



# Warmtenetten in Vesta MAIS

Update berekeningsmethoden



CE Delft

*Committed to the Environment*

# Warmtenetten in Vesta MAIS

## Update berekeningsmethoden

Dit rapport is geschreven door: Emma Koster, Florian Hesselink en Marianne Teng

Delft, CE Delft, november 2022

Publicatienummer: 22.210347.173

Opdrachtgever: Planbureau voor de Leefomgeving

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

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

© copyright, CE Delft, Delft

### **CE Delft**

Committed to the Environment

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



# Inhoud

1	Inleiding	3
	1.1 Onderzoeksmethode	3
	1.2 Opbouw van het rapport	4
2	Methodiek warmtenetten	5
	2.1 Configuraties	5
	2.2 Clusters van warmtebronnen	8
	2.3 Gelijktijdigheid in warmtenetten	11
	2.4 Clusters in plaats van buurten	13
	2.5 Warmtewet 2: Wet collectieve warmtevoorziening	14
	2.6 Leercurves	19
	2.7 Technische mogelijkheid uitbereiding	21
	2.8 Eindgebruikerskosten LT-netten	27
3	Update kengetallen	29
	3.1 Financieel (discontovoet en afschrijving)	29
	3.2 Buisleidingen	31
	3.3 Kostprijs en kengetallen onderdelen warmtenet	40
	3.4 Inpandige kosten	48
	3.5 Onderhoud en administratie	57
	3.6 Bronbestanden	59
	3.7 Subsidies	60
4	Conclusies	61
	Literatuur	63
A	Memo Gasunie WarmtelinQ	65
B	Buisleidingkosten warmtebedrijven	67



# 1 Inleiding

Het Vesta MAIS-model berekent de nationale en eindgebruikerskosten van aardgasvrije warmtetechnieken in de gebouwde omgeving in Nederland. Zo helpt het om inzicht te krijgen in de transitiepaden van de warmtevoorziening richting 2050. Warmtenetten zijn een belangrijke warmtetechniek in deze transitie. Vesta MAIS modelleert dan ook de kosten van verschillende type warmtenetten.

Er is veel maatschappelijke discussie over de opbouw en kosten van warmtenetten. Nieuwe inzichten uit de markt vragen om een update van de functionele modellering en kengetallen van warmtenetten. het Planbureau voor de Leefomgeving heeft aan CE Delft gevraagd de berekeningsmethodiek te herzien.

Met het Vesta MAIS-model ondersteunt PBL de gemeenten en overige stakeholders in hun afweging voor aardgasvrij verwarmen. Het Klimaatakkoord vraagt gemeenten bij de keuze van een warmtetechniek voor een buurt de kosten in oenschouw te nemen. In het bijzonder hielp PBL met Vesta MAIS met de publicatie van de Startanalyse, die voor alle Nederlandse buurten de kosten van verschillende warmtestrategieën presenteerde.

Dit rapport presenteert onze inzichten uit de laatste publicaties en studies over warmtenetten. Op basis van deze inzichten doen we aanbevelingen voor aanpassingen aan het Vesta MAIS-model.

Alle bedragen in deze rapportage zijn exclusief belastingen en subsidies, tenzij expliciet aangegeven dat het inclusief is.

## 1.1 Onderzoeksmethode

We hebben informatie ingewonnen op basis van literatuur en door kennis op te halen bij marktpartijen en andere betrokken partijen. De gebruikte literatuur staat steeds genoemd bij het betreffende onderdeel.

We hebben in drie sporen contact gehad met betrokken partijen:

1. Interviews met het ministerie van Economische Zaken en Klimaat, de Autoriteit Consumenten en Markt (ACM) en Aedes. In deze interviews hebben we onder andere de huidige Vesta-methodiek getoetst en gesproken over de toekomstige ontwikkelingen in warmtenetten.
2. Rebel heeft voor het Expertise Centrum Warmte (ECW) een validatie uitgevoerd van het Template Businesscase Warmtenetten, op basis van ingevulde businesscases van warmtenetten. De memo waarin ze hun resultaten rapporteren is met ons gedeeld door RVO. We hebben de bevindingen in deze memo verder doorgesproken in een gezamenlijke sessie met het ECW en Rebel.
3. Contact en sessies met vijf warmtebedrijven, uitgevoerd in samenwerking met EnTra Management. Daarnaast hebben we buisleidingkosten gevalideerd met Gasunie (als aanlegger van WarmtelinQ). De warmtebedrijven die deelnamen aan deze sessies zijn Eneco, Ennatuurlijk, HVC, Vattenfall en Warmtebedrijf Purmerend.



We hebben van de genoemde partijen veel input mogen ontvangen. De warmtebedrijven hebben grote inspanningen gedaan om de methodiek en kengetallen in Vesta MAIS te spiegelen aan de praktijk. Dergelijke marktkennis is onmisbaar om de modellering van warmtenetten in Vesta MAIS dichter bij de praktijk te brengen.

## 1.2 Opbouw van het rapport

Hoofdstuk 2 loopt langs verschillende aspecten van de berekeningsmethodiek van warmtenetten. Hierin behandelen we de warmtenetconfiguraties, het clusteren van warmtebronnen, het omgaan met gelijktijdigheid, en het toepassen van leercurves.

Ook onderzoeken we het effect van de nieuwe Wet collectieve warmtevoorziening op de modelleringsmethode van Vesta, en stellen we aanpassingen voor.

In Hoofdstuk 3 behandelen we de warmtenet-gerelateerde kengetallen van het model. Daar waar nieuwe inzichten zijn over bijvoorbeeld het modelleren van buisleidingkosten of de in pandige kosten doen we een voorstel tot aanpassing. Waar we nieuwe kengetallen hebben gevonden in literatuur of uit contact met de betrokken partijen geven we dit ook aan. Hoofdstuk 4 geeft als conclusie een opsomming van de voorstellen tot aanpassing.

## 2 Methodiek warmtenetten

Dit hoofdstuk kijkt naar de berekeningsmethodiek van Vesta MAIS. Elk van de volgende paragrafen belicht een ander aspect van de berekeningsmethodiek en beschrijft onze literatuur en bevindingen. Ook geven we onze aanbevelingen voor het aanpassen van de berekeningsmethodiek.

### 2.1 Configuraties

Het Vesta MAIS-model rekt met verschillende warmtenetconfiguraties. Met een warmtenetconfiguratie bedoelen we de combinatie van de warmtebron, de leidingen, warmteoverdrachtstations en onderstations met of zonder collectieve warmtepomp, etc. Deze paragraaf beschrijft met welke configuraties Vesta nu al rekt, welke configuraties nog meer bestaan, en de aanbevelingen op basis hiervan voor het model.

#### 2.1.1 Huidige warmtenetconfiguraties in Vesta

De configuraties waar Vesta nu mee rekt zijn:

- ZLT-bron(nen) van 15°C opwaarden naar 30°C;
- LT-bron(nen) van 30°C zonder opwaardering;
- ZLT/LT-bron(nen) van 15 of 30°C opwaarden naar 50°C of 70°C;
- wko van 20°C opwaarden naar 50°C of 70°C, levert ook koude;
- wko- en TEO-combinatie van 20°C opwaarden naar 70°C;
- MT-bron van 70°C zonder opwaardering;
- MT-bron van 70°C zonder opwaardering met transportleiding.

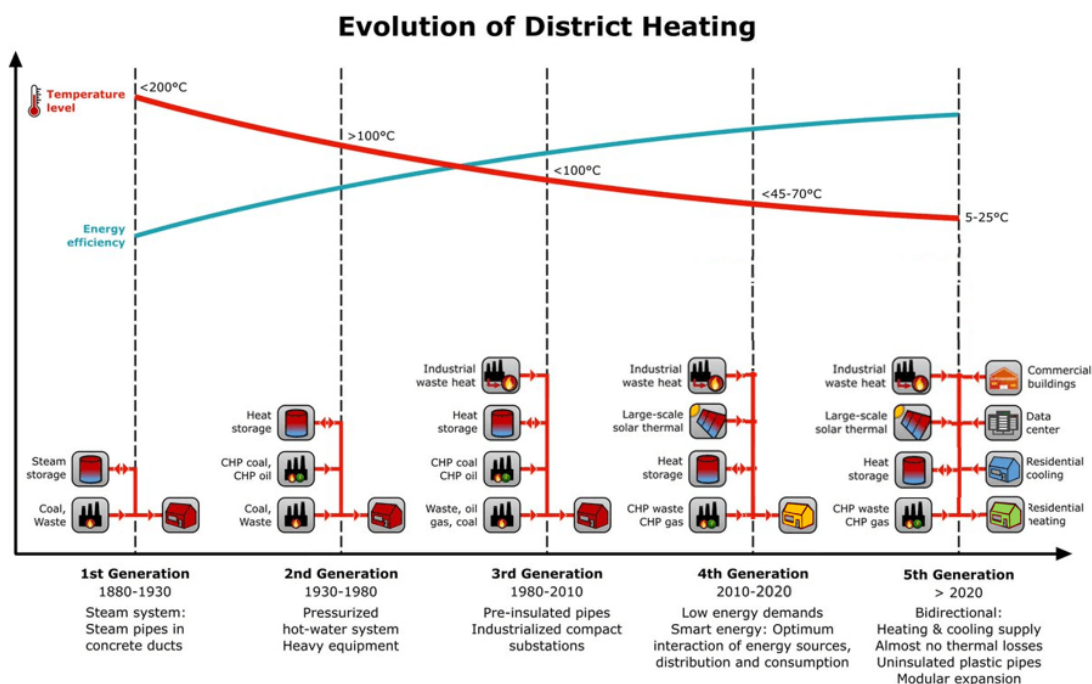
Deze paragraaf beschrijft de configuraties van bestaande of toekomstige warmtenetten in Nederland en de rest van Europa. We vergelijken die configuraties met de configuraties in Vesta. We kijken of er configuraties missen en wat de toegevoegde waarde is van deze configuraties toevoegen aan Vesta.

#### 2.1.2 Ontwikkelingen van warmtenetten

De ontwikkeling van warmtenetten is gecategoriseerd in verschillende generaties (zie ook Figuur 1):

- 1ste generatie: distributie van warmte middels stoom;
- 2de generatie: distributie van warmte middels warm water (> 100°C) onder hoge druk;
- 3de generatie: distributieleidingen zijn beter geïsoleerd en distributie van minder warm water (< 100°C);
- 4de generatie: distributie van warm water op middentemperatuur (< 70°C), toepassing van smart energy systems in combinatie met opslag;
- 5de generatie: distributie van warmwater op lagetemperatuur (< 50°C), tweerichting uitwisseling van warmte en koude, gedecentraliseerd warmtenet (Ecovat, 2019).

Figuur 1 - De ontwikkeling van warmtenetten van 1ste tot 5de generatie warmtenetten



Bron: (Ecovat, 2019).

De huidige warmtenetten en de warmtenetten die nu worden aangelegd zijn over het algemeen 3de en 4de generatie warmtenetten. Er zijn al 5de generatie warmtenetten in Europa en de verwachting is dat in de toekomst meer van dit soort warmtenetten zullen komen. Het Mijwater warmtenet in Heerlen is het warmtenet in Nederland dat het meest in de buurt komt van een 5de generatie warmtenet (Mijwater, 2021).

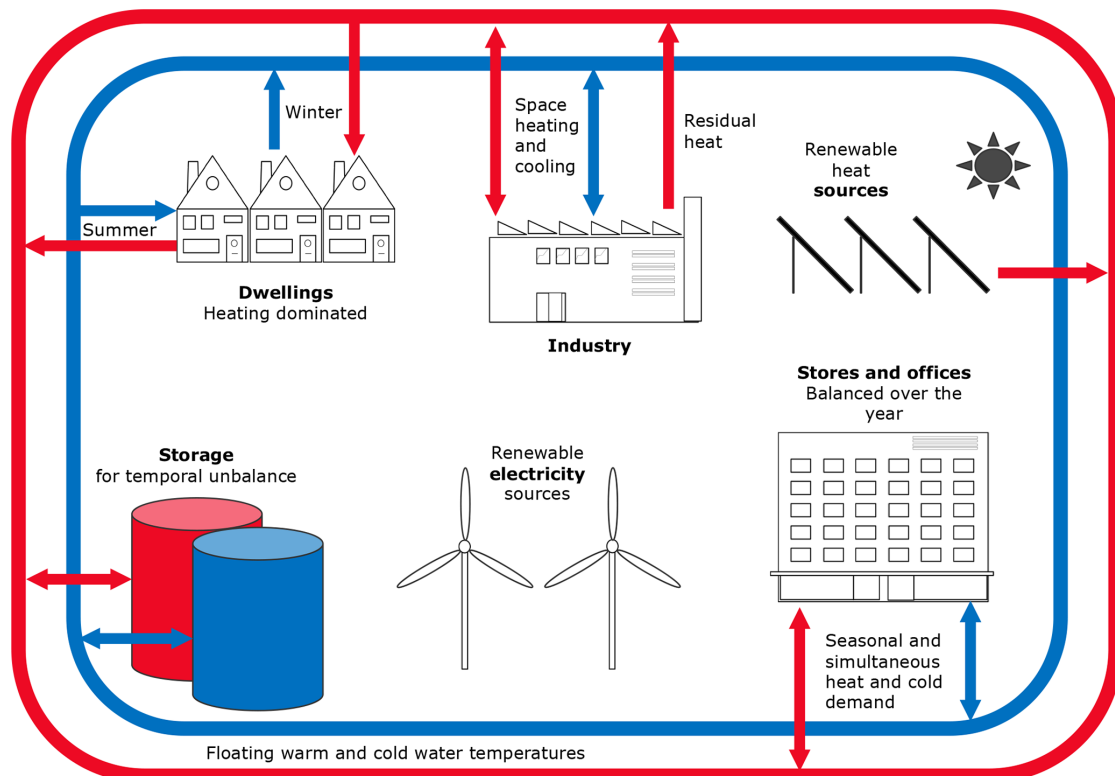
## 5de generatie warmtenetten

Het voornaamste verschil tussen 5de generatie warmtenetten (ook wel 5GDHC genoemd) en klassieke warmtenetten is dat de distributietemperatuur lager is dat het gedecentraliseerde tweerichtingsnetten zijn. Dit betekent dat de netten gelijktijdig warmte en koude distribueren tussen de gebouwen die aangesloten zijn, elk gebouw kan zowel een gebruiker als een leverancier zijn. Onderstations met warmtepompen kunnen zowel warmte als koude aan de gebouwen leveren. Op deze manier kan een gesloten kring ontstaan en is het mogelijk warmte te recyclen op het net. Opslag, zowel voor kortetermijn als seizoensopslag, zijn een belangrijk aspect van 5de generatie warmtenetten (Simone Buffa, 2019, Stef Boesten, 2019).

Een studie naar Deense warmtenetten noemt ook de 5de generatie warmtenetten. *“Slim, open en lage temperaturen zijn factoren die verduurzaming van een warmtenet (beter) mogelijk maken: in een collectief systeem in de gebouwde omgeving kunnen hernieuwbare productie van warmte en warmteopslag flexibel worden afgestemd op de lokale energievraag.”* (ECN part of TNO, 2019)

In het Mijnwater-project worden naast grote seizoensbuffers (de ondergelopen mijngangen) ook buffers bij de woning toegepast. Voor warmtapwater is vlakbij de gebruiker boosterwarmtepomp een opslagvat van 120-200 liter aanwezig. Door de opslagcapaciteit kan het vermogen van de boosterwarmtepomp veel kleiner zijn (500 We). Voor grotere gebruikers, als appartementenblokken of grote utiliteit, heeft elke gebruiker zijn eigen boosterwarmtepomp en opslag. Voor eengezinswoningen is de boosterwarmtepomp en opslag bij het dichtstbijzijnde onderstation aanwezig.

Figuur 2 - Een schematische weergave van een 5de generatie warmtenet. Warmte en koude worden zodanig uitgewisseld dat het warmtenet in balans is over het jaar. Alle warmte- en koudevraag komt uit hernieuwbare bronnen



Bron: (Energyville, 2021).

## Koudelevering

Ook in meer klassieke configuraties warmtenetten (3de en 4de generatie warmtenetten) wordt steeds vaker koude geleverd. De koude is vaak afkomstig uit een meer of diepe plas (TEO). Koud water van ongeveer 5 of 6 °C wordt opgepompt en via een leidingstelsel naar de gebouwen getransporteerd. Een voorbeeld van zo'n koudenet is het Koudenet Amsterdam Zuid Oost van Vattenfall (Warmtenetwerk, 2021a). Vergelijkbare projecten bestaan op verschillende plekken in Amsterdam, bij de Maas in Rotterdam en bij het Eesermeer en Eeserwold in Steenwijk (Warmtenetwerk, 2021b).



### 2.1.3 Aanbevelingen voor Vesta

De huidige configuraties dekken een groot deel van de bestaande 3de en 4de generatie warmtenetten. Ook komen de configuraties met een cluster van LT-bronnen met of zonder opwaardering naar hogere temperatuur al in de buurt van 5de generatie warmtenetten.

Enkele aspecten die Vesta MAIS niet berekent of meer aandacht behoeven zijn:

- **Koudelevering**, deze wordt nu alleen in configuraties met wko toegepast.
- **Onderlinge warmte- en koudelevering** tussen gebouwen. Hier zijn nog weinig praktijkvoorbeelden van. We raden aan de ontwikkelingen op dit gebied te volgen.
- **Grote seizoensopslag**, deze komt in Vesta alleen voor in de configuraties met de wko, hier is de wko de seizoensopslag. Warmtebedrijven geven aan dat ze tot op heden vooral ervaring hebben met de opslag van (zeer) lagetemperatuurwarmte. We raden aan ontwikkelingen op dit gebied te volgen.
- **Onderstations met buffers en boosterwarmtepompen**, het installeren van een grote boosterwarmtepomp voor een groep woningen heeft voordelen voor een warmtebedrijf: de totale investeringskosten zijn lager, er is geen ruimte nodig voor een boosterwarmtepomp in de woning, een grote collectieve installatie is stabiel en interferentie van individuele pompen op een collectief systeem wordt voorkomen. Wel zal er meer warmteverlies zijn.

Bij het ECW horen ze vooral vaak van gemeenten of andere partijen dat koudelevering mist in de startanalyse. Ook noemt ECW als mogelijke optie zonthermie in combinatie met seizoensopslag. We raden aan om na te gaan met de markt van welke configuraties de komende jaren de meeste ontwikkeling verwachten en deze toe te voegen.

Uit de sessies met de vijf warmtebedrijven zijn geen extra configuraties naar voren gekomen, de configuraties die de warmtebedrijven noemen komen grotendeels overeen met de configuraties die nu in Vesta zitten. Wel geven de warmtebedrijven aan dat de configuraties waar uiteindelijk warmte van 15 of 30°C wordt geleverd, nu in de praktijk nog niet veel voorkomen.

Daarnaast clustert de huidige versie van Vesta alleen met LT-bronnen. Voor MT-bronnen legt Vesta voor elke bron een transportleiding aan. Een cluster van warmtebronnen met één transportleiding is een meer realistische configuratie. In Paragraaf 2.2 gaan we hier verder op in.

## 2.2 Clusters van warmtebronnen

In Vesta-versie 5.0 worden LT-bronnen onderling gekoppeld om lokale broncluster te creëren die als gezamenlijke bron kunnen dienen voor een warmtenet. In Vesta is een doelvermogen gedefinieerd. Bronnen met een vermogen onder het doelvermogen worden net zo lang samengevoegd totdat ze boven het doelvermogen uitkomen<sup>1</sup>. Vesta clustert eerst de bronnen en zoekt daarna een afzetgebied voor het broncluster.

We onderzoeken of het ook mogelijk is MT-bronnen op eenzelfde manier te clusteren.

Hierbij staan een aantal vragen centraal:

- Is het in de praktijk mogelijk en zinvol MT-bronnen te clusteren?
- Voldoet de clustermethode voor LT-bronnen ook voor MT-bronnen?
- Welke aanpassingen zijn nodig om de clustering voor MT-bronnen mogelijk te maken in Vesta?

<sup>1</sup> In de huidige versie van Vesta MAIS is dit doelvermogen 16.000 kW, dat is 1,6 MW. De naam van deze parameter is P\_target\_LTbron.



## 2.2.1 Clustering van bronnen in de praktijk

### Clustering van MT-bronnen is in de praktijk mogelijk

Het clusteren van meerdere warmtebronnen is in de praktijk mogelijk en wenselijk, dit blijkt uit de whitepaper van Vattenfall:

*“De infrastructuur van warmtenetten staat open voor het gebruik van diverse bronnen van verschillende temperaturen. De inzet van meerdere bronnen op hetzelfde warmtenet vergroot de betrouwbaarheid van stadswarmte.”* (Vattenfall, 2021).

