup>2</sup> /80 liter	€ 2.500	€ 600
4	3,5 m <sup>2</sup> /150 liter	€ 3.300	€ 1.000
6	5 m <sup>2</sup> /220 liter	€ 4.300	€ 1.350

Figuur 15 - Kosten zonneboiler per collectoroppervlak



Bron: (Arcadis, 2020).

De kosten voor een grotere zonneboiler bedragen € 34 per liter collectoroppervlak volgens Arcadis. Op basis daarvan en de voorgaande grafieken volgen bij een besparingsfractie van 20% investeringskosten van € 1.700 per m<sup>2</sup> collectoroppervlak. Met de verhouding uit **Vergelijking 2** krijgen we daarmee investeringskosten van € 900 per GJ warm tapwatervraag.

De onderhoudskosten van een zonneboiler zijn laag, ongeveer € 50 per onderhoudsbeurt. Onderhoud dient iedere vijf jaar uitgevoerd te worden (Consumentenbond, 2019). Een zonneboiler verbruikt ongeveer 40 kWh per jaar voor het rondpompen van het warme water (Milieu Centraal, sd).

### 9.3 Voorstel aanpassing kengetallen in Vesta MAIS

Tabel 32 - Kengetallen zonneboiler

Kengetal	Rekenwaarde	Eenheid	Bron
Investeringskosten woningen - vaste component	842,50	€/woning	(Arcadis, 2020)
Investeringskosten woningen - component afh. v. capaciteit	896,78	€/m <sup>2</sup> collector	(Arcadis, 2020)
Minimale collectoroppervlakte per tapwatervraag	0,529	m <sup>2</sup> collector /GJ warm tapwatervraag	(Milieu Centraal, sd)
Rendementsfactor oriëntatie en hellingshoek	Zie Figuur 13 -		(Klimapeda, sd)
Maximaal tapwatervraag	50%	% Maximaal tapwatervraag	(Milieu Centraal, sd) (CBS & RVO, 2015)
Investeringskosten utiliteiten	900	€/GJ warm tapwater	(Arcadis, 2020)
Afschrijftermijn	20-25	Jaar	(CBS & RVO, 2015) (Consumentenbond, 2019)
Onderhoudskosten woning	10	€/jaar	(Consumentenbond, 2019)
Hulpenergie rondpompen water	40	kWh/woning	(Milieu Centraal, sd)
Onderhoudskosten utiliteit	2%	% van investering	Aanname CE Delft

# 10 Hr-ketel

## 10.1 Huidige waarden

Tabel 33 - Installatiewaarden hr-ketel (CV) FO Vesta MAIS 5.0

Naam	Beschrijving	Eenheid	Waarde	Bron
Ki_asl_min_HR_w	Min. kosten per aansluiting hr- en vr-ketels woningen	€/Aansl.	1692.19	Arcadis
Ki_asl_max_HR_w	Max. kosten per aansluiting hr- en vr-ketels woningen	€/Aansl.	1859.50	Arcadis
Ki_cap_HR_u	Kosten per kilowatt hr- en vr-ketels utiliteit en GLTB	€/kW	79.66	Arcadis
R_OH (Hr/Vr-ketels)	Onderhoud hr-ketels en vr-ketels	Procent	4.65	CE Delft (2019c)
Levensduur		Jaar	20	Vesta MAIS

Tabel 34 - Performancewaarden hr-ketel FO Vesta MAIS 5.0

Naam	Beschrijving	Eenheid	Waarde	Bron
SPF_rv (HR/VR_ketel_w)	Efficiency gasketels ruimteverwarming in woningen <sup>4</sup>	Procent	104.00	FO Conversie
SPF_tw (HR/VR_ketel_w)	Efficiency gasketels warm tapwater in woningen <sup>4</sup>	Procent	72.00	FO Conversie
SPF_rv (HR/VR_ketel_u)	Efficiency gasketels ruimteverwarming in utiliteit <sup>4</sup>	Procent	104.00	FO Conversie
SPF_tw (HR/VR_ketel_u)	Efficiency gasketels warm tapwater in utiliteit <sup>4</sup>	Procent	72.00	FO Conversie
eEffect_cap gasketel <sup>6</sup>	Jaarlijkse pompenergie gasketels capaciteitsafhankelijk	GJ/kW	0.014	CE Delft FO 3.0
SPF_tw (H2-ketel)	Efficiency waterstofketels tapwaterproductie	Procent	72.00	Notitie PBL H2
SPF_rv (H2-ketel)	Efficiency waterstofketels ruimteverwarming	Procent	110.00	Notitie PBL H2

## 10.2 Validatie

### Kosten

De investeringskosten voor een hr-ketel voor een woning zijn weergegeven in onderstaande tabel en figuur. We zien dat de kosteninschatting van Arcadis hoger ligt dan de gemiddelde kosten uit onderzoek van Panteia uitgevoerd in opdracht van ACM (Panteia, 2019). De studie van Panteia is uitgevoerd aan de hand van een uitgebreide enquête bij installateurs. De studie geeft enkel een gemiddelde waarde en geen bandbreedte weer. De HR104-ketel wordt door ACM gebruikt als referentieketel in de berekeningen voor warmtevoorziening (ACM, 2022).

Tabel 35 - Investeringskosten

Beschrijving	Eenheid	Waarde	Bron
HR107-ketel min. woning	€/woning	2.266	(Arcadis, 2020)
HR107-ketel max. woning	€/woning	2.324	(Arcadis, 2020)
Gemiddelde investeringskosten cv-ketel met een CW3-waarde	€/woning	1.561	(Panteia, 2019)
Gemiddelde investeringskosten cv-ketel met een CW4-waarde	€/woning	1.584	(Panteia, 2019)
Gemiddelde investeringskosten cv-ketel met een CW5-waarde	€/woning	1.662	(Panteia, 2019)
Gemiddelde investeringskosten cv-ketel met een CW6-waarde	€/woning	2.115	(Panteia, 2019)
Gemiddelde investeringskosten cv-ketel	€/woning	1.640	(Panteia, 2019)
Cv-ketel 1.000 kW	€/utiliteit	100.429 (bandbreedte 80.000- 130.000)	(DNV GL, 2020)

Homedeal, een partij uit de markt, geeft het volgende kostenoverzicht in Tabel 36. Deze kosten zijn afhankelijk van de capaciteit van de hr-ketel. De prijzen liggen redelijk ver uiteen van € 700 tot € 3.000. De materiaalkosten bedragen ca. 60% van de totale investeringskosten en de arbeidskosten bedragen ca. 40% van de totale investeringskosten.

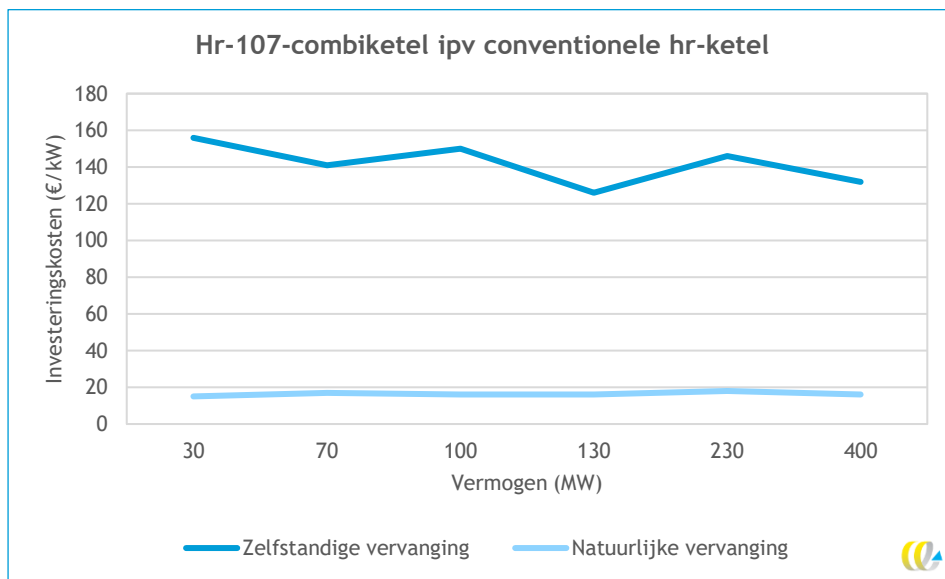
Tabel 36 - Kosten voor een hr-combiketel (inclusief installatiekosten en plaatsing)

Klasse	Capaciteit (liters p/m)	Gemiddelde prijzen	Geschikt voor	Gezinsgrootte
CW3	10	€ 700-€ 950	Keuken of douche of bad; niet tegelijk	1 à 2
CW4	12,5	€ 850-€ 1.400	Keuken of douche of bad; niet volledig tegelijk	2 à 3
CW5	15	€ 1.000-€ 1.600	Keuken of douche of bad; beperkt tegelijk	3 à 4
CW6	22	€ 1.800-€ 3.000	Keuken en douche of keuken en bad	4+

Bron: (Homedeal, sd).

Figuur 16 toont de investeringskosten van een hr-ketel voor de utiliteit. De kosten voor het natuurlijke vervangingsmoment zijn de installatiekosten die je maakt bij vervanging van een gasketel. Deze kosten zijn exclusief eenmalige aanpassingskosten bij de eerste installatie van een gasketel en de kosten voor de gasketel zelf.

Figuur 16 - Investeringskosten Arcadis HR107-combiketel



Bron: (Arcadis, 2020).

De operationele kosten van een service onderhoudscontract, voor een cv-ketel met een CW-waarde van 3 tot en met 6, bedragen gemiddeld € 138,82 per jaar (excl. btw) (prijspeil 2019) (Panteia, 2019). Uit dat onderzoek bleek dat 65% van de huishoudens een onderhoudscontract hadden. De operationele kosten bedragen 8,4% van de investeringskosten voor een gemiddelde gasketel.

Voor gasketels met een hoog vermogen 1.000 kW bedragen de operationele kosten 3% van de investeringskosten. (Warmteregeling artikel 2 lid 3b).

## Rendement

Ten opzichte van de onderwaarde van de verbrandingswaarde van aardgas is de efficiëntie voor ruimteverwarming gelijk aan de huidige kostenkengetallen. De rendementen voor ruimteverwarming en tapwaterverwarming bedragen respectievelijk 94% en 68% van de bovenste verbrandingswaarde van aardgas (ACM, 2022). Vesta MAIS rekent met de onderste verbrandingswaarde. Ten opzichte van de onderste verbrandingswaarde bedragen de rendementen 104% en 76%. (Warmteregeling artikel 3, lid 1)



### 10.3 Voorstel aanpassing kengetallen in Vesta MAIS

Tabel 37 - Kengetallen hr-ketel

Kental	Rekenwaarde	Eenheid	Bron
Investeringskosten woningen gem.	1.584	€/woning	(Panteia, 2019)
Investeringskosten woningen min.	1.561	€/woning	(Panteia, 2019)
Investeringskosten woningen max.	2.324	€/woning	(Arcadis, 2020)
Investeringskosten utiliteit max.	160	€/kW	(Arcadis, 2020)
Investeringskosten utiliteit gem.	100	€/kW	(DNV GL, 2020)
Investeringskosten utiliteit min.	80	€/kW	(DNV GL, 2020)
Rendement ruimteverwarming	104%	%	(ACM, 2022)
Rendement tapwater	76%	%	(ACM, 2022)
Operationele kosten utiliteit	3-5,7%	%	(Warmteregeling artikel 2 lid 3b) (DNV GL, 2020)
Operationele kosten woningen	8,4%	%	(Panteia, 2019)



# 11 Waterstofketel

Een waterstofketel is een gasketel die op waterstof werkt in plaats van op aardgas.

