



# Advies validatiesessies individuele installaties en warmtenetten

Actualisatie Startanalyse 2025



# Advies validatiesessies individuele installaties en warmtenetten

Actualisatie Startanalyse 2025

Dit rapport is geschreven door:  
Florian Hesselink, Benno Schepers en Simone Tanis

Delft, CE Delft, maart 2025

Publicatienummer: 24.240176.139

Opdrachtgever: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland

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 sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



# Inhoud

	Samenvatting	3
1	Inleiding	5
	1.1 Achtergrond	5
	1.2 Methodiek en leeswijzer	5
2	Algemene aandachtspunten	7
	2.1 Algemene aandachtspunten	7
	2.2 Maatschappelijke discontovoet, winst en risico	7
	2.3 Koude	8
	2.4 Netcongestie en netverzwaring	8
	2.5 Infrarood	8
	2.6 ZLT-net configuraties	9
	2.7 Duurzame gassen	9
	2.8 Vergelijkingsstudie	9
3	Individuele installaties	10
	3.1 Warmtepompen	10
	3.2 Ketels	15
	3.3 Overige verwarmingsinstallaties	16
	3.4 LT-warmteafgifte	17
	3.5 Elektrisch koken	19
	3.6 Aanpassingen meterkast en aansluiting	19
4	Warmtenetten	21
	4.1 Algemeen	21
	4.2 Warmtebronnen	24
	4.3 Hulpinstallaties (piek, opwaardering en opslag)	28
	4.4 Transport- en distributienet	30
	4.5 Aansluiting	36
A	Literatuurlijst	40
B	Partijen die schriftelijk informatie hebben geleverd	41
C	Kostenschattingen utiliteitwarmtepompen en WKO o.b.v. Arcadis-database	42



# Samenvatting

Het PBL voert ter ondersteuning van gemeentelijke besluitvorming in 2024 en 2025 een Actualisatie van de Startanalyse aardgasvrije buurten (ASA2025) uit. Ter voorbereiding op ASA2025 zijn, net als bij eerdere edities van de Startanalyse, validatiesessies met experts gehouden. Binnen deze sessies hebben 38 organisaties (bedrijven, kennisinstellingen en overheidsinstanties) input geleverd op de modellering en waarden in het Vesta MAIS-model waarmee de analyse wordt uitgevoerd. Dit rapport bevat adviezen voor individuele installaties en warmtenetten die volgen uit de validatiesessies. Voor energiebesparing en elektriciteits- en gasinfrastructuur is in andere trajecten informatie opgehaald voor ASA2025.

## Individuele installaties

- Aanpassing investeringskosten van warmtepompen, op basis van praktijkgegevens.
- Aanpassing rendementen van warmtepompen op basis van recente gelijkwaardigheidsverklaringen en een koppeling van schillabel aan afgiftetemperatuur.
- Aanpassing kosten voor warmteafgifte tussen 35 en 55 °C. Er is discussie geweest of het nodig is om deze maatregel in alle bestaande bouw toe passen omdat huidige afgiftesystemen al geschikt zouden zijn. We oordelen dat het voor de Startanalyse beter is om hier standaard wel vanuit te gaan, maar adviseren de instandhoudingskosten van huidige radiatoren mee te nemen in de vergelijking.
- Toevoeging van kengetallen en aannames voor elektrisch koken (op inductie). Dit was eerder nog geen onderdeel van Vesta MAIS. In elke verduurzamingsstrategie gaan we van inductie als eindbeeld uit.
- Opname van een nieuwe kostenpost: aanpassingen in de meterkast. Verzwaren van de netaansluiting werd al wel meegenomen in het model, maar voor het realiseren van extra groepen en/of vervangen van de meterkast waren nog geen meerkosten meegerekend.

Er is geen informatie binnengekomen over ketels en een aantal andere installaties waarover informatie was uitgevraagd. Voor deze installaties zullen de kosten wel worden geïndexeerd naar prijspeil 2023 met behulp van de consumenten prijsindex. Ten slotte was er aandacht voor IR-panelen als bijverwarming als mogelijke nieuwe verduurzamingsstrategie in de Startanalyse. Op basis van input van deelnemers ontraden we dit. De voorgestelde kengetallen zijn te weinig gefundeerd om te gebruiken. Er is daarnaast niet genoeg informatie binnengekomen op basis waarvan we de kengetallen kunnen aanpassen.

## Warmtenetten

In de Startanalyse uit 2020 waren strategieën voor MT- en LT-warmtenetten opgenomen. Tijdens de validatiesessies is aandacht geweest voor ZLT-warmtenetten. Hoewel dit concept in opkomst is, zijn er nog relatief weinig ZLT-netten waardoor er aannames ontbraken voor opname in het model. Op basis van de validatiesessies stellen we de volgende kenmerken vast die aanleiding geven tot modelmatig onderscheid in Vesta MAIS:

- Een primair distributienet is niet altijd aanwezig in ZLT-warmtenetten. Vaak zijn ZLT-warmtenetten gedimensioneerd op ~100 woningequivalenten. Een primair distributienet (backbone) is wel mogelijk, hiermee kunnen meer gebouwen worden aangesloten.

- In ZLT-warmtenetten hoeven geen afleversets bij aangeslotene te worden geplaatst, het leidingwerk wordt direct aangesloten op een warmtepomp.
- Er zijn veel verschillende configuraties ZLT-warmtenet mogelijk, onder andere op basis van gekozen bronnen, keuze voor opslag, warmtepomplocatie en afgiftetemperaturen. Het is wenselijk deze variatie in aan te brengen in de startanalyse.
- De kosten van ZLT-leidingen aanleggen zijn anders dan MT- en LT-leidingen. Hoewel de diameter relatief groot is om voldoende energie te transporteren, betreft het eerder drinkwaterleidingen die niet of nauwelijks te worden geïsoleerd, waar dit normaal gesproken wel nodig is in een warmtenet. Op korte termijn zien we geen basis voor kostenonderscheid ten opzichte van LT-leidingen, op langere termijn verwachten we dat ZLT-leidingen goedkoper zullen zijn om aan te leggen.

Bij woningen in warmtenetten wordt in Vesta MAIS een ongeriefsvergoeding gerekend om bewoners te compenseren voor ongerief tijdens werkzaamheden. Met betrekking tot de ongeriefsvergoeding stellen we vast dat deze kosten vooral afhankelijk zijn van de hoeveelheid maatregelen die in één keer genomen worden. Ze zijn daarom niet warmtenet-specifiek. We stellen voor deze kosten op nul te zetten.

Er is een analyse gedaan op de leidinglengtes die gerekend worden in het model, omdat verschillende deelnemers aangaven dat Vesta MAIS-leidinglengtes overwegend overschat. Wij hebben verschillende datasets, waarin met een modelmatige benadering de lengte van distributienetten wordt geschat, met elkaar vergeleken. Op basis hiervan kunnen we niet vaststellen dat Vesta MAIS-lengtes structureel over-of onderschat.

Verdere voorgestelde aanpassingen aan warmtenetten zijn:

- Aanpassingen kostenkengetallen voor het uitkoppelen van bestaande bronnen (onder andere MT- en LT-restwarmte) en realiseren van nieuwe warmtebronnen (zoals geothermie en TEO).
- Aanpassingen kostenkengetallen hulpinstallaties in het warmtenet, waaronder WKO, collectieve warmtepomp en piekketels. Piekketels zijn nu nog onderdeel van de parameter warmteoverdrachtsstation. We stellen voor deze parameter op te spitsen, zodat de piekketels expliciet kunnen worden gemodelleerd.
- Aanpassingen kostenkengetallen en vermogens van onderstations en een voorstel tot opsplitsen van in pandige afleverstations van onderstations. In pandige stations blijken structureel goedkoper dan normale onderstations.
- Aanpassing kosten afleverset zodat demontage van de oude installatie wordt geïncorporeerd in de maatregel.
- Aanpassing leidingkosten warmtenet. In een eerdere studie is een methodiekaanpassing voorgesteld met recenter cijfers. Deze aanpassing lijkt niet op tijd geïmplementeerd te kunnen worden voor ASA2025, daarom is een alternatieve kostencorrectie op de huidige methodiek voorgesteld.
- Aanpassing aansluitleiding en in pandige distributiekosten. Verschillende informatiebronnen zijn vergeleken om tot een nieuw voorstel te komen. In deze bronnen werden uiteenlopende definities van aansluitkosten gebruikt. Er is een vertaling gedaan van deze bronnen, waarbij er voor gekozen is de methodiek voor de aansluitleiding gelijk te houden en de in pandige distributiekosten, met name voor gestapelde bouw, op te hogen.

# 1 Inleiding

## 1.1 Achtergrond

Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) deed in 2019 en 2020 de Startanalyse aardgasvrije buurten. In dit onderzoek werden de nationale kosten van het duurzaam verwarmen van de gebouwde omgeving in kaart gebracht. Van vijf strategieën (all-electric, warmtenetten met MT-bron, warmtenetten met LT-bron, groengas en waterstof) werden in totaal 24 varianten doorgerekend. Het PBL voert ter ondersteuning van gemeentelijke warmteplannen gedurende 2024 een nieuwe Startanalyse uit, de Actualisatie van de Startanalyse 2025 (ASA2025). Sinds 2020 zijn er veel nieuwe of veranderde inzichten met betrekking tot de kosten en eigenschappen van verwarmingstechnieken. Om deze inzichten op te halen zijn er, net als voor de Startanalyse in 2019, validatiesessies georganiseerd. In deze validatiesessies zijn experts uitgenodigd om te reageren op de uitgangspunten in het Vesta MAIS-model (waarmee de Startanalyse wordt uitgevoerd). Er zijn in 2024 drie validatiesessies georganiseerd:

1. 'Individuele installaties' (28 juni).
2. 'Warmtenetten' (4 juni).
3. 'Energiebesparing' (3 juli).

De inhoudelijke voorbereiding van de sessies 'individuele installaties' en 'warmtenetten' is door CE Delft verzorgd, de validatiesessie 'energiebesparing' door TNO. In dit adviesrapport staan de uitkomsten van de validatiesessies 'individuele installaties' en 'warmtenetten'.

## 1.2 Methodiek en leeswijzer

De validatiesessies werden als volgt georganiseerd. Deelnemers ontvingen van tevoren een memo met toelichting op de modellering, een spreadsheet met relevante parameterwaarden, diverse voorbeeldberekeningen en de presentatie die op de validatiesessie werd gegeven. Deelnemers zijn voor, tijdens en na de validatiesessie gevraagd mondeling en schriftelijk input te leveren op het aangeboden materiaal. 26 personen namens 17 organisaties namen deel aan de validatiesessie individuele installaties. 37 personen namens 28 organisaties namen deel aan de validatiesessie warmtenetten. Er is verder door 20 personen (waarvan een deel niet aanwezig was bij de validatiesessies) schriftelijk input geleverd op een of beide sessies. In totaal hebben 38 verschillende organisaties input geleverd.

### Aanwezige organisaties validatiesessie 'Individuele installaties'

- |  |  |
|--|--|
| – Vereniging van Nederlandse Gemeenten (VNG) | – Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties |
| – Gemeente Amsterdam                         | – W/E adviseurs  |
| – Gemeente Eindhoven                         | – Intergas   |
| – Techniek Nederland                         | – Essent   |
| – Vereniging Warmtepompen                    | – Vattenfall   |
| – Mijnwater                                  | – RVO  |
| – Klimaatexpert                              | – PBL  |
| – Feenstra                                   | – CE Delft   |
| – De WarmteTransitieMakers                   |  |

### Aanwezige organisaties validatiesessie ‘Warmtenetten’

- Vereniging van Nederlandse Gemeenten (VNG)
- Gemeente Amsterdam
- Gemeente Eindhoven
- Eneco
- Cogas
- Heijmans
- Firan
- Alliander
- Aedes
- EBN
- Invest NL
- Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties
- Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
- EBN
- Invest NL
- Nieuwe Warmte Nu
- TU Delft
- Deltares
- Mijnwater
- Stichting Warmtenetwerk
- Klimaatgarant
- SBLC
- PBL
- RVO
- Ministerie van Economische Zaken en Klimaat
- CE Delft

### Partijen die schriftelijk informatie hebben aangeleverd

- Essent, namens warmtebedrijven (Themagroep Warmte Energieprestatie)
- Eneco
- HVC
- Mijnwater
- Heijmans
- Nederlandse Verwarmingsindustrie
- Vereniging Distributie en Afgifte Industrie
- Schouten Techniek
- Rijksdienst voor Ondernemend Nederland
- Vereniging van Nederlandse Gemeenten (VNG)
- Klimaatgarant
- Firan
- De Blauwe Feniks
- Aedes
- Gemeente Eindhoven
- Impuls Advies
- Intergas
- SBLC

In dit adviesrapport wordt de input van deelnemers gecombineerd ontsloten. De input is geanonimiseerd en in veel gevallen geparafraseerd door CE Delft. CE Delft heeft op basis van de ontvangen informatie een advies opgesteld om parameterwaarden of -modellering aan te passen. Niet alle input is overgenomen in een advies voor modelaanpassing. De input is beoordeeld door CE Delft, waarbij bijvoorbeeld onderbouwing door middel van ondersteunend onderzoek zwaarder is gewogen dan input waarvoor minder onderbouwing is. Ook de mate van consensus bij deelnemers is meegenomen in het oordeel, waar meerdere partijen aangeven dat een waarde X hoger zou moeten liggen is dit zwaarder gewogen dan als één partij dit aan zou geven.

Het adviesrapport is functioneel opgedeeld in drie hoofdstukken. In Hoofdstuk 2 komen algemene aandachtspunten aan bod die tijdens de validatiesessie naar voren zijn gekomen. Aan deze aandachtspunten is geen concreet advies voor modelaanpassing gekoppeld. In Hoofdstuk 3 komen de individuele installaties aan bod. Dit betreft verwarmingsinstallaties als warmtepompen en ketels, maar ook bijverwarming, warmteafgifte, koken en aanpassingen aan de meterkast. Ventilatie wordt beschouwd als onderdeel van energiebesparing. In Hoofdstuk 4 behandelen we de warmtenetten. Hierin worden eerst een aantal algemene zaken zoals vermogensvraag en gelijktijdigheid behandeld. Vervolgens behandelen we de verschillende componenten van een warmtenet: warmtebronnen, hulpinstallaties, leidingen en aansluitingen.



## 2 Algemene aandachtspunten

Gedurende de validatiesessies zijn aandachtspunten opgekomen over onderdelen in de Startanalyse die geen directe betrekking hebben op een individuele installatie of een onderdeel van een warmtenet. Uit deze aandachtspunten volgen geen directe adviezen voor aanpassing aan Vesta MAIS ten behoeve van de Startanalyse. Wel vormen het aanknopingspunten voor communicatie rond de Startanalyse of vervolgonderzoek.