Er zijn meer voorbeelden van toekomstige warmtenetten waar meerdere bronnen in de warmte zijn voorzien. Gasunie werkt aan de ontwikkeling van WarmtelinQ. Dit project is een voorbeeld van een clustering van bronnen (in de Rotterdamse haven) gekoppeld aan een transportleiding die de warmte naar verschillende afzetgebieden moet gaan brengen. *“In de toekomst worden ook andere duurzame warmtebronnen aangesloten op WarmtelinQ, mits ze aan de technische eisen voldoen. Bijvoorbeeld warmte uit water, uit de bodem of uit andere duurzame bronnen.”* Gasunie (Warmtelinq, lopend)

Ook willen warmtebedrijven hun netten verduurzamen door meerdere type warmtebronnen die elkaar aanvullen te gebruiken, zoals aangegeven in het Warmtepact (Natuur & Milieu, 2019). Dit noemen we ook wel het stapelen van bronnen. De routekaart voor het verduurzamen van het warmtenet in Utrecht en Nieuwegein van Eneco (Eneco, 2020) beschrijft een verandering in de inzet van warmtebronnen. In 2018 kwam 80% van de warmte nog via twee energiecentrales. *“De overige 20% was afkomstig van een hulpwarmtecentrale op aardgas. Vanaf 2020 is het aandeel van hernieuwbare bronnen al bijna 40%, omdat er nieuwe, duurzame bronnen zijn toegevoegd.”*

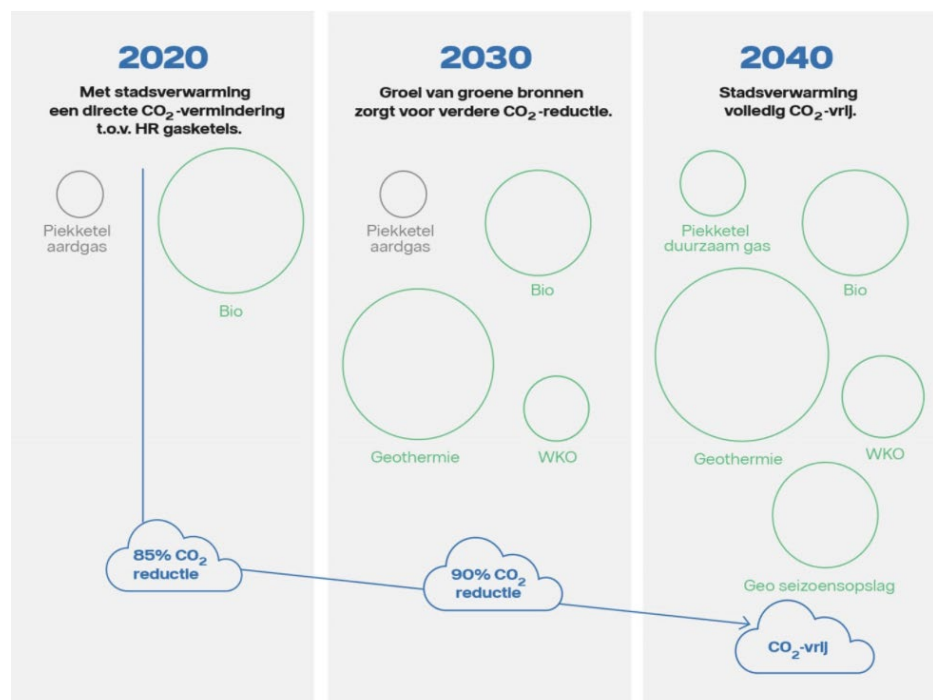
Figuur 3 laat zien dat Eneco van plan is steeds meer verschillende bronnen in te zetten die het warmtenet voeden. Ook Vattenfall is van plan om over te stappen van de klassieke invulling van de warmtebronnen (een hoofdbron en een piekvoorziening) naar warmtenetten die gevoed worden door meerdere en verschillende warmtebronnen (zie Figuur 4) (Vattenfall, 2020).

Figuur 3 - De routekaart verduurzaming van het warmtenet Utrecht Nieuwegein van Eneco



Bron: (Eneco, 2020).

Figuur 4 - Routekaart voor het warmtenet Lelystad van Vattenfall



Bron: (Vattenfall, 2020).

## Clusteren van MT-bronnen moeilijk in een model te vangen

Uit de sessies met de warmtebedrijven komt naar voren dat clustering van meerdere bronnen inderdaad mogelijk is. Maar warmtebedrijven geven aan dat de keuze van de locatie van de bronnen, het vermogen, het tijdstip van ontwikkeling en de wijze van invoeding op het net een zeer complex vraagstuk is. In deze afwegingen nemen warmtebedrijven veel lokale factoren mee, waar Vesta geen rekening mee kan houden. Warmtebedrijven geven aan dat het eigenlijk vooral voor de hand ligt om bronnen te clusteren die op dezelfde locatie liggen, bijv. diverse warmtebronnen op een industrieterrein. In Enschede is een voorbeeld van zo een warmtenet met warmte van Twence (Ennatuurlijk, 2021).

### 2.2.2 Clustermethode kan niet direct overgenomen worden

De methode van clustering van de LT-bronnen kan niet direct overgenomen worden voor MT-bronnen. MT-bronnen hebben vaak een groter vermogen, dat vermogen is op zichzelf al groot genoeg om als warmtebron te dienen. Maar vanwege de locatie van de bronnen kan het voordeliger zijn bronnen eerst te clusteren en daarna de warmte van het cluster met een transportleiding te vervoeren naar het afzetgebied. Een minimaal vermogen voor een cluster warmtebronnen, een doelvermogen, lijkt dus niet goed toepasbaar voor het clusteren van MT-bronnen. Bij het clusteren van MT-bronnen kan gekeken worden naar de locatie van de bronnen ten opzichte van elkaar of ten opzichte van een transportleiding.

### 2.2.3 Aanbevelingen voor Vesta

Op basis van de literatuurstudie concluderen we dat het clusteren van MT-bronnen in de praktijk mogelijk en wenselijk is. Warmtebedrijven geven echter aan dat de afweging wanneer bronnen wel of niet geclusterd kunnen worden niet in een model te vangen is.

Voor LT-bronnen bepaalt Vesta op basis van het vermogen of bronnen geclusterd worden. Deze methode kan voor MT-bronnen niet worden overgenomen, er is een andere maatstaf nodig om te bepalen of bronnen geclusterd moeten worden. De warmtebedrijven geven aan dat vooral bronnen die op één locatie liggen, zoals bronnen op een industrieterrein, geclusterd worden.

We raden aan om niet een algemene clustermethode voor MT-warmtebronnen op te nemen in Vesta, maar om voor enkele industriegebieden de bronnen in de warmtebronnenkaart al samen te voegen tot één grote bron. Een aandachtspunt hierbij is dat warmtebedrijven aangeven dat maatwerk bij het stapelen van bronnen belangrijk is, en dus niet zomaar alle bronnen in een gebied mogen worden geclusterd. Een tweede punt van aandacht hierbij is dat de MT-bronnen gezamenlijk mogelijk een hoger vermogen hebben dan de vraag. In dat geval moet bepaald worden welk vermogen elk van de bronnen levert. Vanuit het perspectief van laagste nationale kosten stellen we voor in dit geval de bron(nen) met de laagste kosten volledig te benutten, en daarna aan te vullen met andere bronnen. Voor grote (bestaande) warmtenetten met een transportleiding (zoals het bestaande Amernet of het toekomstige WarmtelinQ) kan de transportleiding als lijnbron op de warmtebronnenkaart worden ingetekend. Een nieuw warmtenet kan dan aansluiten op de transportleiding.

## 2.3 Gelijktijdigheid in warmtenetten

De warmtevraag van individuele woningen en bedrijven valt niet gelijktijdig. Warmteklanten maken individuele keuzes in hoe en wanneer ze hun panden verwarmen en wanneer ze warmtapwater gebruiken. Dit zorgt ervoor dat de piekvraag aan het onderstation van een warmtenet kleiner is dan de som van de piekvraag van de aangesloten panden. Een gelijktijdigheidsfactor (tussen 0 en 1) geeft de verhouding tussen de piekvraag van het warmtenet en de som van de piekvraag van de aangesloten panden. Bij een gelijktijdigheidsfactor van één verwarmen alle panden gelijktijdig, terwijl bij een lage factor de piekvraag gespreid in de tijd is.

Tabel 1 geeft de gelijktijdigheidsfactoren waarmee Vesta 5.0 rekt. Deze factoren zijn vastgesteld bij de validatiesessies ten behoeve van de Startanalyse 2019 (CE Delft, 2019). Deze waarden zijn een constante waarde die Innoforte's methode benadert. Deze benadering houdt rekening met een verschillende gelijktijdigheid voor ruimteverwarming en warmtapwaterbereiding, maar houdt geen rekening met hoe de gelijktijdigheid daalt naarmate er meer panden zijn aangesloten. In Innoforte's methode daalt de gelijktijdigheidsfactor van warmtapwater met de wortel van het aantal aangesloten panden  $n$ :

$$f_{wtw} = 1/\sqrt{n}$$

De gelijktijdigheidsfactor van ruimteverwarming daalt ook met het aantal aangesloten panden, maar komt al snel, bij ongeveer 43 panden, op een constante waarde van 0,55:

$$f_{rv} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 - 0,12 \cdot \ln(n) \\ 0,55 \end{array} \right\}$$

Tabel 1 - Gelijktijdigheidsfactoren in Vesta MAIS 5.0

Beschrijving	Waarde	Eenheid
Gelijktijdigheidsfactor koude woningen	0,55	factor
Gelijktijdigheidsfactor warmtapwater woningen	0,1	factor
Gelijktijdigheidsfactor MT-ruimteverwarming woningen	0,5	factor
Gelijktijdigheidsfactor LT-ruimteverwarming woningen	0,55	factor
Gelijktijdigheidsfactor koude-utiliteit	0,95	factor
Gelijktijdigheidsfactor warmtapwaterutiliteit	0,1	factor
Gelijktijdigheidsfactor MT-ruimteverwarming-utiliteit	0,95	factor
Gelijktijdigheidsfactor LT-ruimteverwarming-utiliteit	0,95	factor
Gelijktijdigheidsfactor ruimteverwarming glastuinbouw	1	factor

### 2.3.1 Afhankelijkheid van isolatieniveau

De vermogensbelasting van een wijk op het warmtenetwerk wordt bepaald door het product van de aansluitwaarde en de gelijktijdigheid. Bij goedgeïsoleerde woningen is de vermogensvraag constanter, dus daalt de aansluitwaarde in de praktijk. Echter, daardoor stijgt de gelijktijdigheid. In het effect op de netbelasting heffen deze effecten elkaar (deels) op, daarom hanteert Vesta MAIS 5.0 geen verschil in de aansluitwaarde of gelijktijdigheidsfactor tussen woningen met veel of weinig isolatie.

PBL is voornemens de aansluitwaarde van woningen afhankelijk te maken van het schillabel. Omdat we geen data hebben van hoe de gelijktijdigheid afhangt van het schillabel, houden we vast aan dat de vermogensbelasting op het netwerk gelijk blijft. We kiezen de gelijktijdigheidsfactoren per schillabel dus zo, dat de vermogensbelasting voor elke schillabel gelijk is.

### 2.3.2 Aanbevelingen voor Vesta MAIS-update

De huidige modellering houdt geen rekening met hoe de gelijktijdigheidsfactor afhangt van het aantal aangesloten panden. Voor netten die een hele buurt beslaan heeft dit weinig impact, de gelijktijdigheidsfactoren dalen met name tot 100 woningen sterk, daarom beschouwen we hieronder eerst kleine netten en vervolgens grote netten.

Voor kleinere netten heeft met name de warmtapwaterbereiding een impact op de maximale vermogensvraag aan het onderstation. Momenteel rekent Vesta MAIS alleen voor LT-bronnen met warmtenetten voor een deel van de buurt. Bij levering op lage-temperatuur, dus maximaal 50 °C, moet het warmtapwater op woningniveau nog opgevoerd kunnen worden tot 60 °C, bijv. met een boosterwarmtepomp. Dit zorgt ervoor dat de piekvraag aan het warmtenet lager is.

Deze decentrale opwaardering speelt niet voor levering op middentemperatuur. Hiervoor zou de afhankelijk van de gelijktijdigheidsfactor van warmtapwaterbereiding met het aantal aangesloten panden een mogelijke toevoeging zijn. Maar netten kleiner dan 100 aansluitingen hebben kleine leidingdiameters hebben. Voor de kleinste leidingdiameters stellen we in Paragraaf 3.2.4 voor om minimale kosten per meter te hanteren. Hierdoor heeft het gebruik van de formules dus geen invloed op de kosten van het warmtenetwerk, enkel op de dimensionering en dus kosten van de stations en warmtebron. Bij netten die veel groter zijn dan 100 panden, daalt de gelijktijdigheidsfactor verder, maar minder snel met het aantal panden. De gelijktijdigheidsfactor bepaalt de totale vermogensvraag, welke de dimensionering van de warmteleidingen, stations en bron bepaalt. De warmtebedrijven geven aan per maximaal 250 aangesloten panden een onderstation te plaatsen. Bij 250

aangesloten panden ligt de gelijktijdigheidsfactor volgens de formule van Innoforte op 0,063. Voor de dimensionering van de warmteleidingen in de wijk en onderstations geeft de vaste waarde dus een beperkte overschatting van het benodigd vermogen.

Warmteoverdrachtstations, de warmtebron en eventuele transportleidingen kunnen een groter aantal klanten beleveren. Voor de dimensionering van deze elementen loopt het verschil tussen de vaste waarde en de formule verder op.

Op basis van het bovenstaande adviseren wij PBL de formule voor de gelijktijdigheid van warmtapwaterbereiding in overweging te nemen, met name met oog op de dimensionering van stations en warmtebron.

De afhankelijkheid met het aantal aangesloten panden speelt een kleinere rol voor ruimteverwarming, omdat al bij 43 panden het plateau van 0,55 bereikt wordt. We raden daarom aan om deze waarde constant te houden. Voor de overige gelijktijdigheidsfactoren uit Tabel 1 is geen nieuwe literatuur beschikbaar. Er is dus geen aanleiding deze te herzien.

## 2.4 Clusters in plaats van buurten

Vesta gaat verschillend om met het aansluiten van woningen op warmtebronnen. Vesta sluit altijd een hele buurt aan op MT- en HT-bronnen, maar voor LT-bronnen wordt een cluster van woningen gemaakt om aan te sluiten op LT-bronnen. Dit is veelal een deel van een buurt. De rest van de buurt komt dan afhankelijk van de instellingen van het model op een andere warmtetechniek uit. De huidige clustermethode voor LT-netten, met een bron op vooraf bepaalde locatie, is als volgt. Eerst bepaalt Vesta per woning of de kosten van een warmtenet opwegen tegen de baten vanuit het perspectief van het warmtebedrijf. Alle woningen waar dit niet voor geldt vallen al af. Vervolgens wordt vanuit de bron of groep van bronnen een contour gemaakt. Alle gebouwen binnen die contour, die nog niet waren afgevallen, worden toegevoegd aan het cluster. De contour wordt steeds verder uitgebreid, totdat de warmtevraag van alle woningen in het cluster optelt tot het warmteaanbod van de bron of groep van bronnen.

Voor LT-netten met bronnen zoals TEO en wko, zonder vooraf bepaalde locatie, gebruikt Vesta een andere methode. Binnen het mogelijke leveringsgebied van de bron, bepaalt Vesta per woning of de kosten van een warmtenet opwegen tegen de baten vanuit het perspectief van het warmtebedrijf. Alle woningen waar dit niet voor geldt vallen al af. Vervolgens bepaalt Vesta voor alle overgebleven woningen of het financieel voordelig is wanneer de woning wordt gekoppeld met een nabijgelegen woning. Dit clusteren van woningen gaat door totdat er geen woningen meer gevonden kunnen worden waarvoor de koppeling financieel interessant is. Zo ontstaan meerdere clusters binnen het leveringsgebied van de warmtebron.

We onderzoeken of deze methode van clustering ook kan worden toegepast voor MT-bronnen en welke aanpassingen mogelijk nodig zijn op de methode.

### 2.4.1 Aanbevelingen voor Vesta

Het afzetgebied van een warmtenet hoeft niet gebonden te zijn aan buurtgrenzen. Ook voor MT-bronnen kunnen dus clusters gemaakt worden. We raden aan een clustermethode van gebouwen voor MT-warmtenetten op te nemen in Vesta.

MT-bronnen hebben wel vaak een groter vermogen dan LT-bronnen en de warmte van MT-bronnen wordt vaak eerst over een afstand getransporteerd met een transportleiding, voordat het aan een cluster wordt toegewezen. Met de huidige methode van clusteren, het steeds groter maken van een contour, is het niet mogelijk de warmte eerst met een transportleiding te transporteren en dan een cluster te maken. We raden aan de huidige



manier van clusteren eerst aan te passen zodat dit wel mogelijk is voordat het ingezet wordt voor MT-netten.

De methode voor het toewijzen van een techniek aan de gebouwen die niet in het cluster komen, kan hetzelfde blijven als voor LT-netten. Dit houdt in dat deze gebouwen individueel verwarmen.

Aandachtspunten voor het clusteren van gebouwen voor MT-bronnen:

- MT-bronnen hebben vaak een grotere capaciteit dan LT-bronnen. Het cluster moet groot genoeg zijn om de bron te kunnen betalen, maar dit is al gewaarborgd in de huidige methode. Vesta rekent de businesscase uit, zo controleert Vesta of het cluster groot genoeg is om de bron te kunnen betalen.
- Het afzetgebied van een MT-bron kan uit meerdere clusters bestaan, denk bijv. aan WarmtelinQ die warmte naar verschillende steden transporteert. Hiervoor kan Vesta de methodiek van het aansluiten van meerdere buurten op een warmtebron ook toepassen op meerdere clusters.
- Wanneer het warmtenet niet in de hele buurt wordt aangelegd, moet de buislangte voor het cluster bepaald worden. Voor LT-netten wordt hiervoor een formule op basis van het oppervlak van de buurt gebruikt. Voor buurten zijn de buislangten berekend op basis van de lengten van de straten. Warmtebedrijven geven aan dat er geen perfecte algemene methode is voor het bepalen van de lengte van een warmtenet, anders dan een specifiek warmtenet intekenen. De warmtebedrijven verwachten dat een warmtenetlengte gebaseerd op basis van de straten de beste inschatting geeft. We raden dus aan de methode voor de buurten geschikt te maken voor clusters.

## 2.5 Warmtewet 2: Wet collectieve warmtevoorziening

In 2020 is een voorstel voor de Wet collectieve warmtevoorziening (ook wel Warmtewet 2) gepubliceerd. Minister Jetten verwacht in mei 2023 het wetsvoorstel naar de Tweede Kamer sturen (Energiea, 2022). Het huidige wetsvoorstel raakt de modellering van Vesta op drie punten:

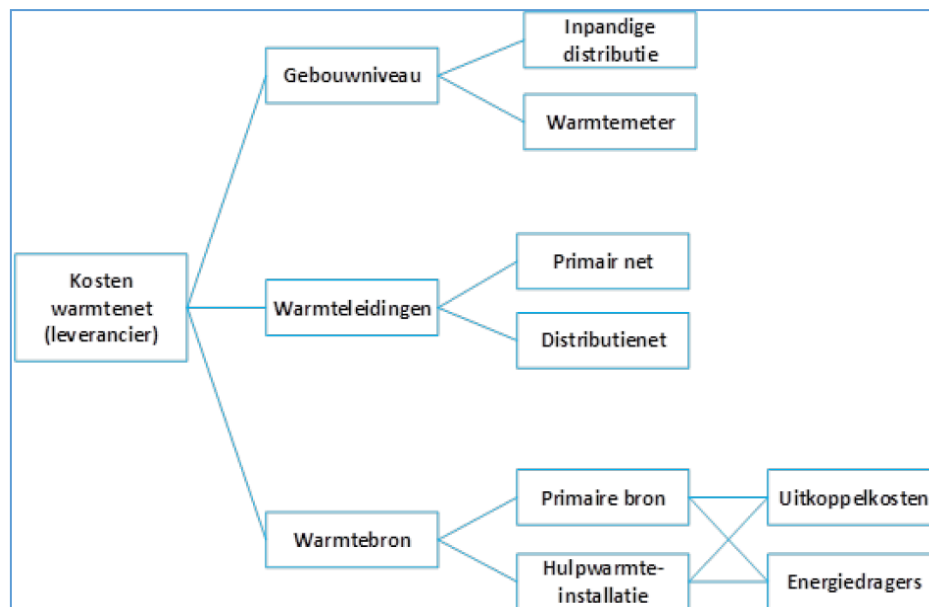
1. Warmtetariefbepaling met kosten plus methode.
2. Introductie warmtekavels met gelijke warmtetarieven en de logica om aan te sluiten op een warmtenet.
3. Norm voor de duurzaamheid van warmtebronnen.

Het betreft een wetsvoorstel en de onderdelen ervan zijn nog niet volledig uitgewerkt voor uitvoering. We bespreken voor ieder van de punten hoe het de modellering van Vesta kan beïnvloeden en doen een voorstel voor hoe deze kan worden aangepast.

### 2.5.1 Warmtetarieven

De prijs van warmte uit warmtebronnen in Vesta is gebaseerd op het Niet Meer Dan Anders (NMDA)-principe. Dat betekent dat de GJ-prijs van warmte gekoppeld is aan de prijs van aardgas. De kosten vallen uiteen in een gebruiksonafhankelijk deel (vastrecht) en een gebruiksaafhankelijk deel (verbruik). Ook is er een maximumprijs voor aansluiting, afsluiting, huur van afleverzet en het meten van verbruik. De verschillende kostenposten van de leverancier zoals gemodelleerd in Vesta staan in Figuur 5.

Figuur 5 - Opbouw kostencomponenten warmtenet voor leverancier



Bron: (Planbureau voor de Leefomgeving, 2021).

Met de introductie van de Warmtewet 2 verandert de tariefbepaling. Volgens het wetsvoorstel volgen de warmtetarieven dan niet langer de gasprijzen, maar hangen zij af van de kosten die een warmteleverancier maakt om het warmtenet te realiseren en in bedrijf te houden. Dit wordt in drie fasen ingevoerd. In de interviews met het ministerie van Economische Zaken en Klimaat en het ACM hebben we hier informatie over opgehaald.