## 11.1 Huidige waarden

Tabel 38 - Kengetallen waterstofketel FO Vesta MAIS 5.0

Naam	Beschrijving	Eenheid	Waarde	Bron
Ki_asl_min_H2R_w	Min. kosten per aansluiting waterstofketel woningen	€/Aansl.	1792.19	Notitie PBL H2
Ki_asl_max_H2R_w	Max. kosten per aansluiting waterstofketel woningen	€/Aansl.	2359.50	Notitie PBL H2
Ki_cap_H2R_u	Kosten per kilowatt waterstofketel utiliteit	€/kW	95.59	CE Delft H2
SPF_tw (H2-ketel)	Efficiency waterstofketels tapwaterproductie	Procent	72.00	Notitie PBL H2
SPF_rv (H2-ketel)	Efficiency waterstofketels ruimteverwarming	Procent	110.00	Notitie PBL H2

## 11.2 Validatie

Momenteel zijn er meerdere pilotprojecten gaande met waterstofketels. Hierbij doen fabrikanten ervaring op met de techniek, testen ze de laatste prototypes en verbeteren ze de modellen. De fabrikanten ontwikkelen een waterstof ready-gasketel. Deze ketel werkt initieel op methaangas, met eventueel een beperkt percentage waterstofbijmenging ( $\leq 20\%$ ). Wanneer het gasnet wordt omgeschakeld naar waterstof, kan een installateur de ketel en de gasmeter in de woning in minder dan twee uur geschikt maken voor waterstof. De eerste waterstofketels worden dus gemaakt voor de overgangperiode.

De kosten van een waterstofketel zullen hoger liggen dan de kosten van een aardgasketel. De fabrikanten maken immers kosten voor de ontwikkeling van de waterstofketel, deze kosten willen de fabrikanten terugverdienen. In de huidige ontwikkelfase is echter nog geen model van een waterstofketel te koop op de markt. De marktintroductie zal ten vroegste plaatsvinden in 2023/2024. Dan zullen fabrikanten op basis van de verwachte marktomvang, de gemaakte ontwikkelkosten, de kostprijs van de waterstofketel en eventuele extra aanpassing (veiligheidseisen) een afweging maken over het prijsniveau van de waterstofketel. Dit prijsniveau kan verschillen in de tijd. Vaak ligt de kostprijs van een product bij lancering hoger en naarmate de afzet en concurrentie toeneemt daalt de prijs vervolgens.

De ontwikkeling van grotere waterstofketels voor de utiliteit volgt na de ontwikkeling van de waterstofketels voor woningen en start binnenkort.

### 11.3 Voorstel aanpassing in Vesta MAIS

Stedin gaat voor de korte termijn voorlopig nog uit van meerkosten voor waterstofketels van € 1.500, maar verwacht dat de totale meerkosten bij toenemende aantallen dalen naar € 300 per woning. (PBL, 2020)

Indien in de toekomst enkel apparatuur toegelaten zal worden die zowel aardgas, groengas als waterstof kan verbranden, is er geen sprake meer van meerkosten. Dan wijzigen de investeringskosten wel van de hr-combiketel op aardgas.



# 12 Warmtepompen

Warmtepompen worden steeds meer ingezet in de gebouwde omgeving. Een warmtepomp waardeert omgevingswarmte uit bijvoorbeeld de lucht of bodem op tot bruikbare temperaturen voor het verwarmen van een woning. Er zijn vele soorten configuraties en systemen mogelijk. In dit hoofdstuk beschouwen we:

- Individuele warmtepompen voor woningen (Paragraaf 12.1):
  - hybride warmtepompen;
  - luchtwarmtepompen;
  - bodemwarmtepompen;
  - HT-warmtepompen.
- Collectieve warmtepompen voor meergezinswoningen (Paragraaf 12.2).
- Grootschalige warmtepompen voor de utiliteit (Paragraaf 12.3):
  - luchtwarmtepomp;
  - bodemwarmtepomp.
- Individuele warmtepompen in warmtenet (Paragraaf 12.4).

## 12.1 Individuele warmtepompen voor woningen

### 12.1.1 Huidige waarden Vesta MAIS

Tabel 39 - Kengetallen warmtepompen FO Vesta MAIS 5.0

Afkorting	Beschrijving	Eenheid	Waarde	Bron
Ki_asl_min_eWPlw_w	Minimale kosten per aansluiting lucht-WP woningen	€/Aansl.	5359	Validatiesessies
Ki_asl_max_eWPlw_w	Maximale kosten per aansluiting lucht-WP woningen	€/Aansl.	4637	Validatiesessies
Ki_cap_min_eWPlw_w	Minimale kosten per kilowatt lucht-WP woningen	€/kW	320	Validatiesessies
Ki_cap_max_eWPlw_w	Maximale kosten per kilowatt lucht-WP woningen	€/kW	500	Validatiesessies
Ki_asl_min_eWPbw_w	Minimale kosten per aansluiting bodem-WP woningen	€/Aansl.	4628	Validatiesessies
Ki_asl_max_eWPbw_w	Maximale kosten per aansluiting bodem-WP woningen	€/Aansl.	8460	Validatiesessies
Ki_cap_min_eWPbw_w	Minimale kosten per kW bodem-WP woningen	€/kW	899	Validatiesessies
Ki_cap_max_eWPbw_w	Maximale kosten per kW bodem-WP woningen	€/kW	753	Validatiesessies
Ki_asl_BasisHWP_w	Kosten per aansl. Lucht-WP hybride situatie woningen	€/Aansl.	2315	Validatiesessies
Ki_cap_BasisHWP_w	Kosten per kW lucht-WP in hybride situatie woningen	€/Aansl.	250	Validatiesessies
SPF_rv_A (eWP_lw)	Efficiency Lucht-WP voor RV in woningen met label A+	Procent	466	Combinatie
SPF_rv_B (eWP_lw)	Efficiency Lucht-WP voor RV in woningen met label B	Procent	381	Combinatie
SPF_rv_C (eWP_lw)	Efficiency Lucht-WP voor RV in woningen met label C	Procent	339	Combinatie
SPF_rv_x (eWP_lw)	Efficiency Lucht-WP voor RV woningen, overige labels	Procent	339	Combinatie
SPF_tw (eWP_lw)	Efficiency Lucht-WP voor tapwater in woningen	Procent	220	Combinatie
SPF_k (eWP_lw)	Efficiency Lucht-WP voor koudeproductie in woningen	Procent	400	Combinatie
SPF_rv_A (eWP_bw)	Efficiency Bodem-WP voor RV in woningen label A+	Procent	563	Combinatie
SPF_rv_B (eWP_bw)	Efficiency Bodem-WP voor RV in woningen label B	Procent	407	Combinatie
SPF_rv_C (eWP_bw)	Efficiency Bodem-WP voor RV in woningen label C	Procent	361	Combinatie
SPF_tw (eWP_bw)	Efficiency Bodem-WP voor tapwater in woningen	Procent	250	Combinatie
SPF_k (eWP_bw)	Efficiency Bodem-WP voor koudeproductie woningen	Procent	800	Combinatie
SPF_rv (hWP_lw)	Efficiency hybride-WP woningen ruimteverwarming	Procent	320	ECW
P_vol (hWP_lw)	Aandeel elektrisch op totaal RV hybride-WP woningen	Procent	78	ECW
SPF_rv (hWP_lw)	Efficiency hybride-WP woningen ruimteverwarming	Procent	320	ECW



## 12.1.2 Validatie

### Investeringskosten

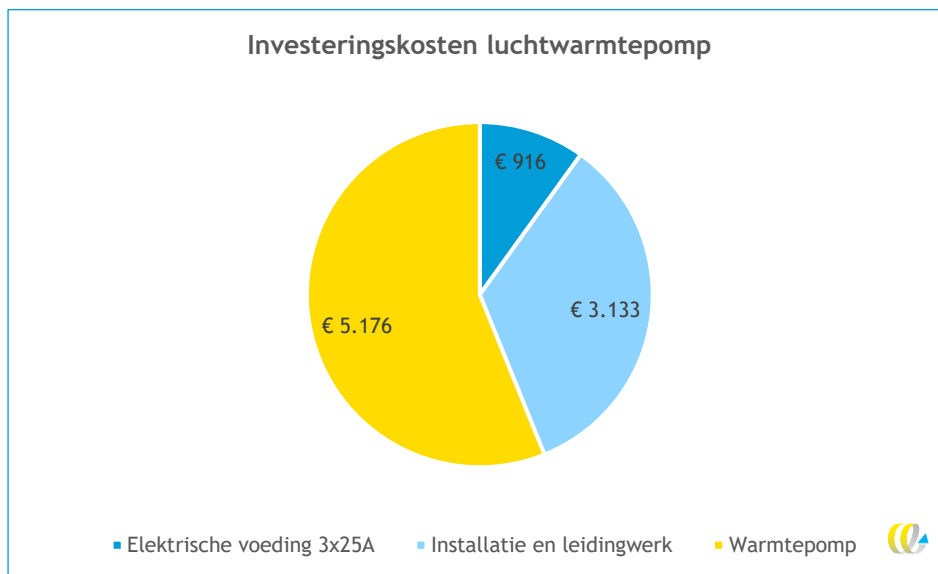
De investeringskosten van verschillende types warmtepompen voor individuele woningen zijn weergegeven in Tabel 40.

Tabel 40 - Investeringskosten van warmtepompen Arcadis (excl. btw)

Beschrijving	Eenheid	Op zichzelf staand	Natuurlijk vervangmoment	Bron
Min. kosten per aansluiting hybride warmtepomp woningen (bijplaatsen bij cv-ketel)	€/Aansl.	5.906	5.351	(Arcadis, 2020)
Max. kosten per aansluiting hybride warmtepomp woningen (bijplaatsen bij cv-ketel)	€/Aansl.	8.512	7.764	(Arcadis, 2020)
Min. kosten per aansluiting luchtwarmtepomp woningen	€/Aansl.	9.262	8.619	(Arcadis, 2020)
Max. kosten per aansluiting luchtwarmtepomp woningen	€/Aansl.	12.561	11.167	(Arcadis, 2020)
Min. kosten per aansluiting HT-warmtepomp woningen	€/Aansl.	15.158	14.302	(Arcadis, 2020)
Max. kosten per aansluiting HT-warmtepomp woningen	€/Aansl.	17.217	16.209	(Arcadis, 2020)
Min. kosten per aansluiting bodemwarmtepomp woningen	€/Aansl.	22.239	20.404	(Arcadis, 2020)
Max. kosten per aansluiting bodemwarmtepomp woningen	€/Aansl.	24.029	22.061	(Arcadis, 2020)

Let op! Bij de bodemwarmtepompen gelden 10% van de investeringskosten voor het aanpassen van HT-radiatoren naar LT-radiatoren. Om hiervan de dubbel telling te vermijden trekken we de kosten van LT-radiatoren van de totaal kosten in het kengetallenvoorstel voor Vesta MAIS.

Figuur 17 - Opsplitsing investeringskosten luchtwarmtepomp (excl. opslagen)



Bron: (Arcadis, 2020).

Tabel 41 - Investeringskosten van warmtepompen Milieu Centraal incl. btw en plaatsing

Volledige warmtepomp (€ incl. btw)	Prijs	Subsidie (2022)
Hybride warmtepomp	€ 4.300 (€ 4.000-6.000)	€ 1.950 tot € 3.000
Warmtepomp lucht, 3 tot 12 kW	€ 6.500 tot € 14.000	€ 1.950 tot € 3.750
Warmtepomp bodem, 4 tot 16 kW	€ 8.500 tot € 19.500	€ 3.750 tot € 5.100

Bron: (Milieu Centraal, sd).