### 2.1 Algemene aandachtspunten

Een aantal uitgangspunten in de Startanalyse bleek voor deelnemers niet direct evident. We sommen de belangrijkste op:

- De Startanalyse beschouwt alleen bestaande bouw van zowel woningen als utiliteiten.
- De Startanalyse beschouwt alle ingrepen en kosten die nodig zijn om buurten duurzaam te verwarmen. Een deel van de technieken kan ook koelen, echter staat dus de verwarming en niet koeling centraal in de analyse.
- De Startanalyse kijkt naar kosten in een toekomstjaar waarin alle maatregelen genomen zijn. Zodoende speelt bijvoorbeeld netcongestie (gebrek aan netcapaciteit op een specifiek moment) geen rol, maar de benodigde netverzwaringen wel.
- De Startanalyse gebruikt (minimale) schillabels B en D als proxy voor de isolatiegraad van gebouwen. Conceptueel is dit anders dan energielabels. De schillabels zijn verder niet geharmoniseerd met de Standaard en Streefwaarden.
- De Startanalyse rekent met nationale kosten, niet eindgebruikerskosten. Het is voor gemeenten een startpunt voor bepaling van een eindoplossing, verdere analyse is altijd nodig.
- De Startanalyse vergelijkt kosten van een strategie met een referentie. Het is niet iedereen duidelijk wat deze configuratie is en hoe er gerekend wordt voor bepaalde componenten. Bijvoorbeeld referentiekosten ten aanzien van instandhouding van het gasnet in een hybride strategie.
- Prijzen worden geïndexeerd naar peiljaar 2023.

### 2.2 Maatschappelijke discontovoet, winst en risico

*Onderstaande punten betreffen input vanuit deelnemers.*

De maatschappelijke discontovoet (2,25%) is gebaseerd op het rapport van de Werkgroep Discontovoet uit 2020, en zal in 2025 opnieuw worden geactualiseerd. De discontovoet is opgedeeld in een risicopremie en een risicovrij deel. De veronderstelde risicopremie was 3,25%, het risicovrije deel werd op -1% ingeschat. Inmiddels is er veel veranderd op de kapitaalmarkten en is bijv. de premie op het risicovrije deel gestegen tot circa 2,85%. De verwachting is daarom dat de maatschappelijke discontovoet fors zal stijgen in de verwachte 2025 update, mogelijk richting de 6%. Een hogere discontovoet werkt in het nadeel van investerings-intensieve verduurzamingsstrategieën.

Verder geven partijen mee dat een winst & risicopremie van 3,3% als (veel) te laag wordt ingeschat. Er is sprake van waardevermeerdering in iedere stap in de keten. Een percentage rond de 10% zou gangbaarder zijn.



## 2.3 Koude

De Startanalyse focust primair op het duurzaam verwarmen van de gebouwde omgeving. Veel deelnemers aan de validatiesessies merkten op dat, door klimaatverandering, het belang van koeling steeds groter zal worden en dat dit een effect heeft op zaken als het energieverbruik en kosten.

De opzet van de Startanalyse is beperkt geschikt om koude mee te nemen. Het is wel mogelijk om, bij verwarmingstechnieken die tevens kunnen koelen, dit aan te geven in de resultaten en een inschatting te doen van de benodigde hoeveelheid energie voor koelen. Deelnemers aan de validatiesessies geven aan dat het ontsluiten van deze informatie meerwaarde zou hebben. Echter betreft de verbruiksinschatting een zeer grove inschatting omdat er met betrekking tot de koelvraag en gebouwgebruikersgedrag in Nederland nog relatief weinig bekend is. Verder onderzoek is hiervoor eerst nodig.

Deelnemers roepen op om in de Startanalyse voor iedere strategie een systeem mee te rekenen waarmee aan een koudevraag kan worden voldaan. Bijvoorbeeld door bij verwarmingssystemen zonder koelfunctie een airco mee te rekenen.

## 2.4 Netcongestie en netverzwaring

Netcongestie betreft het gebrek aan capaciteit om elektriciteit te transporteren en aansluitingen te realiseren. Hoewel meer capaciteit beschikbaar kan komen door aanbod en vraag beter op elkaar af te stemmen, zal netcongestie in de kern alleen kunnen worden opgelost door middel van netverzwaring. Netverzwaring kost tijd, waardoor het op de korte- tot middellange termijn een beperkende factor vormt voor de all-electric-scenario's (en in mindere mate voor andere scenario's waarin tevens elektriciteit nodig is). De Startanalyse kijkt naar een eindbeeld, waardoor deze beperking in de tijd niet wordt meegenomen. Wel rekent men in de Startanalyse de kosten van netverzwaring mee. Dit doet het overigens alleen voor het netwerk van de regionale netbeheerder, niet voor het hoogspanningsnet.

Deelnemers aan de validatiesessie roepen op om in de resultaten van de Startanalyse inzichtelijk te maken hoeveel netverzwaring een strategie in een buurt vereist. Hierdoor zouden gemeenten een beeld kunnen krijgen van de vermogensvraag van verschillende verduurzamingsroutes. Hier is op dit moment behoefte aan bij gemeenten.

## 2.5 Infrarood

Tijdens de validatiesessie 'Individuele installaties' is veel aandacht geweest voor een mogelijk nieuwe hybride variant waarbij infrarood bijverwarming wordt meegerekend. Vanuit de deelnemers is hier zeer veel commentaar op binnengekomen, de algemene strekking daarvan is dat deze variant niet zou moeten worden opgenomen. De belangrijkste kritiekpunten op het voornemen zijn de volgende:

- De voorgestelde rekenrendementen worden door veel partijen niet herkend en bovendien als (veel) te optimistisch ingeschat. Het energieverbruik in deze configuratie is sterk gedragsafhankelijk en er is nog beperkt onderzoek naar gedaan. Er ontbreekt zodoende een goede onderbouwing om de strategie op te nemen.
- De kostenschattingen worden te laag verondersteld. Kosten per paneel zouden kloppen, maar kosten voor bijbehorende voorzieningen zouden ontbreken.
- Op grote schaal toepassen van IR-panelen brengt een hoge vermogensvraag mee. Dit draagt bij aan netcongestieproblematiek.

Deelnemers zijn huiverig voor een scenario waarin de IR-strategie tot verwarring leidt bij gemeenten. Ze verzoeken om deze redenen het opnemen van de IR-variant te heroverwegen.

## 2.6 ZLT-net configuraties

De afgelopen jaren is het ZLT-concept voor duurzaam verwarmen en koelen opgekomen. Hierin wordt (Z)LT-(rest)warmte middels collectieve infrastructuur aangesloten op een collectieve of individuele warmtepomp. ZLT-netten kunnen (net als MT- en LT-netten) in verschillende configuraties worden gerealiseerd. Tijdens de validatiesessies zijn een tweetal configuraties gepresenteerd en besproken. Vanuit de deelnemers is hierop veel commentaar geleverd. De belangrijkste wens was het aanpassen van, dan wel opnemen van extra ZLT-configuraties.

Verder werd er aandacht gevraagd om in de modellering van ZLT in Vesta MAIS rekening te houden met de volgende zaken:

- Bij ZLT-concepten is er een lagere vermogensvraag, maar hogere gelijktijdigheid waardoor de piekvraag in het systeem lager ligt.
- Een ZLT-net is, tenzij er wordt uitgegaan van een backbone, een klein net geschikt voor hooguit enkele honderden woningequivalenten.
- Investerings- en componenten in een ZLT-net zijn anders dan een MT- of LT-warmtenet.

Op deze punten komen we in Hoofdstuk 4 terug.

## 2.7 Duurzame gassen

Ontwikkeling en uiteindelijk gebruik van duurzame gassen, specifiek groengas en waterstof, zijn onderdeel van Nederlands klimaatbeleid. Desondanks bestaat er nog veel onzekerheid over de beschikbaarheid en kosten van beide gassen. In de Startanalyse uit 2020 is hier op verschillende manieren rekening mee gehouden: in de resultaten is een analyse gedaan met een beperkte beschikbare hoeveelheid groengas die op een kosteneffectieve manier werd toebedeeld aan buurten. Daarnaast zijn er gevoeligheidsanalyses uitgevoerd op de energieprijzen. Deelnemers aan de validatiesessies hebben uiteenlopende zienswijzen over de rol van duurzame gassen in de verduurzaming van de gebouwde omgeving. De meerwaarde van beschikbaarheids- en gevoeligheidsanalyses wordt echter onderschreven en men vraagt dan ook om in ASA2025 hier opnieuw voldoende aandacht aan te besteden.

Een specifiek kritiekpunt op de omgang met duurzame gassen in Vesta MAIS is de aanname dat de piekvoorziening van warmtenetten met groengasketels wordt ingevuld. Door een hoge groengasprijs verwachten enkele deelnemers een nadelig effect op de kosten van warmtenetten. Alternatieve piekvoorzieningen, zoals elektrische boilers, zouden moeten worden toegepast. De zienswijze van CE Delft hierop is dat de meest reële en betaalbare duurzame piekvoorziening voor een warmtenet nog onzeker is, en bovendien casus specifiek. Meerdere configuraties met moleculen, elektronen en/of opslag zijn denkbaar.

## 2.8 Vergelijkingsstudie

Meerdere deelnemers spraken de wens uit om een vergelijkingsstudie te doen waarin de kosten van gerealiseerde warmtenetprojecten worden vergeleken met de modeluitkomsten van Vesta MAIS. Dit zou bijvoorbeeld kunnen aan de hand van projecten waarvan kosten bekend zijn, omdat er subsidie aanvragen zijn gedaan.

# 3 Individuele installaties

Van individuele verwarmingsinstallaties zijn de volgende aspecten gevalideerd: investeringskosten, onderhoudskosten, afschrijvingstermijnen, rendementen en bij specifieke installaties ook dimensionering & inzet. Voor afgiftesystemen, elektrisch koken en meterkastaanpassingen is daarnaast ook discussie gevoerd over uitgangspunten in het model.

## 3.1 Warmtepompen

Er is informatie uitgevraagd voor de volgende warmtepompen:

- buitenlucht (lucht-water);
- bodem (water-water);
- in pandig (water-water);
- hybride (lucht-water);
- booster (water-water);
- *HT-buitenlucht (lucht-water)*;
- *luchtwarmtepomp (lucht-lucht)*;
- *airconditioner (lucht-lucht)*.

De *schuingedrukte* warmtepompen zijn vooralsnog niet opgenomen in strategieën in ASA2025. Hoewel wel uitgevraagd, is er ook geen input gekomen op deze warmtepompsoorten. We beperken ons daarom tot de eerste vijf type warmtepompen.

### 3.1.1 Investeringskosten warmtepompen

In Tabel 1 staat de aangeleverde informatie over investeringskosten van warmtepompen samengevat. Ten opzichte van de oude waarden in Vesta MAIS hebben deelnemers gereageerd op nieuwe kosten, gebaseerd op onderzoek uit 2022 (CE Delft, 2022a).

Tabel 1 - Ontvangen informatie investeringskosten warmtepompen

Informatie	Bron
De nieuwe kosten lijken ons aannemelijk.	Schriftelijke input deelnemer
De investering voor een bodem-WP voor een schillabel A woning ligt tussen de € 10.000 en € 12.500 excl. btw.	Schriftelijke input deelnemer
Het verschil tussen bodem- en lucht-WP is in onze berekeningen circa € 3.000. Hierin gaan we er van uit dat de bodemwarmtepomp seriematig wordt toegepast, kosten circa € 15.000 inclusief bron. Voor de luchtwarmtepomp nemen we geluidswerende maatregelen mee gegeven de 40/45 dB-eis aan de erfgrens.	Schriftelijke input deelnemer
De kosten zijn niet zo ver gestegen als wordt aangenomen. Voor een all-electric-lucht-WP (8 kW) zien wij aanschaf- en installatiekosten excl. btw van circa € 9.000, voor hybride circa € 5.000. Dit is zonder inflatiecorrectie.	Ontvangen informatie Factuuranalyse RVO

De ontvangen informatie spreekt elkaar deels tegen, de een geeft aan dat kosten goed worden ingeschat, anderen te hoog. Tweemaal wordt aangegeven dat de kosten voor een bodem-WP lager liggen dan aangenomen. Hierbij betreft het echter wel zeer goed geïsoleerde woningen, waar de Startanalysestrategie uitgaat van schillabel B. Er zou dus mogelijk een grotere WP moeten worden verondersteld dan aangegeven. Op verzoek van

PBL heeft RVO op basis van de factuuranalyse op de met de ISDE-regeling gesubsidieerde warmtepompen een memo opgesteld. Het RVO adviseert in deze memo om voor ASA2025 uit te gaan van € 8.959 excl. btw voor luchtwarmtepompen en € 5.040 excl. btw voor hybride warmtepompen (prijspeil Q3 2022 t/m Q2 2023). De waarden zijn gebaseerd op analyse van 1.800 facturen en betreffen aanschaffen en installeren van de installatie. We nemen deze kosten als basis voor ons aanpassingsvoorstel. Werkzaamheden voor demonteren en afvoeren van de huidige installatie zijn niet gespecificeerd in de facturen, daarom tellen we € 500 op bij de schatting van RVO voor all-electric. Deze getallen hebben we op basis van 7 kW voor all-electric en 4 kW voor hybride omgerekend naar vaste en variabele investeringskosten. Voor utiliteiten zijn uitgangspunten onveranderd gebleven en is voor nieuwe getallen gebruik gemaakt van Arcadis (Bijlage C).

Geluidswerende maatregelen zijn op dit moment geen onderdeel van de uitgangspunten in Vesta MAIS. Hierdoor ontbreekt een kostenpost die in veel situaties in de praktijk wel zal worden toegepast. Er is echter geen informatie aangeleverd over de kosten en een indicatie van in welke situaties deze maatregel genomen dient te worden. We zien dit daarom als onderwerp voor vervolgonderzoek.

Tabel 2 bevat de oude en het voorstel voor nieuwe rekenwaarden.

Tabel 2 - Voorstel aanpassing modelwaarden investeringskosten warmtepompen

Toepassing warmtepomp		Parameter	Eenheid	Voorstel nieuwe waarde	Motivatie	Oude waarde
Buitenlucht (lucht-water)	Woning vast	Ki_asl_eWPlw_w	€/aansluiting	4.562-6.843	Factuuranalyse RVO. Hierin wordt niet uitgegaan van geluidswerende maatregelen.	4.637-5.359
	Woning variabel	Ki_cap_eWPlw_w	€/kW	430-644		320-500
	Utiliteit	Ki_asl_eWPlw_u, Ki_cap_eWPlw_u	€/aansluiting	3.000-6.500		Arcadis 2024, zie bijlage C
€/kW			750-1.250	555-925		
Bodem (water-water)	Woning vast	Ki_asl_eWPbw_w	€/aansluiting	8.760-12.475	(CE Delft, 2022a)	4.628-8.460
	Woning variabel	Ki_cap_eWPbw_w	€/kW	1.105-1.575		753-899
	Utiliteit <100 kW	Ki_asl_eWPbw_uK, Ki_cap_eWPbw_uK	€/aansluiting	5.000-10.000	Arcadis 2024, zie bijlage	5.257-8.761
			€/kW	1.750-2.750		1.170-1.950
	Utiliteit >100 kW	Ki_asl_eWPbw_uG, Ki_cap_eWPbw_uG	€/aansluiting	140.000-220.000		153.857-256.428
€/kW			300-400	293-488		
Inpandig (water-water)	Woning label B+	Ki_eWP_B Ki_eWP_CDE	€/aansluiting	10.000	De warmtepomp is identiek aan de bodem-warmtepomp en verschilt niet o.b.v. schillabel. Kostenverschil betreft bodemlus.	4.500
	Woning label C/D/E		€/aansluiting	(9.000-11.000)		7.000
	Utiliteit, vast	Ki_eWP_util	€/kW			700
	Woning vast	Ki_asl_BasisHWP_w	€/aansluiting	3.520		2.315



Toepassing warmtepomp		Parameter	Eenheid	Voorstel nieuwe waarde	Motivatie	Oude waarde
Hybride (lucht-water)	Woning variabel	Ki_cap_BasisHWP_w	€/kW	380	Factuuranalyse RVO	250
	Utiliteit	Zelfde parameter als all-electric, andere dimensionering				
Booster (water-water)	Woning	Ki_booster	€/aansluiting	3.000	(CE Delft, 2022a)	1.750-3.250

### 3.1.2 Onderhoudskosten warmtepompen

Er zijn geen aanpassingen voorgesteld die aanleiding geven de huidige waarden in het model aan te passen. Over het algemeen kan gesteld worden dat de bodemwarmtepomp lagere onderhoudskosten kent dan een luchtwarmtepomp. Een hybride warmtepomp kent wel relatief hoge onderhoudskosten. De in pandige en booster warmtepomp zijn water-water warmtepompen. Onduidelijk in de documentatie van Vesta MAIS is of voor de onderhoudskosten van dit type met eWP\_bw gerekend wordt of met eWP\_lw. We stellen voor de onderhoudskosten gelijk te stellen aan die van de bodemwarmtepomp.