*“In deze eerste fase worden de tarieven berekend op basis van een kostengebaseerde correctie van het gasprijsreferentietarief, waarbij wordt uitgegaan van een redelijk rendement (art. 7.4, lid 2, onder a)”* (Meijering & Noordhoek, 2020)

In de eerste fase moeten warmtebedrijven hun kosten gaan bijhouden en indienen bij het ACM. Deze fase duurt zo kort mogelijk (inschatting: 3-5 jaar) tot er genoeg informatie beschikbaar is voor fase 2. Naast de kosten blijft hier het gasprijsreferentietarief gebruikt worden. Door deze combinatie kunnen er al wel meerdere maximale tarieven ontstaan per kavel.

*“In fase 2 geldt nog steeds paragraaf 7.1.3, maar worden de tarieven berekend op grond van een kostengebaseerd referentietarief (art. 7.4, lid 2, onder b)”* (Meijering & Noordhoek, 2020)

In de tweede fase wordt de gasprijsreferentie losgelaten en reguleert het ACM de tarieven volledig op basis van de kosten. Daarop kan een periodieke kostengebaseerde correctie plaatsvinden. Het inzicht dat de ACM heeft in de kosten zal in deze fase steeds scherper worden.

*“Er zal uiteindelijk worden toegewerkt naar een tariefsysteem gebaseerd op (efficiënte) kosten plus een redelijk rendement (art. 7.5, lid 2). De ACM stelt voor een reguleringsperiode per warmtebedrijf in een methodebesluit de methode vast waarop de toegestane inkomsten worden vastgesteld (art. 7.5, lid 1).”* (Meijering & Noordhoek, 2020)



In de derde fase gebruikt het ACM een benchmarkmethode, gelijk aan die voor de tariefregulering van netbeheerders. Dit houdt in dat de ACM de toegestane inkomsten van de warmtebedrijven vaststelt. Deze fase gaat in op een door de minister te bepalen moment.

Binnen de drie fases van de Warmtewet ontwikkelt de ACM betere monitoringstool om inzicht op de kosten van warmtenetten binnen individuele kavels te verkrijgen. Deze fases zijn minder belangrijk vanuit het perspectief van Vesta waar de kosten binnen een warmtekavel al expliciet berekend worden. Wanneer de nieuwe warmtewet in werking treedt kan Vesta MAIS op basis van die berekeningen de tarieven per kavel bepalen.

We stellen voor hoe we tarieven kunnen berekenen met Vesta die de kosten dekken die de warmtebedrijven maken. Dit sluit mogelijk niet aan bij de tarifieringsmethode die de definitieve Warmtewet 2 krijgt. Dit doen we voor de door ACM-gereguleerde kostenposten:

- a Het transport en de levering van warmte (vastrecht en verbruik).
- b De afleverset.
- c Het aansluiten op een collectief warmtesysteem.
- d Het afsluiten van een collectief warmtesysteem.
- e De meting van het warmteverbruik.
- f Overige goederen en diensten.

We laten tarieven d en f buiten beschouwing. De kosten voor de afleverset en de warmtemeting (b en e) kunnen we direct berekenen met behulp van de respectievelijke CAPEX- en OPEX-kengetallen. De tarieven voor het aansluiten (c) en het vastrecht en verbruik kunnen ook op basis van de gemodelleerde kosten worden vastgesteld. Aansluitkosten zouden dan gelijk zijn aan de kosten vanaf het T-stuk in het secundaire distributienet (zie ook Paragraaf 3.4), variabele kosten gelijk aan de kosten voor de energie en de overige kosten worden onderdeel van het vastrecht.

Warmtebedrijven en het ECW zijn echter terughoudend over dit modelleringsvoorstel. Mogelijk sluit deze methode niet aan bij de tarifiering in de uiteindelijke warmtewet. Gevolg van deze aanpassing ten opzichte van de huidige modellering is dat warmtebedrijven nu de vrijheid hebben om hun initiële investeringskosten op te vangen in de BAK en via het verbruikstarief. Hierdoor zijn de aansluittarieven voor de eindgebruiker op dit moment lager dan de werkelijke aansluitkosten. De hier voorgestelde tarifiering zou de kostenverdeling voor eindverbruikers drastisch veranderen.

De warmtebedrijven stellen voor het inbouwen van de beschreven tarifieringsmodellering uit te stellen totdat de Warmtewet 2 definitief is en er meer duidelijkheid is over de mogelijkheden om kosten te verdelen over de verschillende posten. We stellen voor dat PBL de methodiek al wel inbouwt met een mogelijkheid voor de modelgebruiker om met de verhouding van tarieven te variëren. Bijvoorbeeld via een schuif van 0 tot 1, waarmee het aandeel van de initiële investering dat terecht komt in het jaarlijks vastrecht. De defaultwaarde voor deze schuif zou in verdere consultatie met de warmtebedrijven moeten worden vastgesteld op basis van huidige tariefstructuren. Binnen dit onderzoek is hier nog geen ruimte voor geweest. Deze implementatie geeft de modelgebruiker de mogelijkheid om te experimenteren met tarifieringsmethoden en de impact daarvan te onderzoeken.

Een laatste aandachtspunt rond de modellering van warmtetarieven onder Warmtewet 2, is dat de kosten van een warmtebedrijf worden op dit moment deels gesubsidieerd met de SDE++-regeling. Deze dekt de onrendabele top van de productie van warmte af. Vesta modelleert de SDE++ op dit moment al. Om te voorkomen dat de modelleur in het gebruik van Vesta overwinsten inrekent, moeten tarieven gebaseerd worden op de kosten na subsidiëring.

## 2.5.2 Warmtekavels en aansluitregels

Gemeenten kunnen onder de nieuwe Warmtewet warmtekavels vaststellen. Deze moeten zodanig zijn dat een warmtebedrijf op doelmatige wijze een warmtenet kan aanleggen en exploiteren. Het warmtenet moet voldoen aan de criteria duurzaam, betaalbaar, zelfstandig te opereren en betrouwbaar. Om de Warmtewet 2 in Vesta op te nemen, moet Vesta rekening houden met dat er binnen ieder warmtekavel gelijke warmtetarieven gaan gelden, en moet daarom zelf warmtekavels kunnen vormen.

Op dit moment zijn de vraaggebieden in Vesta voor HT- en MT-bronnen gelijk aan één of meerdere CBS-buurtten. Bij LT-bronnen wordt het vraaggebied via de contributiemargemethode berekend. Die methode houdt in dat een gebouw aangesloten wordt, wanneer de variabele kosten van het aansluiten lager zijn dan de baten (de maximale tarieven die het warmtebedrijf mag rekenen). Deze aansluitlogica wordt bij kostengebaseerde tarieven echter een kringredenering. Er is daarom een nieuwe aansluitregel nodig.

Afhankelijk van welke vraag de gebruiker van het model met Vesta wil beantwoorden zijn hierin verschillende opties mogelijk. We beschrijven een aantal opties om dit te bepalen, in situaties waarin kavels van te voren wel of niet bekend zijn. Een gebruiker zou bijvoorbeeld warmtekavels kunnen opgeven in de vorm van één of een set CBS-buurtten.

*Kavels zijn van te voren bekend:*

1. Alle gebouwen in het kavel worden aangesloten. Hiermee berekenen we de warmtetarieven.
2. We stellen warmtetarieven van tevoren vast, bijvoorbeeld volgens het huidige NMDA-principe. Op basis daarvan evalueren we welke gebouwen in een kavel aansluiten. Hiervoor bepalen we de eindgebruikerskosten van een alternatieve techniek. Voor deze techniek zijn verschillende opties mogelijk, zoals de goedkoopste gebouwgebonden installatie, een all-electric-oplossing of de gasreferentie. Wanneer de warmtetarieven lager zijn dan de kosten van het alternatief sluiten we gebouwen aan.

*Kavels zijn niet van te voren bekend:*

3. Voor ieder gebouw bepalen we de eindgebruikerskosten van een alternatieve techniek. Voor deze techniek zijn verschillende opties mogelijk, zoals de goedkoopste gebouwgebonden installatie, een all-electric-oplossing of de gasreferentie.
  - a Vervolgens volgen we de contributiemargemethodiek. Je sluit gebouwen aan en evalueert wat de nieuwe warmtetarieven worden, waar we alleen nieuwe gebouwen/buurtten aansluiten wanneer de tarieven en eigen kosten voor eindgebruikers lager zijn dan bij het alternatief.
    - wanneer het aansluiten ervoor zorgt dat de kosten voor al aangesloten gebouwen/buurtten stijgen, kan ervoor gekozen worden om deze niet aan te sluiten.
    - de aangesloten gebouwen/buurtten vormen het warmtekavel.
  - b Vervolgens sluiten we alle gebouwen of buurtten aan (bijvoorbeeld in een bepaalde radius om een bron of bronnencluster heen), en berekenen we voor ieder gebouw en buurt het gemiddelde kostenverschil met het alternatief. Gebouwen/buurtten met de grootste negatieve afweging worden uit het netwerk verwijderd, en het kostenverschil wordt opnieuw berekend. Dit wordt gedaan tot de warmtetarieven van het kavel niet meer dalen. De aangesloten gebouwen/buurtten vormen het warmtekavel.



Belangrijk voor de nieuwe aansluitregel wanneer nog onbekend is wat de kavels zijn, zijn de kosten van duurzaam verwarmen vanuit het perspectief van de eindgebruiker. Om een juiste afweging te maken tussen alternatieven is het randvoorwaardelijk dat de volgende drie zaken goed in het model zitten:

1. De businesscase van de warmtebedrijven, voor het bepalen van de kostengebaseerde warmtetarieven op basis van kengetallen.
2. De kosten van de gebouweigenaar voor het aansluiten op een warmtenet, waarbij niet alleen de aansluitbijdrage en tarieven in beeld zijn, maar ook de kosten van het aansluiten die de gebouweigenaar zelf betaalt.

### 2.5.3 Duurzaamheidsnorm

De nieuwe warmtewet kent een duurzaamheidsnorm uitgedrukt in gemiddelde CO<sub>2</sub>-uitstoot per geleverde GJ-warmte. In het huidige voorstel daalt de duurzaamheidsnorm lineair van 40 kg CO<sub>2</sub>/GJ in 2022 naar 25 kg CO<sub>2</sub>/GJ in 2030. Deze norm geldt voor het warmtenet als geheel. Voor de modellering van Vesta is het van belang om te weten of de warmtebronnen waar Vesta mee rekent, voldoen aan de duurzaamheidsnorm. Op basis van de bronnen kunnen we berekenen wat de uitstoot voor het hele warmtenet is.

We hebben de uitstoot van de warmtebronnen in Vesta geschat op basis van warmte-etiketten die warmtebedrijven uitgeven. Op een warmte-etiket staat voor bestaande warmtenetten wat de warmtebron is en de bijbehorende CO<sub>2</sub>-uitstoot per geleverde GJ. De resultaten hiervan staan in Tabel 2. De meeste warmtebronnen zijn ook in 2030 nog toegestaan volgens de duurzaamheidsnorm. De stoom- en gasturbine zit qua uitstoot op het randje. De wkk op aardgas en bestaande hulpketels hebben een CO<sub>2</sub>-uitstoot ruim boven de duurzaamheidsnorm. Voor de bestaande gasturbine en kolenvergassing STEG is de uitstoot onbekend, maar we schatten in dat deze uitstoot ook boven de duurzaamheidsnorm zal liggen. Uitzonderingen zijn echter mogelijk wanneer CCS of duurzaam gas gebruikt wordt.

Het is een mogelijkheid om warmtebronnen die niet aan de duurzaamheidsnorm voldoen uit te sluiten in Vesta. In het geval van hulpketels is dit niet wenselijk. Vesta zet een hulpketel in combinatie met een andere warmtebron in. De gemiddelde uitstoot per GJ voor dat warmtenet kan wel voldoen aan de duurzaamheidsnorm. De uitstoot van een warmtenet met een wkk is afhankelijk van de modelinstellingen. Wanneer de wkk volledig draait op aardgas, voldoet deze niet aan de duurzaamheidsnorm. Maar een wkk op groengas voldoet wel aan de norm.

We raden daarom aan de CO<sub>2</sub>-uitstoot per geleverde GJ van warmtenetten in Vesta uit te rekenen. De gebruiker kan dan inschatten of het nodig is om een warmtebron niet mee te nemen in de analyse of deze een einddatum mee te geven. Na deze einddatum kan de bron niet meer ingezet worden in nieuwe netten. We adviseren dus om wel alle bronnen beschikbaar te houden in Vesta, maar de modelgebruiker de juiste informatie te geven, zodat deze zelf de bron kan uitzetten of een einddatum kan geven. Mogelijk is het wel verstandig wkk-installaties standaard al een einddatum te geven, waardoor het nog wel mogelijk is deze te modelleren in bestaande netten, maar niet in nieuw te ontwikkelen netten.

Tabel 2 - Overzicht van de CO<sub>2</sub>-uitstoot per geleverde GJ van warmtenetten per warmtebron

Warmtebron	Uitstoot volgens warmte-etiketten (kg/GJ)	Toegestaan in 2030 volgens Warmtewet 2.0?	Vanaf wanneer niet meer toegestaan?	Bron
Wkk op groengas of biomassa	Onbekend	Verwachting van wel		
Geothermie	2-8	Ja		(TNO, 2020)
Industriële restwarmte	3,9	Ja		(CE Delft, 2016)
Restwarmte van raffinaderij	Ongeveer gelijk aan restwarmte industrie: 3,9	Ja		
Biomassacentrale	8,5-9,3	Ja		(Vattenfall, 2021)
Afvalverbrandings-installatie	17-22	Ja		(Vattenfall, 2021), (Eneco, 2021)
Stoom- en gasturbine	25-26	Nee	2029	(Vattenfall, 2021), (Eneco, 2021)
Wkk op aardgas	55,3	Nee	2022	(Ennatuurlijk, 2021)
Bestaande hulpketels	124,2	Nee	2022	(Ennatuurlijk, 2021)
Bestaande gasturbine	Onbekend	Verwachting van niet		
Kolenvergassing STEG	Onbekend	Verwachting van niet		

#### 2.5.4 Aanbevelingen voor Vesta MAIS

We raden aan om functionaliteit toe te voegen aan Vesta zodat het volgens Warmtewet 2 kan rekenen. Dit houdt in dat de tarieven, in plaats van gebaseerd op ACM-maxima, berekend worden en dat de aansluitregels van gebouwen en buurten worden aangepast. Om de modelgebruiker flexibiliteit te bieden is er een variant nodig waarin deze zelf warmtekavels kan aangeven, en een variant waar deze warmtekavels op basis van een kostenvergelijking met alternatieven worden gegenereerd. Daarnaast raden we aan voor ieder kavel de CO<sub>2</sub>-uitstoot per geleverde GJ-warmte uit te rekenen en mee te geven als resultaat. Dit resultaat kan naast de duurzaamheidsnorm gelegd worden. Afhankelijk van de toepassing van Vesta, kan de gebruiker de bronnen die niet aan de duurzaamheidsnorm voldoen, uitzetten.

#### 2.6 Leercurves

Kengetalwaarden zullen in de toekomst veranderen. Dat komt met name door ontwikkelingen in materiaalprijzen, arbeidskosten en productiviteit. Productiviteitsverhoging komt voort uit met name standaardisatie, schaalgrootte, innovatie en verbetering van bedrijfsprocessen. Omdat deze ontwikkelingen onzeker zijn is er de mogelijkheid leercurves toe te passen. Dezen zijn geschat op basis van historische ontwikkelingen en marktprognoses.

## 2.6.1 Huidige modellering

Vesta MAIS gebruikt zeven warmtenetleercurves die de ontwikkeling beschrijven voor de jaren 2020, 2030, 2040 en 2050.

De meeste curves beschrijven kostenontwikkelingen. Leercurves hebben een onderwaarde (pessimistisch verloop) en een bovenwaarde (optimistisch verloop). In de pessimistische curve blijven kosten gelijk aan de 2020-waardes. De optimistische curven staan in Tabel 3. Het model gebruikt standaard de gemiddelde waardes.

Tabel 3 - Optimistische warmtenetleercurves Vesta MAIS

Beschrijving	2020	2030	2040	2050	Bron
Warmtenetten algemeen	100%	79%	69%	63%	Kostprijsmodel WG7 ST-GO
Warmtenetten in pandig	100%	75%	66%	60%	Kostprijsmodel WG7 ST-GO
Aansluitkosten warmtenet	100%	80%	70%	64%	Kostprijsmodel WG7 ST-GO
Verliezen in warmtenetten	100%	72%	63%	58%	Kostprijsmodel WG7 ST-GO
O&B in warmtenetten	100%	83%	73%	66%	Kostprijsmodel WG7 ST-GO
LT-bronnen voor warmtenet	100%	55%	48%	44%	Kostprijsmodel WG7 ST-GO
Geothermiebronnen	100%	74%	65%	55%	EBN/TNO play-based portfoliobenadering

## 2.6.2 Inzichten warmtebedrijven

We hebben de warmtebedrijven gevraagd welke kostenontwikkelingen ze voorzien op de middellangetermijn en naar hun kijk op het gebruik van leercurves in Vesta MAIS. Geen van de bedrijven heeft kwantitatief gegevens aangeleverd voor het opstellen van leercurves. Dat komt onder andere omdat de bedrijven hier in de praktijk nauwelijks voorspellingen op doen, maar ook omdat de mate van onzekerheid erg groot is. Wel hebben de bedrijven kwalitatief inzicht gegeven in de verwachte ontwikkelingen.

In de afgelopen jaren zijn de kosten voor met name materialen en arbeid sterk gestegen. Op de middellangetermijn adviseren de bedrijven daarom voorzichtig te zijn met het aannemen van structurele kostendalingen in materiaal- en arbeid. Wat betreft productiviteitswinsten door schaalvergroting en slimmer werken voorzien de bedrijven nauwelijks leereffecten in het algemeen aanleggen en onderhouden van HT/MT-warmtenetten. Omdat er op dit moment weinig ervaring is met LT-netten en geothermiebronnen voorzien de bedrijven hier nog wel mogelijke kostendalingen. Verder hebben de warmtebedrijven de afgelopen jaren ervaring opgedaan met het aansluiten van bestaande bouw. De benodigde in pandige installatie- en bouwtechnische werkzaamheden verschillen in de praktijk veel tussen verschillende woningtypes. Het is voorstelbaar dat warmtebedrijven hierin middels procesverbetering de kosten omlaag kunnen krijgen, maar hoe groot dat effect is, is lastig te zeggen.

Wat betreft ontwikkelingen in de leidingverliezen spelen er twee belangrijke overwegingen. Enerzijds zullen door middel van betere sensor- en regelinstallaties in zowel het warmtenet als de binneninstallaties leidingverliezen omlaag gebracht worden. Anderzijds hangt het procentuele leidingverlies af van de technische ontwikkelingen in het warmtenet zelf. Denk aan de leidinglengte per meter, betere isolatie, andere gemiddelde temperaturen, etc. Ondanks dat nieuwe netten door betere isolatiewaarden lagere temperaturen zullen kennen, zal daarmee ook de jaarlijkse warmtevraag dalen. Per saldo verwachten we dat de warmteverliezen wel af zullen blijven nemen.

### 2.6.3 Aanbeveling voor Vesta MAIS

Op basis van literatuuronderzoek en de input van warmtebedrijven raden we aan om de huidige leercurves voor nu te behouden. Er zijn geen studies gevonden of gegevens verkregen waarmee we nieuwe leercurves kunnen kwantificeren. In Tabel 4 vatten we de feedback van warmtebedrijven kwalitatief samen met een eigen inschatting van de trendontwikkeling. Deze inschattingen zijn over het algemeen minder optimistisch dan de Vesta's optimistische leercurvewaarden.

Tabel 4 - Kwalitatieve inschatting ontwikkeling warmtenetleercurves Vesta MAIS

Beschrijving	Inschatting ontwikkeling
Warmtenetten algemeen	Weinig reductie tot mogelijke stijging
Warmtenetten inpandig	Redelijke tot weinig reductie
Aansluitkosten warmtenet	Redelijke tot weinig reductie
Verliezen in warmtenetten	Redelijke tot weinig reductie
O&B in warmtenetten	Weinig reductie tot mogelijke stijging
LT-bronnen voor warmtenet	Aanzienlijke tot weinige reductie
Geothermiebronnen	Redelijke tot weinige reductie

Omdat de warmtebedrijven minder optimistische trends voorzien dan de huidige optimistische curve, raden de bedrijven aan om de huidige methodiek van het nemen van een gemiddelde van de optimistische- en pessimistische curve te veranderen. In plaats van de modelgebruiker standaard het gemiddelde te geven, zou het pessimistische scenario (gelijkblijvende kostenposten) de standaard moeten zijn. De modelgebruiker zal dan, indien gewenst, binnen de scenario-instellingen expliciet leereffecten aan moeten zetten. Ook zou een gevoeligheidsanalyse op specifiek de leercurves door de modelgebruiker standaard moeten zijn. Als PBL dit advies overneemt zou het deze aanpak ook voor overige leercurves, voor onder andere individuele technieken, moeten doorvoeren. Wij raden aan om het advies van warmtebedrijven over te nemen en de leercurves standaard op pessimistisch te zetten.