## Aandeel boring in bodemwarmtepompen

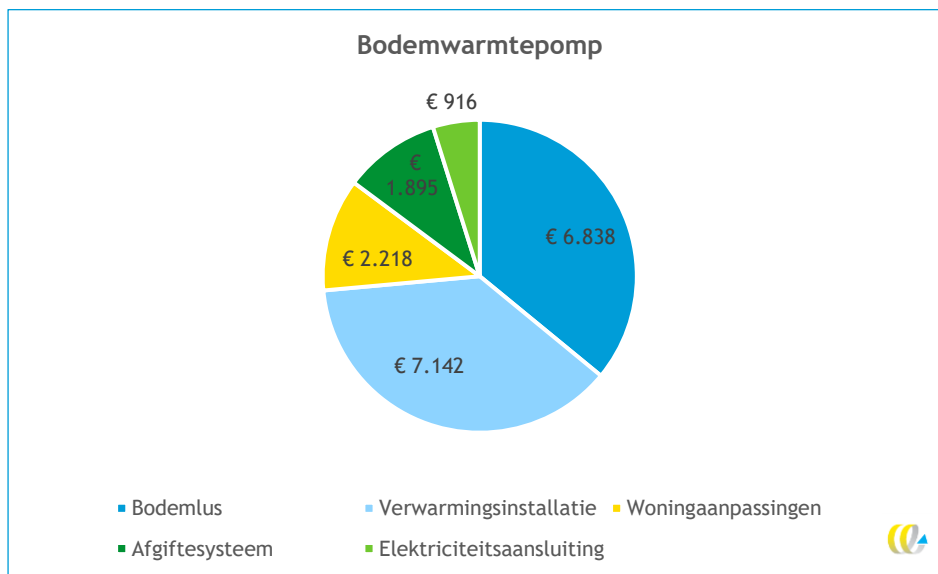
Bij bodemwarmtepompen wordt het deel van de investering dat uit de grondboring voortkomt afgeschreven over 30 jaar, terwijl de rest wordt afgeschreven over 15 jaar.

Tabel 42 - Huidige waarde in Vesta MAIS 5.0

Naam	Beschrijving	Eenheid	Waarde	Bron
AT30 (BodemWP)	Aandeel BodemWP afgeschreven over 30 jaar	Aandeel	0.4	Memo ECW

Uit de begrotingen van Arcadis blijkt dat 39% van de kosten ligt bij de bron voor een bodemwarmtepomp. Dit komt overeen met de eerdere kosten uit de memo van ECW over de investeringskosten warmtepompen utiliteit.

Tabel 43 - Kostenraming van een bodemwarmtepomp uitgesplitst naar kostenposten



Bron: (Arcadis 2020).

## Rendement

De rendementen van verschillende warmtepompen zijn onderzocht in het kader van het Nationaal trendrapport warmtepompen 2021. Naast de rendementen voor het jaar 2020 geeft het rapport ook een verwachting weer voor de rendementen in 2023. De hogere SCOP in 2023 kan te maken hebben met verbeterde technologie, maar ook is het mogelijk dat woningen beter geïsoleerd worden, waardoor de aanvoertemperaturen naar beneden kunnen en warmtepompen zuiniger functioneren. In het rapport wordt niet duidelijk waarop de fabrikanten hun verwachtingen precies baseren en hoeveel fabrikanten de enquête invulden.

Figuur 18 - Gemiddelde SCOP-warmtepompen

	Gemiddelde SCOP 2020	Gemiddelde SCOP 2023
Buitenlucht water	4,2	4,4
Buitenlucht/lucht (hybride)	3,5	4,5
Bodem (gesloten)	4,5	5,2
Bodem (open)	5,6	5,9

Bron: (Nationaal trendrapport warmtepompen 2021).

De minimale doelstellingen voor de rendementen van verschillende type warmtepompen zijn in de volgende tabel door TKI Urban Energy vastgesteld voor 2025 en 2030.

Tabel 44 - Toekomstige ontwikkeling van rendementen warmtepompen (SPF)

	2019			Doel in 2025			Doel in 2030		
	Ruimte- verwarming	Tapwater	Koeling	Ruimte- verwarming	Tapwater	Koeling	Ruimte- verwarming	Tapwater	Koeling
L/W WP	4,25	1,75	3	5,25	2,50	4	5,75	2,75	4,5
W/W WP	5,50	3	45	6,00	3,50	50	6,50	3,75	55

Bron: (TKI, 2020).

Het rendement van een HT-warmtepomp ligt lager dan de conventionele warmtepompen. Er is meer elektriciteit nodig om warmte tot hogere temperaturen op te waarden. Vattenfall heeft een warmtepomp ontworpen die op hoge temperaturen warmte levert. Deze warmtepomp heeft een SCOP van ongeveer 3 (Volkskrant, 2021). Deze SCOP van 3 komt overeen met de SPF van collectieve warmtepompen die warmte opwaarden van 15 °C naar 70 °C. (CE Delft, 2022)

### *Rendement Hybride warmtepomp?*

Een hybride warmtepomp is energiezuiniger dan een volledige warmtepomp. Milieu Centraal geeft een verbeterde systeemefficiëntie van 130-250% ten opzichte van de bovenwaarde van aardgas (Milieu Centraal, sd). Het jaarrendement (Seasonal Coefficient of Performance, SCOP) van een hybride warmtepomp zelf is over het algemeen 3,5 tot 4,5 (ECW, 2020).

Een hybride warmtepomp levert onmiddellijk een besparing van het gasverbruik op. Ter indicatie: dit is 40-80% van het gasverbruik voor ruimteverwarming. (Milieu Centraal, sd) De energiekwaliteit van de woning bepaalt hoe vaak een hybride warmtepomp bijspringt in de warmtelevering. De volgende tabel toont het aandeel van de warmtevraag dat geleverd wordt door de warmtepomp en door de gasketel. Bij beter geïsoleerde woningen wordt er meer gas bespaard.

Uit praktijkonderzoek 'Installatiemonitor' naar het rendement van hybride warmtepompen blijkt dat het seizoensrendement (SCOP) 3,8 bedraagt met een gemiddelde dekkinggraad van 60% excl. tapwater (BDH, 2022). De deelnemende woningen vormen helaas geen representatief beeld van de Nederlandse woningvoorraad.

Inclusief tapwater bedraagt de dekkinggraad 54% van de totale warmtevraag<sup>11</sup>. Dit komt overeen met een energielabel C-woning in Tabel 45, het gemiddelde energielabel in Nederland.

Tabel 45 - Aandeel van de ruimtewarmtevraag (excl. tapwater) geleverd door een hybride warmtepomp

Energielabel	Aandeel door de warmtepomp	Aandeel door de gasketel
A++	65%	35%
A/A+	63%	37%
B	59%	41%
C	52%	48%
D	47%	53%
E	43%	57%
F	42%	58%
G	42%	58%

Bron: (Warmtetechnieken.nl).

<sup>11</sup> De ruimteverwarmingvraag bedraagt 79% van de totale warmtevraag (ACM, 2022).



### 12.1.3 Voorstel aanpassing kengetallen in Vesta MAIS

De kostenkengetallen van Milieu Centraal en Arcadis liggen relatief ver uit elkaar. Milieu Centraal geeft structureel lagere inschattingen dan Arcadis. We beschouwen de kostenkengetallen van Arcadis. Milieu Centraal heeft aangegeven dat zij op basis van Arcadis hun kengetallen zullen updaten.

Tabel 46 - Aanpassing kengetallen Vesta MAIS

Kengetal	Waarde	Eenheid	Bron
Investeringskosten luchtwarmtepomp woningen min.	8.619	€/woning	(Arcadis, 2020)
Investeringskosten luchtwarmtepomp woningen max.	12.561	€/woning	(Arcadis, 2020)
Investeringskosten bodemwarmtepomp woningen min.	18.364	€/woning	(Arcadis, 2020)
Investeringskosten bodemwarmtepomp woningen max.	21.626	€/woning	(Arcadis, 2020)
Investeringskosten hybride warmtepomp woningen min.	5.351	€/woning	(Arcadis, 2020)
Investeringskosten hybride warmtepomp woningen max.	8.512	€/woning	(Arcadis, 2020)
Investeringskosten HT-warmtepomp woningen min.	15.158	€/woning	(Arcadis, 2020)
Investeringskosten HT-warmtepomp woningen max.	17.217	€/woning	(Arcadis, 2020)
SCOP luchtwarmtepomp ruimteverwarming	430%	%	(Nationaal trendrapport warmtepompen 2021) (TKI, 2020)
SCOP luchtwarmtepomp tapwater	175%	%	(TKI, 2020)
SCOP luchtwarmtepomp koeling	300%	%	(TKI, 2020)
SCOP bodemwarmtepomp	550%	%	(Nationaal trendrapport warmtepompen 2021) (TKI, 2020)
SCOP bodemwarmtepomp tapwater	300%	%	(TKI, 2020)
SCOP bodemwarmtepomp koeling	4500%	%	(TKI, 2020)
SCOP HT-warmtepomp	300%	%	(CE Delft, 2022) (Volkskrant, 2021)
SCOP hybride warmtepomp	380%	%	(BDH, 2022)
Aandeel van de ruimteverwarming geleverd door hybride warmtepomp	Tabel 45		(CE Delft, 2021)
Operationele kosten woningen	50	€/jaar	(CE Delft, 2021)

## 12.2 Collectieve warmtepompen voor gestapelde bouw

### 12.2.1 Huidige kengetallen Vesta MAIS

Een collectieve warmtepomp is nog niet opgenomen als warmtetechniek in de huidige versie van Vesta MAIS en het functioneel ontwerp.

### 12.2.2 Validatie

#### Investeringskosten

In het huidige Vesta MAIS-model worden alle individuele appartementen in een flatgebouw afzonderlijk behandeld als het gaat om gebouwmaatregelen. Oftewel, als er een bodemwarmtepomp wordt geplaatst krijgt elke woning in het gebouw een eigen warmtepomp. In de praktijk zal waarschijnlijk één collectieve installatie geplaatst worden.

Arcadis geeft inzicht in de kosten voor een appartementencomplex met 5, 20 en 50 woningen. De bedragen zijn opgenomen in Tabel 47. De kosten per woning van een collectieve installatie nemen sterk af naarmate het aantal woningen in een gebouw toeneemt.

Tabel 47 - Kosten voor een collectieve bodemwarmtepomp incl. individuele warmtepompboiler bij vervanging van een collectieve gasketel (exclusief btw)

Kengetal	Aantal woningen	Op zichzelf staand (€/woning)	Natuurlijke vervangingsmoment (€/woning)	Percentage van de kosten voor LT-afgiftesysteem	Bron
Min. kosten collectieve bodemwarmtepomp	5	26.060	22.045	15%	(Arcadis, 2020)
Max. kosten collectieve bodemwarmtepomp	5	27.981	23.824	15%	(Arcadis, 2020)
Min. kosten collectieve bodemwarmtepomp	20	20.263	17.365	20%	(Arcadis, 2020)
Max. kosten collectieve bodemwarmtepomp	20	21.043	18.104	20%	(Arcadis, 2020)
Min. kosten collectieve bodemwarmtepomp	50	17.558	16.110	22%	(Arcadis, 2020)
Max. kosten collectieve bodemwarmtepomp	50	18.722	17.137	22%	(Arcadis, 2020)

Bron: (Arcadis, 2020).

Tabel 48 - Investeringskosten collectieve bodemwarmtepomp voor ruimteverwarming en individuele warmtepomp voor tapwaterverwarming voor appartementencomplex 20 woningen



Bron: (Arcadis, 2020).

Tabel 49 - Investeringskosten collectieve bodemwarmtepomp voor ruimteverwarming en individuele warmtepomp voor tapwaterverwarming voor appartementencomplex 50 woningen



Bron: (Arcadis, 2020).

Bij nog grotere aantallen woningen dalen de investeringskosten per woning verder. Volgens de marktpartij *Wij Maken Energie* (Linthorst Techniek) daalt de gemiddelde investering naar € 5.000 per woning bij 800 wooneenheden van een bestaand appartementencomplex met blokverwarming, zie Tabel 50. Nabijgelegen appartementencomplexen kunnen met warmteleidingen verbonden worden om meer woningen te verbinden. Met meer wooneenheden zijn de schaalvoordelen groter.