Tabel 3 - Modelwaarden onderhoud warmtepompen

Beschrijving	Parameter	Eenheid	Huidige waarde
Buitenlucht (lucht-water)	R_OH (eWP_lw_w)	% investering	1,5
	R_OH (eWP_lw_u)	% investering	2
Bodem (water-water)	R_OH (eWP_bw_w)	% investering	0,9
	R_OH (eWP_bw_uK)	% investering	1
	R_OH (eWP_bw_uG)	% investering	1
In pandig (water-water)	Onduidelijk	% investering	?
Hybride (lucht-water)	R_OH (Hybride WP)	% investering	3,45
Booster (water-water)	Onduidelijk	% investering	?

### 3.1.3 Rendementen warmtepompen

Op de rendementen van warmtepompen (uitgaande van SPF-waarde) is veel commentaar binnengekomen. In Tabel 4 staat een overzicht van relevante ontvangen informatie. Over specifieke combinaties van warmtepomp en schillabels is ook informatie binnengekomen, deze zijn buiten de tabel gehouden en meegenomen in het uiteindelijke voorstel.

Tabel 4 - Ontvangen informatie rendementen warmtepompen

Informatie	Bron
Naar welk klimaatjaar kijken we? Door klimaatverandering zullen rendementen verbeteren.	Opmerking deelnemer tijdens validatiesessie
Bij welke aanvoer- en retourtemperaturen zijn deze rendementen vastgesteld? Zonder deze informatie is het moeilijk om de getallen te staven.	Opmerking deelnemer tijdens validatiesessie
Het is vreemd dat efficiëntie water-water warmtepomp met bron-temperatuur van 20 graden lagere rendementen heeft bij lagere labels dan bodem of lucht.	Opmerking deelnemer tijdens validatiesessie
Overweeg de gevalideerde kwaliteitsverklaringen uit het verklaringenregister BCRG te gebruiken.	(BCRG, lopend)
Overweeg de Europese EPREL-database te gebruiken.	(EC, lopend)
Overweeg het Duitse Wärmepumpen Verbrauchsübersicht te gebruiken.	(Brockmann, lopend)
Overweeg data uit de Installatiemonitor en/of Demoproject te gebruiken voor praktijkgegevens.	(BDH, lopend)
De waarden lijken, over het algemeen genomen, te laag.	Schriftelijke input
De hybride warmtepomp is toepasbaar voor schillabels E t/m F.	Schriftelijke input, onderbouwing betreft praktijkonderzoek NVI BZK/EZK

Figuur 1 geeft weer wat de huidige rendementen zijn in Vesta MAIS. Vanuit meerdere deelnemers klinkt het geluid dat de rendementen over het algemeen te laag zijn ingeschat, en vanuit de verschillende schillabels en technieken bekeken niet altijd consistent met elkaar lijken te zijn. Eerdere rekenwaarden waren ook gebaseerd op gelijkwaardigheidsverklaringen en de Duitse database die ook door deelnemers werd genoemd. Deze getallen zijn in 2019 voor het laatste geactualiseerd, en partijen geven aan dat de warmtepompen die nu op de markt zijn beter presteren dan de warmtepompen van toen.

Figuur 1 - Overzicht huidige rendementen warmtepompen Vesta MAIS

Installatie	Ruimteverwarming							Warm tapwater	Koeling
	A(++++)	B	C	D	E	F	G		
Buitenluchtwarmtepomp (lucht-water)	466%	381%	339%	339%	339%	339%	339%	175%	300%
Bodemwarmtepomp (water-water)	563%	407%	361%	N.v.t	N.v.t	N.v.t	N.v.t	300%	4500%
Inpandige warmtepomp (water-water), LT-afgifte	800%	420%	320%	320%	320%	N.v.t	N.v.t	275%	3000%
Inpandige warmtepomp (water-water), ZLT-afgifte	800%	800%	420%	420%	420%	N.v.t	N.v.t	275%	3000%
Hybride warmtepomp (lucht-water)	380%			N.v.t	N.v.t	N.v.t	N.v.t	N.v.t	N.v.t
Boosterwarmtepomp (lucht-water)	N.v.t	N.v.t	N.v.t	N.v.t	N.v.t	N.v.t	N.v.t	375%	N.v.t

Alle databases die zijn gesuggereerd zijn bekeken, besloten is om van de Installatiemonitor en BCRG gebruik te maken. Deelnemers gaven aan dat het niet eenvoudig is deze rendementen te staven, gegeven dat onderliggende aannames over de afgiftetemperatuur niet evident zijn. Hiertoe doen we de aanzet in Tabel 5 om afgiftetemperaturen te matchen met schillabelniveaus. Deze vertaling gaat uit van (nageïsoleerde) bestaande bouw. De afgiftetemperaturen zijn zo gekozen dat ze aansluiten bij de gelijkwaardigheidsverklaringen van Bureau CRG.



Tabel 5 - Vertaling schillabels Vesta MAIS naar afgiftetemperatuurregimes

Schillabel	Indicatieve afgiftetemperatuurrange
A(++++)	30-40
B	40-50
C	50-60
D	60-70
E/F/G	70-80

Voor de strategieën in de Startanalyse zijn met name schillabels B en D relevant, omdat dit de doelniveaus zijn voor de isolatiekwaliteit van woningen die in de Startanalyse worden onderscheiden. Om tot nieuwe rendementswaarden te komen is gekeken naar gelijkwaardigheidsverklaring van een vijftal warmtepompen (Tabel 6). Er is uitgegaan van waarden bij hoge warmtevraag.

Tabel 6 - Overzicht bekeken BCRG-verklaringen

Naam	Verklaringnummer
Remeha Elga Ace 6	20240091GK
Itho Daalderop HP-S 55	20240050GG
Vaillant aroTHERM pure VWL 45/7.2 AS 230V S3 + VWL 108/7.2 IS S5	20230065GK
Compress 7800i	20210463GK
ALTHERMA 3 GEO	20210421GK

De BCRG-verklaringen kunnen niet worden gebruikt voor koeling of in pandige warmtepompen. Hiervoor zijn op basis van de Uniforme Maatlat Gebouwde Omgeving inschattingen gedaan. Voor in pandige warmtepompen op LT-niveau zijn opties bij slechtere schillabels verwijderd. Voor de hybride warmtepomp is een uitsplitsing gemaakt zodat er met vier waardes in plaats van één wordt gerekend. De oude waarde (afkomstig uit de notitie hybride warmtepompen in Vesta) was gebaseerd op gelijkwaardigheidsverklaringen in een situatie bij label C/D, maar werd in het model ook toegepast bij betere schillabels. In deze gevallen wordt in het model dan ook een overschatting gedaan van het energieverbruik. Verder zijn ook de tapwaterrendementen in het overzicht aangepast. Op koelrendementen is geen nieuwe informatie toegepast.

Tabel 7 - Voorstel aanpassing modelwaarden rendementen warmtepompen

Installatie	Ruimteverwarming							Warm tapwater	Koeling
	A(++++)	B	C	D	E	F	G		
Buitenluchtwarmtepomp (lucht-water)	SPF_rv_A (eWP_lw)	SPF_rv_B (eWP_lw)	SPF_rv_C (eWP_lw)	SPF_rv_x (eWP_lw)				SPF_tw (eWP_lw)	SPF_k (eWP_lw)
	450%	425%	400%	350%				185%	350%
Bodemwarmtepomp (water-water)	SPF_rv_A (eWP_bw)	SPF_rv_B (eWP_bw)	SPF_rv_C (eWP_bw)					SPF_tw (eWP_bw)	SPF_k (eWP_bw)
	550%	500%	450%					210%	1.200%
In pandige warmtepomp (water-water), LT-afgifte	SPF_id_A_RV	SPF_id_B_RV (< 55 °C)	SPF_id_CDE_RV (< 55 °C)					SPF_id_TW (combiWP)	SPF_coll_k
	600%	550%	500%	450% bij 15/ 50, 350% bij 15/70	Verwijderd			240%	2.000%



Installatie	Ruimteverwarming							Warm tapwater	Koeling
	A(++++)	B	C	D	E	F	G		
Inpandige warmtepomp (water-water), ZLT-afgifte	SPF_id_A_RV	SPF_id_B_RV (< 35°C)	SPF_id_CDE_RV (< 35°C)					SPF_id_TW (combiWP)	SPF_coll_k
	600%	550%	Verwijderd	Verwijd erd	Verwijderd			240%	2.000%
Hybride warmtepomp (lucht-water)	SPF_rv_A (hWP_lw)	SPF_rv_B (hWP_lw)	SPF_rv_C (hWP_lw)	SPF_rv_x (hWP_lw)					
	420%	400%	380%	360%					
Boosterwarmtepomp (lucht-water)	N.v.t.							SPF_tw (eWP_bw)	
								210%	

### 3.1.4 Inzet hybride warmtepomp

In het voorstel dat deelnemers hebben ontvangen werd een schillabelspecifieke inzet van de hybride warmtepomp verondersteld. In de huidige modellering van Vesta MAIS is dit één waarde, te weten 78%. Resultaten uit het ‘Demonstratieproject hybride warmtepompen in de gebouwde omgeving’ wijzen erop dat de verhouding woningtype en schillabelonafhankelijk zou zijn (NVI-GO et al., 2023). Door ook hier variatie aan te brengen (waar dit ook in de rendementen gebeurt) zou dit de hybride warmtepomp te (on)gunstig bij hogere en lagere labels doen laten presteren. Daarom stellen we voor om één getal te blijven hanteren. De inzet is sterk afhankelijk van het relatieve vermogen van de hybride warmtepomp ten opzichte van de vermogensvraag voor ruimteverwarming. In het Demonstratieproject is een gemiddeld percentage van 75% vastgesteld. We stellen daarom voor om deze waarde over te nemen. Een reële bandbreedte op deze waarde is 65 tot 80%.

Tabel 8 - Inzet hybride warmtepomp

Parameterwaarde	Huidig	Voorstel
P_vol (hWP_lw)	78%	75% (65-80%)

## 3.2 Ketels

Er is geen informatie binnengekomen met betrekking tot de modelleringen van de hr-ketel op groengas of waterstof of de biomassaketel die aanleiding geeft de parameters te wijzigen. Op basis van een inventarisatie eind 2022 verwachten we dat de kosten en rendementen voor een gasketel en waterstofketel niet noemenswaardig zijn veranderd ten opzichte van de (geïndexeerde) huidige waarden in Vesta MAIS (CE Delft, 2022a). Voor biomassaketels zijn de kosten wel hoger dan eerder aangenomen, namelijk minimaal € 7.313, maximaal € 22.076 per woning.



### 3.3 Overige verwarmingsinstallaties

Onder overige verwarmingsinstallaties vallen de volgende installaties:

- infraroodpanelen;
- *pelletkachel*;
- *elektrische weerstandsverwarming*;
- *elektrische boiler*;
- *doorstroomapparaat*.

Alleen de infraroodpanelen worden toegepast in het voorstel voor de Startanalyse. Op de andere installaties is tevens geen informatie binnengekomen.

#### 3.3.1 Infraroodpanelen

Zoals besproken in Paragraaf 2.5 is er in de validatiesessie veel kritiek op het opnemen van bijverwarming met infraroodpanelen als extra strategie. In deze paragraaf vatten we de input samen die betrekking hebben tot ofwel de kosten, ofwel het rendement van infraroodpanelen.

Tabel 9 - Ontvangen informatie rendementen infraroodpanelen

Informatie	Bron
Wij verwachten een gecombineerd rendement van -120%, circa 7% per graad dat de thermostaat omlaag kan. Niet 220%.	Input tijdens validatiesessie
Het is niet bekend op basis waarvan de huidige aannames voor energiebesparing zijn gekozen. Onze ervaring is dat het effect van bewonersgedrag bij elektrische heaters en infraroodverwarming veel groter is dan bij andere concepten. De spreiding in gevraagd comfort is groot en als je dan concepten toepast waarin 'extra comfort' onevenredig veel extra energie kost krijg je voor een 'norm bewoner' een mooi resultaat, maar mogelijk voor een gemiddelde bewoner niet.	Schriftelijke input
Om een goede indicatie te krijgen van het effect op de energiebesparing van verwarming en de verdeling van de inzet van gasketels en elektriciteit stellen wij voor om in het geval van bijverwarming ervan uit te gaan dat de gemiddelde basistemperatuur in een woning ca. 2-3 °C lager is dan met infraroodverwarming. Ervan uitgaande dat een woning zonder infraroodverwarming met een schillabel B een stookgrens heeft bij een daggemiddelde temperatuur van 15 °C dan heeft een woning met infraroodverwarming een stookgrens bij een daggemiddelde temperatuur van ca. 12 °C (3 °C lager). Op basis van graaddagen van een standaardklimaatjaar NEN 5060:2018 leidt dit ten opzichte van de oorspronkelijke behoefte (40 GJ) tot 40% besparing op de basis verwarming (gasgestookt); ofwel 16 GJ besparing met een restverbruik van 24 GJ voor de gasketel. Dit is een substantieel minder sterke afname dan gesteld in de huidige aannames waarbij uitgegaan wordt van 80% besparing op het gasverbruik wat zou leiden tot een driemaal lagere eindinzet van de gasketel, namelijk 20% van 40 GJ ofwel 8 GJ).  Aanvullend voor extra comfort zal elektriciteit worden ingezet. Dit zal afhankelijk van de comfortbehoefte van de bewoner sterk variëren. Omdat infraroodverwarming snel en lokaal kan reageren wordt ervan uitgegaan dat de aanvullende behoefte met ca. 75% kan worden teruggebracht. Dus blijkt er van 16 GJ nog 4 GJ over die elektrisch wordt ingevuld.	Schriftelijke input
Uitgaande van een COP van een voor een IR-paneel en een rendement van 95% voor een gasketel, zou dit resulteren in een gasreductie van circa 60%. Hierbij veronderstel ik dat de isolerende schil van de woning en het bewonersgedrag niet zijn aangepast en dat de woning vóór de installatie van IR-panelen tot 20 °C wordt verwarmd, terwijl de gemiddelde buitentemperatuur in winterse omstandigheden 4 °C is. Simpel gesteld zou je kunnen stellen dat het energieverlies bij geringe temperatuurverschillen recht evenredig is. Dit in overweging	Schriftelijke input

Informatie	Bron
nemende, zou de temperatuur in de woning moeten dalen van 20 °C naar 10,4 °C om een gasbesparing van 60% te realiseren.	
De kosten van een paneel worden te laag ingeschat. Voor € 330 heb je het paneel, maar nog niet de installatie met afwerking en elektrische voorzieningen. Zou eerder € 1.000 nemen. En dan heb je nog kosten in de meterkast.	Schriftelijke input
Om iets betrouwbaars over de bijdrage te kunnen zeggen moet dit systeem onderdeel zijn van het hoofdverwarmingssysteem middels een home energy management system (HEMS). Hiervoor moeten kosten worden meegerekend.	Schriftelijke input

Bovenstaande informatie geeft aanleiding om het gecombineerde rendement omlaag bij te stellen (eventueel ook anders te modelleren), en kosten omhoog bij te stellen. Met de ontvangen informatie kan er echter geen concreet voorstel worden gedaan voor nieuwe waarden.