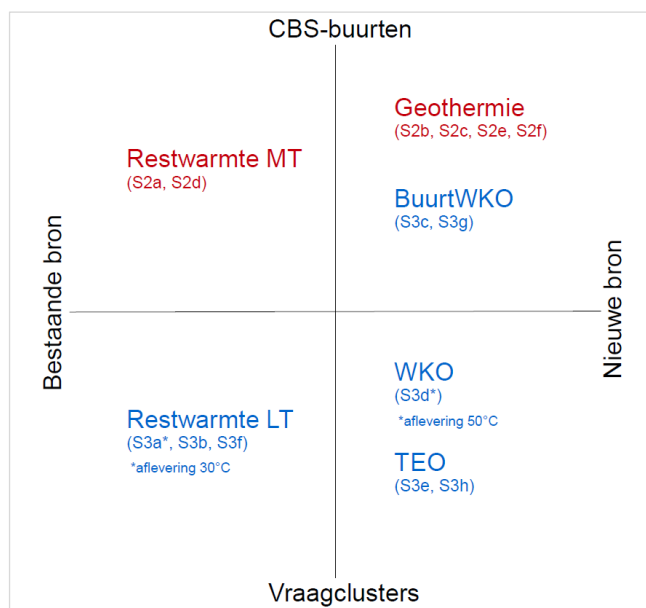
## 2.7 Technische mogelijkheid uitbreiding

In deze paragraaf lopen we de mogelijkheden tot technische uitbreiding van het model af. Dit zijn het toevoegen van nieuwe warmtebronnen, het modelleren van seizoensverschillen in de warmtevraag, introduceren van capaciteitsrestricties op warmtebronnen en de modellering van de split incentive en huurverlagingen bij gebiedsopties.

### 2.7.1 Nieuwe warmtebronnen (ondiepe geothermie, TEA en TED)

Vesta MAIS bevat op dit moment niet alle mogelijke warmtebronnen. Figuur 6 geeft een overzicht van de MT- en LT-bronnen, en de manier waarop deze in het model zitten. In dit overzicht ontbreken ondiepe geothermie, TEA en TED als warmtebronnen. TEA en TED zitten momenteel enkel in Vesta waar het puntbronnen betreft (zoals RWZIs of gemalen) maar nog niet bij lijnbronnen zoals affluentleidingen. Op basis van de beschikbaarheid van kaartlagen en gegevens bepalen we of en hoe we deze bronnen aan Vesta kunnen toevoegen. Hierbij doen we een implementatievoorstel op basis van de huidige Vesta-warmtebronmethodieken.

Figuur 6 - Warmtebronnen Vesta MAIS



Bron: PBL.

## Ondiepe geothermie

Ondiepe geothermie is warmte onttrokken uit de ondergrond tussen 500 en 1.000 meter diepte (Platform Geothermie, 2019). Temperatuur in deze laag ligt tussen 30 en 50°C. In Scandinavië gebruikt men ondiepe geothermie op meerdere plekken, vaak in combinatie met een warmtepomp om zo MT-warmte te leveren (Midttømme, 2014).

Het ECW heeft potentiecontourbestanden beschikbaar voor ondiepe geothermie (ECW, 2019). Ondiepe geothermie (LT) kan zo op dezelfde manier als de huidige geothermie (MT) in Vesta verwerkt worden. De kostenkengetallen voor de investering in ondiepe geothermie zijn beschikbaar in het Eindadvies Basisbedragen SDE++ (PBL et al., 2021).

De inzet van ondiepe geothermie in een warmtenetconfiguratie kan op dezelfde manier als LT-bronnen nu. In plaats van als bestaande puntbron kan dit als nieuwe bron. We schatten op basis van het voorgaande de technische mogelijkheid om ondiepe geothermie aan Vesta toe te voegen positief in.

## Thermische Energie uit Afvalwater (TEA)

TEA, ook wel riothermie, omvat onttrekking van energie uit afvalwater op woningniveau, rioolgemalen en rioolpersleidingen. TEA kan op LT-niveau worden ingezet.

De Warmteatlas bevat publiekelijk beschikbare TEA datalagen (RVO, lopend). Specifiek zijn dit de lagen:

- AquathermieRWZI (puntbronnen);
- AquathermieRioolGemalen (puntbronnen);
- AquathermieEffluent (verbinding vanaf/naar RWZI).

Het huidige Vesta invoerbestand ‘Restwarmte LT’ bevat al restwaterzuiveringsinstallaties en gemalen. Het aanvullen van effluentdata vereist een aanpassing op de huidige punt-bronnenmethode. De effluentleidingen kunnen in plaats van als puntbron, als lijnbron gemodelleerd worden. Een van de betrokken warmtebedrijven ontwikkelt op dit moment een project met aquathermie, waarbij het effluent van een RWZI als bron wordt gebruikt.

Vanuit de literatuur zijn er geen aanwijzingen dat er, vergeleken met andere LT-bronnen, bij TEA unieke warmtenetconfiguraties mogelijk zijn. Onze aanbeveling is daarom om de huidige modellering te behouden en indien wenselijk effluentleidingen toe te voegen aan een potentiecontour.

## Thermische Energie uit Drinkwater (TED)

TED omvat onttrekking van energie uit drinkwater. De potentie van TED is afhankelijk van de capaciteit van waterleidingen in een buurt (WarmingUp, 2021a) en de warmteproductie bij waterzuiveringsinstallaties. De technische potentie van TED (4-6 PJ) is een stuk kleiner dan dat van TEA (70 PJ) en TEO (150 PJ) (CE Delft, 2018).

Stowa heeft een potentiekaart (per CBS-buurt) van TED beschikbaar in GJ/jaar. Deze is niet openbaar beschikbaar, maar mogelijk wel opvraagbaar. Deze kan op eenzelfde manier als de huidige TEO-laag worden toegevoegd aan Vesta MAIS. De TED potentie is aangegeven per CBS buurt, het is dus niet nodig om de drinkwaterleidingen zelf als bron te modelleren. Op basis van deze data kunnen bronnen voor TED als puntbronnen in het midden van de buurt gemodelleerd worden. Op basis hiervan schatten we de technische mogelijkheid voor toevoeging wel in als haalbaar, maar niet als een prioriteit. De gesproken warmtebedrijven hebben niet aangegeven op dit moment projecten te doen met TED als warmtebron.

### 2.7.2 Warmtevraagverdeling over seizoenen

De vraag naar warmte is het grootste in de wintermaanden. In de zomermaanden neemt de vraag sterk af. Het warmteaanbod volgt dit verloop van warmte niet altijd. Sommige bronnen, zoals een gasketel of biomassacentrale, zijn goed te regelen. Hun warmteproductie kan in de koude maanden flink verhoogd worden. Andere bronnen, zoals geothermie en industriële restwarmte, hebben vaak een constante productie door het jaar heen. Het warmteaanbod sluit hier niet altijd aan bij de warmtevraag.

De huidige warmtenetten hebben daarom meerdere bronnen. Bijvoorbeeld een geothermie-bron die de basislast levert en een goedregelbare bron zoals een gasketel als aanvulling. Het is ook mogelijk om meerdere bronnen ‘te stapelen’, een hoofdbron, een middenlast-bron en een piekbron.

Een seizoensbuffer biedt hiervoor een alternatief. Een seizoensbuffer slaat in de zomer warmte van de hoofdbron op en geeft deze in de winter af. Zo wordt een groter gedeelte van de jaarlijkse warmtevraag geleverd uit de hoofdbron.

## Huidige modellering

De huidige modellering van Vesta MAIS houdt rekening met de warmtevraagverdeling over het seizoen in de inschatting van het aantal vollasturen van de hoofdbron. Vesta veronderstelt dat de hoofdbron een zo groot mogelijk deel van de warmtevraag invult. De hoofdbron produceert in de zomer niet op vol vermogen. Daarom rekent Vesta MAIS met een lager aantal vollasturen. De jaarwarmteproductie (in GJ) is dan dus ook lager dan de theoretische



potentie van de bron. Het maximale aantal panden dat de bron kan beleveren is daarmee ook lager. Vesta MAIS rekent met een piekbron voor de resterende warmtevraag.

Deze modellering voldoet voor een warmtenet dat bestaat uit een hoofdbron met een piekkel. Met deze modellering mist Vesta MAIS de potentie die seizoenopslag biedt en de voordelen van het stapelen van warmtebronnen.

### **Aanbeveling voor Vesta MAIS**

De warmtebedrijven geven aan dat seizoenopslag en het stapelen van warmtebronnen nu nog niet of nauwelijks in de praktijk wordt toegepast. We raden aan de ontwikkelingen op dit gebied te blijven volgen, maar voorlopig nog geen verdeling van de warmtevraag over het seizoen te modelleren in Vesta.

### **2.7.3 Maximale capaciteit geothermie, aquathermie en wko**

Voor geothermie, aquathermie en wko gaat Vesta niet uit van de bestaande bronnen, maar van een contourenkaart waarop is aangegeven waar wel en niet deze warmtetechnieken technisch mogelijk zijn of zijn toegestaan. Dit is een binaire kaart; geothermie kan wel of niet toegepast worden op een bepaalde locatie. Er wordt verder geen limiet aan de hoeveelheid beschikbare warmte gegeven. De huidige aanname in Vesta is dat er oneindig warmte beschikbaar is.

#### **Geothermie**

Voor geothermie is de aanname van oneindige beschikbaarheid van warmte niet onrealistisch, mits er voldoende doubletten gerealiseerd kunnen worden. Er zijn uiteenlopende schattingen van de hoeveelheid aardwarmte die in Nederland die jaarlijks geproduceerd zou kunnen worden, 85-1.000 PJ/jaar. Uit een studie uit 2012 van TNO komt dat bij een verdeling van geothermie warmte over 1.000 jaar, er jaarlijks minimaal 85 PJ beschikbaar is, met vermogens per doublet tussen 10 en meer dan 20 MWth (Kramers, 2012). Gasunie schat in een onderzoek dat er circa 1.000 PJ jaarlijks beschikbaar is. (PBL, 2017) Een latere studie van EBN verwacht een potentieel van meer dan 1.000 PJ per jaar (Platform Geothermie et al., 2018). Het totale bekende warmteverbruik in Nederland is 1.040 PJ (Rijkswaterstaat, 2019). Volgens EBN heeft geothermie dus voldoende potentie om heel Nederland van warmte te voorzien.

De potentiekaart voor geothermie in Vesta 5.0 komt van ThermoGIS. In de ThermoGIS zijn ook vermogenskaarten beschikbaar. Deze kaarten geven aan welk vermogen behaald kan worden en wat de waarschijnlijkheid hiervan is (10, 50, 90%) (TNO, 2021).

Dit zijn vermogens per doublet en kunnen gebruikt worden als limiet voor geothermie. De warmtebedrijven geven aan dat het vermogen van een geothermieput varieert per locatie. Voor een doublet worden vermogens van 15 of 20 MWth genoemd. Maar het is mogelijk op één locatie meerdere doubletten te realiseren. Het vermogen van een doublet is dus niet limiterend voor het vermogen van een geothermiebron.

## Thermische Energie uit Oppervlaktewater (TEO)

In de viewer van STOWA staan contouren voor de potentie van TEO, inclusief het aantal GJ dat die bron per jaar kan leveren (STOWA, 2021). Deze waarden kunnen als limiet per contour gebruikt worden. Grote wateren of lange rivieren zijn vaak in meerdere contouren (maar niet in lijnen) opgesplitst. Elke contour kan dan als losse bron van warmte met zijn eigen beschikbaarheid aan energie worden gezien.

## Wko

Het maximale vermogen van een wko-installatie hangt af van lokale en ondergrondse omstandigheden. Uit gesprekken met warmtebedrijven blijkt dat het maximale debiet ( $m^3$  water die per uur omhoog gepompt wordt) enorm kan variëren (tussen 10 en 200  $m^3/u$ , dat komt overeen met 100-2.300 kW bij een delta T van 10 graden). Voor gesloten systemen kan dit gelimiteerd zijn door de overheid. Open systemen zijn vaak groter. Ook hier kan het debiet gelimiteerd zijn door de overheid.

## Aanbeveling voor Vesta

Voor geothermie raden we, op basis van de inschatting van EBN voor de potentie en de input van warmtebedrijven, aan de huidige methode voor geothermie te behouden. Er is in dat geval voldoende geothermie beschikbaar voor heel Nederland, een limiet voor geothermie heeft dus geen toegevoegde waarde.

Voor TEO raden we aan een limiet toe te voegen en hiervoor de potentie uit de kaart van STOWA over te nemen.

In de literatuur over wko-installaties vinden we geen maximale limiet. Ook vanuit de warmtebedrijven is geen waarde voor een maximale limiet gekomen. We raden dus aan de huidige methode voor wko's te behouden.

### 2.7.4 Split incentive

In een verhuurderssituatie is er sprake van een split incentive wanneer een investering lagere energiekosten tot gevolg heeft. De investering wordt gedaan door de verhuurder, terwijl de lagere energiekosten ten goede komen aan de huurder. De investeringsafweging voor verhuurders is zo minder aantrekkelijk dan voor eigenaar-bewoners.

## Huidige modellering

Vesta MAIS berekent de rentabiliteit van een investeringsbeslissing voor de eindgebruiker. Hierin maakt het model de aanname dat een deel van de baten door energiebesparing teruggaat naar de gebouweigenaar via de gebouwgebruiker. Daartoe zijn twee split incentive parameters opgenomen, één voor vastrecht en één voor verbruik. Via deze parameters kan de modelgebruiker een percentage invoeren dat staat voor het naar de gebouweigenaar teruggeluisde aandeel. Standaard is dit 80%.

## Aanbeveling voor Vesta MAIS

We raden aan om aan te sluiten bij de aanpak van het Dashboard Eindgebruikerskosten (TNO, 2021). Daarin worden de investeringskosten verhaald op de huurder in de vorm van een huurverhoging, waardoor de split incentive situatie minder vaak voorkomt. De volledige baten en lasten gerelateerd aan de verduurzamingsinvestering worden dus verrekend alsof de verhuurder een eigenaar-bewoner is, die in ruil daarvoor een huurverhoging toepast. De berekeningsmethode van de huurverhoging van het Dashboard Eindgebruikerskosten verschilt voor de sociale- en particuliere huursector. Vesta maakt geen onderscheid tussen deze sectoren. We beschrijven de verschillen tussen de twee sectoren, en hoe dit uitpakt voor de voorgestelde aanpak.

De Huurcommissiemethode schrijft voor dat de huurverhoging in de particuliere huursector wordt getoetst op redelijkheid aan de hand van een berekening. In deze berekening worden maandelijkse kosten volgens een financieringsmodel voor de verhuurder in kaart gebracht, met een rentepercentage van 1,55% (Ministerie van BZK, 2021). Alleen investeringskosten die bijdragen aan een verbetering van de woning mogen op deze manier worden verrekend. Over het arbeidsdeel van de investering rekent het Dashboard Eindgebruikerskosten 9% btw, over de rest 21%. Vesta MAIS kan de huurverhoging van private huurders zo berekenen met een verdiscontering van de investering over de economische levensduur.

De sociale huursector heeft door huurplafonds beperkt mogelijkheden om investeringen te verhalen op huurders. Aedes geeft wel aan dat corporaties vaak rond de 70% van de maximale huur vragen, waardoor er in veel gevallen wel ruimte voor kan zijn (Derksen, 2021). Over het algemeen maken corporaties in de keuze voor verduurzamingsmaatregelen een afweging tussen de hoogte van de investering en de effecten op de woonlasten van huurders. Die afweging maakt iedere corporatie anders, waardoor het modelleren van de split incentive niet eenduidig mogelijk is. Echter heeft de corporatiesector, mede door haar maatschappelijke aard, wel uitgesproken verduurzamingsdoelen. Waar de split incentive in de private huursector een reden kan zijn om niet te verduurzamen, speelt dat in de sociale sector dus minder. We raden daarom aan om, net als bij de private huursector, aan te nemen dat de verhuurder de lastenstijging volledig kan verhalen op de huurder.

Door dezelfde aanpak te gebruiken voor de private en sociale huursector hoeft Vesta MAIS niet op gebouwniveau aannames te maken over de soort verhuurder. Praktisch betekent deze aanbeveling dat de investeringsbeslissing in huurwoningen dezelfde wordt als die van een eigenaar-bewoner.

### 2.7.5 Huurverlaging LT-warmtenet

Bij het overgaan van een individueel- naar een collectief verwarmingssysteem daalt de maximale huur die een verhuurder volgens het puntensysteem mag vragen (Huurcommissie, 2021). In de situatie dat dit collectieve systeem een LT-warmtenet is, krijgt de woning een aanvullende warmtepomp of booster. Omdat dit een verwarmingsinstallatie in de woning betreft, is het onduidelijk welke huurverlaging gangbaar is.

### Huidige modellering

Op dit moment wordt huurverlaging alleen toegepast bij MT-warmtenetten. Deze huurverlaging gebeurt op basis van een instelbare huurschuif (default waarde is 0,5) en een vast kostengetal (€ 160 per aansluiting per jaar). Daardoor is een gemiddelde huurverlaging € 80 per aansluiting per jaar.

## Aanbeveling voor Vesta MAIS

We raden aan om de huurverlaging voor MT-warmtenetten ook toe te passen bij LT-warmtenetten. Door dit te doen volgt Vesta MAIS de methodiek van het Dashboard Eindgebruikerskosten (TNO, 2021). In het dashboard wordt de investering in een warmtepomp of booster gedragen door het warmtebedrijf. Deze verrekent de kosten via de warmtetarieven. In een dergelijke eigendomssituatie is het volledige systeem in handen van het warmtebedrijf en betreft het een collectieve warmtevoorziening conform de Warmtewet (Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, 2021). We stellen voor om deze aanname over te nemen in Vesta. Op basis van verder literatuuronderzoek en inzichten van warmtebedrijven stellen we voor het huidige kostenkengetal niet aan te passen.

## 2.8 Eindgebruikerskosten LT-netten

Naast nationale kosten, doet Vesta MAIS ook een inschatting van de eindgebruikerskosten. Dit zijn de kosten die een pandeigenaar betaalt en ontvangt bij de omschakeling naar een duurzamere warmtetechniek. Dit omvat investeringskosten, energiekosten en overige kosten zoals onderhoudskosten. De huidige modellering van Vesta MAIS baseert zich voor de eindgebruikerskosten van netten die leveren op lagetemperatuur nog grotendeels op de aanpak en kengetallen van netten die leveren op middentemperatuur. Toch verschillen de twee type warmtenetten. LT-netten leveren een lagere temperatuur en kunnen soms ook koude leveren, maar de afgiftetemperatuur is soms onvoldoende voor warmtapwaterbereiding.

### 2.8.1 Koudelevering

Vesta MAIS neemt aan dat alle gebouwen een koudebehoefte hebben (PBL, 2021). Vesta MAIS kent momenteel één configuratie die koude kan leveren, namelijk een wko van 20°C opgewaardeerd naar 50 of 70°C (zie Paragraaf 2.1.1). Voor de andere configuraties kan de koudevraag worden ingevuld met een airconditioner naast de warmteaansluiting.

Vijfde generatie bronnetten kunnen ook koude leveren. Deze configuraties zitten nu niet in Vesta MAIS. Vooruitlopend op een dergelijke configuratie, kijken we hier naar de kosten en tarieven van koude bij de afnemer.

De tarieven voor kleinverbruikers zijn gereguleerd via de warmtewet. Deze tarieven zijn gelijk voor wko-netten en 5de generatienetten. Het vastrecht is maximaal € 277,88 incl. btw of € 229,65 excl. btw (ACM, sd). De maximumprijs per GJ-koude is gelijk aan de GJ-prijs voor warmte. Warmtebedrijven rekenen woningen vaak geen kosten toe voor koudegebruik (TKI Urban Energy, lopend). Het koudegebruik helpt namelijk om de warmtebalans van het net te herstellen.

Vesta rekent voor warmtelevering met de maximale GJ-prijs vanuit de warmtewet. De aanpak voor de koudelevering zou hetzelfde moeten zijn.

Als alternatief kan er gewerkt worden met kostendekkende tarieven. Met oog op de introductie van Warmtewet 2.0 blikken we hierop vooruit. Dit sluit ook aan bij de methode voor het bepalen van de maximale vastrechtstarieven voor koudelevering die RVO beschreef in 2019 (RVO, 2019). Het uitgangspunt voor de maximale koudetarieven is dat het netwerk exploiteerbaar moet zijn. Dit uitgangspunt trekken we door naar de GJ-tarieven. Vanuit dit uitgangspunt moeten GJ-tarieven de productiekosten van de koude en de leidingverliezen dekken. De overige, vaste kosten worden immers al gedekt door het aansluittarief en vastrechtstarief. De productiekosten voor koude hangen af van de warmtenetconfiguratie, of



specifiek de bron van de koude. Bij een wko kan gewerkt worden met enkel een vastrecht voor koude, en bij 5de generatie kunnen de kosten gerelateerd worden aan de kosten van elektriciteit om koude te produceren (WarmingUp, 2022).

### **2.8.2 LT-warmtetarieven**

Vesta hanteert momenteel dezelfde methode voor het berekenen van de eindgebruikerskosten voor LT-netten als voor MT-netten. Ook de ACM hanteert voor beide type warmtenetten dezelfde berekeningsmethode. Vanuit de literatuur is er dus geen aanleiding om Vesta's methode te herzien.

### **2.8.3 Aanbevelingen voor Vesta MAIS**

We raden aan om de tarieven voor koudelevering en laagtemperatuurwarmte over te nemen van de ACM-maximumtarieven, totdat de nieuwe warmtewet in werking treedt (zie Paragraaf 2.5). Na de introductie van de warmtewet zouden de tarieven kostendekkend moeten zijn. Dit hangt af van de configuratie. We raden aan dit te bepalen als bekend is welke 5de generatie warmtenetten aan Vesta worden toegevoegd.

## 3 Update kengetallen

In dit hoofdstuk lopen we de warmtenetkengetallen in Vesta na, en valideren we op basis van literatuur en aangeleverde kengetallen van warmtebedrijven de waardes. Inpandige kosten omschrijven we in een aparte paragraaf, waarin we niet alleen de getallen maar ook de methodiek bespreken. Waar nieuwe inzichten beschikbaar zijn doen we een voorstel tot aanpassing.