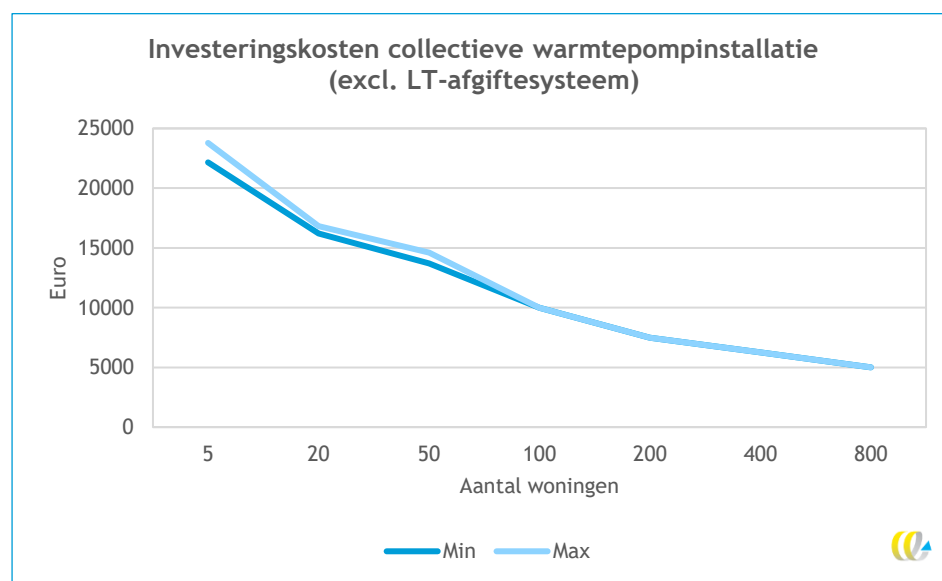
Tabel 50 - Gemiddelde investeringen voor collectieve woonvoorzieningen met blokverwarming

	per woning
> 100 wooneenheden	€ 10.000
> 200 wooneenheden	€ 7.500
> 400 wooneenheden	€ 6.250
> 800 wooneenheden	€ 5.000

Bron: (Wij Maken Energie, 2021).

Figuur 19 vat de investeringskosten voor de collectieve warmtepomp samen voor een stijgend aantal woningen.

Figuur 19 - Investeringskosten collectieve warmtepompinstallatie is afhankelijk van aantal wooneenheden



## Rendementen

De performance waarden komen overeen met de grootschalige warmtepompen voor de utiliteit, zie het volgende hoofdstuk.

### 12.2.3 Voorstel aanpassing kengetallen Vesta MAIS

De investeringskosten variëren sterk naargelang het vermogen van de installatie. We raden aan glijdende investeringskosten te hanteren zoals in de figuur.

Tabel 51 - Aanpassing kengetallen Vesta MAIS

Kental	Waarde	Eenheid	Bron
Investeringskosten collectieve warmtepomp	Figuur 19 -	€/kW	(Milieu Centraal, sd)
Rendement warmtepompen	Tabel 53		(CE Delft, 2022)
Operationele kosten	4%	%	(PBL, 2021)

## 12.3 Grootschalige warmtepompen voor de utiliteit

### 12.3.1 Huidige kengetallen Vesta MAIS

Tabel 52 - Kengetallen warmtepompen utiliteit FO Vesta MAIS 5.0

Naam	Beschrijving	Eenheid	Waarde	Bron
Ki_asl_min_eWPlw_u	Minimale kosten per aansluiting lucht-WP utiliteit	€/Aansl.	3768.75	Memo ECW
Ki_asl_max_eWPlw_u	Maximale kosten per aansluiting lucht-WP utiliteit	€/Aansl.	6281.25	Memo ECW
Ki_cap_min_eWPlw_u	Minimale kosten per kilowatt lucht-WP utiliteit	€/kW	555.00	Memo ECW
Ki_cap_max_eWPlw_u	Maximale kosten per kilowatt lucht-WP utiliteit	€/kW	925.00	Memo ECW
Ki_asl_min_eWPbw_uK	Min. kosten per aansl. bodem-WP utiliteit	€/Aansl.	5257.00	Memo ECW

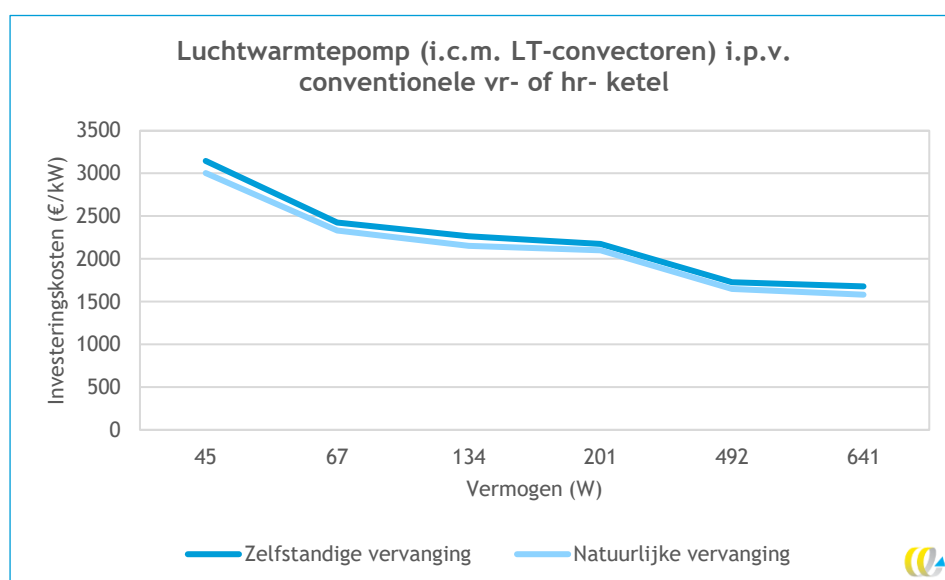
Naam	Beschrijving	Eenheid	Waarde	Bron
	(< 100 kW)			
Ki_asl_max_eWPbw_uK	Max. kosten per aansl. bodem-WP utiliteit (< 100 kW)	€/Aansl	8761.00	Memo ECW
Ki_cap_min_eWPbw_uK	Min. kosten per kW bodem-WP utiliteit (< 100 kW)	€/kW	1170.00	Memo ECW
Ki_cap_max_eWPbw_uK	Max. kosten per kW bodem-WP utiliteit (< 100 kW)	€/kW	1950.00	Memo ECW
Ki_asl_min_eWPbw_uG	Min. kosten per aansl. bodem-WP utiliteit (> 100 kW)	€/Aansl	153857.00	Memo ECW
Ki_asl_max_eWPbw_uG	Max. kosten per aansl. bodem-WP utiliteit (> 100 kW)	€/Aansl	256428.00	Memo ECW
Ki_cap_min_eWPbw_uG	Min. kosten per kW bodem-WP utiliteit (> 100 kW)	€/kW	293.00	Memo ECW
Ki_cap_max_eWPbw_uG	Max. kosten per kW bodem-WP utiliteit (> 100 kW)	€/kW	488.00	Memo ECW <sup>4</sup>

## 12.3.2 Validatie

### Investeringskosten warmtepompinstallaties met een groot vermogen

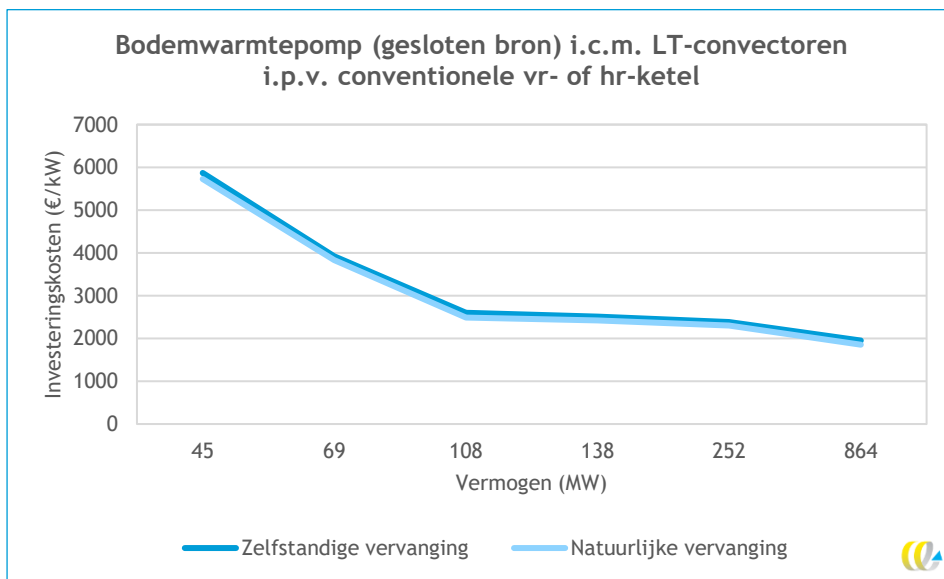
Voor de utiliteitsbouw heeft Arcadis de investeringskosten van warmtepompinstallaties met een groter vermogen in kaart gebracht, zie Figuur 20, Figuur 21 en Figuur 22. In de opstelling van Arcadis wordt 100% van de warmte voorzien door de warmtepomp. Aanpassing van het warmteafgiftesysteem zit ook verwerkt in de kosten. De kosten voor de LT-warmteafgifte in de woningen bedragen 9-11% van de totale investeringskosten van een luchtwarmtepomp. De kosten per kW dalen sterk naarmate het vermogen toeneemt.

Figuur 20 - Investeringskosten luchtwarmtepomp utiliteit



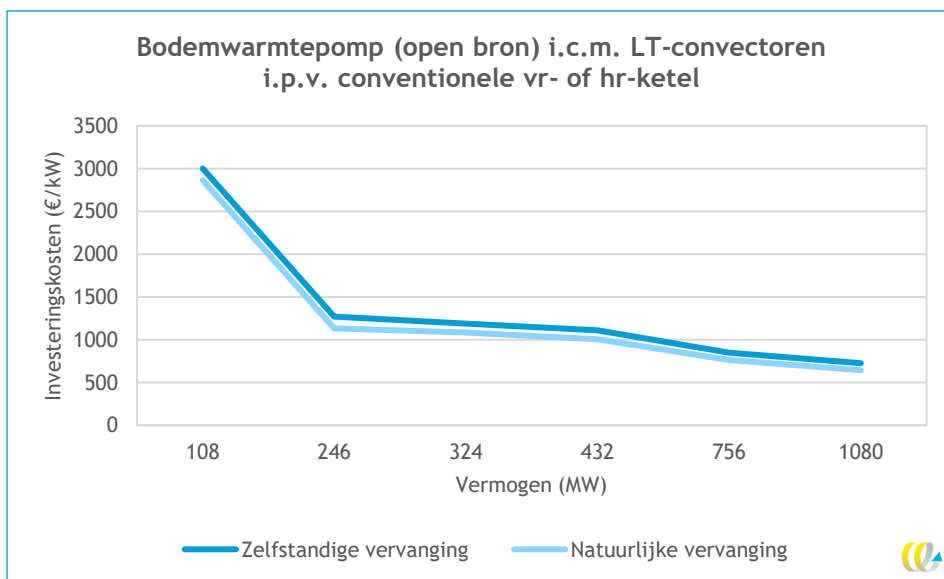
Bron: (Arcadis, 2020).

**Figuur 21 - Investeringskosten bodemwarmtepomp gesloten bron (bodemplussen)**



Bron: (Arcadis, 2020).

**Figuur 22 - Investeringskosten bodemwarmtepomp open bron (WKO)**



Bron: (Arcadis, 2020).

Gezien de hoge kosten voor bodemplussen bij een bodemwarmtepomp gaan we uit van een installatie aangesloten op een WKO.

De SDE++-conceptadviezen 2022 van PBL geven voor een grote warmtepomp op restwarmte en een vermogen van 1,2 MWth een specifiek investeringsbedrag van 976 €/kWth met vaste O&M kosten van 37,4 €/kWth (4%) (PBL, 2021). Deze warmtepomp heeft een COP van 3,5 tussen 30 graden en 80 graden. Omdat de temperatuur van de geleverde warmte hoger is dan in woningen, in het rendement lager. De investeringskosten van deze warmtepomp liggen tussen de kosten van de luchtwarmtepomp en de bodemwarmtepomp van Arcadis.



## Rendementen

De rendementen van de warmtepompen verschillen afhankelijk van het temperatuurtraject. Hoe kleiner het temperatuurverschil tussen bron en leveringstemperatuur, des te beter het rendement.

Tabel 53 - SPF van collectieve/grootschalige warmtepompen

SPF	30 °C distributie	50 °C distributie	70 °C distributie
15 °C bron	7,6	4,2	3
30 °C bron	-	5,9	3,8
50 °C bron	-	-	5,4

Bron: (CE Delft, 2022).