### 3.4 LT-warmteafgifte

Over LT-warmteafgifte is fundamentele discussie of en wanneer aanpassing van het afgiftesysteem nodig is om met lage temperaturen te verwarmen. We vatten de achtergrond hiervan kort samen. De vraag is of en welke aanpassingen aan het afgiftesysteem nodig zijn. Grof gezegd is de kijk hierop omgeslagen van ‘alle afgiftesystemen moeten vloerverwarming worden’ naar ‘alle afgiftesystemen moeten ten minste LT-convectoren of radiatoren worden’ naar ‘in veel gevallen hoeft het afgiftesysteem niet te worden aangepast’. Deze laatste zienswijze werd ingeluid door de Deltares-studie voor WarmingUp ‘Field measurements on lower radiator temperatures in existing buildings’ (Pothof et al., 2022). Deze studie concludeert dat lagetemperatuurverwarming in 60% van de bestaande bouw al mogelijk is. Dit zou kunnen omdat de huidige radiatoren overgedimensioneerd zijn. In dit onderzoek is voor een representatieve set van 220 woningen onderzocht of met aanvoertemperaturen van 55 °C woningen bij -10 °C kunnen worden warm gehouden. Er is ook kritiek op de methodologie van de studie omdat er wordt gekeken naar het behalen van warmtevraag (vermogen) in plaats van thermisch comfort. Zo ontvingen we het volgende commentaar van een bouw-energetisch expert: *“Het thermisch comfort is de gewogen som van de binnenluchttemperatuur en de binnenmuur/vloer/plafond temperatuur (oppervlakte stralingstemperatuur). Bij hogetemperatuurverwarming compenseert de hete radiator voor koude muren. Bij lagetemperatuurverwarming met hetzelfde vermogen, compenseert de LT-radiator/vloerverwarming lang niet altijd voor de koude straling van de muren. Het vermogen wordt wel behaald, maar niet het comfort. Daarom worden in NTA8800 alle berekeningen gemaakt op basis van de operationele temperatuur (gewogen som van de binnenluchttemperatuur en oppervlakte stralings-temperatuur). Dus mijn stelling is dat er op basis van deze (overigens interessante) studie niet zomaar geconcludeerd kan worden dat 60% van de woningvoorraad geschikt is.”*

Duidelijk is dat voor een deel van de bestaande bouw aanpassing niet nodig zal zijn, maar voor een ander deel wel. Helaas concludeert de WarmingUp-studie dat zowel woningtype als bouwperiode geen predictors zijn om te bepalen welk deel van de woningvoorraad LT-ready is. Ondanks de inzichten van de WarmingUp-studie stellen we, op basis van de hierboven gemaakte punten en het gebrek aan onderscheidende kenmerken binnen de woningvoorraad, voor om de huidige methodologie in Vesta MAIS te blijven gebruiken.

Tabel 10 - Ontvangen opmerkingen LT-warmteafgifte

Informatie	Bron
Als je LT-radiatorkosten meeneemt in deze benadering moet je ook de kosten voor de MT-radiatoren meenemen indien deze moeten worden vervangen.	Input tijdens de validatiesessie
Graag de definitie van LT-radiatoren mee nemen. Daarbij aandacht voor de klasseindeling die bij warmtepompen wordt aangehouden, LT = een aanvoertemperatuur van 35 °C, en MT is 55 °C (zie ook bijvoorbeeld NEN 14825).	Schriftelijke input
Zijn deze prijzige alternatieven werkelijk nodig? Kan er niet volstaan worden met radiatorboosters (ventilatoren), of één of twee extra radiatoren, of betere isolatie/beglazing?	Schriftelijke input

In reactie op de eerste opmerking in Tabel 10 stellen we dat het kostenverschil tussen MT en LT kleiner zou worden naarmate er ook instandhoudingskosten worden gerekend voor strategieën met conventionele radiatoren. Een klassieke paneelradiator kost inclusief installatie tussen de € 100 en € 400 per stuk en heeft een economische afschrijvingstermijn van 30 jaar (Werkspot, 2024). Dat is grofweg de helft van de prijs van LT-radiatoren.

De opmerking over afgiftetemperaturen is, gegeven de aangenomen afgiftetemperaturen per schillabel zoals vastgesteld in Paragraaf 3.1.3, ook relevant met betrekking tot vervanging van radiatoren. Hierbij is een verduidelijking noodzakelijk: Vesta MAIS rekent voor ‘LT-radiatoren’ op basis van ‘paneelradiatoren met convector’ die geschikt zijn voor afgiftetemperaturen tussen 35 en 55 °C. Temperaturen lager dan dat worden ‘ZLT-radiator’ genoemd. Vesta MAIS gaat in de Startanalyse in de regel uit van deze eerste range omdat voor afgifte bij nog lagere temperaturen zeer verregaande isolatie nodig is.

De laatste opmerking roept op om als standaardaanname extra energiebesparende maatregelen te nemen of om slechts een deel van de radiatoren te vervangen. Voor beide voorstellen is te weinig onderbouwing, echter zou het tweede voorstel wel eenvoudig opgenomen kunnen worden door een kortingsfactor toe te voegen op de investeringskosten. Prijsvoorstellen (op basis van Arcadis 2024) in Tabel 11 zijn gebaseerd op volledig vervangen van bestaande radiatoren. De nieuwe getallen zijn grofweg drie maal hoger dan de oude. In zowel de oude als nieuwe situatie wordt verondersteld dat alle radiatoren worden vervangen.

Tabel 11 - Voorstel aanpassing modelwaarden LT-radiatoren

Beschrijving	Parameterwaarde	Huidig	Voorstel
LTAS investeringskosten grondgebonden woning	Ki_LTAS_wl	2.090 (957-3.222)	6.410 (3.680-9.140)
LTAS investeringskosten gestapelde woning	Ki_LTAS_wh	1.208 (401-2.015)	4.245 (3.190-5.300)
LTAS investeringskosten utiliteit	Ki_LTAS_u	9	15 (12-18)

Daarnaast stellen we het opnemen van een instandhoudingskost voor MT-radiatoren mee, gelijk aan 50% van de LT-radiatorkosten.

### 3.5 Elektrisch koken

In het voorstel dat voorlag, werd niet in elke strategie elektrisch (op een inductieplaat) gekookt. In de hybride groengasstrategieën<sup>1</sup> werd voorgesteld om op groengas te koken op het bestaande gasfornuis.

Deelnemers aan de validatiesessie ‘individuele installaties’ gaven gezamenlijk aan dat hun eindbeeld is dat er overal elektrisch wordt gekookt. Het advies is daarom om deze maatregel en kosten in alle strategieën gelijk toe te passen. Vesta MAIS heeft hier op dit moment geen kosten voor opgenomen. In de nog te verschijnen marktvalidatiestudie van CE Delft voor het PBL worden kengetallen in Tabel 12 voorgesteld. De ranges zijn indicatief, ons voorstel is om elektrisch koken met een vaste waarde per aansluiting te implementeren.

Tabel 12 - Voorstel modelwaarden elektrisch koken

Beschrijving	Waarde	Eenheid
Investeringskosten inductiekookplaat grondgebonden woning	1.250 (600-2.700)	€/aansluiting
Investeringskosten inductiekookplaat gestapelde woning	1.000 (600-2.200)	€/aansluiting
Onderhoudskosten inductiekookplaat	0	%
Efficiëntie inductiekookplaat	100	%

### 3.6 Aanpassingen meterkast en aansluiting

Voor aanpassingen in de meterkast (verzwaren elektriciteitsaansluiting, nieuwe groep(en) aanleggen en/of vervangen van bestaande meterkast) worden in Vesta MAIS op dit moment geen aparte kosten gerekend. Toch moet voor veel maatregelen iets van een aanpassing worden gedaan, waardoor in bijna elke strategie in de Startanalyse wel een argument te maken is voor het rekenen van aanpassingskosten. In Vesta MAIS zitten nu alleen kosten opgenomen voor het verzwaren van de netaansluiting. Kosten voor de meterkastaanpassingen werden verondersteld als onderdeel van de investeringskosten in elektrische installaties. Na inventarisatie van de kostengrondslagen blijkt echter dat deze kosten vrijwel in alle gevallen niet worden meegenomen in totstandkoming van de investeringskostenkengetallen. We adviseren daarom om een aparte kostenpost ‘aanpassingen meterkast’ toe te voegen.

Tijdens de validatiesessie werd gesuggereerd om te werken met drie niveaus van aanpassingen. *“Je kan dan zeggen dat je of een kleine aanpassing doet in je meterkast (bijvoorbeeld verzwaring, aansluiting door netbeheerder), of daarbovenop een extra groep trekt en in het meest extreme geval de meterkast ook vervangt. En dan bepaal je de niveaus aan de hand van welke en hoeveel elektrische items worden toegepast.”* Aangezien de eerste variant feitelijk al in het model zit versimpelen we het tot twee varianten. Ons voorstel is om in strategie S1 (all-electric) meer kosten in rekening te brengen dan voor andere strategieën. In andere strategieën worden hooguit hybride warmtepompen of inbandige w/w warmtepompen geplaatst, en in elk geval een inductiekookplaat. In Tabel 13 staat ons voorstel gebaseerd op de nog te verschijnen marktvalidatiestudie van CE Delft voor het PBL.

<sup>1</sup> Op waterstof koken wordt ontraden omdat de waterstofvlam niet zichtbaar is, daarom werd hierbij koken op inductie aangenomen.

Tabel 13 - Voorstel modelwaarden meterkastaanpassingen

Beschrijving	Waarde	Eenheid
Kosten aanpassing meterkast grondgebonden woning all-electric-strategie	1.200	€/aansluiting
Kosten aanpassing meterkast grondgebonden woning overige strategie	400	€/aansluiting
Kosten aanpassing meterkast gestapelde woning all-electric-strategie	850	€/aansluiting
Kosten aanpassing meterkast gestapelde woning overige strategie	300	€/aansluiting

Een aandachtspunt in het Vesta MAIS-model is dat de netverzwaringkosten en aansluitkosten niet gedifferentieerd lijken te zijn voor utiliteiten. Ons advies is om dit wel te doen en deze informatie op te halen bij de netbeheerders.

Voor overige aanpassingen aan aansluitingen, te weten het verwijderen van de gasaansluiting of het aanpassen van de gasaansluiting zodat deze geschikt wordt voor waterstof, is tijdens de validatiesessies geen nieuw inzicht naar voren gekomen. Voor verwijdering van de gasaansluiting blijven de bedragen van Stedin de enige publiekelijk bekende informatiebron.

## 4 Warmtenetten

Van warmtenetten zijn in de validatiesessie verschillende componenten in drie configuraties (waarvan een MT-variant uit de Startanalyse 2020, een LT-variant uit de Startanalyse 2020, en een voorstel voor een ZLT-variant) behandeld. Hierbij was er speciale aandacht voor ZLT-warmtenetten, welke nog niet zijn opgenomen in Vesta MAIS. We bespreken onder andere verschillen in componenten en configuraties in de algemene Paragraaf 4.1. In de overige delen bespreken we de componenten van warmtenetten. In Paragraaf 4.2 de warmtebronnen, in Paragraaf 4.3 hulpinstallaties, in Paragraaf 4.4 het leidingnet en in Paragraaf 4.5 de aansluiting.

### 4.1 Algemeen

De algemene uitgangspunten en modelonderdelen die aan bod zijn gekomen in de warmtenettensessie zijn de ZLT-netcomponenten, vermogensvraag & gelijktijdigheid, ongeriefsvergoeding en projectmanagement.

Tijdens de validatiesessie is aan partijen gevraagd of er kostenposten ontbreken in het overzicht van netcomponenten. Hierin zijn twee punten onder de aandacht gebracht:

1. Gas- en elektriciteitsaansluitingen van opwekinstallaties.
2. Onvoorziene- en ontwikkelingskosten.

Wat betreft de aansluitingskosten van opwekinstallaties wordt verondersteld dat de investeringskosten van warmtebronnen inclusief netkosten zijn. Voor zover mogelijk is nagegaan of deze kosten zijn meegenomen. Met betrekking tot onvoorziene- en ontwikkelingskosten is er een kostenpost 'projectmanagement' opgenomen in het model. Er is echter geen informatie aangeleverd over de typische hoogte van deze kosten waardoor de twee niet goed kunnen worden vergeleken. Wellicht dat een vergelijkingsstudie (beschreven in Paragraaf 2.8) hiervoor een uitkomst zou kunnen zijn.

#### 4.1.1 Componentverschillen MT/LT- en ZLT-warmtenetten

Tijdens de validatiesessie zijn rekenvoorbeelden gepresenteerd aan deelnemers waarin voor drie configuraties (een MT-, LT- en ZLT-variant) de kosten werden gepresenteerd. Deelnemers merkten op dat voor ZLT-warmtenetten niet dezelfde componenten nodig zijn. In Tabel 14 presenteren we de verschillen die er kunnen zijn tussen een MT/LT- en een ZLT-warmtenet.

Tabel 14 - Voorkomen van netcomponenten in warmtenettype

Component	MT/LT	ZLT
Warmtebron	Ja	Ja
Transportleiding	Soms	Nee
WOS met piekketel	Ja	Nee
Warmteopslag	Soms	Soms
Collectieve warmtepomp	Soms	Soms
Primair distributienet	Ja	Discutabel, zie toelichting in tekst
Onderstations	Ja	Discutabel, zie toelichting in tekst
Secundair distributienet	Ja	Ja
Aansluitleiding	Ja	Ja
Afleverzet met warmtemeter	Ja	Nee

Het belangrijkste verschil zit hem in het distributienet en de aansluiting met het pand. Voor een ZLT-net zou volgens deelnemers geen afleverset nodig zijn. Het is de vraag of een primair distributienet, een 'backbone', wordt meegerekend in een ZLT-net. Er zijn praktijkconfiguraties (zoals Mijwater) waarin dit wel gebeurt, maar ook projecten waarin dit deze niet nodig is. In een apart traject stemt PBL samen met ZLT-partijen de configuraties af. We raden aan om in dit traject ook af te stemmen of er een backbone in een of meerdere configuraties wordt verondersteld, zodat hier rekening mee kan worden gehouden in het doorrekenen van netcomponenten.

Partijen gaven tijdens de validatiesessies ook aan dat er geen onderstations nodig zouden zijn, of alleen indien er een backbone aanwezig is. We merken op dat de onderstations ook voorzien in de pompinstallaties welke nodig zijn in alle warmtenetten. Door deze netcomponent voor ZLT in zijn geheel niet mee te rekenen onderschatten we daarom de kosten. Ons voorstel om dit op te lossen is om de WOS-kosten op te splitsen in twee parameters: een voor het station en een voor de pieksetels. De kosten voor het station zouden dan wel kunnen worden meegerekend in het ZLT-net.