### 3.1 Financieel (discontovoet en afschrijving)

Met de discontovoet berekent Vesta de rentabiliteitsafweging van een investering. Dit getal reflecteert de kapitaalkosten voor de investerende partij. Daarmee is de discontovoet een risicoschatting van de investering, hoe hoger de waarde hoe groter het risico. Een discontovoetwaarde is hierdoor altijd gekoppeld aan de afschrijvingstermijn van de investering. Vesta gebruikt één standaarddiscontovoetwaarde per eindgebruiker. De afschrijvingstermijn is afhankelijk van de component zelf, en is voor warmtenetten doorgaans 30 jaar.

Bij de interpretatie van de discontovoet is de aard van het type investering van belang. Investerings in warmtenetten zijn verzonken kosten die in theorie voorspelbaar renderen. Daarbij hoort doorgaans een lagere discontovoetwaarde (Ministerie van Financiën, 2020). Toch lijken warmtebedrijven in de praktijk een hogere risicowaardering te doen voor warmtenetten, met name door het vollooprisico (de Graaf & Das, 2021). Investerings in warmtenetten worden daarom vaak in verschillende fases gedaan, waarbij de risicoschatting in de latere fases lager is dan in de eerdere.

#### 3.1.1 Eindgebruikerskosten

Discontovoeten voor eindgebruikers zijn opgesplitst in zeven actoren, te verdelen in drie groepen: maatschappelijk, woningeigenaren en utiliteitsbouweigenaren. We valideren de discontovoeten met waardes uit de literatuur en warmtebedrijven om tot nieuwe waardes te komen. Van jaar op jaar fluctueren de waardes vaak met een- of tweetiende procentpunt. Ondanks dat de discontovoet een erg gevoelige parameter is stellen we daarom alleen wijzigingen voor als er een wezenlijk verschil zit in waardes uit de literatuur en de huidige getallen. Tabel 5 geeft de huidige en voorgestelde discontovoeten van de eindgebruikers weer.

Tabel 5 - Discontovoeten eindgebruikers

Beschrijving	Waarde Vesta MAIS	Voorstel	Eenheid
Maatschappij	3	2,25	Procent
Eigenaren van bestaande woningen	5,5	5,5	Procent
Eigenaren van nieuwe woningen	5,5	5,5	Procent
Eigenaren van bestaande utiliteit	8	8	Procent
Eigenaren van nieuwe utiliteit	8	8	Procent
Eigenaren van bestaande glastuinbouw	8	8	Procent
Eigenaren van nieuwe glastuinbouw	8	8	Procent

De huidige maatschappelijke discontovoet is afkomstig van het 2015-advies van de Werkgroep Discontovoet, voor de nieuwe waarde beschouwen we het meest recente advies uit 2020 (Ministerie van Financiën, 2020). Hierin stelt de Werkgroep een standaarddiscontovoet van 2,25% voor, en een maatschappelijke discontovoet voor verzonken investeringen (gas- en elektriciteitsinfrastructuur) van 1,6%. We adviseren om de discontovoet in Vesta MAIS recht te trekken met dit advies van de Werkgroep Discontovoet.

In het 'Handboek Marktwaardering 2021' beschrijft Aedes de disconteringsvoet voor investeringen in corporatiewoningen (Aedes, 2021). In 2020 is de referentiedisconteringsvoet 5,29%. Op nieuwbouw wordt hierop een reductie van 0,22% toegepast. Ook fluctueert de discontovoet afhankelijk van de locatie in het land. Voor de vrije huursector en de koopsector zijn geen discontowaardes gevonden in de literatuur. Omdat de waarde van Aedes in de buurt komt van de huidige waarde en er geen beeld is van de overige sectoren adviseren we de huidige discontovoet te handhaven.

Voor de discontovoeten van utiliteitsbouw hebben we geen nieuwe literatuur gevonden. De discontovoeten die de warmtebedrijven hebben teruggegeven voor de posten zijn dezelfde als de huidige Vesta discontovoeten.

Concluderend bevelen we aan om de maatschappelijke discontovoet te verlagen naar 2,25% en de overige discontovoeten te handhaven.

### 3.1.2 Warmtenetten

De discontovoeten voor warmtenetten zijn in Vesta opgesplitst in vier actoren, die ieder een discontovoet hebben van 6% (zie Tabel 6). De afschrijvingstermijn van warmtenetcomponenten is 30 jaar. Gebouwinstallaties die nodig zijn in een sommige warmtenetconfiguraties, zoals boosterwarmtepompen, hebben een andere afschrijvingstermijn.

Tabel 6 - Discontovoeten warmtenetten

Beschrijving	Waarde Vesta MAIS	Voorstel	Eenheid
Energieproducenten	6	6,8	Procent
Wijkdistributeurs	6	6,8	Procent
Primaire transporteurs	6	6,8	Procent
Inpandige distributeurs	6	6,8	Procent

Tabel 7 - Afschrijving warmtenetten

Beschrijving	Waarde Vesta MAIS	Voorstel	Eenheid
Afschrijving warmtenetten	30	-	Jaar
Gebouwen	30	30	Jaar
Warmte- en distributienet	30	30	Jaar
Installaties	variabel	20	Jaar
Warmtemeters en afleverset	15	15	Jaar

De Template Businesscase Warmtenetten van het ECW (ECW, 2020) baseert de disconteringsmethode op het Eindadvies Basisbedragen SDE++ (Lensink & Schoots, 2020). Deze methodiek maakt onderscheid tussen rendementsvereisten van vreemd vermogen en eigen vermogen. Rendement op vreemd vermogen is 2%, eigen vermogen 12%. Bij een verhouding

van 70/30 (vreemd/eigen vermogen) en een afschrijvingsperiode van 30<sup>2</sup> jaar is de gemiddelde discontovoet hierdoor 5,5%. Dit is lager dan de huidige discontowaarde in Vesta. De warmtebedrijven geven aan met een projectrendement van 6,8% te rekenen. Rebel geeft aan dat een discontovoet tussen de 5 en 8% reëel is.

De Template van het ECW geeft gebruikers de ruimte om de financieringsstructuur en het projectrendement vrij in te vullen. Doordat dit in de praktijk uiteenlopende getallen oplevert, hoeft de standaardwaarde uit het Template niet representatief te zijn. Op basis hiervan bevelen we aan om de huidige waardes niet te veranderen op basis van het Template. Aanpassingen aan de discontovoet kunnen beter worden getoetst aan de praktijk.

## 3.2 Buisleidingen

### 3.2.1 Warmtenetdemarcatie en buisleidingkostencomponenten

Vesta en de warmtebranche refereren op sommige plekken aan naar componenten in het warmtenet waardoor er spraakverwarring op kan treden. We herdefiniëren daarom de Vesta componenten in een warmtenet in Figuur 7. De buisleidingen in een net zijn fysiek op te delen in de volgende vijf onderdelen:

1. **Transportnet** - In een configuratie waar de warmtebron ver staat van het warmtevraaggebied wordt middels het transportnet warmte van de bron naar een warmteoverdrachtsstation (WOS) gebracht. Veel van de huidige warmtenetten hebben geen transportnet en WOS.
2. **Primair distributienet** - Vesta refereert hier ook wel aan als de hoofdleiding. Het betreft het net vanaf de warmtebron (of WOS, indien aanwezig) naar de onderstations (OS) toe. Onderstations worden ook wel regelstations (zonder hydraulische scheiding) genoemd, in het geval dat het onderstation inpandig is (bij een grote utiliteit), heet dit ook wel een afleverstation.
3. **Aansluitleidingen naar onderstations** - De leidingen die het primaire distributienet verbinden met de onderstations zijn aansluitleidingen. Vesta noemt dit de zijleidingen.
4. **Secundair distributienet** - Warmte wordt hierin gedistribueerd vanaf het onderstation naar de woningen. Tussen het secundaire net en de afleverset in het gebouw liggen, net als bij het primaire net, aansluitleidingen.
5. **Aansluitleidingen naar afleversets** - De leidingen die het secundaire distributienet verbinden met de afleverset in de woning of utiliteitsgebouw.

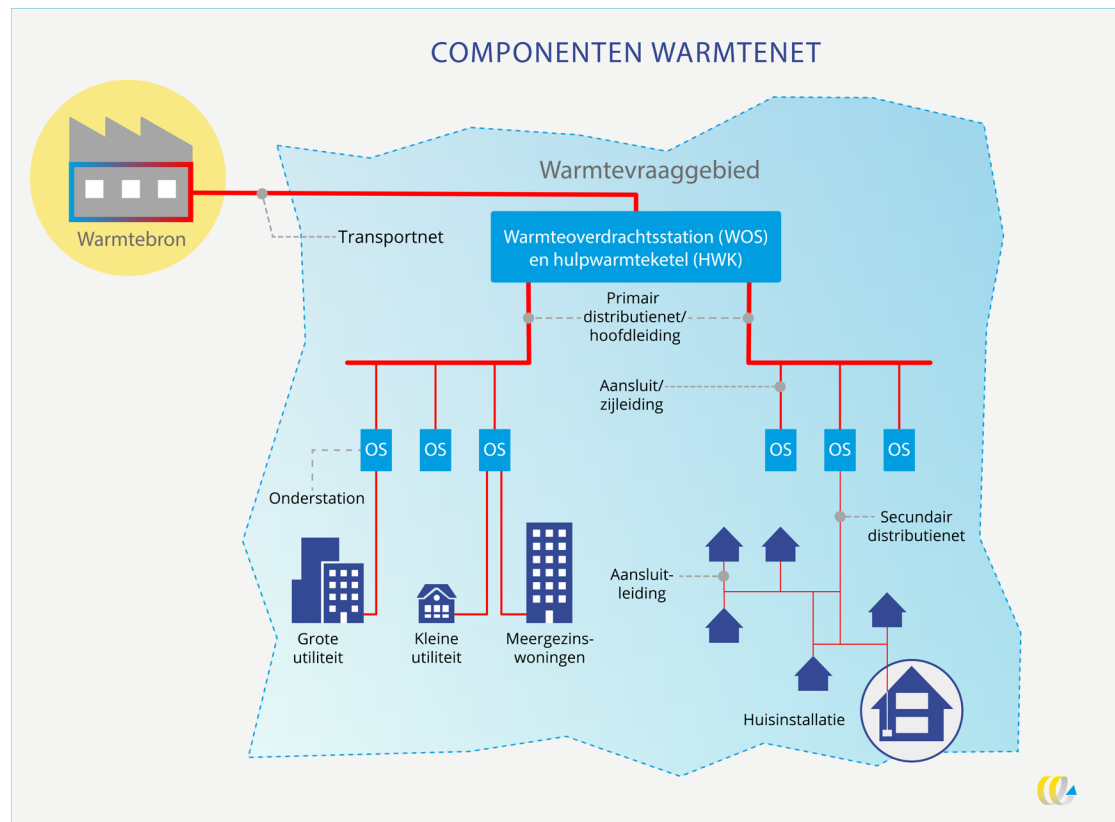
---

<sup>2</sup> Vesta MAIS berekent jaarlijkse kosten/baten op basis van een afschrijvingstermijn van de kapitaalgoederen van 30 jaar met de baten van warmtelevering gedurende 28 jaar. De afschrijvingsperiode is gerelateerd aan de leeftijd van de fysieke infrastructuur en blijft dus 30 jaar, terwijl het warmtenet slechts 28 jaar rendeert.





Figuur 7 - Schematisch overzicht van een warmtenet (configuratie met transport)



De buitenpandige kostencomponenten van een warmtenet betreffen onder andere:

- grondonderzoek;
- afzetting werk;
- bestrating openen en dichtmaken;
- sleuven graven;
- grondreiniging en afvoer;
- leidingen (materiaal);
- leidingen leggen (arbeid);
- kunstwerken doorkruizen (deels meegenomen in kostenkengetallen);
- engineering/ontwerp (niet meegenomen in kostenkengetallen);
- omgevingsmanagement (niet meegenomen in kostenkengetallen);
- projectmanagement.

De boekhoudmethoden van warmtebedrijven onderling lopen uiteen. Hierdoor rekent het ene warmtebedrijf een bepaalde kostenpost wel standaard mee en een andere niet als het gaat om de 'buisleidingkosten per meter'. In de sessie met de warmtebedrijven hebben we hier aandacht aan besteed, maar het blijft mogelijk dat de doorgegeven kosten tussen warmtebedrijven in niet exact dezelfde kostenposten beschrijven. EnTra Management geeft aan dat de kosten voor engineering, omgevingsmanagement en kunstwerken niet of deels meegenomen in het aangeleverde bedrag per meter van de warmtebedrijven.

De geaggregeerde kostenkengetallen (minimaal, maximaal en gemiddeld) voor het aanleggen van één meter tracéleiding, aangeleverd door de warmtebedrijven, staan in Tabel 8. De warmtebedrijven hebben deze getallen aangeleverd voor gangbare buisleidingdiameters (DN-maten). Ook Gasunie heeft voor een aantal grotere DN maten kostenkengetallen aangeleverd, gebaseerd op een tracé-analyse van WarmtelinQ (Vlaardingen-Den Haag). Deze zijn terug te vinden in Bijlage A. Een belangrijk verschil tussen de getallen van WarmtelinQ en die van warmtebedrijven is het meenemen van kunstwerken, zoals bijvoorbeeld het doorkruisen van waterwegen. Omdat Gasunie een tracé-analyse heeft gedaan zitten de kosten van deze kunstwerken wel in de meterprijzen, terwijl dit niet in de prijzen van warmtebedrijven zit.

Tabel 8 - DN-maten en buisleidingkosten

Buisleidingmaat	Prijs per meter		
	Minimaal	Maximaal	Gemiddeld
DN20	€ 300	€ 450	€ 375
DN25	€ 325	€ 460	€ 393
DN32	€ 342	€ 470	€ 406
DN40	€ 312	€ 526	€ 414
DN50	€ 476	€ 834	€ 627
DN80	€ 574	€ 888	€ 711
DN100	€ 644	€ 990	€ 811
DN150	€ 802	€ 1.273	€ 1.157
DN200	€ 1.394	€ 1.988	€ 1.480
DN250	€ 1.718	€ 2.485	€ 1.743
DN300	€ 2.066	€ 2.982	€ 2.129
DN350	€ 2.296	€ 3.216	€ 2.377
DN400	€ 2.632	€ 3.614	€ 2.745
DN450	€ 2.958	€ 4.016	€ 3.070
DN500	€ 3.535	€ 4.819	€ 3.628
DN600	€ 4.040	€ 5.480	€ 4.128
DN700	€ 5.994	€ 5.994	€ 5.994

### 3.2.2 Dimensionering en kosten van buisleidingen modelleren

Op dit moment stelt Vesta de kosten van buisleidingen met twee formules vast. Hierbij is er een hoog- en laagkosten formules die respectievelijk gesloten- en open bestratingssituaties beschrijven. Vesta neemt standaard het gemiddelde van deze formules. Door het benodigde vermogen van de buisleiding in te vullen verkrijgt je een europrijs per meter leiding:

$$K_{buis(max)} = 800 + 200 * P_{sec}^{0.6} \quad 6.$$

$$K_{buis(min)} = 400 + 210 * P_{sec}^{0.5} \quad 7.$$

De warmtebedrijven hebben aangegeven dat de huidige vermogen-gebaseerde modelleringswijze te ver afstaat van de praktijk. In de praktijk gebruikt men DN-maten (binnendiameter) van buisleidingen om kosten per meter te ramen. De huidige kostenformule in Vesta kent oorspronkelijk ook een relatie met DN-maten, maar deze methodiek is niet uitgebreid omschreven en bovendien moeten we de hoogte van de getallen herzien. Daarnaast is het zo dat het vermogen van een buis niet een-op-een verbonden is met de diameter. Ook het temperatuurverschil (delta T, of dT), de drukval over de leiding en de stroomsnelheid van het water spelen hierbij een rol. Om dichterbij de praktijk te komen



moeten we de modellering daarom aanpassen, zodat deze variabelen op een manier worden meegenomen in de afweging. Ten slotte geven de warmtebedrijven aan dat ‘open’ of ‘gesloten’ bestrating niet de enige verklarende factor voor de hoogte van de buisleidingkosten. Bijvoorbeeld het type ondergrond en de complexiteit van het tracé (kruisingen, waterwegen, etc.) spelen een vergelijkbaar grote rol in het bepalen van welk leidingmateriaal gebruik wordt, en daarmee hoe duur het aanleggen van een leiding is.

## Nieuwe kostenformules

Op basis van de feedback van de warmtebedrijven hebben we, in samenwerking met de warmtebedrijven, een nieuwe aanpak met bijbehorende kostenformules opgesteld. Het uitgangspunt van de methodiek blijft hetzelfde: door een specifieke vermogensvraag in te voeren berekenen we de buisleidingkosten per meter. We hebben de warmtebedrijven gevraagd om bij verschillende DN-maten voor specifieke delta T's de vermogens aan te leveren die daarbij horen. De drukvallen en stromingssnelheden die daarbij horen zijn door de warmtebedrijven zelf ingevuld op basis van hun eigen ervaringen. Ter referentie: vaak is de maximaal toelaatbare drukval genomen als 1 bar/km, en de maximaal toelaatbare stroomsnelheid van 3 meter per seconde (bij grotere DN maten).

Warmtenetten hebben afhankelijk van de specifiek configuratie een bepaald temperatuurverschil tussen de warmteaanvoer en -retour. In een groot transportnet zoals WarmtelinQ kan deze dT meer dan 70°C zijn, de dT in een primair distributienet is bijvoorbeeld 30-50°C, en in het secundaire distributienet in de wijk is dit vaak 30°C, maar kan het ook 10°C zijn. Met name de lagere dT's zullen vaker voorkomen bij LT-netten. Een lager temperatuurverschil betekent dat er door dezelfde buis minder vermogen kan worden getransporteerd. We stellen voor om in Vesta de warmtenetconfiguraties standaard te koppelen aan een typische delta T, en voor een beperkt aantal delta T's een kostenformule te construeren. Deze kostenformules werken op dezelfde manier als de bestaande formules. We hebben aan de hand van de informatie van warmtebedrijven gekozen om formules 10, 20, 30, 50 en 70°C op te stellen. Dit zijn typische temperatuurverschillen die vaak voorkomen in warmtenetten. We koppelen deze dT's in een latere paragraaf aan specifieke configuraties in warmtenet van Vesta.

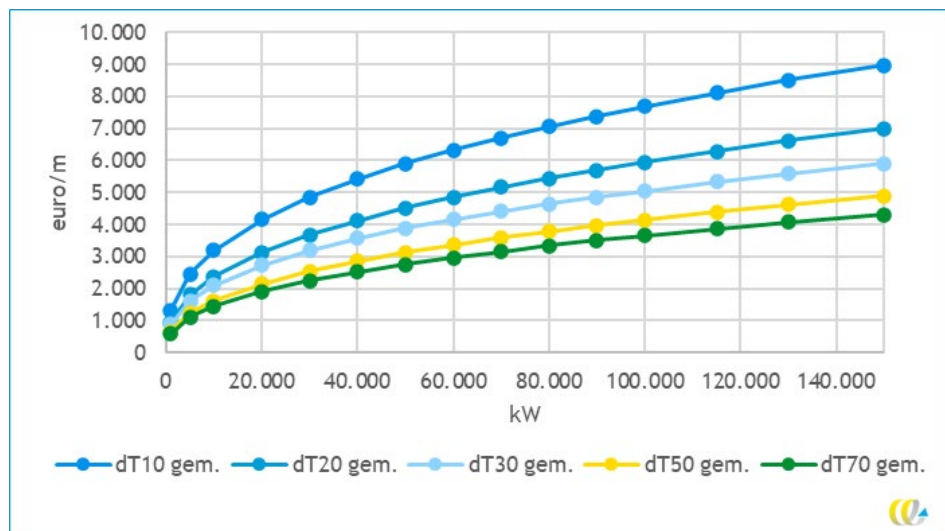
De opgestelde formules zijn als volgt.

$$\begin{array}{ll}
 K_{dT10(max)} = 1585.4 * P_{sec}^{0.36} & 1. \\
 K_{dT10(min)} = 1069.2 * P_{sec}^{0.41} & 2. \\
 \\
 K_{dT20(max)} = 1114.4 * P_{sec}^{0.38} & 3. \\
 K_{dT20(min)} = 776.1 * P_{sec}^{0.42} & 4. \\
 \\
 K_{dT30(max)} = 1075.5 * P_{sec}^{0.35} & 5. \\
 K_{dT30(min)} = 680.3 * P_{sec}^{0.41} & 6. \\
 \\
 K_{dT50(max)} = 890.4 * P_{sec}^{0.36} & 7. \\
 K_{dT50(min)} = 407.8 * P_{sec}^{0.48} & 8. \\
 \\
 K_{dT70(max)} = 320.5 * P_{sec}^{0.50} & 9. \\
 K_{dT70(min)} = 871.4 * P_{sec}^{0.33} & 10.
 \end{array}$$



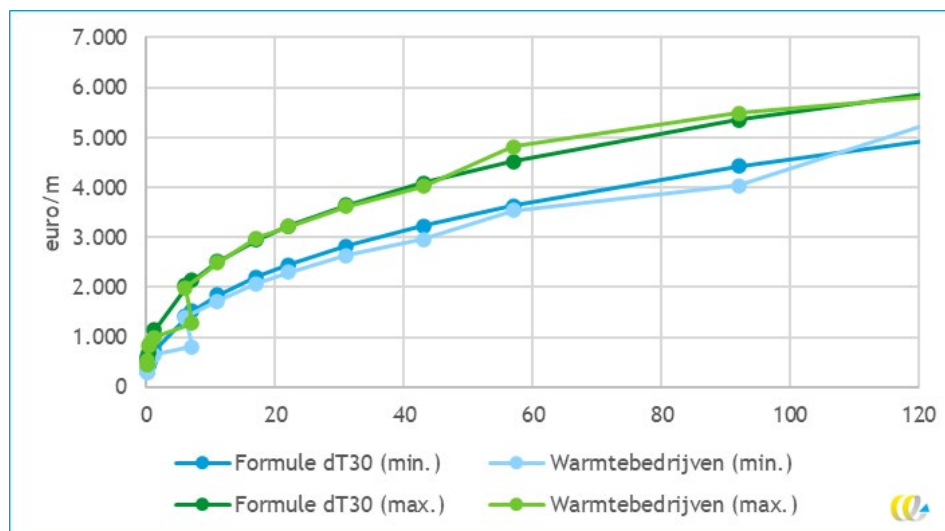
Het gemiddelde verloop van de kostencurves staat in Figuur 8. We zien aan het figuur dat hoe lager het temperatuurverschil, hoe hoger de kosten per eenheid getransporteerd vermogen. We laten voor de dT30-formule zien hoe deze vergelekt met de van warmtebedrijven verkregen data.