De warmtepomptechnologie van Wij Maken Energie kan ook hogere temperaturen van ongeveer 70 °C leveren. Hierbij is in combinatie met een WKO een wat hogere COP tussen 3,6 en 3,9 gerealiseerd (Wij Maken Energie, 2021).

### 12.3.3 Voorstel aanpassing kengetallen in Vesta MAIS

De investeringskosten variëren sterk naargelang het vermogen van de installatie. We raden aan glijdende investeringskosten te hanteren zoals in de figuren.

Tabel 54 - Aanpassing kengetallen Vesta MAIS

Kental	Waarde	Eenheid	Bron
Investeringskosten luchtwarmtepomp utiliteit	Figuur 20	€/kW	(Milieu Centraal, sd)
Investeringskosten bodemwarmtepomp utiliteit	Figuur 22	€/kW	(Milieu Centraal, sd)
Rendement warmtepompen	Tabel 53		(CE Delft, 2022)
Operationele kosten	4%	%	(PBL, 2021)

## 12.4 Warmtepomp bij LT-net en boosterwarmtepomp

Individuele warmtepompen komen ook bij LT-netten voor. Dit zijn veelal dezelfde eenheden (op hoofdlijnen) als individuele warmtepompen die de LT-warmte gebruiken als warmtebron.

Warmtenetconfiguraties in het Vesta MAIS-model geven de volgende specificaties:

- Een woning met label A kan met een warmteleveringstemperatuur van 30 graden verwarmd worden, en heeft een boosterwarmtepomp nodig om tapwater te verwarmen.
- Een woning met label B kan met een warmteleveringstemperatuur van 50 graden verwarmd worden, en heeft een boosterwarmtepomp nodig om tapwater te verwarmen.
- Een woning met label C of minder kan met een warmteleveringstemperatuur van 70 graden verwarmd worden, dit is voldoende om eveneens tapwater te verwarmen.

Een woning heeft een water-waterwarmtepomp nodig indien de warmteleveringstemperatuur niet voldoet voor ruimteverwarming.

## 12.4.1 Huidige kengetallen Vesta MAIS

Tabel 55 - Kengetallen warmtepompen LT-net en boosterwarmtepomp FO Vesta MAIS 5.0

Naam	Beschrijving	Eenheid	Waarde	Bron
Ki_booster_min	Minimale kosten boosterwarmtepomp	€	2225.98	CE Delft (2019a)
Ki_booster_max	Maximale kosten boosterwarmtepomp	€	2560.84	CE Delft (2019a)
Ki_eWP_B	Inpandige w/w-warmtepomp label B	€	4500	CE Delft (2019a)
Ki_eWP_CDE	Inpandige w/w-warmtepomp label C/D/E	€	7000	CE Delft (2019a)
Ki_eWP_util	Inpandige w/w-warmtepomp Utiliteit	€/kW	700	CE Delft (2019a)

## 12.4.2 Validatie

### Boosterwarmtepomp

Een boosterwarmtepomp kost € 2.500 (+- 30%) inclusief buffer en heeft een SCOP van 3,75 (TKI Urban Energy , 2019). De onderhoudskosten bedragen 3% (TKI Urban Energy , 2019) Een oudere bron geeft een wat hogere kostprijs € 3.700. De rendementen zijn vergelijkbaar en bedragen tussen 3,8 en 4,6 afhankelijk van de temperatuur van het warmtenet (Ecofys & Greenvis, 2016).

### Water/water-warmtepomp

Een water/water-warmtepomp is nodig wanneer de warmtenettemperatuur niet voldoet om een woning te verwarmen. Deze is verbonden met het warmtenet via een warmteaflever-set. De kosten voor een dergelijke warmtepomp zijn hetzelfde aan die van een lucht-warmtepomp zonder buitenunit. De warmtewisselaar wordt verbonden met de aflever-set.

Het rendement van een warmtepomp is afhankelijk van de aanvoertemperatuur van het warmtenet en de temperatuur van de warmtebron en varieert typisch van 4 tot 7 voor toepassingen in LT-warmtenetten (Ecofys & Greenvis, 2016). De warmtenettemperatuur en de levertemperatuur bepaalt de efficiëntie. De range komt goed overeen met de efficiënties van grootschalige collectieve warmtepompen. Voor nauwkeurigere waarden per temperatuursrange kan aangesloten worden bij Tabel 53.

De kosten van een water/water-warmtepomp zijn gelijkaardig aan die van een lucht-warmtepomp exclusief de kosten voor de warmtewisselaar. Deze kosten bedragen € 7.000 ofwel ca. € 2.000 minder dan een luchtwarmtepomp (DWA, 2018).



### 12.4.3 Voorstel aanpassing kengetallen in Vesta MAIS

Tabel 56 - Aanpassing kengetallen Vesta MAIS

Kental	Waarde	Eenheid	Bron
Investeringskosten boosterwarmtepomp min.	1.750	€/aansluiting	(TKI Urban Energy , 2019)
Investeringskosten boosterwarmtepomp max.	3.250	€/aansluiting	(TKI Urban Energy , 2019)
COP boosterwarmtepomp	3,75 tot 4,6		(Ecofys & Greenvis, 2016) (TKI Urban Energy , 2019)
Onderhoud boosterwarmtepomp	3%		(TKI Urban Energy , 2019)
Investeringskosten water/water-warmtepomp	7.000	€/aansluiting	(DWA, 2018)
Rendement warmtepomp	4 tot 7 zie Tabel 53		(CE Delft, 2022)
Onderhoud warmtepomp	1%	%	(CE Delft, 2021)

# Deel 2: Vergelijking Dashboard Eindgebruikerskosten

De Startanalyse Aardgasvrije Buurten is uitgevoerd met het Vesta MAIS-model. Hierbij zijn alleen de nationale kosten bepaald. Recent is door TNO een rekenmodel/tool uitgebracht waarin de eindgebruikerskosten worden berekend voor een diverse set van woningen/woningtypen. In deze tool zitten kengetallen (financieel en technisch) die in sommige gevallen overeenkomen met die in de Startanalyse, maar in andere gevallen ook verschillen. Deze zijn veelal samenhangend met posten die relevant zijn voor de kosten van eindgebruikers, maar niet voor de nationale kosten. Voor de uitvoering van de Leidraad is het wenselijk dat zowel de berekeningen van de nationale kosten als die van de eindgebruikerskosten in elkaars verlengde liggen en dat de kengetallen op elkaar zijn afgestemd. Dit betekent niet dat zij 100% overeen moeten komen, maar wel dat afwijkingen beargumenteerd moeten worden.

In dit deel van het onderzoek zullen wij de kengetallen, zoals die zijn opgenomen in het Achtergrondrapport Eindgebruikerskosten van TNO vergelijken met kengetallen die in Vesta MAIS staan. Hierbij worden zij zo veel mogelijk vergelijkbaar tegenover elkaar gezet.

# 13 Parameters is Vesta MAIS

De Startanalyse heeft de nationale kosten berekend van technische potentiëlen zonder rekening te houden met mogelijk beleid voor eindgebruikers om dit te stimuleren. Het Vesta MAIS-model heeft echter wel de mogelijkheid om beleid door te rekenen en de effecten op eindgebruikers weer te geven.

Het aantal beleidsparameters in Vesta MAIS is in sommige gevallen beperkter dan waarmee het Dashboard heeft gewerkt. Tabel 57 bevat de beleidsparameters in het Vesta MAIS-model.

Tabel 57 - Standaardwaarden beleidsparameters in Vesta MAIS (Tabel A.9) die terugkomen in het Dashboard Eindgebruikerskosten

Naam	Beschrijving	Eenheid	Waarde	Visie Dashboard Eindgebruikerskosten
Heffingskorting	Vast bedrag in mindering wordt gebracht op E-rekening	€/aansl.	420.14	Vermindering energiebelasting (2021) € 461,62
SplitIncentive (vb)	Deel van besparing op verbruik voor gebouweigenaar	Procent	80.00	Zie onder: Huurverhoging
SplitIncentive (vr)	Deel van besparing op vastrecht voor gebouweigenaar	Procent	80.00	Zie onder: Huurverhoging
Huurschuif	Mate van huurverlaging bij warmte-netaansluiting	Ratio	0.50	Zie onder: Huurverhoging
VAT	Btw op investeringen (exclusief gebouwverbetering)	Procent	21.00	Ok
VAT_gv	Btw op investeringen in gebouw-verbetering	Procent	15.00	Na analyse van de Arcadis kostencodes en kengetallen is aangenomen dat 50% van de investeringskosten voor isolatiemaatregelen onder het 9% btw-tarief vallen en 50% onder het 21% btw-tarief.
Rs_LO	Subsidie gebouwinstallaties als aandeel van investering	Procent	50.00	Zie onder: Subsidies
Rs_GV	Subsidie gebouwverbetering als aandeel van investering	Procent	0.00	Zie onder: Subsidies
Discontovoet E_bw	Rentevoet voor eigenaren van bestaande woningen	Procent	5.50	Zie onder: Financiering
Discontovoet E_nw	Rentevoet voor eigenaren van nieuwbouw woningen	Procent	5.50	Zie onder: Financiering

Het verschil in de energiekosten voor eindgebruikers in Vesta MAIS en het Dashboard Eindgebruikers bekijken we ook. Hierna zijn de eindgebruikerstarieven voor gas en elektriciteit weergegeven.

Tabel 58 - Aardgaskosten; kleingebruikers (< 5.000 m<sup>3</sup>/jaar) Vesta MAIS 5.0

Jaar	Commodity (€/m <sup>3</sup> )		Belastingen (€/m <sup>3</sup> )			Totaal (€/m <sup>3</sup> )
	Excl. CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	ODE	Heffing	Btw	
2020	0.323	0.000	0.075	0.321	0.151	0.869
2030	0.368	0.000	0.086	0.321	0.163	0.937

Tabel 59 - Elektricitetskosten; kleingebruikers (< 10.000 kWh/jaar) Vesta MAIS 5.0

Jaar	Commodity (€/kWh)		Netwerk (€/kWh)		Belastingen (€/kWh)			Totaal (€/kWh)
	Excl. CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	Distributie	Transport	ODE	Heffing	Btw	
2020	0.087	0.000	0.000	0.000	0.026	0.094	0.043	0.250
2030	0.102	0.000	0.006	0.000	0.031	0.094	0.049	0.282



# 14 Parameters in Dashboard Eindgebruikerskosten

In de volgende paragrafen geven we weer op welke wijze de parameters uit Vesta MAIS (financiering, subsidie, huurverhoging, etc.) opgenomen zijn in het Dashboard Eindgebruikerskosten. Om recht te doen aan specifieke eindgebruikerssituaties gebeurt dit vaak op een veel complexere manier dan momenteel opgenomen is in Vesta MAIS.

## 14.1 Financiering: Rentevoeten en afschrijftermijn

In het Dashboard Eindgebruikerskosten is gekozen voor een woonlastenbenadering van de financiering. Deze sluit beter aan bij de beleving van huishoudens dan een businesscase-benadering vanuit maatschappelijk oogpunt. Er wordt gekeken naar de kosten die een eindgebruiker moet maken per jaar en naar de baten, vooral door energiebesparing, die hier tegenover staan. Dit betekent dat er geen rekening wordt gehouden met de levensduur van installaties, maar met de looptijd van de financiering. Overigens is deze looptijd in veel gevallen impliciet wel gekoppeld aan die levensduur. Zo is de financiering door verhuurders en ook de looptijd van het Warmtefonds in lijn met de technische levensduur, en is voor eigenaar-bewoners bij installaties uitgegaan van 15 jaar looptijd van de financiering.

Bij het berekenen van jaarlijkse kosten maakt het Dashboard Eindgebruikerskosten onderscheid tussen verschillende typen woningeigenaren:

- eigenaar-bewoners;
- particuliere verhuurders;
- sociale verhuurder.