#### 4.1.2 Vermogensvraag en gelijktijdigheid

Verschillende partijen merken op dat er met betrekking tot gelijktijdigheid is afgeweken van de ISSO 7-norm. Dit klopt, tijdens de validatiesessies in 2019 is een vergelijking tussen verschillende methoden gedaan en besloten om aan te sluiten bij een methode van Innoforte (CE Delft, 2019).

Een van de deelnemers laat in schriftelijke input weten dat een warmtebedrijf rekent met de volgende vermogensvragen voor bestaande bouw:

- grondgebonden woning: 85 W/m<sup>2</sup>;
- gestapelde woning: 94 W W/m<sup>2</sup>.

Deze vermogensvragen liggen dicht bij elkaar dan in Vesta MAIS. In Tabel 15 vergelijken we de twee. De getallen van het warmtebedrijf liggen dicht bij elkaar voor de twee soorten woningtype dan de uitgangspunten in Vesta MAIS.

Tabel 15 - Vergelijking vermogensvraag ruimteverwarming en warm tapwater Vesta MAIS en ontvangen

Woningtype	Voorbeeld oppervlakte (m <sup>2</sup> )	Vermogensvraag methodiek Vesta MAIS (kW)	Vermogensvraag input (kW)
Grondgebonden	130	12,6 kW	11,1 kW
Gestapeld	100	7,7 kW	9,4

We stellen geen modelaanpassingen voor op basis van de binnengekomen informatie omdat we niet weten op welke woningen de kengetallen zijn gebaseerd en hoe representatief deze zijn voor de configuraties in de Startanalyse.

Wel agenderen we het feit dat de vermogensvraag in het model niet warmtevraag afhankelijk is. In NEN 7120 wordt uitgegaan van een kW vermogensvraag voor ruimteverwarming gelijk aan 25% van de warmtevraag in GJ. Bij betere isolatie dient een lagere vermogensvraag gerekend te worden. In het model wordt dit nu uitgedrukt als min en max-waarde. Deze komen overeen met respectievelijk schillabel B en schillabel D. Het model pakt het gemiddelde van deze waarde. We stellen dat het beter zou zijn voor de dimensio-nering van warmtenetten om min. te hanteren in strategieën bij label B, en max. voor label D.

### 4.1.3 Projectmanagement en ongeriefvergoeding

Vesta MAIS rekent vaste projectkosten op basis van het aantal aangesloten woningen in de vorm van een kostenpost projectmanagement en ongeriefvergoeding. Tijdens de validatiesessie zijn geen nieuwe waarden voorgesteld voor deze posten, wel is er aandacht geweest voor het uitgangspunt om deze posten mee te nemen.

De ongeriefvergoeding is een vergoeding om bewoners tijdelijk te huisvesten, terwijl er werkzaamheden worden gedaan in de woning. Vesta MAIS rekent deze op dit moment alleen bij aansluiten van een warmtenet. Deelnemers aan de validatiesessie gaven hierover het volgende aan:

*“Deze [ongeriefvergoeding] wordt nu wel doorgerekend bij warmtenetten maar niet bij andere warmtebronnen. Ik heb intern nagevraagd, maar wij hebben helaas geen gegevens van hoe vaak verhuisvergoedingen gegeven worden bij verduurzamingstrajecten. Mijn verwachting is echter dat dit niet alleen gekoppeld is aan het type warmtebron, maar vooral ook aan de totale ingreep in de woning. Dus als een woning ook geïsoleerd wordt en/of het warmteafgiftesysteem wordt aangepast en/of het kookgas vervangen. Deze kosten worden dus zeker wel gemaakt (in een deel van de gevallen). De vraag is echter of het een representatief beeld geeft om deze kosten aan specifiek één systeem toe te rekenen, terwijl dit waarschijnlijk in meer situaties voor zal komen. Ik denk van niet.”*

De samenvatting van commentaar op de ongeriefvergoeding tijdens de validatiesessie is als volgt:

1. De kostenpost is relatief laag ingeschat (€ 140,42), indien er daadwerkelijk een ongeriefvergoeding wordt geleverd gaan bewoners vaak enkele dagen tot enkele weken ergens anders overnachten. De kosten hiervoor liggen als snel op meer dan € 1.000.
2. De ongeriefvergoeding is gekoppeld aan de grootte van de werkzaamheden. Hierbij werd genoemd dat vergaande isolatiemaatregelen eerder aanleiding geven tot ongeriefvergoedingen dan aansluiten op een warmtenet.

Een van de uitgangspunten voor kosten in Vesta MAIS is dat ingrepen op natuurlijke momenten gebeuren. In Hestia vormen corporatiewoningen daarop een uitzondering omdat deze vaak wel planmatig gerenoveerd worden. Vesta MAIS maakt echter geen onderscheid in eigendomstype. Gegeven dit algemene uitgangspunt en dat het onterecht is om deze kosten alleen te betrekken op warmtenetten, stellen we voor de ongeriefvergoedingskosten uit het model te halen.

Vesta MAIS rekent projectmanagement kosten van € 56,16 per gestapelde en € 280,84 per grondgebonden woning. Deze kosten zijn bedoeld voor de ‘keukentafelgesprekken’ en overige communicatie die nodig is om aangeslotene mee te krijgen. Deelnemers aan de validatiesessies geven aan dat onder ‘projectmanagement’ ook kosten voor omgevingsmanagement en engineering zouden kunnen vallen. In de modelopzet is het niet duidelijk of deze kostenposten worden verondersteld als onderdeel van de investeringskosten van een component in het warmtenet, of dat deze onder ‘projectmanagement’ zouden vallen.

We kunnen, op basis van de aangeleverde informatie, geen concreet voorstel doen voor een andere, beter waarde voor de parameter projectmanagement. We stellen daarom voor om deze waarde voorlopig niet aan te passen. Nader onderzoek in de vorm van een kostenvergelijkingstudie (Paragraaf 2.8) zou mogelijk wel inzicht kunnen geven in hoe deze en andere kosteninschattingen relateren aan de praktijk.



## 4.2 Warmtebronnen

In deze sectie behandelen we de dimensionering van basis- en pieklast en de kosten en eventuele energieverbruiken van nieuwe en uitkoppelbare bestaande MT- en LT-warmtebronnen.

### 4.2.1 Dimensionering basis- en pieklast

Over de dimensionering van warmtebronnen is de input in Tabel 16 ontvangen.

Tabel 16 - Ontvangen input op dimensionering warmtebronnen

Input	Bron
Is er een back-up voorzien? Met overdimensionering van 105% of 115% heb je geen back-up voor een 30% basislastbron. Dus zou je totaal niet tot 130% moeten afschatten.	Input tijdens validatiesessie
Wij voorzien voor toekomstige netten een relatief grotere dimensionering van de basislastbron (35%) en het standaard toepassen van buffering of opslag.	Schriftelijke input
NTA 8800 geeft aan 84% bij aandeel vermogen van 30%, niet 90%.	Schriftelijke input

In Vesta MAIS wordt op dit moment de basislast gedimensioneerd op 30% van de gelijktijdige vermogensvraag, de piekvoorziening op 75%. In (CE Delft, 2022b) werd aangeraden de piekvoorziening groter te dimensioneren, op 85% van de vermogensvraag. Daarmee is er nog altijd geen back-up voorzien voor wanneer de hoofdwarmtebron uit zou vallen (N-1-principe). PBL heeft deze waarde eerder gekozen, rekening houdende met onderhoud buiten het koude seizoen en kans op onvermogen waardoor er geen 100% betrouwbaarheid nodig is. We stellen daarom voor om de 85% aan te houden.

Er is nog te weinig onderbouwing om standaard configuraties door te rekenen met andere dimensionering van de basislastbron en toepassing van buffering en/of opslag. De laatste opmerking nemen we over in het voorstel in Tabel 17. Hierin hebben we ook aanpassingen voor LT en ZLT aangenomen. In een LT-net werd voorheen geen bijstook meegenomen. Partijen geven aan dit in de praktijk wel toe te passen. Voor een ZLT-net is geen bijstook nodig.

Tabel 17 - Voorstel aanpassing modelwaarden dimensionering basis- en pieklast

Beschrijving	Parameter	Eenheid	Oude waarde	Voorstel nieuwe waarde
Vermogensaandeel hoofdwarmtebron	Pcap_Default	%	30	
Vermogensaandeel bijstook		%	85	
MT-volumeaandeel hoofdwarmtebron	Pvol_Default (MT)	%	80	85
MT-volumeaandeel bijstook		%	20	15
LT-volumeaandeel hoofdwarmtebron	Pvol_Default (LT)	%	100	90
LT-volumeaandeel bijstook		%	0	10
ZLT-volumeaandeel hoofdwarmtebron	Nieuw	%	N.v.t.	100
ZLT-volumeaandeel bijstook		%	N.v.t.	0



## 4.2.2 Uitkoppeling MT-restwarmtebronnen

Tabel 18 - Ontvangen input op MT-restwarmtebronnen

Input	Bron
In de Warmteatlas zitten gekke MT- en LT-restwarmtebronnen zoals slachthuizen, onze ervaring is dat hier in de praktijk niet zo veel gedaan mee kan worden. Kijk a.u.b. nog eens goed naar welke restwarmtebronnen er worden meegenomen.	Input tijdens validatiesessies
Worden bestaande warmtenetten en transportleidingen ook meegenomen?	Schriftelijke input en opmerking tijdens validatiesessie
Onze ervaring is dat de uitkoppelingskosten van warmtebronnen een grotere spreiding hebben.	Schriftelijke input

In de validatiesessies is met name aandacht uitgegaan naar de lijst van op te nemen bronnen. Er werd opgeroepen om deze lijst nog eens kritisch door te lopen alvorens te gebruiken in de Startanalyse. Ook is de vraag gesteld of het mogelijk is transportleidingen zoals WarmtelinQ met restcapaciteit mee te nemen. PBL heeft naar aanleiding van CE Delft (2022b) de mogelijkheid om een lijnbron mee te nemen opgenomen in Vesta MAIS. Partijen dienen hiervoor wel informatie aan te leveren aan het PBL. Verder is er in de updatestudie voor warmtenetten reeds aanpassing van uitkoppelkosten voorgesteld. Deze waarden zijn opgenomen in het voorstel Tabel 19.

Tabel 19 - Voorstel aanpassing modelwaarden MT-restwarmtebronnen

Beschrijving	Parameter	Eenheid	Voorstel nieuwe waarde	Oude waarde	
Uitkoppelkosten	STEG	Ki_kw (STEG)	€/kW	250	163 (150-175)
	Gasmotor	Ki_kw (Gasmotor)	€/kW		1.300 (800-1.800)
	Gasturbine	Ki_kw (Gasturbine)	€/kW	200 (150-200)	180 (175-185)
	Industrie	Ki_kw (Industrie)	€/kW	500	250 (225-275)
	Raffinaderij	Ki_kw (Raffinaderij)	€/kW	213 (190-235)	163 (150-175)
	AVI	Ki_kw (AVI)	€/kW	213 (190-235)	163 (150-175)
	BMC	Ki_kw (BMC)	€/kW	213 (190-235)	163 (150-175)
	Hulpketel	Ki_kw (Hulpketel)	€/kW	250	1.300 <sup>2</sup>
	BioWKK	Ki_kw (BioWKK)	€/kW	1.200	415
Onderhoudskosten	R_ow_ouderhoud	%		3	
Administratiekosten	R_ow_admin	%		2,5	
Extra elektriciteitsverbruik	Industrie	Efactor_industrie	GJe/GJth		0,00025
	AVI	Efactor_AVI	GJe/GJth		18%
Aandeel verbruik voor warmteproductie	STEG	Rw_STEG	%		66,7
	BMC	Rw_BMC	%		66,7
	BioWKK	Rw_Bio-WKK	%		90

<sup>2</sup> Deze kosten liggen erg hoog en zijn eerder in lijn met kosten van een nieuwe gasmotor i.p.v. nieuwe gasketel.



### 4.2.3 Geothermie

Tabel 20 - Ontvangen input op geothermie

Input	Bron
De kosten voor geothermie zijn gebaseerd op de berekening basisbedragen van de SDE++. De scope van de startanalyse is 2050, zonder CO <sub>2</sub> -uitstoot. Is er rekening gehouden met bijvangst van (fossiel) aardgas? Bijvoorbeeld kosten voor afvangen van CO <sub>2</sub> , injectie in het aardgasnet, herinjectie in formatiewater? (overigens kan ik me ook voorstellen dat dit buiten beschouwing wordt gelaten, maar wellicht goed om een bewuste afweging te maken).	Schriftelijke input
Er wordt nu gerekend met ca. 6 miljoen euro voor een geothermiebron (ca. 3.000 aansluitingen) dat is gevoelsmatig te laag ingeschat. Daarnaast is het heel locatiespecifiek. In het Brabantse zal je een goede manier moeten vinden voor je seizoensopslag (welke diepte, zoet/brak, etc.) en zit je nog met de strategische drinkwatervoorraden waar extra aandacht (dus ook geld) aan moet besteden om een veilige en goede bron te maken. Ik vraag mij sterk af of je hier landelijk 1 kengetal voor kan rekenen. Geothermie lijkt hiermee een aantrekkelijke optie, maar dat kan in de praktijk dan tegenvallen. Een goede inschatting hiervan is dan ook belangrijk.	Schriftelijke input
Het kental van SDE++-projecten met 12-20 MW wordt gebruikt om een put van 4,5 MW uit te rekenen. Dat gaat niet goed. Geothermie is niet heel erg schaalbaar. Een kleinere (vermogen) bron kost in absolute zin niet minder. Een 4,5 MW-systeem zal ca. 3-4.000/kW kosten.	Schriftelijke input
Voor bestaande HT-warmtenetten wordt hier en daar gekeken om geothermie toe te passen voor hogere temperaturen (meer dan 80 °C). In dit geval is een zeer hogetemperatuur-warmtepomp nodig, dit is zeer duur en deze kosten worden niet in de getallen gereflecteerd.	Input tijdens validatiesessie

In de validatiesessies zijn kostenkengetallen conform referentie geothermieprojecten in de SDE++-regeling 2024 voorgesteld (PBL, 2024). Daarin worden twee zaken verondersteld die ook terugkomen in de ontvangen input:

- Een bron heeft een bepaalde minimale schaalgrootte. De vermogensvraag in een buurt is echter vrijwel altijd kleiner dan het vermogen van een geothermieput. Vesta MAIS gaat hiermee om door de warmtebron (gebaseerd op potentie uit ThermoGIS) door te koppelen naar meerdere buurten met behulp van een transportleiding. Dit gebeurt net zo lang tot de warmtebron ‘op’ is. Daarmee gaat dit modelmatig goed.
- Het referentieproject van PBL gaat uit van bijvangst van CO<sub>2</sub> waarmee ook een hoger rendement wordt behaald. Vesta MAIS houdt hier geen rekening mee, echter stellen we ook vast dat deze precieze modellering complex is en voor nu beter buiten beschouwing kan worden gelaten.

Het laatste punt over modellering van HT-warmtenetten valt buiten de scope van de Startanalyse. In de betreffende strategieën worden kosten voor nieuwe MT-warmtenetten meegenomen.

We merken verder op dat ThermoGIS al een tijd niet is geüpdatet terwijl er de afgelopen jaren wel veel nieuwe inzichten zijn over de potentie van geothermie. Omdat de variant waarbij een theoretisch geothermiepotentieel uit de Startanalyse verdwijnt is het wenselijk dat deze invoerlaag wordt geactualiseerd.

In Tabel 21 de modelaanpassingen voor geothermie. Merk op dat deze marginaal zijn ten opzichte van de oude waarden.