**Figuur 8 - Gemiddelde buisleidingkosten van warmtenetten bij verschillende temperatuurverschillen, geschat o.b.v. input warmtebedrijven**

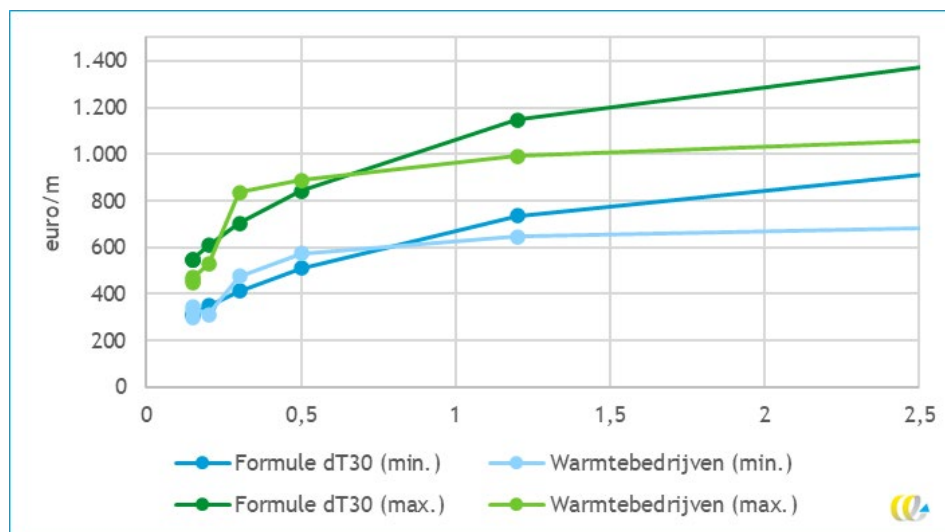


Figuur 9 en Figuur 10 laten voor de dT30-formule de afwijking met de getallen van de warmtebedrijven zien. Daarbij zijn de kleinere vermogens een aandachtspunt. Voor kleine vermogens (lager dan 10 MW) is het verschil tussen de fit en de praktijkwaarden groter dan voor vermogen boven 10 MW. Deze formule onderschat de kosten bij een lage vermogensvraag. Daarnaast is het zo dat de kleinste buismaat (DN20) en dT30-standaard wordt gebruikt bij vermogens lager dan 150 kW. De kosten per meter hebben daarom altijd een minimale waarde nodig. We stellen voor een minimale waarde te nemen van € 300 (min.) en € 450 (max.) per meter.

**Figuur 9 - Voorstel buisleidingkostenformule dT30, schaal voor grote vermogens (0-120 MW)**



Figuur 10 - Voorstel buisleidingkostenformule dT30, schaal voor kleine vermogens (0-2,5 MW)



In Bijlage B staat verdere informatie en grafieken over de kostenformules.

## Vergelijking oude formules en Template

We vergelijken de nieuwe kostenformules met de Template Businesscase Warmtenetten. Deze gebruikt op dit moment waarden op basis van Vesta MAIS, maar doet daar aanvullende aannames bij. Zo kosten in het Template de primaire leidingnetten gemiddeld 936 €/m, gebaseerd op een DN100-maat. Secundaire netten kosten 723 €/m, gebaseerd op een DN40-maat. Ook uit onze gesprekken met een van de warmtebedrijven kwam naar voren dat een typisch secundair net voor de meeste meters uit DN40- en DN50-leidingen bestaat.

De netten die gebruikt zijn voor het Template zijn vooral HT en MT-netten, dus evalueren we deze waarden aan de hand van respectievelijk de dT50- en dT30-formules. Op basis hiervan vinden we voor een dT50 primair net bij een vermogen van 2,5 MW een gemiddelde meterprijs van 933 €/m, bijna dezelfde als de oudere waarde. Voor een dT30 secundair net vinden we bij een vermogen van 400 kW een gemiddelde meterprijs van 591 €/m (bij de max formule is dit 657 €/m). Deze kosten per meter (genomen rond oktober 2021) sluiten zo redelijk aan bij de originele kostenformule: het primaire net is grofweg even duur en het secundaire net is iets goedkoper geworden.

## Modellering transport- en distributienet

We hebben de situaties waarbinnen Vesta de huidige buisleidingkostenformules gebruikt uitgesplitst aan de hand van de verschillende configuraties. Daarbij doen we een voorstel voor wanneer we welke kostenformule toepassen. De gegevens over retourtemperaturen hebben we van EnTra Management ontvangen. Dit overzicht staat in Tabel 9.

Tabel 9 - Vesta MAIS-configuraties en bijbehorende delta T's

Temperatuurniveau bron	Transport ?	Temperatuur bron/aanvoer (°C)	Na-verwarming?	Afgifte-temperatuur (°C)	Retour-temperatuur (°C)	Delta T	Kostenformule
ZLT	Nee	15	Ja	30	9	6	dT10
ZLT	Nee	15	Ja	50	9	6	dT10
ZLT	Nee	15	Ja	70	9	6	dT10
ZLT	Nee	15	Nee; koude	15	21	6	dT10
LT	Nee	30	Ja; TW	30	20	10	dT10
LT	Nee	30	Ja; TW + RV	50/30	15	15	dT20
LT	Nee	30	Ja; TW + RV	70/40	10	20	dT20
MT (wijk)	Ja	70	Nee	70/40	40	30	dT30
MT (transport)	Ja	80	Nee	-	40	40	dT50
HT (wijk)	Ja	90	Nee	90/50	50	40	dT50
HT (transport)	Ja	>90	Nee	-	40	70	dT70

De relatie tussen temperatuurniveaus en brontemperaturen in Vesta MAIS zijn niet volledig in lijn met die van de warmtebranche, zoals gedefinieerd in WarmingUp en MMIP 4 (TKI Urban Energy, 2021) (WarmingUp, 2020). In Tabel 10 staat een overzicht van deze verschillen. Vesta hanteert in specifieke configuraties en op specifieke punten in het net alternatieve temperaturen, zoals aangegeven in Tabel 9.

Tabel 10 - Temperatuurniveaus

Temperatuurniveau	Brontemperaturen Vesta MAIS	Brontemperaturen WarmingUp	Brontemperaturen MMIP
HT	Standaard 70°C.	> 70°C	> 75°C
MT	HT- en MT-bronnen worden gelijk behandeld en temperaturen kunnen specifiek zijn aan een bepaalde bron op basis van achterliggende data.	55-70°C	55-75°C
LT	30°C	25-55°C	30-55°C
ZLT	15°C (wko)	< 25°C	10-30°C

Ook hebben de warmtebedrijven aangegeven dat ze het niet wenselijk vinden dat Vesta-warmtenetten met een transportleiding modelleert. De reden hiervoor is, dat in de praktijk alleen hele grote warmtenetten met een transportleiding worden ontworpen. Veel bestaande warmtenetten koppelen de warmtebron direct aan het primaire net, zonder een transportleiding daartussen. Voor grote warmtenetten, met een transportleiding (zoals WarmtelinQ of het Amernet), maakt de daadwerkelijke configuratie van bronnen, tracé en aflevergebied een kosteninschatting zeer complex. Een modelmatige inschatting van de kosten zou hierdoor in de regel niet accuraat zijn. Het anderzijds modelleren van een kort transportnet van enkele kilometers met een relatief klein afnamegebied zou in de praktijk niet gebeuren.

Gasunie geeft over de omgang met transportnetten in de bijgevoegde memo het volgende advies: "Per diameter en gebied/omgeving het tracé op knippen in secties, een toeslag per gebied/omgeving voor complexiteit/grondslag/.... Hierdoor kan de gebruiker beter



*differentiëren en corrigeren op veranderende omstandigheden per onderdeel.”. Of deze specifieke implementatie werkbaar is voor Vesta is niet zeker, maar het rekening houden met lokale omstandigheden is dus gewenst. Een ander voorstel om dit te doen is door voor een aantal grotere warmtenettracés zoals WarmtelinQ warmtenet-specifieke kengetallen in te laden in het model.*

Een ander aandachtspunt is de modellering van het secundaire distributienet (OS tot afleverset). Vesta heeft hiervoor op dit moment een kostenparameter per aangesloten pand. Dat is zo, omdat het schatten van de leidingkosten puur op basis van het benodigde vermogen niet tot juiste resultaten leidt. De DN-maten van een secundair distributienet worden namelijk steeds kleiner, tot het laatste pand in de lus aangesloten is. Om deze reden is het direct baseren van de buisleidingkosten op een van de formules niet logisch; het vermogen neemt immers steeds verder af. Uit gesprekken met een van de warmtebedrijven werd duidelijk dat de meeste meters van hun secundaire distributienetten uit DN40- en DN50-leidingen bestaan. Als we verder aannemen dat de ‘gewogen gemiddelde’ leiding een DN40-leiding is (o.b.v. input warmtebedrijven), kunnen we op basis hiervan de huidige kosten voor het secundaire net valideren met de opgestelde formules.

Op dit moment zijn in Vesta MAIS de kosten voor het verzamelen van de aansluitleidingen tot onderstations € 3.337,78 per pand. Als we uitgaan van een DN40-buis, dan kost dit volgens de warmtebedrijven gemiddeld 414 €/m. De impliciete aanname is daarmee dat er per pand 8 meter aan secundair distributienet ligt. Volgens het Template Businesscase Warmtenetten klopt dit voor grondgebonden woningen, maar is de waarde voor gestapelde woningen 5 meter en voor een collectieve aansluiting (aansluiting van meer >100 kW, bijv. in een flat of appartementencomplex met één aansluiting voor meerdere kleinverbruikers). De kosten voor het verzamelen van de aansluitleidingen tot onderstations voor deze woningtypen zouden daarmee zijn zoals in Tabel 11.

Tabel 11 - Voorstel kosten per pand in secundair distributienet

Woningtype	Kosten per aansluiting voor het secundaire distributienet, van onderstations tot aansluitleiding (T-stuk), exclusief aansluitleiding
Grondgebonden woning (8 m)	€ 3.312
Gestapelde woning (5 m)	€ 2.070
Collectieve aansluiting (50 m)	€ 20.700

### 3.2.3 Verliezen

Tabel 12 - Huidige verliezen leidingen

Beschrijving	Minimaal	Maximaal	Gemiddelde	Eenheid
Capaciteitsverlies in MT-warmteleidingen	0	10	5	Procent
Capaciteitsverlies in LT-warmteleidingen	0	10	5	Procent
Leidingverlies als aandeel van volume	20	36	28	Procent

Het leidingverlies als aandeel van volume komt overeen met het verlies in de Template Businesscase Warmtenetten. De warmtebedrijven geven hiervoor waarden op (gemiddeld 33,5%) die binnen de huidige range van getallen liggen. Rebel ligt met de waarden die ze in haar validatie vond iets lager dan de aangegeven range, tussen de 15 en 25% van het volume (Rebel, 2022). Een aandachtspunt bij het uitdrukken van het warmteverlies in een percentage, is dat dit niet meer klopt wanneer de warmtevraag minder wordt. Bij de modellering

van LT-warmtenetten en beter geïsoleerde woningen zal deze aanpak daarom leiden tot een onderschatting van het warmteverlies. De warmtebedrijven geven aan dat het warmteverlies nagenoeg een vast getal is per aansluiting. Op verzoek van het PBL, CE Delft en de warmtebedrijven heeft het Expertise Centrum Warmte daarom een analyse naar warmteverliezen gedaan (RVO, 2022).

Het ECW stelt in haar analyse het volgende vast. Hoewel de huidige percentuele warmteverliezen vergelijkbaar zijn met de range die warmtebedrijven rapporteren in hun duurzaamheidsrapportages, zijn de daadwerkelijke verliezen per aansluiting hoger dan verwacht middels het verliespercentage. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de duurzaamheidsrapportages zich beperken tot grote netten die op hogere temperaturen opereren. In nieuwe netten zijn de gerapporteerde warmteverliezen per aansluiting juist lager. Er kan daarom geen vaste verlieswaarde worden genomen.

Het ECW stelt voor om het verliespercentage, net als de kosten voor buisleidingen, afhankelijk te maken van de aanvoer-retour delta T binnen de warmtenetconfiguratie. De volgende formule is hiervoor toepasbaar:

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

Waarbij

- $Q_{distr.verlies}$  = totaal warmteverlies van de leiding (kWh/jaar);
- $L$  = leidinglengte (m);
- $U$  = warmteverlies coëfficiënt van de leiding (W / m<sup>1</sup>K) ;
- $T_{omgeving}$  = temperatuur van de omliggende omgeving, voor ondergrond kan 12 °C worden aangehouden.

Idealiter bereken je met deze formule het verlies uit per meter leiding en per type leidingdeel. Een implementatie hiervan is mogelijk in Vesta MAIS, maar wel bewerkelijk. Een alternatief zou zijn om een verliesfactor te berekenen aan de hand van de delta T. Het ECW stelt een correctiefactormethode voor gebaseerd op een warmteverlies van 14,1 GJ/aansluiting in een (relatief recent aangelegd) HT-wijknet.

De correctiefactormethode werkt als volgt.

$$\text{In een HT-wijknet is de factor } \left( \frac{T_{aanvoer} + T_{retour}}{2} \right) - T_{omgeving} = \frac{90 + 50}{2} - 12 = 58$$

$$\text{In een MT-wijknet is de factor } \left( \frac{T_{aanvoer} + T_{retour}}{2} \right) - T_{omgeving} = \frac{70 + 40}{2} - 12 = 43$$

$$\text{De correctiefactor is dan } \frac{43}{58} = 0,741, \text{ en het warmteverlies in het MT-wijknet } 14,1 * 0,741 = 10,5 \frac{\text{GJ}}{\text{aansluiting}}$$

In Tabel 13 staan de met de correctiefactormethode berekende warmteverliezen weergegeven. We bevelen aan deze methode voor het berekenen van verliezen van het ECW over te nemen, op basis van de 14,1 GJ/aansluiting vermenigvuldigt met de delta T-correctiefactor. Een specifiek onderscheid in het warmteverlies per type aansluiting (grondgebonden, gestapeld, collectief of utiliteit) was niet te maken a.d.h.v. de verliesgetallen van het ECW.



Tabel 13 - Vesta MAIS-configuraties en bijbehorende warmteverliezen per aansluiting

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

### 3.2.4 Aanbevelingen voor Vesta MAIS

We raden aan om in de modellering en het functioneel ontwerp de demarcatie/definities van warmtenetcomponenten recht te trekken met die van de warmtebranche. Om verder aan te sluiten bij de ervaringen in de warmtebranche stellen we ook voor de buisleiding-kostenformules te verbinden met het temperatuurverschil tussen aanvoer en retour in het net. Naast dat deze methode beter navolgbaar is, zal het er bij (Z)LT-warmtenetten ook toe leiden dat er geen onderschatting is van de kosten per meter.

## 3.3 Kostprijs en kengetallen onderdelen warmtenet

### 3.3.1 Productie van warmte

De kosten om warmte te produceren zijn gebaseerd op de kosten van energiedragers (hier buiten beschouwing), en de kosten voor het uitkoppelen van de bron. Tabel 14 toont de investeringskosten om uitkoppeling van verschillende bronnen te realiseren.

Tabel 14 - Huidige uitkoppeling- en investeringskosten MT-warmtebronnen

Beschrijving	Minimaal	Maximaal	Gemiddeld	Eenheid
Uitkoppeling stoom- en gasturbine	150	175	163	€/kW
Uitkoppeling bestaande gasmotor	800	1.800	1.300	€/kW
Uitkoppeling bestaande gasturbine	175	185	180	€/kW
Uitkoppeling industriële restwarmte	225	275	250	€/kW
Uitkoppeling restwarmte van raffinaderij	225	275	250	€/kW
Uitkoppeling kolenvergassing STEG	150	175	163	€/kW
Uitkoppeling afvalverbrandingsinstallatie	150	175	163	€/kW
Uitkoppeling bestaande biomassacentrale	150	175	163	€/kW
Uitkoppeling bestaande hulpketels	800	1.800	1.300	€/kW
Investering voor wkk op aardgas of groengas	800	1.800	1.300	€/kW
Investering voor wkk op vaste biomassa		415		€/kW
Investering voor aanleggen geothermiebron		1.523		€/kW
Investeringskosten warmtepomp collectief als hulpvoorziening		547,5		€/kW

Het meest recente SDE-advies (SDE-eindadvies 2022, Lensink 2021) en bijbehorende data-sets geven nieuwe waarden voor een aantal van de uitkoppeling- en investeringskosten. Daarnaast hebben de warmtebedrijven input geleverd op een aantal van de kosten. De warmtebedrijven geven aan dat een wkk's op biomassa niet langer gebouwd worden en daarom stellen we voor om deze te vervangen door een ketel op biomassa.

Voor de overige variabelen is geen nieuwe literatuur gevonden. De verdubbeling van kosten voor de uitkoppeling van warmte van een afvalverbrandingsinstallatie, uit het SDE-eindadvies 2021, valt op. Deze verhoging ten opzichte van eerdere SDE-adviezen komt deels door de aanpassing van het AVI-referentieproject waarop de kosten zijn gebaseerd. Alle overige kosten uit Tabel 15 zijn gebaseerd op een marktconsultatie uit 2012. Omdat deze getallen al bijna tien jaar oud zijn raden we daarom aan deze getallen te actualiseren op basis van een nieuwe marktconsultatie.

Tabel 15 - Voorgestelde aanpassing van de uitkoppeling- en investeringskosten MT-warmtebronnen. Daar waar n.v.t. staat weergegeven stellen we geen aanpassing voor ten opzichte van de huidige waarde in Vesta MAIS

Beschrijving	Minimaal	Maximaal	Gemiddeld	Eenheid	Bron
Uitkoppeling stoom- en gasturbine	250	250	250	€/kW	Input warmtebedrijven
Uitkoppeling bestaande gasmotor	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	€/kW	N.v.t.
Uitkoppeling bestaande gasturbine	150	250	200	€/kW	Input warmtebedrijven
Uitkoppeling industriële restwarmte	500	500	500	€/kW	Input warmtebedrijven
Uitkoppeling restwarmte van raffinaderij	500	500	500	€/kW	Input warmtebedrijven
Uitkoppeling kolenvergassing STEG	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	€/kW	N.v.t.
Uitkoppeling afvalverbrandingsinstallatie	190	235	210	€/kW	SDE-eindadvies 2021, warmte-uitkoppeling AVI's <sup>3</sup>
Uitkoppeling bestaande biomassacentrale	250	250	250	€/kW	Input warmtebedrijven
Uitkoppeling bestaande hulpketels	250	250	250	€/kW	Input warmtebedrijven
Investering voor wkk op aardgas of groengas	N.v.t.	N.v.t.	N.v.t.	€/kW	N.v.t.
Investering voor ketel op vaste biomassa	684			€/kW	SDE-eindadvies 2022, ketel >5 MWth bij 6.000 vollasturen
Investering voor aanleggen geothermiebron	1395			€/kW	SDE-eindadvies 2022, diepe geothermie (basislast), 12-20 MWth
Investeringskosten warmtepomp collectief als hulpvoorziening	n.v.t.			€/kW	N.v.t.

Tabel 16 geeft de huidige kosten voor LT-warmtebronnen. Hiervoor stellen we één aanpassing voor. Het SDE-eindadvies 2022 geeft een investeringsbedrag voor de uitkoppeling- en investeringskosten van een TEO-bron inclusief opwaardering met een warmtepomp en warmteopslag. Deze kosten zijn 2.887 €/kW.

<sup>3</sup> Het eindadvies geeft 304 €/kW voor warmte-uitkoppeling uit een afvalverbrandingsinstallatie. Maar dit is inclusief 1 km transportleiding. We hebben het bedrag daarom verlaagd met de kosten van 1 km transportleiding bij een temperatuurverschil tussen aanvoer en afvoer van 70 °C en een vermogen van 20.000 MW. Dit laatste op basis van het vermogen van het referentieadvies dat het eindadvies aanhaalt.

De huidige modellering van Vesta MAIS splitst deze kosten in drie componenten:

- vaste kosten voor aanleggen TEO-bron, € 90.000-110.000;
- kosten per kW voor aanleggen TEO-bron;
- investeringskosten warmtepomp collectief als hulpwarmtevoorziening.