Tabel 60 - Looptijd leningen voor verschillende typen eigenaren

Relevante actoren	Financieringsvorm	Zichtjaar	Looptijd isolatie/BAK/woningaanpassingen (jaren)	Looptijd installatie (jaren)	Rente-%
Eigenaar bewoner	Hypothecaire lening	2020	30	15	1,70%
Eigenaar bewoner	Warmtefonds	2020	20*	15	2,0%
Particuliere verhuurder	Lening, volgens NIBC vastgoedhypothec	2020	25	15	3,20%
Particuliere verhuurder		2030	25	15	4,82%
Sociale verhuurder	Waarborgfonds Sociale Woningbouw (WSW) financiering	2020	25	15	1,15%
Sociale verhuurder		2030	25	15	3,36%

(\*) De looptijd voor leningen aan een VvE bedraagt 30 jaar.

## 14.2 Subsidies

Subsidies waar de woningeigenaar recht op heeft zijn afhankelijk van het type eigenaar.

### Stimuleringsregeling Aardgasvrije Huurwoningen (SAH)

De subsidie is tweeledig:

1. Aansluitkosten: Een dekking van 30% van de subsidiabele kosten voor het aansluiten van de woning zoals gerekend door de warmteleverancier, met een maximum van € 3.800 per huurwoning.
2. Inpandige kosten: Een dekking van 40% van de subsidiabele kosten voor de benodigde aanpassingen in de woning (het afkoppelen; het aanpassen/vervangen van ruimteverwarming, warmtapwater en koken; andere bouwkundige aanpassingen en aanpassingen voor de aansluiting op het warmtenet) met een maximum van € 1.200 per huurwoning.

De RVV (Regeling Vermindering Verhuurderheffing) kan niet samen gebruikt worden met de SAH. De RVV is hoger en heeft voorrang op de SAH.

### Investeringssubsidie Duurzame Energie (ISDE) voor eigenaar-bewoners

De subsidie is gericht op verschillende maatregelen:

1. Duurzame warmte: 20% van de investeringskosten van een warmtepomp worden vergoed.
2. Isolatie: 20% van de investeringskosten van isolatie worden vergoed.
3. Aansluiting op een warmtenet: Het subsidiebedrag voor een individuele aansluiting (€ 3.325)

Een VvE met een collectieve aansluiting op een warmtenet ontvangt een ander subsidiebedrag afhankelijk van vermogen.

### Regeling Vermindering Verhuurderheffing (RVV)

De regeling biedt een vermindering op de verhuurderheffing indien het uiteindelijke label minimaal B is en er een minimale investering wordt gedaan. De vermindering is afhankelijk van de verbeteringen in de energieprestatie van de woning (RVO, 2020):

- bij 3 of 4 labelstappen: € 3.000, indien de investeringskosten minimaal € 7.500 bedragen;
- bij 5 of 6 labelstappen: € 5.000, indien de investeringskosten minimaal € 12.500 bedragen;
- bij 7 of 8 labelstappen: € 7.000, indien de investeringskosten minimaal € 17.500 bedragen;
- bij 9 labelstappen: € 10.000, indien de investeringskosten minimaal € 25.000 bedragen.

Omdat in de meeste gevallen niet meer dan vier labelstappen worden bereikt, is deze regeling versimpeld toegepast door € 3.000 van de investeringskosten af te trekken indien het een sociale huurwoning betreft en minimaal schillabel B wordt bereikt. Daarbij is aangenomen dat minimaal drie labelsprongen zijn gemaakt en aan de minimale investeringseis is voldaan.

TNO neemt verder aan dat wordt voldaan aan de algemeen geldende voorwaarden van deze regeling, waaronder:

- de woningcorporatie of verhuurder in bezit is van meer dan 50 sociale huurwoningen;
- de woningcorporatie of verhuurder verhuurderheffing betaalt;

- de renovatiewerkzaamheden binnen drie jaar na de aanvraag zijn afgerond en de woningen als gerealiseerde investering zijn aangemeld.

### 14.3 Huurverhogingen

De huurverhogingen zijn berekend op twee verschillende manieren in het Dashboard Eindgebruikerskosten:

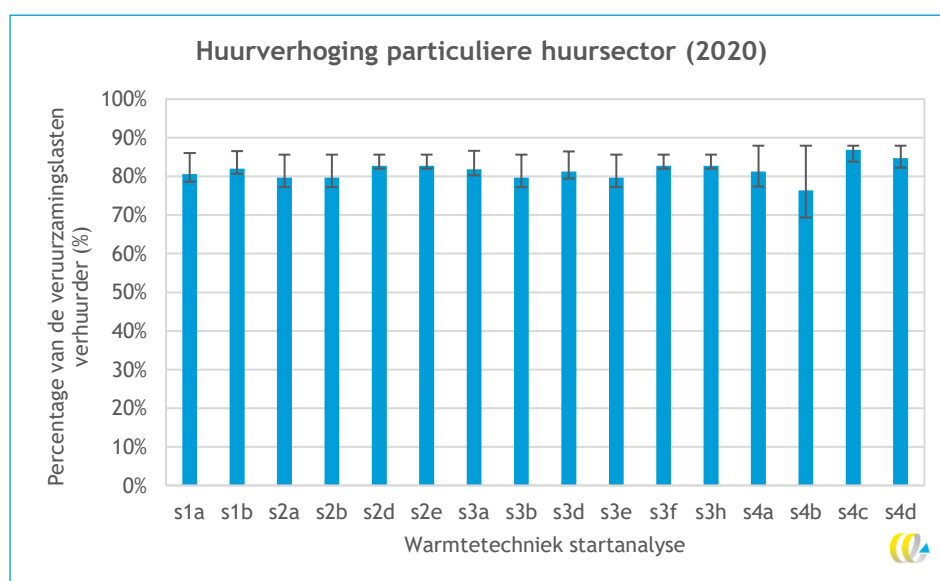
1. Via de huurcommissiemethode, met name voor particuliere huurwoningen.
2. Via het sociaal huurakkoord, met name voor de sociale huurwoningen.

#### Particuliere huurwoning: Huurcommissiemethode

In het Dashboard Eindgebruikerskosten wordt de nieuwe maximale huurprijs volgens het woningwaardestelsel (handboek huurcommissie 2019) vastgesteld, op basis van informatie over de huidige hoeveelheid punten (volgens WoON 2018) en de mutatie in de hoeveelheid punten na energiebesparende maatregelen. Vaak kunnen particuliere verhuurders echter meer huur vragen dan wordt voorgeschreven volgens het woningwaardestelsel. Alleen investeringen die bijdragen aan een verbetering van de woning worden meegenomen. De bijdrage aansluitkosten (BAK) aan een warmtenet zorgen niet inherent voor een verbetering en zijn in de berekening van de huurverhoging dan ook niet meegenomen.

De huurverhogingsberekening volgens het woningwaardestelsel is woning-specifiek en afhankelijk van de huidige huur. Ter voorbereiding van het Dashboard eindgebruikerskosten is de huurverhoging voor alle particuliere huurwoningen in de WoON 2018-dataset individueel berekend. Het Dashboard Eindgebruikerskosten neemt het gemiddelde van deze resultaten per woningtype en energielabel. Deze waarden zijn opgenomen in het bij dit rapport geleverde Excelbestand. Het is interessant de huurverhoging te vergelijken met de financiële verduurzamingslasten van de verhuurder. De huurverhogingen leiden tot een gemiddelde huurverhoging van 82% van de verduurzamingslasten van de particuliere verhuurder in 2020 (72% in 2030), zie Figuur 23.

**Figuur 23 - Huurverhogingen particuliere huursector (2020) range geeft maximale en minimale waarde aan bij verschillende woningtypes en energielabels**

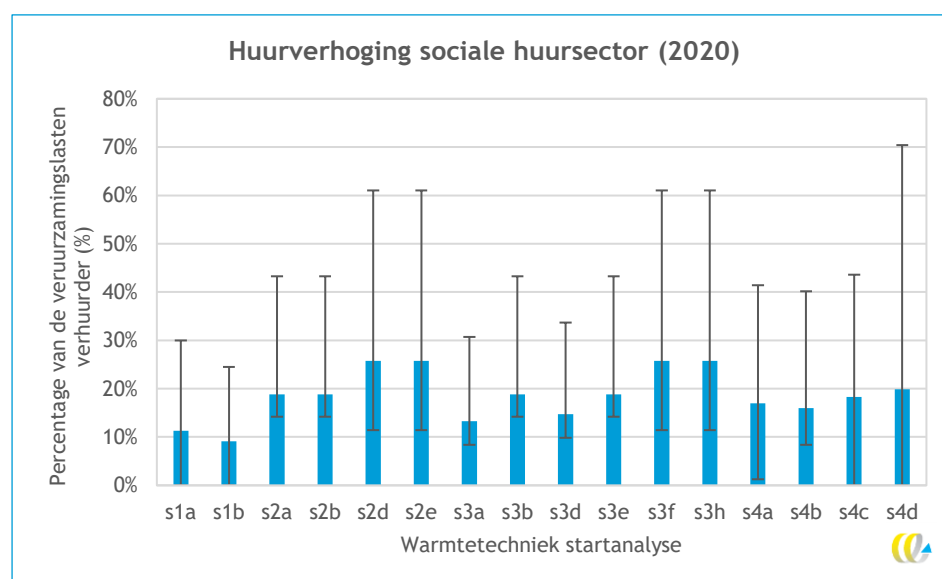


## Sociale huurwoning: Sociaal huurakkoord

De Vergoedingentabel uit het Sociaal Huurakkoord (2018) daarentegen gaat uit van de energiebesparing bij de huurder. De redelijke vergoeding van de huurder aan de verhuurder ligt nog iets lager dan de gemiddelde besparing, om ervoor te zorgen dat niet de helft van de huurders, maar vrijwel alle huurders er niet op achteruit gaan.

Het berekenen van de huurverhoging volgens het sociale huurakkoord is gebeurd via de vergoedingentabel.<sup>12</sup> De huurverhogingen leiden tot een gemiddelde huurverhoging van 19% van de verduurzamingslasten van de sociale verhuurder in 2020 (17% in 2030), zie Figuur 24.

**Figuur 24 - Huurverhogingen sociale huursector (2020) range geeft maximale en minimale waarde aan bij verschillende woningtypes en energielabels**



### 14.4 Renteaftrek

De hypotheekrenteaftrek is van toepassing wanneer verduurzaming via een hypotheek wordt gefinancierd. De (hypotheek)schuld is bedoeld voor de aankoop, verbetering of het onderhoud van een woning die het hoofdverblijf is van de eigenaar. Het percentage van de maximale hypotheekrenteaftrek wordt beperkt naar 37,07% in 2023. (VEH, sd)

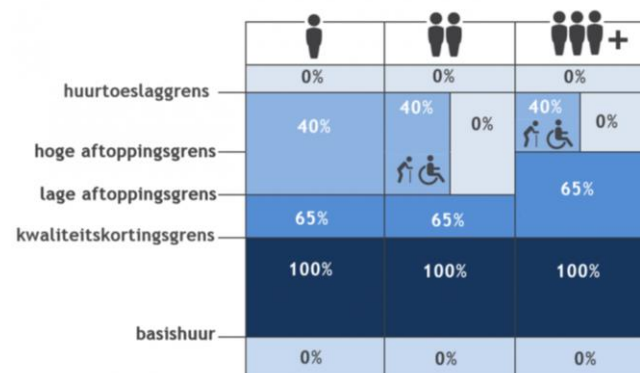
### 14.5 Extra huurtoeslag door huurverhoging

Een huurverhoging in de sociale huur leidt tot extra huurtoeslag voor de huurder. In Figuur 25 zijn de percentages van de huurtoeslag opgenomen. De percentages variëren tussen 0 en 100%. Ze hangen af van het huurbedrag en de toeslaggrenzen. De grenzen van 2021 zijn weergegeven in Tabel 61.

<sup>12</sup> <https://www.aedes.nl/artikelen/klant-en-wonen/huurbeleid/huurprijsbeleid/verbeterde-vergoedingentabel.html>



Figuur 25 - Huurtoeslaggrenzen en percentage van de huurtoeslag



Bron: (Woonbond, 2021).