Tabel 21 - Modelwaarden geothermie

Beschrijving	Parameter	Eenheid	Voorstel nieuwe waarde	Oude waarde
Vaste investeringskosten	Ki_kw (Geothermie)	€/kW	1.500	1.523
Onderhoudskosten	R_ow_onderhoud (geo)	%	7,3	6,9
Administratiekosten	R_ow_admin	%	3	3
Schaalcapaciteit	SPF_geothermie	%	2.169	2.304

#### 4.2.4 Uitkoppeling LT-restwarmtebronnen

Er is geen input geleverd over LT-restwarmtebronnen, anders dan de opmerking over de bronnenlijst die in Paragraaf 4.2.2 werd genoemd. De parameterwaarden voor uitkoppeling van LT-restwarmtebronnen staat in Tabel 22.

Tabel 22 - Modelwaarden LT-restwarmtebronnen

Beschrijving	Parameter	Eenheid	Huidige waarde
Investeringskosten LT-restwarmtebronnen	Ki_kw (LT-restbron)	€/kW	150 (50-250)
Onderhoudskosten	R_ow_onderhoud	%	3
Administratiekosten	R_ow_admin	%	2,5

#### 4.2.5 Thermische energie uit oppervlaktewater (TEO)

Een viertal partijen hebben schriftelijk aangegeven om voor de kosten van TEO (en WKO) gebruik te maken van het 'Rekenmodel kosten aquathermie' van WarmingUp (uitgevoerd door Deltares, KWR, TNO en TU/e) (WarmingUp, 2022). In de praktijk wordt er in Nederland vrijwel geen TEO-systeem aangelegd zonder WKO. Omdat Vesta MAIS ook configuraties kent waarin WKO-systemen zonder TEO worden toegepast, worden de kosten van het TEO-gedeelte apart ingeschat van de kosten van de WKO. Daarnaast is ook een collectieve warmtepomp nodig in dit systeem. Deze wordt apart behandeld en gemodelleerd (zie Bijlage C).

In het Rekenmodel Kosten Aquathermie staan systemen groter dan 0,5 MW. Voor de aan TEO te relateren kosten worden twee kostenposten opgenomen, namelijk voor het aquathermie-gedeelte (de warmtewisselaar in het oppervlaktewater), en het leidingwerk naar de locatie van de WKO en collectieve warmtepomp toe. De leidinglengte is in praktijk projectafhankelijk. In onze kostenbenadering van TEO hebben we de leidinglengte buiten beschouwing gelaten omdat deze apart wordt berekend in Vesta MAIS. Vervolgens hebben we voor verschillende projectgroottes de TEO-gerelateerde kosten genomen en gerelateerd aan het vermogen van de TEO-installatie. Op basis van lineaire regressie komen we tot de vaste en variabele investeringskostencomponenten in Tabel 23.

Tabel 23 - Voorstel aanpassing modelwaarden TEO

Beschrijving	Parameter	Eenheid	Voorstel nieuwe waarde	Motivatie	Oude waarde
Vaste investeringskosten	Ki_TEO_vast	€	125.000 (110.000-140.000)	WarmingUP tool	100.000 (90.000-110.000)
Variabele investeringskosten	Ki_TEO_variabel	€/kW	135 (120-150)		220 (198-242)
Onderhoudskosten	R_TEO_onderhoud	%	4,5	Op basis van OPEX WarmingUp tool	3
Administratiekosten	R_TEO_admin	%	0		0
Schaalcapaciteit	AandeelTEOVermogen	factor			0,139
Elektriciteitsverbruik	V_elek_TEO	GJe/GJth	0,018		0,017

## 4.3 Hulpinstallaties (piek, opwaardering en opslag)

### 4.3.1 WOS met piekketels

Rond het kengetal en concept van de WOS-modellering in Vesta MAIS was in het verleden spraakverwarring. Een warmteoverdrachtsstation (WOS) is een gebouw waarin warmte vanuit bron of transportnet wordt overgedragen aan een distributienet. De term WOS wordt strikt gezien in de warmtewereld alleen toegepast bij grootschalige warmteoverdracht, met hydraulische scheiding. In Vesta MAIS wordt hiermee ook kleinschaliger warmteoverdracht bedoeld, zoals gebruikelijk in een regelstation/regelkamer. In de kosten voor de WOS zitten kosten voor een groengasketel (hulpwarmteketal, HWK) met eventuele warmtewisselaar en hydraulische scheiding. Ook zit er een pompinstallatie bij.

Voorafgaand aan de validatiesessies is voorgesteld om het huidige kengetal (133 €/kW) te verhogen naar 300 €/kW. De grondslag van het huidige kostenkengetallen bestaat uit ketelkosten van circa 50-60 €/kW en kosten voor het gebouw en de warmteverdeling van ongeveer 80 €/kW. De 300 €/kW is ingegeven door schriftelijke input van een van de deelnemers. Een andere partij geeft aan standaard met 425 €/kW te rekenen, en veel variatie in de praktijk te zien.

De kosten voor de WOS zijn in feite bedoeld voor drie functies:

1. Warmteoverdracht met hydraulische scheiding, zoals typisch in een WOS in de praktijk.
2. Het gebouw met hulpinstallaties voor het overdragen en rondpompen van warmte uit de basislastbron naar het distributienet.
3. Piekketels.

Doordat de drie functies in één getal zijn samengevat is het lastig om aangeleverde informatie op waarde te schatten. We pellen daarom de functies af en schatten op basis daarvan nieuwe waarden.

Op basis van de DNV-inventarisatie voor ACM komen we op circa 110 tot 125 €/kW voor de ketel in het prijspeiljaar 2020 (DNV, 2023). Hiervan is circa 20% installatie, 80% materiaal. Uitgaande van 17,3% inflatie tussen 2020 en 2023 (peiljaar ASA2025) wordt dit 132 tot 150 €/kW voor alleen al de piekketels.

We nemen aan dat ook de kosten voor het gebouw en warmteverdeling zijn gestegen. Op basis van een vergelijkbare kostentoename als de ketel komt dit rond de 140 tot 175 €/kW uit. In totaal zijn de WOS-kosten hiermee uit op 250 tot 300 €/kW. Vermoedelijk is het verschil tussen de ontvangen 425 €/kW en deze 250 tot 300 €/kW het stuk hydraulische scheiding bij een WOS zoals die in de praktijk wordt neergezet. Omdat warmtebedrijven aangeven dat deze in de praktijk zelden worden toegepast stellen we voor om deze kosten buiten beschouwing te laten, of op te nemen als kosten voor het uitkoppelen van een bestaande transportleiding (benoemd in Paragraaf 4.2.2) (CE Delft, 2022b).

Op basis van deze uiteenzetting van de kosten stellen we voor om de waarden in Tabel 24 over te nemen. Om in de toekomst spraakverwarring te voorkomen zou de parameter 'WOS' ten minste moeten worden hernoemd naar 'WOS met piekketels', idealiter worden dit twee losse parameters 'overdrachtsstation' en 'piekketel'.

Tabel 24 - Voorstel aanpassing modelwaarden WOS met piekketel

Beschrijving	Parameter	Eenheid	Voorstel nieuwe waarde	Oude waarde
Investeringskosten	Ki_WOS	€/kW	275 (250-300)	133 (125-140)
	Waarvan piekketels	€/kW	141 (132-150)	
	Waarvan gebouw met hulpinstallaties	€/kW	134 (118-150)	
Onderhoudskosten	R_WOS_onderhoud	%		3
Efficiëntie piekketel	Efficiency_piekketel	%		92,5 (78-107)

### 4.3.2 Warmte/koudeopslag (WKO)

Op de kosten van WKO zijn dezelfde opmerkingen als voor TEO binnengekomen. Hier is gekozen om uit te gaan van de Arcadis 2024-kostendatabase om vaste en variabele kosten te schatten (Arcadis, jaarlijks). In Tabel 25 staat een overzicht van modelwaarden, de investeringskosten zijn gedaald ten opzichte van SA2020.

Tabel 25 - Voorstel aanpassing modelwaarden WKO

Beschrijving	Parameter	Eenheid	Voorstel nieuwe waarde	Oude waarde
Vaste investeringskosten	Ki_WKO_vast	€	120.000 (100.000-140.000)	150.000 (135.000-165.000)
Variabele investeringskosten	Ki_WKO_var	€/kW	90 (80-100)	115 (103,5-126,5)
Onderhoudskosten	R_WKO_onderhoud	%		2,5
Administratiekosten	R_WKO_admin	%		0
Additionele investering regeneratie indien zonder TEO	R_Regeneratie	%		10
Elektriciteitsverbruik	V_elek_WKO	GJe/GJth		0,025

### 4.3.3 Collectieve warmtepomp

Over de collectieve warmtepomp is geen input binnengekomen tijdens de validatiesessie. Wel hebben we, op basis van de Rekenmodel Kosten Aquathermie van WarmingUp, een nieuw investeringskostenkengetal voorgesteld in Tabel 26 (WarmingUp, 2022). Ten slotte zijn ook de rendementen aangepast op basis van CE Delft (2022a).

Tabel 26 - Voorstel aanpassing modelwaarden collectieve warmtepomp

Beschrijving	Parameter	Eenheid	Voorstel nieuwe waarde	Motivatie	Oude waarde
Investeringskosten	Ki_eWP_coll	€/kW	1.250 (1.000-1.500)	Inflatie	1.000 (800-1.200)
Onderhoudskosten	R_wpColl_onderhoud	%			3,5
Administratiekosten	R_wpColl_admin	%			2,5
Efficiëntie	15 naar 30 °C	SPF_coll_w (15 °C-30 °C)	%	760	790
	15 naar 50 °C	SPF_coll_w (15 °C-50 °C)	%	420	320
	15 naar 70 °C	SPF_coll_w (15 °C-70 °C)	%	300	300
	30 naar 50 °C	SPF_coll_w (30 °C-50 °C)	%	590	420
	30 naar 70 °C	SPF_coll_w (30 °C-70 °C)	%	380	320
	50 naar 70 °C	SPF_coll_w (50 °C-70 °C)	%	540	

## 4.4 Transport- en distributienet

We behandelen verliezen in het warmtenet, leidinglengtes, leidingkosten (met aparte aandacht voor ZLT-leidingen) en onderstations.

### 4.4.1 Verliezen

In Vesta MAIS worden zowel volume- als vermogensverliezen gerekend in een warmtenet. In Tabel 27 staan de huidige rekenwaardes. Het volumeverlies in LT-leidingen is door toepassing van de efficiëncyschuif de helft van dat in MT-leidingen.

Tabel 27 - Huidige verliezen in transport- en distributienetten

Beschrijving	Parameter	Eenheid	Oude waarde
Volumeverlies in leidingen	Leidingverlies	%	28 (20-36)
Efficiëntiefactor volumeverlies in LT-leidingen	Efficiëncyschuif	%	50
Vermogensverlies MT-net	Vermogenverlies_MT	%	5 (0-10)
Vermogensverlies LT-net	Vermogenverlies_LT	%	5 (0-10)
Pompenergie	R_Pompenergie	GJe/GJth	0,0072

In eerdere validatiesessies en de updatestudie uit 2022 is opgeroepen om deze modellering aan te passen, omdat het leidingverlies wordt bepaald door de aanvoer- en retourtemperatuur in relatie tot de omgevingstemperatuur. In Figuur 2 staat de formule die hiervoor kan worden gebruikt en in Figuur 3 de verliezen (uitgedrukt in GJ/aansluiting in plaats van percentage van volumevraag).

Figuur 2 - Formule voor bepalen volumeverlies (GJ) in warmteleidingen, uit (CE Delft, 2022b)

$$Q_{distr.verlies} = L * U * \left( \left( \frac{T_{aanvoer} + T_{retour}}{2} \right) - T_{omgeving} \right) * \frac{8760 \text{ uur}}{1000}$$

Figuur 3 - Voorgestelde volumeverliezen (GJ) in warmteleidingen op basis van formule

Temperatuurniveau bron	Temperatuur bron/aanvoer (°C)	Retourtemperatuur (°C)	Delta T	Warmteverlies (GJ/aansluiting)
ZLT	15	9	6	0
ZLT	15	9	6	0
ZLT	15	9	6	0
ZLT	15	21	6	1,5
LT	30	20	10	3,2
LT	30	15	15	2,6
LT	30	10	20	1,9
MT (wijk)	70	40	30	10,5
MT (transport)	80	40	40	11,7
HT (wijk)	90	50	40	14,1
HT (transport)	>90	40	70	15,3

Bron: Uit (CE Delft, 2022b).

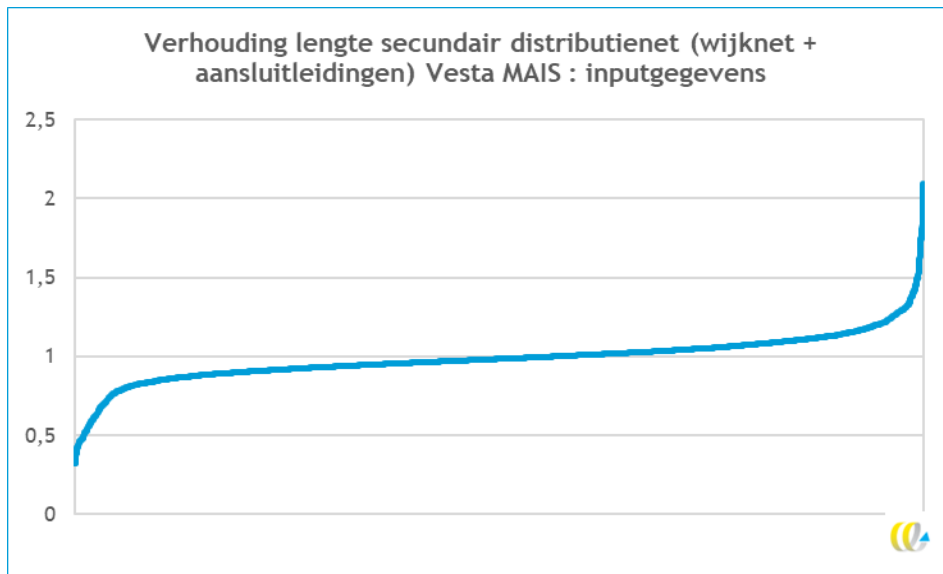
We raden aan om de modellering van leidingverliezen in Vesta MAIS aan te passen naar de methodiek in de figuur. Mocht dit niet mogelijk zijn voor ASA2025, dan raden we in ieder geval aan om de efficiëncyschuif voor LT-netten te verhogen naar 75% en de verliezen voor ZLT-netten op 0 te zetten.

#### 4.4.2 Leidinglengtes

Tijdens de validatiesessie warmtenetten gaven diverse partijen aan dat de lengte van secundaire distributienetten in Vesta MAIS te hoog wordt ingeschat. Daartoe ontvingen we van een van de partijen een bestand met per CBS-buurt een inschatting van de leidinglengtes in het secundaire distributienet (het wijknet plus de aansluitleidingen). Deze vergeleken we met de leidinglengtes die door Greenvis in 2017 zijn vastgesteld voor het PBL. Figuur 4 laat zien dat de inschattingen over het algemeen erg vergelijkbaar zijn. Wel zijn er uitschieters, in een vijftigtal buurten komt de ene methode tot een veel lagere inschatting dan de ander, in nog eens vijftig buurten is het andersom. Op basis van deze cijfers kunnen we niet concluderen dat de lengte-inschattingen van Vesta MAIS structureel te hoog zijn.