We stellen aan te sluiten bij het bedrag uit het SDE-eindadvies en dus af te stappen van deze splitsing. Aandachtspunt hierbij is dat de collectieve warmtepomp niet dubbel gerekend wordt. Eventueel kunnen de voorgestelde kosten voor TEO verminderd worden met de kosten van een collectieve warmtepomp, excl. de ruimte om deze in te plaatsen. Hiervan zijn momenteel geen kostenkengetallen, dus deze aanpassing is op dit moment niet mogelijk.

WarmingUp publiceerde juni 2022 een gedetailleerde studie naar de kosten van TEO binnen een aantal varianten (WarmingUp, 2022). Binnen dit onderzoekstraject was er geen ruimte om hier een verdere bewerking op te doen om kengetallen uit te koppelen. In vervolgonderzoek kan deze studie gebruikt worden om de modellering van TEO uit te breiden. Over de overige kosten van LT-warmtebronnen (Tabel 16) is geen nieuwe literatuur gevonden en hebben we geen input ontvangen van de warmtebedrijven. De bronnen waarop de huidige getallen zijn gebaseerd, zijn wel een stuk recenter dan die van de MT-bronnen. We zien daarom geen aanleiding deze kengetallen aan te passen.

Tabel 16 - Huidige uitkoppeling- en investeringskosten LT-warmtebronnen

Beschrijving	Minimaal	Maximaal	Gemiddeld	Eenheid
Investering per kW in gebruik nemen LT-warmtebron	50	250	150	€/kW
Vaste kosten voor aanleggen TEO-bron	90.000	110.000	100.000	€
Kosten per kW voor aanleggen TEO-bron	198	242	220	€/kW
Vaste kosten voor aanleggen wko-systeem	135.000	165.000	150.000	€
Kosten per kW voor aanleggen wko-systeem	103,50	126,50	115	€/kW

Over de kosten van warmtebuffers (Tabel 17) is geen nieuwe literatuur gevonden. We zien daarom om geen aanleiding deze kengetallen aan te passen.

Tabel 17 - Huidige investeringskosten warmtebuffer

Beschrijving	Waarde	Eenheid
Ondergrens kosten warmtebuffer bij LT-warmtebron	100.000	€
Kosten warmtebuffer bij LT-bronnen per aansluiting	1.000	€/aansl.
Meerkosten regeneratiemechanisme als aandeel vaste en variabele kosten	10	Procent

### 3.3.2 Warmteoverdracht- en onderstations (WOS en OS)

Vesta modelleert standaard per buurt één WOS met daarin een hulpwarmte-installatie. Daarnaast zet het per buurt een aantal onderstations neer, op basis van de vermogensvraag van de aan te sluiten gebouwen. De huidige kosten- en vermogenskengetallen van warmteoverdrachtsstations en onderstations staan in Tabel 18. De vermogensdimensionering van een WOS is variabel, en afhankelijk van het berekende vermogen van het warmtenet.

Tabel 18 - Huidige kosten en vermogens WOS & OS

Beschrijving	Minimaal	Maximaal	Gemiddeld	Eenheid
Investeringskosten warmteoverdrachtstation	125	140	132,5	€/kW
Investeringskosten onderstations	120	150	135	€/kW
Kosten verzamelen aansluitleidingen tot onderstations	3.337,78			€/pand
Gemiddeld vermogen van een onderstation	825			kW/OS

De warmtebedrijven hebben input geleverd op deze modelleringsaanpak en kengetallen. Een van de reacties op de modellering van de WOS is dat warmtebedrijven deze in de meeste warmtenetten helemaal niet plaatsen. Dat betekent niet dat er elders geen kosten worden gemaakt voor een aantal van de componenten in de WOS. Dat is bijvoorbeeld de hulpwarmte-installatie, die al apart wordt gemodelleerd, maar ook de pompenergie. De kosten voor de warmtewisselaar/hydraulische scheiding die typisch is voor een WOS worden dus meestal niet gemaakt. In de praktijk wordt een WOS vanaf 10.000 tot 20.000 woningen geplaatst, vaak in het geval dat er een transportnet wordt gebruikt.

Ook geven warmtebedrijven aan dat de kosten voor zowel de WOS als OS niet lineair schalen bij een groter vermogen. Dit komt bijvoorbeeld doordat er relatief meer bouwkundige kosten worden gemaakt bij het plaatsen van meerdere kleinere stations dan het plaatsen van enkele grotere stations. Aanverwante zaken als de aankleding van het station en de koppeling op het warmtenet schalen niet mee want voor componenten als temperaturopnemers en de besturingskast hoeft je maar een keer per station geld uit te geven. Dit alles leidt ertoe dat warmtebedrijven het liefst zo weinig mogelijk en zo groot mogelijk onderstations neerzetten, mits de lokale situatie dat toestaat.

In Tabel 19 en Tabel 20 staan door warmtebedrijven aangeleverde kengetallen over onder- en afleverstations. De huidige kengetallen voor vermogen en kosten in Vesta zitten qua range in de juiste ordergrootte.

Tabel 19 - Vermogens en kosten van onderstations, uitgesplitst tussen situatie met en zonder huisje om het station in te plaatsen

Vermogen (kW/OS)	Kosten (€/OS)	Kosten per kW (€/kW)	Kosten per kW inclusief meerkosten huisje (€/kW)
250	35.000	140,00	250,00
500	44.000	88,00	143,00
750	50.000	66,67	103,33
1.000	55.000	55,00	82,50
2.000	78.000	39,00	52,75
3.000	98.000	32,67	41,83

De kosten in de tabel zijn inclusief de plaatsingskosten van het station, maar exclusief de ruimte voor het huisje waarin het station staat. De meerkosten hiervan zijn nog eens rond de € 27.500. In een in pandig onderstation/afleverstation (een station van > 100 kW, wat in de huidige implementatie de situatie is bij grote utiliteitsbouw) worden deze kosten nooit gemaakt. Verder zijn deze kosten geïjkt op een situatie waar het temperatuurverschil in het primaire distributienet 40°C is, en in het secundaire distributienet 30°C.

Tabel 20 - Vermogens en kosten voor in pandig onderstation (afleverstation)

Vermogen (kW/AS)	Kosten (€/AS)	Kosten per kW (€/kW)
150	15.000	100,00
250	22.000	88,00
500	24.000	48,00
750	25.000	33,33
1.000	27.500	27,50
2.000	35.500	17,75
3.000	47.000	15,67

Warmtebedrijven geven aan voor de leveringszekerheid maximaal 250 woningen op een onderstation aan te sluiten, wat in de praktijk vaak uitkomt op 1 station per MW. Eén bedrijf geeft aan standaard te werken met een OS-vermogen van 2.360 kW bij bestaande bouw en 860 kW voor nieuwbouw. Het aansluitvermogen ligt weliswaar lager bij de nieuwbouw, maar doordat de woningen beter geïsoleerd zijn gaat het om een vergelijkbaar aantal aansluitingen. Vanwege de leveringszekerheid kan er bij nieuwbouw daarom niet worden bespaard door minder en grotere onderstations neer te zetten. Dat zou betekenen dat de kosten per kW voor bestaande bouw, inclusief de meerkosten voor het huisje, rond de € 50 per kW liggen. Bij nieuwbouw liggen deze kosten rond de € 100 per kW. Voor in pandige onderstations kan afhankelijk van het vermogen van de collectieve- of utiliteitsaansluiting direct Tabel 20 worden afgelezen. Een niet-lineaire kostenformule die deze tabelwaarden goed representeert is:

$$Y = 16 + \frac{90}{\left(1 + \frac{X}{400}\right)^{2,4}}$$

We adviseren om de huidige kengetallen voor onderstations op deze inzichten aan te passen, waarbij de kosten per kW voor bestaande bouw € 50 worden, voor nieuwbouw € 100 per kW, en voor in pandige stations de kostenformule volgen.

### 3.3.3 Vermogensvraag en gelijktijdigheid

Hieronder staan de vermogensvragen voor woningen (Tabel 21), utiliteiten (Tabel 22) en de gelijktijdigheidsfactoren (Tabel 23) die voor Vesta worden gebruikt. De warmtebedrijven hebben deze getallen vergeleken met praktijkwaarden. Daar waar nieuwe getallen beschikbaar zijn, staan deze in de tabellen verwerkt en/of in tekst toegelicht.

Tabel 21 - Huidige vermogensvragen woningen

Beschrijving	Waarde	Eenheid
Vaste vv ruimteverwarming laagbouw woningen	3,08-5,03	kW/aansl.
Variabele vv ruimteverwarming laagbouw woningen	0,03-0,04	kW/m <sup>2</sup>
Vaste vv tapwater laagbouw woningen	4	kW/aansl.
Vaste vv ruimteverwarming hoogbouw woningen	2,00-2,39	kW/aansl.
Var. vv ruimteverwarming hoogbouw woningen	0,03-0,04	kW/m <sup>2</sup>
Vaste vv tapwater hoogbouw woningen	2	kW/aansl.
Vv koude woningen	2	kW/aansl.

De warmtebedrijven geven aan dat een gemiddelde grondgebonden woning een aansluitcapaciteit voor warmte heeft van circa 10-12,5 kW, een gestapelde woning van 7 kW. Dit is inclusief warmtapwaterbereiding. Met de huidige Vesta-kentallen zou bij gemiddelde laagbouw (140 m<sup>2</sup>) en hoogbouw (80 m<sup>2</sup>) de gemiddelde vermogensvraag voor ruimteverwarming respectievelijk 9 en 5 kW zijn. Als we daar de vermogensvraag voor tapwater bij optellen, komen we op 13 en 7 kW uit, wat overeen komt met de getallen van de warmtebedrijven.

Tabel 22 - Huidige vermogensvragen utiliteiten

Beschrijving	Waarde	Eenheid
Vv ruimteverwarming: Kantoren	0,06-0,13	kW/m <sup>2</sup>
Vv ruimteverwarming: Winkels	0,03-0,08	kW/m <sup>2</sup>
Vv ruimteverwarming: Gezondheidszorg	0,08-0,14	kW/m <sup>2</sup>
Vv ruimteverwarming: Logies	0,06-0,09	kW/m <sup>2</sup>
Vv ruimteverwarming: Onderwijs	0,03-0,07	kW/m <sup>2</sup>
Vv ruimteverwarming: Industrie	0,03-0,05	kW/m <sup>2</sup>
Vv ruimteverwarming: Bijeenkomst	0,08-0,16	kW/m <sup>2</sup>
Vv ruimteverwarming: Sport	0,06-0,10	kW/m <sup>2</sup>
Vv ruimteverwarming: Overig	0,01-0,03	kW/m <sup>2</sup>
Vv ruimteverwarming: Cel	0,09-0,14	kW/m <sup>2</sup>
Vv warmtapwaterutiliteit	0,04	kW/m <sup>2</sup>
Vv koude-utiliteit	0,06	kW/m <sup>2</sup>
Vv ruimteverwarming glastuinbouw verwarmd	0,165	kW/m <sup>2</sup>

De vaste vermogensvragen in Vesta zijn voor een groot deel afkomstig uit een bewerking op de NEN 7120 (2012). Inmiddels is de NTA 8800 de geldige berekeningsmethode voor de energieprestaties van gebouwen (NEN, 2020). Binnen de scope van dit onderzoek kunnen we geen nieuwe, vergelijkbare analyse uitvoeren om de vermogensvragen actueel te maken, maar we raden wel aan om deze kengetallen opnieuw te actualiseren. .

Tabel 23 - Huidige en door warmtebedrijven aangeleverde gelijktijdigheidsfactoren

Beschrijving	Huidig	Warmtebedrijven	Eenheid
Koude woningen	0,55	-	Factor
Warmtapwater woningen	0,1	0,1	Factor
MT-ruimteverwarming woningen	0,5	0,75	Factor
LT-ruimteverwarming woningen	0,55	-	Factor
Koude-utiliteit	0,95	0,8	Factor
Warmtapwaterutiliteit	0,1	0,1	Factor
MT-ruimteverwarming-utiliteit	0,95	0,65	Factor
LT-ruimteverwarming-utiliteit	0,95	0,65	Factor
Ruimteverwarming glastuinbouw	1	-	Factor

Warmtebedrijven hebben aangegeven te rekenen met een hogere gelijktijdigheidsfactor voor ruimteverwarming van woningen, en lagere factoren voor utiliteiten. Het aanpassen van de factor voor woningen heeft een grote impact op de kosten van een warmtenet: de kosten voor het uitkoppelen van de hoofdbron, het installeren van een hulpwarmte-installatie, de leidingen en stations worden hierdoor tot 50% hoger (een deel schaaft lineair). Op basis van literatuur hebben wij geen aanvullende waarden gevonden om deze input van warmtebedrijven op te spiegelen. Omdat dit een zeer grote impact heeft op de

uitkomsten van het model, adviseren eerst verder onderzoek te doen naar de hoogte van de factor voordat deze wordt overgenomen.

Tabel 24 - Huidige verdeling van capaciteits- en warmtevraag over de hoofdbron en bijstook

Beschrijving	Huidig	Warmtebedrijven	Eenheid
Aandeel hoofdwarmtebron op capaciteit	0,3	0,3 als minimum	Factor
Aandeel bijstook op capaciteit	0,85	0,75	Factor
Aandeel hoofdwarmtebron op volume (MT-bron)	0,8	> 0,85, vaak 0,9	Factor
Aandeel bijstook op volume (MT-bron)	0,2	0,1-0,15	Factor
Aandeel hoofdwarmtebron op volume (LT-bron)	1	0,85	Factor
Aandeel bijstook op volume (LT-bron)	0	0,15	Factor

De warmtebedrijven geven aan dat de huidige waarden voor de hoofdbron capaciteit/ volume als minimum dienen worden geïnterpreteerd. Ze geven aan dat de hoofdbronnen veelal een capaciteit hebben die minimaal 30% is van de maximale ongelijktijdige warmtebelasting in een net. Daarbij kunnen dekkingsgraden van 90% op volume worden behaald. In de praktijk is het aandeel vaak meer dan 30%. Dat komt volgens de warmtebedrijven onder andere doordat er groei wordt verwacht of er bronnen met verschillende capaciteiten worden gestapeld. Wij vermoeden dat de dekkingsgraden per type bron en grootte van de bron verschillen. In de toekomst kan hier mogelijk onderscheid in gemaakt worden, maar op dit moment ontbreekt het aan gegevens om dit te onderbouwen.

Verder geven warmtebedrijven ook aan dat het piekvermogen van een LT-net niet 100% zijn, en dat welk aandeel het wel is verschilt per netwerk. Het uitgangspunt is in de praktijk net als bij MT de basislast. Men kan dus voorzichtig stellen dat je in 85% van de warmte kunt voorzien met de hoofdbron, en dat de basislast 30% van je piekvermogen is. We adviseren daarom de dimensionering van LT-bronnen hetzelfde te behandelen als MT-bronnen. De bijstook kan dan elektrisch of gasgestookt ingericht worden.

### 3.3.4 Warmtetarieven

Vesta MAIS 5.0 rekent met de ACM-maximumtarieven 2020. De ACM herziet deze tarieven jaarlijks. Totdat Vesta overgaat om tarievendorrekening volgens Warmtewet 2.0 (zie Paragraaf 2.5), raden we aan om deze tarieven bij te werken. Een aandachtspunt voor modelgebruikers daarbij is dat de tarieven in de jaren 2021, 2022 en waarschijnlijk ook in de latere jaren te maken hebben met diverse externaliteiten. Tabel 25 zet de tarieven uit Vesta 5.0 en de ACM-tarieven uit 2021 naast elkaar (excl. btw). De tarieven voor 2021 hebben we met een CPI van 5,7% geïndexeerd naar de waarde van een euro in 2018 (CBS, 2021). Dit is ook gedaan met de huidige getallen in Vesta (CPI van 3,7% voor periode 2018-2020).

Daarnaast betalen klanten een variabel tarief afhankelijk van hun verbruik. Vesta berekent dit op basis van de gasprijs en het niet-meer-dan-anders-principe. Dit principe bepaalt dat huishoudens en bedrijven met een aansluiting kleiner dan 100 kW niet meer mogen betalen voor verwarmen op stadswarmte dan zij zouden doen als zij zouden verwarmen op gas.

Tabel 25 - Huidige en geactualiseerde maximale warmtetarieven

Beschrijving	Vesta 5.0	ACM 2021 (geïndexeerd naar basisjaar 2018)	Eenheid
Maximaal vastrecht tarief warmtelevering hoger dan 55° C	373,91	468,83	€/aansl/jr
Maximaal vastrecht tarief warmtelevering 55° C of lager	208,03	187,11	€/aansl/jr
Maximaal vastrecht tarief koudelevering	188,72	186,45	€/aansl/jr
Maximaal meettarief bij warmtelevering	21,22	20,98	€/aansl/jr
Eenmalige bijdrage voor nieuwe warmtenetaansluiting	3.594,87	3.814,17	€/aansl

De toekomstige tarieven zijn nog niet bekend. Gebruikmakend van de leercurve van de investeringskosten van de gasketel, kunnen we een prognose maken van de vastrecht-tarieven in de toekomst. Dit doet Vesta al voor het variabele GJ-tarief, door deze te bepalen met een prognose van de gasprijs (zie Paragraaf 2.5). Met de introductie van Wet op Collectieve warmtevoorziening (Warmtewet 2.0) verandert de tariefbepaling. Naar verwachting volgen de warmtetarieven dan niet langer de gasprijzen, maar hangen zij af van de kosten die een warmteleverancier maakt om het warmtenet te realiseren en in bedrijf te houden.

De ACM bepaalt enkel de tarieven voor klanten met een aansluiting kleiner dan 100 kW. (ACM, 2021) Voor klanten met een grotere aansluitingen bepalen de warmteleverancier en de klant vaak samen de tarieven in een onderhandeling. Sommige warmtebedrijven publiceren wel vaste tariefbladen voor aansluitingen groter dan 100 kW, zoals Eneco (Figuur 11). Hoewel we weten dat tarieven voor grootverbruikers structureel lager liggen, is er te weinig informatie beschikbaar om hier een kostenkengetallenvoorstel voor te doen.

Figuur 11 - Stadswarmtetarieven grootverbruikers Eneco per 1 januari 2021

Tariefcomponent	Tarieven excl. btw	
<b>Vastrecht<sup>1,2</sup></b>		
Aansluitwaarden		€ 4,055 * ASW <sup>-0,213</sup> (€/kW/maand)
<b>Verbruiksvergoeding<sup>3,4</sup></b>		
Verwarming en warmwater	0 - 4.830 GJ	€ 21,534 per GJ
Verwarming en warmwater	4.831 - 28.409 GJ	€ 11,270 per GJ
<b>Contractcapaciteit</b>		
Niet van toepassing		

Bron: Eneco.



### 3.3.5 Bijkomende kosten

Vesta rekent additionele eenmalige kosten (Tabel 26) mee bij de aansluiting van een woning. Dit zijn de kostenposten projectmanagement en ongeriefsvergoeding.

Tabel 26 - Huidige overige kosten

Beschrijving	Minimaal	Maximaal	Gemiddeld	Eenheid
Kosten projectmanagement bestaande woningen	56,17	280,84	168,51	€/aansl.
Kosten ongeriefsvergoeding bestaande woningen		140,42		€/aansl.

Warmtebedrijven geven aan dat de ongeriefsvergoeding hoort bij de kosten voor de gebouweigenaar (en hebben hier geen kostenschattning bij), en dat projectmanagementkosten vaak al in de investeringskosten zijn verwerkt. Rebel schetst op basis van hun evaluatie van businesscases een ander beeld. Twee posten zouden op dit moment buiten scope van het Template zijn: 'bijkomende kosten' (proces, advies, ontwerp, etc.) en 'onvoorzien'. De eerste zou 10-12% van de CAPEX bedragen, de tweede 10%. Dit zijn zowel forse opslagen, als onduidelijk af te bakenen posten. Onvoorziene kosten kunnen per definitie niet gekoppeld worden aan één component in het warmtenet, en zitten daardoor op dit moment niet in Vesta. Wel zijn ze impliciet onderdeel van de bandbreedtes in kostenkengetallen. Rebel geeft wel aan dat de projectfase voor deze kosten invloed heeft op de hoogte van deze opslag. Wanneer detailramingen zijn gemaakt en risico's zijn belegd kunnen deze afnemen. Zeker bij bestaande bouw is er in de uitvoering vaak als nog sprake van onvoorziene kosten. Bijkomende kosten zitten, in ieder geval voor het deel projectmanagement, volgens de warmbedrijven al in de kengetallen verrekend.

De vergelijking tussen Vesta en de memo van Rebel maakt duidelijk dat op dit moment onvoorziene kosten niet worden meegerekend in Vesta of het Template, die in de praktijk wel worden gemaakt. De tekst in de memo van Rebel suggereert dat onvoorziene kosten vooral bij bestaande bouw gemaakt worden, wat er op wijst dat deze kosten gerelateerd zijn aan de aansluiting/het in pandige deel. We adviseren daarom om in de in pandige kosten (zie volgende paragraaf) een aanscherping van de kostenkengetallen te doen. Voor het veranderen van de kostenpost voor projectmanagement is te weinig onderbouwing: onduidelijk is in hoeverre dit al in alle kostenkengetallen zit. Het blijft echter mogelijk dat er hierdoor een onderschatting van de kosten blijft bestaan in Vesta MAIS. Er is daarom meer onderzoek nodig naar welke 'bijkomende kosten' er typisch worden gemaakt in de aanleg van een warmtenet.