Tabel 61 - Toeslaggrenzen in €/maand

	2021
<b>Basishuur</b>	
Jonger dan AOW	€ 237,64
Ouder dan AOW alleenstaand	€ 230,83
Ouder dan AOW meerpersoons	€ 233,99
Gemiddelde	€ 234,15
<b>Kwaliteitskortingsgrens</b>	
Kwaliteitskortingsgrens	€ 442,46
<b>Aftoppingsgrens</b>	
Laag	€ 633,25
Hoog	€ 678,66
<b>Huurtoeslaggrens</b>	
Huurtoeslaggrens	€ 752,33

Bron: (Woonbond, 2021).

## 14.6 Investeringskosten

De investeringskosten van het dashboard eindgebruikerskosten zijn weergegeven in Tabel 62. Deze zijn vaak gebaseerd op de waarden van de Startanalyse. De nieuwe waarden uit Deel 1 van dit onderzoek zijn ter volledigheid toegevoegd.

Tabel 62 - Investeringskosten warmtetechnieken (€)

	2020	2030	Vesta MAIS 5.0	Validatieonderzoek
<b>Eengezinswoningen</b>				
Hr-combi	1.776	1.607	1.776	1.586
Hybride ketel	4.940	3.828	4.091	6.932
Lucht-warmtepomp	8.478	6.867	7.870	10.590
Warmtelevering	4.392	4.154	/	/
Bodem-warmtepomp	13.555	10.980	13.152	19.995
<b>Meergezinswoningen</b>				
Hr-combi	1.776	1.607	1.776	1.586
Hybride ketel	4.573	3.544	4.091	6.932
Lucht-warmtepomp	6.973	5.648	7.870	10.590

	2020	2030	Vesta MAIS 5.0	Validatieonderzoek
Warmtelevering	3.272	3.104	/	/
Bodem-warmtepomp	10.523	8.524	13.152	19.995
Aanpassen ventilatiesysteem	2.576	2.344	/	/
Inductiekookplaat en pannenset	500	500	/	/
Woningaanpassing koken	500	500	/	/
LT-afgiftesysteem eengezins	2.090	1.964	/	/
LT-afgiftesysteem meergezins	1.649	1.550	/	/
BAK	3.727,88		/	/

Tabel 63 - Investeringskosten isolatie (€)

	B+		D+	
	2020	2030	2020	2030
<b>2-onder-1-kap</b>				
A	0	0	0	0
B	0	0	0	0
C	7.103	6.464	0	0
D	15.388	14.004	0	0
E	21.443	19.513	3.120	2.839
F	20.899	19.018	6.926	6.303
G	20.899	19.018	14.399	13.103
<b>Meergezinswoning</b>				
A	0	0	0	0
B	0	0	0	0
C	4.396	4.000	0	0
D	7.267	6.613	0	0
E	8.237	7.495	2.779	2.529
F	10.941	9.956	5.060	4.605
G	14.417	13.119	9.545	8.686
<b>Rijwoning hoek</b>				
A	0	0	0	0
B	0	0	0	0
C	5.908	5.376	0	0
D	14.850	13.514	0	0
E	15.073	13.717	3.458	3.146
F	14.489	13.185	5.004	4.553
G	14.489	13.185	12.312	11.203
<b>Rijwoning tussen</b>				
A	0	0	0	0
B	0	0	0	0
C	5.300	4.823	0	0
D	10.164	9.250	0	0
E	9.964	9.067	2.285	2.079
F	12.880	11.721	5.636	5.129
G	12.588	11.455	8.165	7.430
<b>Vrijstaand</b>				
A	0	0	0	0
B	0	0	0	0
C	11.342	10.321	0	0
D	16.676	15.175	0	0



	B+		D+	
	2020	2030	2020	2030
E	22.010	20.029	4.765	4.336
F	26.204	23.845	7.654	6.965
G	34.910	31.768	21.139	19.236

## 14.7 Energietarieven

De kosten voor energie verschillen tussen Vesta MAIS en het Dashboard. Tabel 64 t/m Tabel 66 geven de tarieven weer voor elektriciteit en gas van Vesta MAIS en het Dashboard Eindgebruikerskosten. Eindgebruikerskosten omvatten ook tarieven voor vastrecht. In de Startanalyse zijn andere waarden gebruikt, namelijk alleen productiecosten van klimaat-neutrale energiedragers ten behoeve van de berekening van de nationale kosten.

### Energietarieven Dashboard Eindgebruikerskosten

Tabel 64 - Opbouw variabele energietarieven Dashboard eindgebruikerskosten in 2020 (prijspeil 2019)

	Aardgas (€/m <sup>3</sup> )	(Hernieuwbare) elektriciteit (€/kWh)	Warmtelevering (€/GJ)	Groen gas (€/m <sup>3</sup> aardgas eq.)
Productie energie	€ 0,23	€ 0,071	€ 20,71	1,00
SDE++-subsidie	€ -	€ -0,012	€ -	€ -0,77
<b>Groothandelsprijs</b>	<b>€ 0,23</b>	<b>€ 0,059</b>	<b>€ 20,71</b>	<b>€ 0,23</b>
Kosten en winst energieleverancier	€ 0,01	€ 0,001	€ 0,83	€ 0,01
<b>Retailprijs leverancier</b>	<b>€ 0,24</b>	<b>€ 0,06</b>	<b>€ 21,54</b>	<b>€ 0,24</b>
Energiebelasting	€ 0,33	€ 0,10	€ -	€ 0,33
ODE	€ 0,08	€ 0,03	€ -	€ 0,08
Btw (21%)	€ 0,14	€ 0,04	€ 4,52	€ 0,14
<b>Variabel tarief eindverbruiker</b>	<b>€ 0,78</b>	<b>€ 0,22</b>	<b>€ 26,06</b>	<b>€ 0,78</b>

Tabel 65 - Opbouw variabele energietarieven Dashboard eindgebruikerskosten in 2030 (prijspeil 2019)

	Aardgas (€/m <sup>3</sup> )	(Hernieuwbare) elektriciteit (€/kWh)	Warmtelevering (€/GJ)	Groen gas (€/m <sup>3</sup> aardgas eq.)
Productie energie	€ 0,41	€ 0,085	€ 28,87	€ 0,67
SDE++-subsidie	€ -	€ -0,008	€ -	€ -0,26
<b>Groothandelsprijs</b>	<b>€ 0,41</b>	<b>€ 0,077</b>	<b>€ 28,87</b>	<b>€ 0,41</b>
Kosten en winst energieleverancier	€ 0,02	€ 0,003	€ 1,51	€ 0,02
<b>Retailprijs leverancier</b>	<b>€ 0,43</b>	<b>€ 0,08</b>	<b>€ 30,38</b>	<b>€ 0,43</b>
Energiebelasting	€ 0,39	€ 0,07	€ -	€ 0,39
ODE	€ 0,09	€ 0,03	€ -	€ 0,09
Btw (21%)	€ 0,19	€ 0,04	€ 6,38	€ 0,19
<b>Variabel tarief eindverbruiker</b>	<b>€ 1,10</b>	<b>€ 0,22</b>	<b>€ 36,76</b>	<b>€ 1,10</b>

Tabel 66 - Opbouw vaste energietarieven Dashboard eindgebruikerskosten (prijspeil 2019)

Energiedrager	Zichtjaar	Eenheid	Vastrecht	Belasting vermindering	Btw vaste kosten (21%)	Vaste kosten
Aardgas	2020	€/jaar	€ 208,73	€ -	€ 43,83	€ 252,57
Groengas		€/jaar	€ 208,73	€ -	€ 43,83	€ 252,57
Elektriciteit		€/jaar	€ 256,15	€ -435,68	€ -37,70	€ -217,23
Warmtelevering		€/jaar	€ 387,74	€ -	€ 81,43	€ 469,17
Aardgas	2030	€/m <sup>3</sup>	€ 260,92	€ -	€ 54,79	€ 315,71
Groengas		€/m <sup>3</sup>	€ 260,92	€ -	€ 54,79	€ 315,71
Elektriciteit		€/kwh	€ 320,19	€ -454,80	€ -28,27	€ -162,87
Warmtelevering		€/GJ	€ 387,74	€ -	€ 81,43	€ 469,17



# 15 Bibliografie

- ACM, 2022. *Tarievenbesluit warmteleveranciers 2022*, sl: sn
- Arcadis, 2017. *Actualisatie en uitbreiding investeringskosten maatregelen EPA-maatwerkadvies bestaande woningbouw 2017*, Arnhem: Arcadis.
- Arcadis, 2020. *Actualisatie investeringskosten energiebesparende maatregelen bestaande woningbouw 2020*, sl: sn
- Arcadis, 2020. *Actualisatie investeringskosten energiebesparende maatregelen: bestaande utiliteitsbouw 2020*, sl: sn
- BDH, 2022. *Installatiemonitor: Publieke eindrapportage januari 2022*, sl: sn
- Brouwer Installatiebedrijf, sd *Pelletverwarming combi*. [Online]  
Available at: <https://www.brouwerinstallatiebedrijf.nl/portfolio-posts/pelletverwarming-combi/>  
[Geopend 22 Maart 2022].
- Buldit, sd *Soorten verwarmingsketels en hun rendement*. [Online]  
Available at: <https://www.tipstricks.be/soorten-verwarmingsketels-en-hun-rendement>  
[Geopend 1 December 2021].
- CBS & RVO, 2015. *Protocol Monitoring Hernieuwbare Energie*, sl: sn
- CBS, 2021. *StatLine: Voorraad woningen; woningtype, oppervlakteklasse, regio*. [Online]  
Available at:  
<https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/83704NED/table?ts=1647340916487>  
[Geopend 15 Maart 2022].
- CE Delft, 2020. *Kosten zontoeepassingen. Methode om private en maatschappelijke kosten te vergelijken*, sl: sn
- CE Delft, 2020. *Verkennd onderzoek zonthermie Zuid-Holland*, sl: sn
- CE Delft, 2021. *Warmtetechnieken*. [Online]  
Available at: [www.warmtetechnieken.nl](http://www.warmtetechnieken.nl)
- CE Delft, 2022. *Warmtenetten in Vesta MAIS: Update berekeningsmethoden*, sl: sn
- Consumentenbond, 2019. *Zonneboiler: kosten en opbrengsten*. [Online]  
Available at: <https://www.consumentenbond.nl/zonnepanelen/zonneboiler-kosten-opbrengsten>  
[Geopend 12 Januari 2022].
- DNV GL, 2020. *Onderzoek naar de aanschaf installatiekosten van een 1000 kW cv-ketel*, sl: sn
- Duurzaam bouwloket, sd *Doorstroomboiler*. [Online]  
Available at: <https://www.duurzaambouwloket.nl/maatregel/doorstroomboiler>  
[Geopend 12 Januari 2021].
- DWA, 2018. *Kosten aardgasvrije warmteconcepten*. [Online].
- DWA, 2020. *Infraroodverwarming; een kostbaar alternatief*. [Online].
- Ecofys & Greenvis, 2016. *Collectieve warmte naar lage temperatuur: een verkenning van mogelijke routes*, sl: sn
- ECW, 2020. *Hybride warmtepomp*. [Online]  
Available at:  
<https://www.expertisecentrumwarmte.nl/themas/technische+oplossingen/techniekfactsheets+gebouwmaatregelen/hybride+warmtepomp+nieuw/default.aspx>
- ECW, 2021. *Dashboard eindgebruikerskosten*. [Online]  
Available at: <https://expertisecentrumwarmte.nl/eindgebruikerskosten/default.aspx>  
[Geopend 1 December 2021].
- Engie, 2021. *De stookolieketel: prijzen, onderhoud, rendement, installatie....* [Online]  
Available at: <https://www.engie.be/nl/blog/verwarming/ABC-van-mazout-ketels/>
- FOD economie, 2019. *Analyse van het energieverbruik van huishoudens in België*, sl: sn



Greenspread, 2021. *Benuttingsgraag con-pv op Utrechtse daken*, sl: sn  
Homedeaal, sd *Cv-ketel prijzen*. [Online]  
Available at: <https://www.homedeaal.nl/cv-ketel/cv-ketel-prijzen/>  
[Geopend 12 Januari 2022].