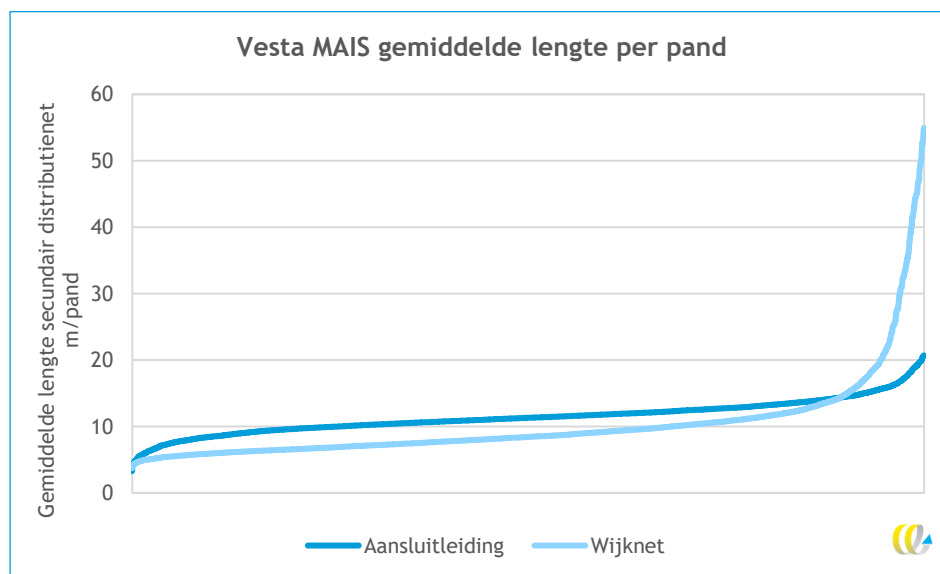
Figuur 4 - Verhouding tussen de lengte in het secundaire distributienet volgens de bestanden van Vesta MAIS en het aangeleverde databestand. Op de x-as staan alleen Nederlandse buurten met meer dan 500 aansluitingen



Wel reflecteren we op het kengetal 'K\_dist\_pandOS'. Anders dan de andere leidingkosten in het model is dit een vast getal (€ 3.337,78 per pand) voor de kosten die gemaakt worden voor het wijknet (vanaf de onderstations tot de aansluitleidingen). Het bedrag is gebaseerd op gemiddeld 6 meter per pand, oftewel 557 €/m. Op basis van de dataset van Vesta MAIS zien we de verdeling in Figuur 5 van aansluitleidinglengte en wijknetlengte per pand. De gemiddelde waarde voor beide getallen ligt rond de 12 m. In dichter bevolkte buurten ligt de lengte voor beide stukken regelmatig de helft lager. Het is onduidelijk hoe er van 12 m per pand tot een uitgangspunt van 6 m per pand is gekomen. Op basis van 6 m per woning lijkt er te zijn aangenomen dat de aansluitleidingen volgens de kostenformule bij open bestrating in kaart worden gebracht. Hier komen we in de volgende paragraaf op terug.

Op basis van de ontvangen informatie kunnen we niet stellen dat Vesta MAIS het secundaire distributienet gemiddeld genomen te groot dimensioneert. Op individueel buurtniveau kan dit wel het geval zijn, maar de cijfers wekken de suggestie dat het net zo vaak andersom kan zijn: Vesta dimensioneert het net te klein. Wel stellen we dat voor K\_dist\_pandOS mogelijk te weinig meters per pand worden verondersteld, dit zou gecorrigeerd kunnen worden door van een hoger getal uit te gaan. In recente praktijkprojecten welke beoordeeld zijn voor WIS-subsidie lag de gemiddelde lengte per kleinverbruiker rond de 9 m. Bij anderhalf keer langere lengtes, en 30% hogere kosten (zie Paragraaf 4.4.3), zouden de nieuwe kosten bijna twee keer hoger komen te liggen dan de oude waarde. Dit was € 3.337,78 en wordt daarmee nu € 6.508,67.

Figuur 5 - Gemiddelde aansluitleidinglengte per pand per buurt in Vesta MAIS



### 4.4.3 MT- en LT-leidingkosten

Tabel 28 - Ontvangen informatie MT- en LT-leidingkosten

Informatie	Bron
Er wordt nu uitgegaan van de 'oude' formule van Vesta, terwijl er betere data zijn uit het CE Delft-onderzoek. Als je de 'oude' formule wilt handhaven, dan zou je dit minimaal moeten indexeren. Voorkeur lijkt me om de nieuwe data te gebruiken en het model op basis van vermogen en dT de juiste leidingmaat te laten kiezen, of de kosten voor leidingmaten te gebruiken in de formule.	Schriftelijke input
Wordt er onderscheid gemaakt in het type leiding dus PE of staal? Ik zou deze helder beschrijven voor de verschillende strategieën. 30% inflatie op huidige getallen: Dit is mijns inziens een reële inschatting.	Schriftelijke input
Gebruikelijk onderhoudspercentage voor leidingen is 0,5%.	Schriftelijke input
Onderhoudskosten voor leidingwerk staat op 1% van de investering per jaar. Wij hanteren 1,5% voor onderhoud en besturing en zien dat dat niet voldoende is.	Schriftelijke input

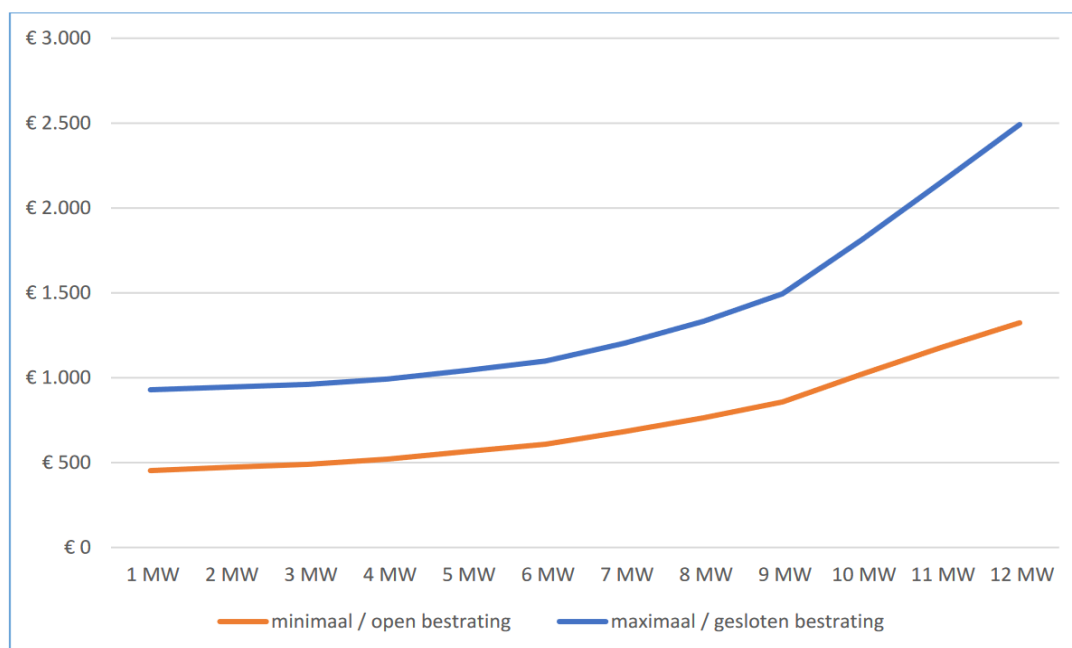
In Figuur 6 staan de huidige kostencurves die in Vesta MAIS worden gehanteerd. Figuur 7 bevat de grondslag voor nieuwe kostencurves die opgesteld zijn in de updatestudie uit 2022. Tijdens de update werd door de warmtebedrijven, net als bij verliezen, sterk de voorkeur gegeven aan het hanteren van aanvoer- en retourtemperaturen als grondslag voor de kengetallen. Figuur 7 laat de kosten per DN-maat zien. Deze kostengrondslag is in de 2022-studie in samenwerking met warmtebedrijven gekoppeld aan een typisch bijbehorend vermogen. Dit vermogen is indicatief, in werkelijkheid is het vermogen ook van andere zaken afhankelijk, zoals de stroomsnelheid. Het temperatuurregime in het warmtenet verschilt afhankelijk van de functie van de leiding: transport, primaire distributie en secundaire distributienetten hebben typisch progressief lagere delta T's. Door voor elk netcomponent een andere vermogen-gebaseerde kostenformule te nemen, geijkt op de DN-maten, worden de kostenschattingen gedaan in lijn met de juiste diameter leiding. De diameter van de leiding wordt als belangrijkste kosten onderscheidende eigenschap

aangenomen. Het type ondergrond en eventuele complexe doorkruisingen worden niet expliciet meegenomen in het model. Er wordt verondersteld dat deze effecten op project-schaal binnen de minimale en maximale kostenbandbreedte vallen.

PBL heeft de nieuwe formules nog niet geïmplementeerd in Vesta MAIS en mogelijk ook niet de mogelijkheid om dit te doen voor ASA2025. In dat geval stellen we voor om een kostenverhoging van 30% toe te passen op de huidige kostencurve. Drie partijen gaven schriftelijk aan zich te herkennen in een dussdanige kostenstijging.

Figuur 6 - Kostencurve warmteleidingen Vesta MAIS

**FIGUUR 7.2 – KOSTENCURVE WARMTELEIDINGEN (KOSTEN PER METER BUISLEIDING)**



Bron: (PBL, 2021).

Figuur 7 - Kostentabel warmteleidingen per DN-maat

Tabel 35 - Aangeleverde input warmtebedrijven buisleidingkosten en vermogens

Maat	Minimaal	Maximaal	Gemiddeld	Vermogen in MW, dT30 (wijk)	Vermogen in MW, dT50 (transport)	Vermogen in MW, dT70** (transport)
DN20	€ 300	€ 450	€ 375	0,15		
DN25	€ 325	€ 460	€ 393	0,15		
DN32	€ 342	€ 470	€ 406	0,15		
DN40	€ 312	€ 526	€ 414	0,2		
DN50	€ 476	€ 834	€ 627	0,3	0,3	1
DN65*	€ 396	€ 893	€ 588	0,8		2
DN80	€ 574	€ 888	€ 711	0,5	0,8	3
DN100	€ 644	€ 990	€ 811	1,2	1,7	5
DN125*	€ 586	€ 1.031	€ 786	3,5		8,5
DN150	€ 802	€ 1.273	€ 1.157	7	5	11,5
DN200	€ 1.394	€ 1.988	€ 1.480	6	10	4,5
DN250	€ 1.718	€ 2.485	€ 1.743	11	18	4,5
DN300	€ 2.066	€ 2.982	€ 2.129	17	28	
DN350	€ 2.296	€ 3.216	€ 2.377	22	37	
DN400	€ 2.632	€ 3.614	€ 2.745	31	52	
DN450	€ 2.958	€ 4.016	€ 3.070	43	72	
DN500	€ 3.535	€ 4.819	€ 3.628	57	95	
DN600	€ 4.040	€ 5.480	€ 4.128	92	153	
DN700	€ 5.994	€ 5.994	€ 5.994	139	232	

Bron: (CE Delft, 2022b).

Een verdere opmerking over de bovenstaande kostentabel is dat hierin wordt uitgegaan van een delta T van 30 graden. Een deelnemer gaf aan “Een delta T van 30 wordt in de praktijk vaak al niet gehaald, vaak 20 of 25. 50 of 70 voor transport is echt heel hoog”. Als we de vermogen-DN-maat verhouding hierop zouden aanpassen dan daalt het gemiddeld vermogen dat door een DN-maat kan, waarmee de kosten per meter stijgen.

Met betrekking tot de onderhoudskosten (nu 1%) is tegenstrijdige input ontvangen. Een partij geeft aan 0,5% te rekenen, een ander rekent 1,5% en zegt daarmee niet uit te kunnen. Mogelijk heeft dit verschil te maken met specifieke eigenschappen van de warmtenetten die zij in hun portfolio hebben. Wat ook kan is dat onderhoudskosten anders berekend worden en daarom door een van, of beide partijen, niet dezelfde werkzaamheden dekken. Bij gebrek aan contextuele informatie om deze verschillen te duiden raden we aan om de onderhoudskosten gelijk te houden.

#### 4.4.4 ZLT-leidingkosten

Er is voor, tijdens en na de validatiesessie warmtenetten veel discussie geweest over de kosten van ZLT-leidingen. De kern van de discussie gaat over of deze gelijk of lager zijn dan MT- en LT-leidingkosten. We zetten de input voor beide standpunten uiteen.

*Input ZLT-leidingkosten zijn goedkoper dan MT/LT-leidingen:*

- ‘Qua materiaal zijn ZLT-leidingen veel goedkoper dan MT-leidingen’.
- ‘ZLT-leidingen zijn flexibel en kunnen ongeïsoleerd door de wijk en tot het invoerpunt in de woning aangelegd worden. Zowel de aansluitleidingen als de in pandige distributie

zijn daardoor aanzienlijk goedkoper dan de leidingen voor MT- en HT-warmte (bij hetzelfde vermogen)'.  
– 'ZLT-leidingen kunnen op termijn veel goedkoper. De diameters zijn vergelijkbaar met MT en LT. Door de kleine delta T heb je een grotere buis nodig om genoeg vermogen te transporteren, maar je hoeft deze niet te isoleren waardoor de ZLT-leiding in dezelfde mantelbuis past'.

- 'Qua veiligheid vormen ZLT-leidingen door de lage temperaturen minder een risico waardoor je minder diep en naast bestaande drinkwaterleidingen zou moeten kunnen leggen. Het laswerk is dan ook veel eenvoudiger uit te voeren. Dat kan veel kosten schelen'.
- 'Er zijn hier in de markt vele verschillende gedachten over. Ervaringen in de bestaande bouw zijn dan ook beperkt. Wij rekenen met een afslag van 15% ten opzicht van een MT-warmtenet'.

*Input ZLT-leidingkosten zijn even duur als MT/LT-leidingen:*

- 'Wij komen op vergelijkbare of hogere kosten uit: wat je wint met goedkoper materiaal verlies je met grotere diameters'.
- 'Voor nieuwbouw zien we dat ZLT goedkoper is omdat het graafwerk makkelijker is. Maar voor de bestaande bouw is het gelijk. Van de kosten is een groot deel graafwerkzaamheden en een kleiner deel materiaal, dus ondanks dat het een drinkwaterleiding is bespaar je er niet heel veel mee'.
- 'Als wij kijken naar de aanlegprijs per meter dan is materiaal 20 tot 30%, graafwerkzaamheden 65% en de rest overige kosten. Met ZLT hebben de buizen een grotere dimensionering waardoor je ook meer moet graven. Binnen de bebouwde kom komen we daarmee al snel op € 900 tot € 1.000 per meter. Dit kan afwijken in verband met dimensionering en wegverharding'.

Ons voorstel is om voor modellering in 2024 gelijke kosten tussen ZLT en LT te hanteren. Vesta werkt met leercurves en we stellen voor om voor ZLT-leidingen een leercurve toe te voegen. De kosten voor het aanleggen kunnen in de toekomst dalen. We stellen op termijn een daling tot 25% van de kosten van ZLT-leidingen ten opzichte van MT/LT voor. Deze 25% is gebaseerd op een kostendaling in graafwerkzaamheden van 40%, waarbij overige kosten gelijk blijven. Voor deze kostendaling nemen we aan dat ZLT-leidingen op termijn minder diep hoeven te worden gelegd en er dus bespaar kan worden op graafwerkzaamheden.