Klimapedia, sd *Energievademecum*. [Online]  
Available at: <https://klimapedia.nl/publicaties/energievademecum/?part=9>  
[Geopend 12 Januari 2022].

mazoutonline.be, sd [Online]  
Available at: [mazout-on-line.be/nl/mazout-van-a-tot-z/wat-is-mazout/eigenschappen-van-mazout/](https://mazout-on-line.be/nl/mazout-van-a-tot-z/wat-is-mazout/eigenschappen-van-mazout/)  
[Geopend 1 December 2021].

Merosch, 2020. *Isolatiepakketten ten behoeve van CEGOIA model*, sl: sn  
Milieu Centraal, sd [Online]  
Available at: <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/duurzaam-verwarmen-en-koelen/volledige-warmtepomp/>  
[Geopend 7 Januari 2022].

Milieu Centraal, sd *Pelletkachel of Biomassaketel*. [Online]  
Available at: <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/duurzaam-verwarmen-en-koelen/pelletkachel-of-biomassaketel/>  
[Geopend 1 December 2021].

Milieu Centraal, sd *Subsidie pelletkachel en biomassaketel*. [Online]  
Available at: <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/energiesubsidies-en-leningen/subsidie-pelletkachel-en-biomassaketel/>  
[Geopend 1 December 2021].

Milieu Centraal, sd *Warmtepomp: van gas naar stroom*. [Online]  
Available at: <https://www.verbeterjehuis.nl/verbeteropties/warmtepomp/>  
[Geopend 12 Januari 2022].

Milieu Centraal, sd *zonneboiler*. [Online]  
Available at: <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/duurzaam-warm-water/zonneboiler/>  
[Geopend 1 December 2021].

Panteia, 2019. *Inzicht in de kosten voor aanschaf en installatie nieuwe cv-combiketel*, sl: sn  
PBL, 2020. *Waterstof voor de gebouwde omgeving; operationalisering in de startanalyse 2020*, sl: sn  
PBL, 2021. *Conceptadvies SDE++ 2022 Grootschalige Warmtepompen*, sl: sn  
PBL, 2021. *Conceptadvies SDE++ 2022 Verbranding en vergassing van biomassa*, sl: sn  
Pricewise, sd [Online]  
Available at: <https://www.pricewise.nl/duurzame-energie/pelletkachel/>  
[Geopend 1 December 2021].

Pricewise, sd *Pelletkachel*. [Online]  
Available at: <https://www.pricewise.nl/duurzame-energie/pelletkachel/>  
[Geopend 16 November 2021].

Primagaz, 2021. *Infobrochure propaantank Primagaz*, sl: sn  
Procede Biomass BV, 2016. *Inventarisatie van markttoepassingen van biomassaketels en bio-wkk*, sl: sn  
Procede Biomass BV, 2018. *Kennisdocument Houtstook in Nederland*. [Online].  
Techniek Nederland, 2021. *Besparingstips water en energie bij leidingwater*, sl: sn  
TKI Urban Energy & Generation Energy, 2021. *Ruimtelijk potentieel van zonnestroom in Nederland*, sl: sn  
TKI Urban Energy , 2019. *Warmte infrastructuur Nederland met verlaagde systeem temperatuur*, sl: sn



TKI, 2020. *De ontwikkelingen en kansen voor warmtepompen*. [Online]  
Available at: <https://www.topsectorenergie.nl/tki-urban-energy/kennisdossiers/de-ontwikkelingen-en-kansen-voor-warmtepompen>

TKI, U. E., 2020. *Infraroodverwarming versus de warmtepomp*. [Online].

TNO, 2020. *Effect afbouw salderingsregeling op de terugverdientijd van investeringen in zonnepanelen*, sl: sn

Van Wolferen Research, 2019. *Mogelijkheden voor het verlagen van de vereiste temperatuur van warm tapwater*, sl: sn

VEH, sd *Hypotheekrenteaf trek*. [Online]  
Available at: <https://www.eigenhuis.nl/huis-kopen/bestaande-bouw/hypotheek-en-overdracht/verhuizen-naar-een-volgende-woning/hypotheekrenteaf trek#/>  
[Geopend 17 Maart 2022].

Verwarminginfo.nl, sd *Mazoutketel:prijs en onderhoud*. [Online]  
Available at: <https://www.verwarminginfo.nl/mazout/mazoutketel>  
[Geopend 1 December 2021].

Verwarminginfo, 2022. *Elektrische radiator: uitvoeringen en prijzen*. [Online]  
Available at: <https://www.verwarminginfo.nl/elektrische-verwarming/elektrische-radiator>  
[Geopend 15 Maart 2022].

Verwarminginfo, 2022. *Elektrische verwarming*. [Online]  
Available at: <https://www.verwarminginfo.nl/elektrische-verwarming>  
[Geopend 15 Maart 2022].

Vlaams Parlement, 2021. *Voorstel van decreet tot wijziging van het Energiedecreet van 8 mei 2009, wat een verbod op de plaatsing of vervanging van een stookolieketel*, sl: sn

Volkscrant, 2021. *Vattenfall komt met warmtepomp voor oude woningen*. [Online]  
Available at: <https://www.volkscrant.nl/a-b838fd25>

W/E, A., 2021. *Infraroodverwarming in woningen. Onderzoek naar energiegebruik en comfortbeleving van residentiële verwarming met infrarood stralingspanelen*, sl: sn

Wij Maken Energie, 2021. *Flats in één keer van het gas af met HT-warmtepomptechniek*, sl: sn

Woonbond, 2021. *Normen en grenzen huurtoeslag*. [Online]  
Available at: <https://www.woonbond.nl/beleid-belangen/huurtoeslag/normen-en-grenzen-huurtoeslag>



# A Kostenkengetallen Arcadis - Woningbouw

De kostenkengetallen betreffen de investeringskosten exclusief btw bij uitvoering van één of een beperkt aantal energiebesparende maatregelen voor één of enkele woningen. De kosten zijn op structureel kostenniveau (kostprijsniveau) met peildatum 1 januari 2020.

## **De volgende kosten maken onderdeel uit van de kostenkengetallen:**

*Directe bouwkosten (uurlonen, normen en prijzen).* Het onderscheid naar schaalgrootte is niet in de kostenkengetallen verdisconteerd. De financiële voordelen van een grote schaal projectmatige aanpak (> 50 woningen) zijn door ervaringscijfers van Arcadis te kwantificeren in een reductie van 2 à 3% op de totale investeringskosten.

## *Indirecte kosten (algemene uitvoeringskosten, algemene kosten en winst en risico)*

Voor bouwkundige maatregelen wordt ten aanzien van de algemene uitvoeringskosten voor de projectmatige aanpak met een vast percentage van 10% gerekend voor de algemene uitvoeringskosten.

Er is sprake van voorrijkosten, projectkosten en winst en risico. Deze kosten zijn verdisconteerd in een percentage voor Algemene uitvoeringskosten (8%), en algemene kosten (9%), en Winst & Risico (3,3%).

De percentages voor indirecte kosten zijn gebaseerd op onderzoek van EIB naar de indirecte bouwkosten.

## **De volgende kosten maken geen onderdeel uit van de kostenkengetallen:**

### *Bouwkosten*

- Marktwerking.
- Asbest verwijderen.
- Verzwaren groepenkast.
- Het toepassen van een enkele maatregel of het gelijktijdig uitvoeren van meerdere maatregelen.
- Bereikbaarheid van het aan te pakken onderdeel van het gebouw (afhankelijk van locatie).
- Locatie van het onderdeel (1e verdieping of op 30e bouwlaag): transport, aanlooptijden, veiligheidsvoorzieningen, bevestiging, etc.
- Verwijderen van obstakels.
- Toegankelijk maken van de werklocatie.

Een indicatie van de bandbreedte van de bouwkosten bedraagt: -10% - +25%.

Onder bepaalde specifieke omstandigheden kan deze 25% nog verder oplopen.

### *Bijkomende kosten*

Om de kostenkengetallen project-specifiek te maken kunnen onder meer de volgende toeslagen voor de bijkomende kosten worden doorberekend:

- Projectbegeleiding door de opdrachtgever.
- Honoraria (planontwikkeling en -begeleiding).
- Onderzoekskosten.
- Ontwikkelaarskosten.
- Schoonmaken eerste oplevering.
- Verhuiskosten, kosten voor interne verhuizingen.
- Tijdelijke huisvesting.



- Communicatiekosten voor communicatie met de gebruikers/bewoners/omgeving.
- Heffingen.
- Verzekeringen.
- Aansluitkosten.
- Precario.
- Vergunningen.
- Leges.
- Subsidies.
- Btw.

Een indicatie van de bandbreedte van de bijkomende kosten bedraagt: -10% - +60%.  
Onder bepaalde specifieke omstandigheden kan deze 60% nog verder oplopen.

#### **Natuurlijk vervangingsmoment**

Tijdens de natuurlijke vervangmomenten en mutaties is er sprake van meerkosten door het toepassen van de energiebesparende maatregelen ten opzichte van de vervangingswerkzaamheden die tijdens een dergelijk moment al plaatsvinden.



## B Kostenkengetallen Arcadis - Utiliteitsbouw

De kostenkengetallen betreffen de investeringskosten exclusief btw bij uitvoering van één of een beperkt aantal energiebesparende maatregelen voor utiliteitsgebouwen. De kosten zijn op structureel kostenniveau (kostprijsniveau) met peildatum 1 januari 2020.

### **De volgende kosten maken onderdeel uit van de kostenkengetallen:**

*Directe bouwkosten (uurlonen, normen en prijzen).* Het onderscheid naar schaalgrootte is niet in de kostenkengetallen verdisconteerd. De financiële voordelen van een grote schaal zijn door ervaringscijfers te kwantificeren in een reductie van 2 à 3% op de totale investeringskosten.

### *Indirecte kosten (algemene uitvoeringskosten, algemene kosten en winst en risico)*

Voor bouwkundige maatregelen wordt ten aanzien van de algemene uitvoeringskosten voor de projectmatige aanpak met een vast percentage van 10% gerekend voor de algemene uitvoeringskosten.

Er is sprake van voorrijkosten, projectkosten en winst en risico. Deze kosten zijn verdisconteerd in een percentage voor Algemene kosten (8,6%) en Winst & Risico (3,3%). De percentages voor indirecte kosten zijn gebaseerd op onderzoek van EIB naar de indirecte bouwkosten.

### **De volgende kosten maken geen onderdeel uit van de kostenkengetallen:**

#### *Bouwkosten*

- Marktwerking.
- Asbest verwijderen.
- Verzwaren groepenkast.
- Het toepassen van een enkele maatregel of het gelijktijdig uitvoeren van meerdere maatregelen.
- Bereikbaarheid van het aan te pakken onderdeel van het gebouw (afhankelijk van locatie).
- Locatie van het onderdeel (1e verdieping of op 30e bouwlaag): transport, aanlooptijden, veiligheidsvoorzieningen, bevestiging, etc.
- Verwijderen van obstakels.
- Toegankelijk maken van de werklocatie.

Een indicatie van de bandbreedte van de bouwkosten bedraagt: -10% - +25%.

Onder bepaalde specifieke omstandigheden kan deze 25% nog verder oplopen.

#### *Bijkomende kosten*

Om de kostenkengetallen project specifiek te maken kunnen onder meer de volgende toeslagen voor de bijkomende kosten worden doorberekend:

- Projectbegeleiding door de opdrachtgever.
- Honoraria (planontwikkeling en -begeleiding).
- Onderzoekskosten.
- Ontwikkelaarskosten.
- Schoonmaken eerste oplevering.
- Verhuiskosten, kosten voor interne verhuizingen.
- Tijdelijke huisvesting.
- Communicatiekosten voor communicatie met de gebruikers/bewoners/omgeving.

- Heffingen.
- Verzekeringen.
- Aansluitkosten.
- Precario.
- Vergunningen.
- Leges.
- Subsidies.
- Btw.

Een indicatie van de bandbreedte van de bijkomende kosten bedraagt: -10 - +60%.  
Onder bepaalde specifieke omstandigheden kan deze 60% nog verder oplopen.

#### **Natuurlijk vervangingsmoment**

Tijdens de natuurlijke vervangmomenten en mutaties is er sprake van meerkosten door het toepassen van de energiebesparende maatregelen ten opzichte van de vervangingswerkzaamheden die tijdens een dergelijk moment al plaatsvinden.