#### 4.4.5 Onderstations

Over onderstations is geen nieuwe input ontvangen. Op basis van de updatestudie uit 2022 stellen we voor het investeringsbedrag omlaag bij te stellen, van gemiddeld 135 €/kW (120-150) naar gemiddeld 98 €/kW (53-143) (CE Delft, 2022b).

### 4.5 Aansluiting

Onder de aansluiting verstaan en behandelen we de volgende componenten: de aansluitleiding, de afleverset, kosten voor in pandige distributie, in pandige onderstations en aparte warmtemeters voor utiliteit en glastuinbouw.

#### 4.5.1 Aansluitleiding

Over de kosten van de aansluitleiding is in Paragraaf 4.4.2 al een aanzet gedaan op basis van meter per aansluiting. Op basis van informatie van WIS-subsidieaanvragen zien we echter lagere aansluitkosten voor woningen, voor grondgebonden woningen is het gemiddelde 4.731 €/woning (tussen 2.200 en 5.800), voor gestapelde woningen is het

gemiddelde € 2.736 per woning (met een grote range, tussen € 200 en € 5.200). Voor de gestapelde bouw liggen de kosten gemiddeld lager. De modellering in Vesta MAIS reflecteert dit onderscheid door voor gestapelde bouw de aansluitkosten te delen door het aantal adressen in het pand.

De kosten in Vesta MAIS voor de aansluitleiding zijn daarmee ook exclusief stijgleidingen. Deze zijn onderdeel van de in pandige distributie.

Als we de ontvangen informatie vergelijken met de kostenschattingen uit de rekenvoorbeelden, waarin 9 meter per pand werd aangenomen, dan worden de kosten voor grondgebonden woningen in het model iets overschat. In het rekenvoorbeeld komen hier namelijk kosten van circa 5.500 €/woning uit. Voor gestapelde woningen lijkt het echter dat, door toepassing van het pandaandeel, de kosten al snel worden onderschat bij grotere complexen. Onduidelijk of het verschil is toe te schrijven aan stijgleidingen.

Voor de kosten van de aansluitleiding en in pandige distributie keken we onder andere naar het 'Keuzemodel warmtenet aansluiten bestaande bouw' van Atriensis (2023).

Tabel 29 - Kostenkengetallen Atriensis (2023) excl. btw, bewerkt om vergelijkbaar te zijn

Kostenpost	Eengezinswoning	Portiek	Galerij
Aansluiten woning	3.700 (1.400-6.400)	1.900 (1.300-4.000)	1.700 (600-2.800)
In pandig leidingwerk	1.700 (1.000-2.400)	2.100 (1.500-2.400)	2.100 (1.500-2.400)

De kostenschattingen van Atriensis omvatten een breed scala aan situaties en is daarmee waarschijnlijk de beste bron om modelmatig met hoge nauwkeurigheid een indicatie voor aansluiten en in pandige distributie te schatten. De onderscheidende variabelen in het model van Atriensis<sup>3</sup> kunnen echter niet goed worden verenigd met de modellering van Vesta MAIS. Platgeslagen op drie woningtypen in Tabel 29 blijft er een grote range over voor het aansluiten van de woning en het in pandig leidingwerk. De gerapporteerde kosten uit de WIS-regeling voor aansluiten zijn per woning circa € 1.000 hoger dan de gemiddelde waarden uit Atriensis.

Onder aan de streep stellen we uit deze verklaring dat de aansluitkosten in Vesta MAIS voor gestapelde bouw veel lager liggen dan bij Atriensis of in de WIS-regeling. Echter legt Vesta MAIS de kosten voor stijgleidingen bij het in pandig leidingwerk, waar Atriensis en de WIS-regeling dit bij de aansluiting doen. We stellen daarom voor de huidige methodiek te handhaven en aanpassingen te doen op de in pandige distributiepost (dit komt terug in onderstaande Paragraaf 4.5.3).

<sup>3</sup> Antwoord op vragen: Type gebouw; Kan ik in de lengterichting van het blok onder de onderste woonlaag door?; Wat is de dakvorm van de woning? Is er in pandige ruimte in of nabij de entreehal van de woning zelf voor een afleverset?; Wat is de locatie van de combiketel?; Is de plattegrond gespiegeld ten opzichte van die van de aangrenzende woning?; Is 100% deelname van alle woningen in het blok haalbaar, eventueel door verplichting vanuit 70% instemming van huurders.



## 4.5.2 Afleverset

De huidige kosten voor de afleverset in het model zijn 1.300 €/aansluiting. Bij deze kosten inbegrepen zijn het demonteren en afvoeren van de oude installatie, materiaal en arbeid om de afleverset aan te sluiten en in te regelen, en een warmtemeter. Als reactie hierop ontvingen we de volgende input:

- *Het ACM gaat uit van een investering in een afleverset van € 1.350 per stuk (bestand 'berekening leverings- en huurtarieven (...)', tabblad 'berekening huurtarieven', kosten voor CW4 afleverset + warmtewisselaar; eventueel + € 85 voor elektronische regelaar) (ACM, 2023). Dit ligt dus in lijn met de huidige waarden. Mogelijk is het beter om de kosten voor het verwijderen van de cv-ketel te scheiden qua kostenpost. Het keuzemodel 'aansluiten op een warmtenet' van Atriensis rekent € 972 voor verwijderen en aanpassingen in de buurt van de ketel.*
- *In bestaande bouw rekenen wij met circa € 2.000 per afleverset; aanschaf circa € 1.250, en overige kosten om hem te installeren, aan te sluiten en oude installatie weg te halen. Normaliter rekenen we daarom ook met een herinvestering na 15 jaar van circa 75% (€ 1.500). Er komt een nieuwe afleverset en deze moet geïnstalleerd worden, maar de beugel hangt er al en veel installatiewerk is ook al gedaan.*

Op basis van deze informatie stellen we voor de afleverset (Ki\_afleverset) omhoog bij te stellen naar € 2.000. Het uiteen splitsen van de verwijderingskosten van de cv-ketel heeft niet de voorkeur omdat de kengetallen voor individuele verwarmingsinstallaties ook uitgaan van deze kosten. Dat de kosten voor herinvestering lager liggen is wel een aandachtspunt, echter is Vesta MAIS in de huidige modellering niet in staat op met andere waarden voor herinvesteringen te rekenen.

## 4.5.3 Inpandige distributie

Tijdens de validatiesessie is over inpandige distributiekosten de consensus geworden dat deze overal te laag zijn, met name voor hoogbouw. Het voorstel, gebaseerd op Atriensis (Tabel 29 in Paragraaf 4.5.1) en input van meerdere partijen, is om de kosten voor hoogbouw in het model te verdubbelen en voor grondgebonden woningen licht te verhogen. We stellen de aanpassingen in Tabel 30 voor.

Tabel 30 - Voorstel aanpassing modelwaarden inpandige distributie

Beschrijving	Parameter	Eenheid	Voorstel nieuwe waarde	Oude waarde
Inpandige distributiekosten grondgebonden woningen	Ki_inpand_laag	€/aansluiting	2.700	2.500
Inpandige distributiekosten gestapelde woningen zonder blokverwarming	Ki_inpand_hoog_g eenblok	€/aansluiting	3.000	1.500
Inpandige distributiekosten gestapelde woningen met blokverwarming	Ki_inpand_hoog_m etblok	€/aansluiting	1.444	722

#### 4.5.4 Inpandig onderstation/afleverstation

Een inpandig afleverstation is in Vesta MAIS niet opgesplitst van een normaal onderstation. In de updatestudie stellen we voor om de aanpassingen in Tabel 31 te doen (CE Delft, 2022b). Daarin merkten we op dat de kosten voor inpandige onderstations structureel lager zijn dan onderstations, waardoor een modelmatige opsplitsing wenselijk is.

Tabel 31 - Voorstel aanpassing modelwaarden voor inpandige onderstations

Beschrijving	Parameter	Eenheid	Voorstel nieuwe waarde	Oude waarde
Investeringskosten	Uitgesplitst van onderstation	€/kW	67 (33-100)	135 (120-150)

#### 4.5.5 Warmtemeter voor utiliteit en glastuinbouw

Op dit onderdeel is geen nieuwe informatie ontvangen. Voor kleinverbruikers is de warmtemeter overigens onderdeel van de kosten voor de afleverset.



# A Literatuurlijst

- ACM. (2023). *Tarievenbesluit warmteleveranciers 2024*.
- Arcadis. (jaarlijks). *Kostenkentallen maatwerkadvies*.
- Atriensis. (2023). *Keuzemodel warmtenet aansluiten bestaande bouw*.
- BCRG. (lopend). *Register kwaliteits- en gelijkwaardigheidsverklaringen*.  
Bureau Controle Registratie Gelijkwaardigheid.  
<https://bcrg.nl/nl/verklaringenregister/>
- BDH. (lopend). *Installatiemonitor prestaties van warmtepompen*. In:  
Business Development Holland B.V.
- Brockmann, H. (lopend). *Wärmepumpen Verbrauchsübersicht*. In:  
Brockmann, H.
- CE Delft. (2019). *Overzicht aanpassingen Vesta MAIS*.
- CE Delft. (2022a). *Update kengetallen installaties in Vesta MAIS*.
- CE Delft. (2022b). *Warmtenetten in Vesta MAIS*.
- DNV. (2023). *Onderzoek naar de aanschaf - en installatieprijs van een 1000 kW gasketel, 2023*.
- EC. (lopend). *EPREL - Europees productregister voor energie-etikettering*.  
European Commission.  
<https://eprel.ec.europa.eu/screen/product/spaceheaters>
- NVI-GO, Techniek Nederland, Ministerie van BZK, Ministerie van EZK, & RVO.  
(2023). *Demonstratieproject Hybride warmtepompen in de gebouwde omgeving*.
- PBL. (2021). *Functioneel Ontwerp Vesta MAIS 5.0*.
- PBL. (2024). *Eindadvies Basisbedragen SDE++ 2024*.
- Pothof, I., Vreeken, T., & van Meerkerk, M. (2022). *Field measurements on lower radiator temperatures in existing buildings: Manuscript for Energy and Buildings*.
- WarmingUp. (2022). *Gedetailleerde kostenberekening aquathermie*.
- Werkspot. (2024). *Kosten voor radiator plaatsen*. In: Werkspot.

## B Partijen die schriftelijk informatie hebben geleverd

Tabel 32 - Partijen die via schriftelijk informatie hebben ingeleverd

Organisatie	Validatiesessie
Nederlandse Verwarmingsindustrie	Individuele installaties
Vereniging Distributie en Afgifte Industrie	Individuele installaties
Essent, namens warmtebedrijven (Themagroep Warmte Energieprestatie)	Individuele installaties
Mijnwater	Individuele installaties
Eneco	Individuele installaties
Schouten Techniek	Individuele installaties
Intergas	Individuele installaties
Gemeente Eindhoven	Individuele installaties
Rijksdienst voor Ondernemend Nederland	Individuele installaties
Klimaatgarant	Individuele installaties en warmtenetten
Rijksdienst voor Ondernemend Nederland	Warmtenetten
Gemeente Eindhoven	Warmtenetten
Firan	Warmtenetten
De Blauwe Feniks	Warmtenetten
Vereniging van Nederlandse Gemeenten	Warmtenetten
Aedes	Warmtenetten
HVC Groep	Warmtenetten
Heijmans	Warmtenetten
SBLC	Warmtenetten
Impuls Advies	Warmtenetten

# C Kostenschattingen utiliteit-warmtepompen en WKO o.b.v. Arcadis-database

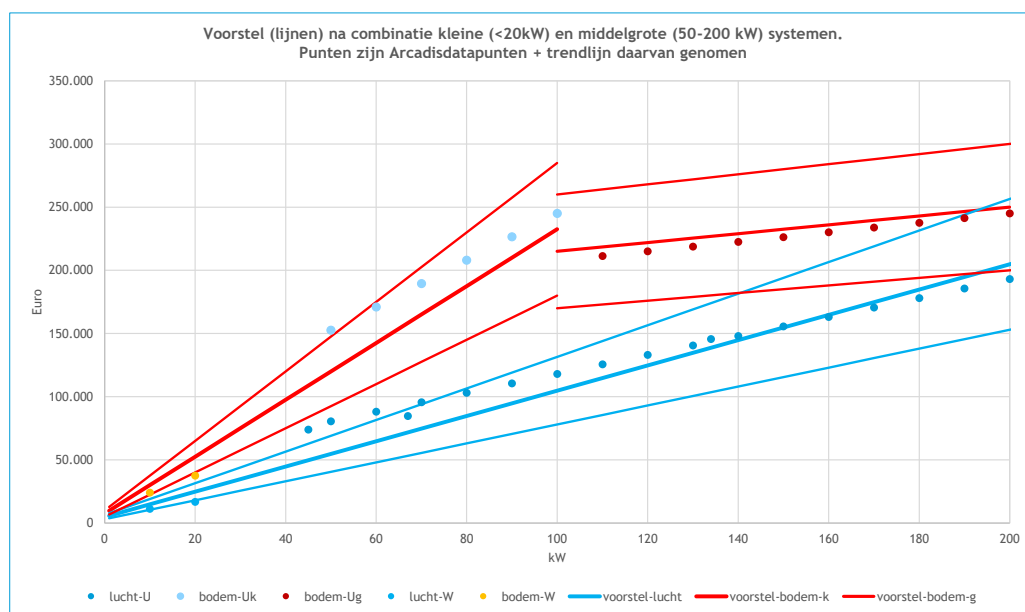
Voor de inschatting van investeringskosten van installaties voor enkele utiliteiten zijn kosten uit de Arcadis-database voor utiliteitsbouw gebruikt (jaar 2024) (Arcadis, jaarlijks). Dit is gedaan voor:

- luchtwarmtepomp;
- bodemwarmtepomp klein, op basis van gesloten bron;
- bodemwarmtepomp groot, op basis van open bron;
- WKO.

De datapunten uit Arcadis zijn verzameld door per maatregel de totaalkosten te compenseren voor eventuele maatregelen die niet direct van toepassing zijn op de installatie zelf en/of elders in Vesta MAIS in rekening worden gebracht (zoals afgifte). Op basis van lineaire regressie op deze datapunten is een formule met vaste en variabele kostencomponent ingeschat. De bijbehorende waarden in de verkregen formules zijn terug te vinden in het hoofdrapport.

Figuur 8 geeft voor warmtepompen een overzicht van de gebruikte datapunten (stippen) en de uitwerking van voorgestelde vaste en variabele kostencomponenten (in lijnen). Voor bodemwarmtepompen hanteert Vesta MAIS een knip op de 100 kW-grens. De lijnen sluiten redelijk, maar niet perfect aan op de 100 kW-grenswaarde. Voor warmtepompen varieert het systeemvermogen in de database van enkele tientallen kilowatt tot enkele megawatt. Voor kleine warmtepompen zijn, vanwege gebrek aan projecten kleiner dan 45 kW, datapunten van systemen voor woningen toegevoegd.

Figuur 8 - Datapunten en voorgestelde formulelijnen voor warmtepompen



Voor WKO's zijn Arcadis-maatregelen voor systemen met open bodemwarmtebron gebruikt. De kosten voor onder andere bodemonderzoek, proefboringen, de boring en de regelkast zijn gehanteerd als uitgangspunt voor de WKO-kosten. Regeneratie-installaties zijn buiten beschouwing gelaten omdat Vesta MAIS hiervoor een aparte meerkostenfactor hanteert.

Figuur 9 - Datapunten en voorgestelde formulelijnen voor WKO's