## 3.4 In pandige kosten

### 3.4.1 Wat zijn in pandige kosten?

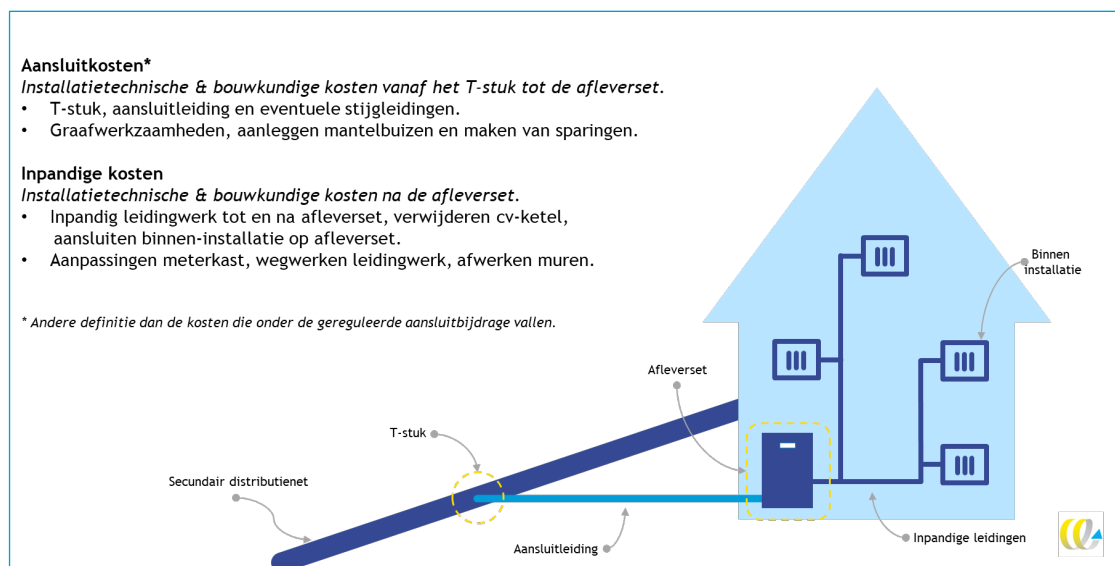
Woningen of bedrijfspanden die overstappen op verwarmen met warmtenetwarmte moeten hiervoor enkele aanpassingen ondergaan. De kosten voor alle aanpassingen binnen de woning vallen onder in pandige kosten. Gezien vanaf het punt waar de warmteleiding de woning binnen komt zijn dit:

- De leiding naar de plek waar de afleverset, bestaande uit een warmtewisselaar en warmtemeter, komt te hangen.
- Het plaatsen van de afleverset.

- In het geval van lagetemperatuurwarmte is er een extra installatie nodig die de warmte opwaardeert. Dit kan bijvoorbeeld een booster-warmtepomp of water/waterwarmtepomp zijn. Als dit nodig is, neemt Vesta aan dat de installatie de afleverset vervangt.
- De bestaande warmtetechniek, doorgaans een gasketel, moet ontkoppeld en verwijderd worden.
- Vervolgens moet de afleverset gekoppeld worden aan het afgiftesysteem (ECW, lopend). Dit is het in pandig leidingwerk.
- Bij warmtelevering onder de 70° C zijn mogelijk ook aanpassingen nodig aan het afgiftesysteem.

Ook heeft een woning mogelijk een elektrische kookplaat en extra woningisolatie nodig. Vesta MAIS berekent de kosten voor elektrisch koken expliciet niet mee. Wel berekent het de kosten voor isolatie, maar schaart deze onder andere posten dan de *in pandige kosten*. Naast de in pandige aanpassingen, moet er een aansluitleiding komen die het pand verbindt met de warmteleiding in de straat. De kosten hiervan vallen onder de post *aansluitkosten*.

**Figuur 12 - Aansluitkosten en in pandige kosten warmtenet**



In Figuur 12 schetsen we de verdeling van aansluitkosten en in pandige kosten voor een grondgebonden woning die zonder in pandige opwaardeering de warmte binnenkrijgt naast de voordeur. In deze verdeling van kostenposten herkennen ook de warmtebedrijven zich. Er zijn in de praktijk veel alternatieven op deze configuratie, waar bijvoorbeeld de afleverset op zolder wordt geplaatst of de aansluiting via de kruipruimte van een buurwoning loopt. Een andere alternatieve situatie is het aansluiten van een bestaand appartementencomplex dat blokverwarming heeft. Dit vereenvoudigt de ingreep. De warmteaansluiting hoeft enkel de blokverwarmingsinstallatie te vervangen. De bestaande leidingen vervoeren de warmte naar de appartementen. Bij nieuwbouw houdt het pandontwerp al rekening met de warmtenetaansluiting en hoeven er geen bestaande systemen aangepast of verwijderd te worden. De in pandige kosten voor de warmtenetaansluiting voor nieuwbouw zijn daarom veel lager.

## Afbakening inpandige kosten memo Rebel

Het Expertise Centrum Warmte (ECW) heeft in 2021 aan Rebel gevraagd om een review uit te voeren op de uitgangspunten en aannames in de Template Businesscase Warmtenetten (Rebel, 2022). In de scope van de review zaten alleen HT- en MT-warmtenetten. De in het vorige hoofdstuk benoemde kosten voor (booster)warmtepompen zitten daarom niet in de resultaten van Rebel verwerkt. Rebel stelt definities op en geeft kengetallen voor de kostencomponenten van een warmtenet. Rebel omschrijft de investeringskostencomponenten in Tabel 27. We spiegelen de bevindingen van Rebel aan de huidige modellering in Vesta en literatuurwaarde.

Tabel 27 - Afbakening investeringskostencomponenten warmtenet (Rebel, 2022)

	Afbakening	Kostencomponenten (niet uitputtende lijst)	Inpandig?	In Vesta?
A	Installatie-technische kosten t/m de afleverset	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uitkoppelen van de bron</li> <li>- WOS en HWI's</li> <li>- Onder/regelstations</li> <li>- Aanleg van (transport-) distributie- en aansluitleidingen tot en met de afleverset</li> <li>- Inpandig leidingwerk tot de afleverset</li> </ul>	Deels	Ja
B	Bouwkundige kosten t/m afleverset	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Herstelwerk van graafwerkzaamheden</li> <li>- Maken van sparingen</li> <li>- Aanleggen van mantelbuizen voor het leidingwerk naar de afleverset</li> </ul>	Deels	Ja, als onderdeel van kosten tot en met afleverset.
C	Installatie-technische kosten na afleverset	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inpandig leidingwerk na de afleverset</li> <li>- Aansluiten van de binnen installatie op de afleverset</li> <li>- Verwijderen van de cv-ketel</li> </ul>	Ja	Deels. Inpandige distributiekosten voor leidingwerk en de binnen installatie zitten wel in Vesta, verwijderen van de cv-ketel beperkt of niet.
D	Bouwkundige kosten na afleverset	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aanpassingen aan de meterkast</li> <li>- Wegwerken van leidingwerk</li> <li>- Afwerken van muren</li> </ul>	Ja	Nee
E	Aanpassingen voor elektrisch koken	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vervangen van het gaskooktoestel</li> <li>- Aanmaken van nieuwe elektrische aansluiting</li> <li>- Aanschaffen van een nieuwe pannenset</li> </ul>	Ja, maar onafhankelijk van keuze warmtetechniek	Nee

Warmtebedrijven rekenen doorgaans de installatietechnische kosten tot en met de afleverset door in hun businesscase. Dat betekent dat het deel van de installatietechnische investering na het binnentreden van de gevel (bijvoorbeeld inpandig leidingwerk tot de afleverset) inpandige kosten voor het warmtebedrijf zijn. Een deel van de inpandige investeringskosten zijn in praktijk geen onderdeel van de investering van het warmtebedrijf, maar komen bij de pandeigenaar terecht.

### 3.4.2 Hoe hoog zijn de inbandige kosten?

#### MT- en HT-warmtenetten

Tabel 28 geeft de inbandige kosten die Vesta rekent voor MT en HT-warmtenetten. Voor een grondgebonden woning met MT-warmteaansluiting en een 8 kW piekvraag tellen de kosten op tot ruim € 4.700. De inbandige distributiekosten omvatten de koppeling met het bestaande cv-systeem en warmtapwaterleidingen. Vesta gaat ervan uit dat voor distributie het bestaande cv-systeem gebruikt kan worden. Vesta rekent nu geen kosten voor het verwijderen van de gasketel en toebehoren. Elektrisch koken is bewust buiten de inbandige kosten gehouden.

Tabel 28 - Inbandige kosten voor MT- en HT-warmtenetten

Onderdeel	Kostenpost	Min. waarde	Max. waarde	Eenheid
Warmtemeter	Vaste kosten warmtemeters	898,69	926,78	€/aansl.
	Variabele kosten warmtemeters	1,24	1,46	€/kW
Afleverzet	Kosten afleverzet voor warmtelevering		1.300	€/aansl.
Inbandige distributiekosten	Inbandige distributiekosten grondgebonden objecten		2.500	€/aansl.
	Inbandige distributiekosten hoogbouw geen blokverwarming		1.500	€/aansl.
	Inbandige distributiekosten hoogbouw met blokverwarming		722	€/aansl.
	Aandeel blokverwarming in Nederland		15,4	%

#### Factsheet onrendabele top collectieve warmtesystemen

CE Delft heeft in het voorjaar van 2021 een analyse gedaan van de onrendabele top van collectieve warmtesystemen. De resulterende factsheet laat zien dat de inbandige kosten, ná de afleverzet, voor grondgebonden bouw gemiddeld 5.377 €/aansluiting incl. btw bedragen en kunnen variëren tussen 1.500 tot 10.000 €/aansluiting incl. btw. Dit is gemiddeld 4.443 €/aansluiting excl. btw. Voor gestapelde bouw varieert dat tussen 1.500 en 11.000 €/aansluiting, en zijn de kosten gemiddeld incl. btw 7.471 €/aansluiting. Exclusief btw is dit 6.174 €/aansluiting. Deze inbandige kosten omvatten de aansluiting van het bestaande cv-systeem én elektrisch koken voor een derde van de huishoudens. Bovendien noemt de factsheet dat deze voor de rekening komen van de pandeigenaar (CE Delft, 2021). Het gaat hier om MT/HT-warmtenetten, dus er vindt geen individuele opwaardering plaats en het bestaande afgiftesysteem voldoet.

De kosten voor het verwijderen van de gasketel en toebehoren zijn kosten die gemaakt moeten worden om de woning te gaan verwarmen met stadswarmte. Daarom lijkt het reëel om hier wél rekening mee te houden. Vesta rekent de kosten voor elektrisch koken bewust niet mee. Aan dit standpunt houden we vast. We moeten de factsheet-kosten dus corrigeren voor elektrisch koken. De investeringskosten voor elektrisch koken, inclusief pannenset, zijn volgens het dashboard eindgebruikerskosten 500 €/huishouden (incl. btw) (TNO, 2021). Uit gesprekken met het ACM en ECW blijkt dat dit veel te laag is. De factsheet neemt aan dat een derde van de woningen deze aanpassing nodig heeft.

De inbandige kosten uit de factsheet zijn dus aanzienlijk hoger dan de kosten waar Vesta MAIS 5.0 mee rekent, met name voor gestapelde bouw. Dit komt deels omdat de factsheet ook de kosten voor het verwijderen van gasketels en toebehoren meeneemt. Een

betere kostenschatting komt voort uit de vergelijking van kengetallen tussen Vesta, Rebel en TNO in de volgende paragrafen.

### **Analyse kostencomponenten Vesta, Rebel en TNO**

In Tabel 29<sup>4</sup> staan de kostencomponenten en hoogte van de kosten van Vesta MAIS, de Rebel memo en het Dashboard Eindgebruikerskosten naast elkaar. Het ECW geeft aan zich het meest te herkennen in de kostengetallen van Rebel. Ondanks dat de drie informatiebronnen anders omgaan met de definities van in pandige kosten en wisselende kostenbenaderingen hanteren, zijn de getallen en posten globaal met elkaar vergelijkbaar. Daar waar Vesta onderscheid maakt tussen collectieve en individuele kostengetallen zijn de min./max. gezamenlijke waarden gegeven.

---

<sup>4</sup> Symbologie tabel vergelijking kostencomponenten:

?: onbekend of kosten al als onderdeel van een andere kostencomponent is opgenomen.

o: kosten zijn meegenomen, maar geen component-specifieke informatie beschikbaar.

x: kosten zijn niet meegenomen.

Tabel 29 - Vergelijking kostencomponenten (in €) Vesta MAIS, Rebel memo Template Businesscase Warmtenetten en TNO Dashboard Eindgebruikerskosten

Kostencategorie	Kostencomponent	Vesta MAIS (huidig)			Rebel Template Businesscase Warmtenetten			TNO Dashboard Eindgebruikerskosten		
		Min	Max	Mediaan	Min	Max	Mediaan	Min	Max	Mediaan
A	Installatietechnische kosten t/m de afleverset (inclusief transportnet en primair & secundair distributienet)	Variabel			x	x	7.500	Gemiddelde Vesta-waarde		
B	Herstelwerk van graafwerkzaamheden				o	o	o			
	Maken van sparingen				o	o	o			
	Aanleggen van mantelbuizen voor het leidingwerk naar de afleverset				o	o	o			
	<b>Subtotaal B</b>	<b>400</b>	<b>4.500</b>	<b>2.500</b>						
C	Inpandig leidingwerk/inpandige distributiekosten	1.300	2.500	1.900	o	o	o	1.300	2.500	1.900
	LT binnen installatie	401	3.222	1.812	o	o	o	1.473	2.514	1.964
	Verwijderen cv-ketel	x	x	x	o	o	o	x	x	x
	<b>Subtotaal C</b>	<b>1.701</b>	<b>5.722</b>	<b>3.712</b>	<b>700</b>	<b>8.500</b>	<b>3.500</b>	<b>2.773</b>	<b>5.014</b>	<b>3.864</b>
D	Aanpassingen aan de meterkast	x	x	x	o	o	o	x	x	x
	Wegwerken van leidingwerk	x	x	x	o	o	o	x	x	x
	Afwerken muren	x	x	x	o	o	o	x	x	x
	<b>Subtotaal D</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>50</b>	<b>1.500</b>	<b>1.200</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>
E	Aanmaken nieuwe elektrische aansluiting	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	o	o	o	500	500	500
	Inductiekookplaat en pannenset	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	o	o	o	500	500	500
	<b>Subtotaal E</b>	<b>n.v.t.</b>	<b>n.v.t.</b>	<b>n.v.t.</b>	<b>600</b>	<b>2.100</b>	<b>1.200</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>	<b>1.000</b>
<b>Totaal B-D</b>		<b>1.701</b>	<b>5.721</b>	<b>3.712</b>	<b>1.150</b>	<b>14.500</b>	<b>7.200</b>	<b>2.773</b>	<b>5.014</b>	<b>3.864</b>
<b>Totaal B-E</b>		<b>1.701</b>	<b>5.721</b>	<b>3.712</b>	<b>1.750</b>	<b>16.600</b>	<b>8.400</b>	<b>3.773</b>	<b>6.014</b>	<b>4.864</b>

We lopen de componenten van Rebel af, en doen voorstellen voor het meenemen van deze kostenposten in Vesta MAIS.

#### A. Installatietechnische kosten t/m de afleverset

Dit zijn de niet-inpandige investeringskosten en inpandige kosten tot de afleverset. Vesta berekent onder installatietechnische kosten t/m de afleverset onder andere de afleverset en warmtemeter zelf, maar ook aansluitleidingen, distributienetten, onderstations, hulpketels, etc. Het is hierdoor niet mogelijk één getal te geven voor deze kostenpost, en het is ook geen kengetal wat kan worden aangepast. Ter vergelijking geven we wel aan dat het TNO Dashboard zich voor deze kosten baseert op een gemiddelde waarde uit Vesta MAIS. In Rebel's review van businesscases kost dit gemiddeld € 7.500 per aansluiting.

#### B. Bouwkundige kosten t/m afleverset

Gerelateerd aan niet-inpandige installatietechnische kosten, worden er ook gebouwgerelateerde bouwkundige kosten gemaakt. Deze kosten zitten meestal niet in de scope van de businesscase van warmtenetten, maar worden wel gemaakt.

Rebel ziet de kosten variëren tussen de € 400 en € 4.500. De locatie van de afleverset is bepalend voor de variatie in deze kosten: als deze op zolder staat zijn er stijgleidingen nodig. De kosten voor de stijgleidingen zelf zijn onderdeel van de installatietechnische kosten t/m de afleverset, maar de sparingen en mantelbuizen zijn dat strikt gezien niet.

Stijgleidingen zijn in principe meegenomen in het Vesta kengetal voor inpandige distributiekosten (in de tabel onderdeel van component C). Het is onduidelijk of de kosten voor sparingen en mantelbuizen hierin ook zijn opgenomen. Gezien de kostenverschillen tussen Vesta MAIS en Rebel voor componenten B en C is het waarschijnlijk dat dit niet het geval is, of te veel afwijkt met de praktijk. We adviseren daarom om een kostenkengetal toe te voegen aan de inpandige kosten, de 'Bouwkundige kosten t/m de afleverset'. Deze kosten zijn voor de woningeigenaar.<sup>5</sup>

De hoogte van de kosten is anders voor hoogbouw en laagbouw. Bij hoogbouw bestaat de situatie met en zonder blokverwarming. Herstel aan graafwerkzaamheden is bij hoogbouw minder relevant: de kosten voor mantelbuizen en sparingen zijn lager in het geval met blokverwarming. Voor laagbouw zijn de herstelkosten aan de tuin en het verschil tussen een gunstige of ongunstige afleverset-locatie het belangrijkste. We stellen daarom het opnemen van de kostenranges in Tabel 30 voor.

Tabel 30 - Voorstel bouwkundige kosten t/m de afleverset (herstel tuin, sparingen en mantelbuizen)

Gebouw	Minimaal	Maximaal	Mediaan
Laagbouw	400	4.500	2.450
Utiliteitsbouw	400	4.500	2.450
Hoogbouw zonder blokverwarming	400	2.500	1.450
Hoogbouw met blokverwarming	0	400	200

<sup>5</sup> De locatie van de afleverset is bepalend voor de post waaronder een stijgleiding valt. Hangt de afleverset op de zolder, waar eerder de gasketel hing, dan is er een stijgleiding nodig naar de afleverset toe, maar weinig leidingwerk binnen de woning. De aansluitkosten zijn dan hoger, maar de inpandige kosten lager. Hangt de afleverset naast de voordeur, dan vallen de kosten van de stijgleiding onder inpandige kosten. De keuze waar de afleverset komt te hangen wordt per project bepaald, hierover valt in zijn algemeenheid niks te zeggen. Door beide posten op te nemen en met de mediaanwaarden te rekenen liggen de gemiddelde kosten leidingwerk dichter bij de praktijk dan de huidige situatie.

### C. Installatietechnische kosten na afleverset

Onder installatietechnische kosten na de afleverset vallen posten voor aanpassingen die situatieafhankelijk worden toegepast. Dit zijn onder andere:

- Verwijderen cv-ketel en rookkanaal. Deze kosten worden in principe voor iedere verduurzamingstechniek gemaakt. De kostenpost wordt vaak niet genoemd waardoor het onduidelijk is of de kosten worden meegenomen of niet. In de praktijk zal het rookkanaal ook niet altijd verwijderd en hersteld worden.
- Inpandig leidingwerk, indien nodig.
- Bijplaatsen warmtewisselaar.
- Bijplaatsen (booster)warmtepomp, afhankelijk van warmtenetconfiguratie.
- Aanpassing van de binnen installatie (LT-radiatoren en/of vloerverwarming).

De gegevens van Rebel zijn niet specifiek genoeg om een goede inschatting te maken over de hoogte van kosten van individuele posten. Rebel noemt het bijplaatsen van een (booster) warmtepomp niet als kostenpost, omdat dit niet in een van de geëvalueerde businesscases werd gedaan. We moeten de Vesta getallen daarom exclusief deze ingreep beschouwen om te vergelijken met Rebel. De maximale kosten kunnen volgens Rebel's getallen bijna € 3.000 hoger uitvallen dan dat Vesta maximaal inreken. We kunnen dit verschil niet specifiek terugbrengen naar een van de kostenposten in Vesta. We stellen daarom voor om bij de parameter 'inpandige distributiekosten' een minimale en maximale waarde te hanteren, en deze kosten te combineren met de bouwkundige kosten (D). Zie ook Tabel 31.

### D. Bouwkundige kosten na afleverset

Bouwkundige kosten voor het afwerken van leidingen, muren en aanpassen van de meterkast komen op dit moment niet voor in Vesta. We stellen daarom voor om deze toe te voegen aan de installatietechnische kostenposten (C). Daarmee komen we op het voorstel in Tabel 31. We kijken daarin de minima en maxima op de gemiddelde waarde die door Rebel zijn opgegeven, niet de absolute minima en maxima. We compenseren verder voor kosten van de LT binnen installatie die Rebel meerekent.

Tabel 31 - Voorstel installatietechnische en bouwkundige inpandige distributiekosten

Gebouw	Minimaal	Maximaal	Mediaan
Grondgebonden	350	5.450	2.900
Hoogbouw zonder blokverwarming	350	4.050	2.200
Hoogbouw met blokverwarming	350	1.500	925

Deze gemiddelde kosten zijn iets hoger dan de huidige inpandige distributiekosten. Het maximale bedrag voor grondgebonden objecten is niet volledig hetzelfde als het maximale bedrag wat Rebel ophaalde (rond de € 7.000). De voorgestelde getallen zijn meer in lijn met een gemiddelde situatie.

### E. Aanpassingen voor elektrisch koken

Hoewel Vesta de kosten voor elektrisch koken niet meeneemt, stellen we vast dat deze kosten gemiddeld € 1.200 zijn. Wanneer er geen nieuwe aansluiting en/of nieuwe pannen nodig zijn kunnen ze lager liggen, rond de € 500-600 voor de nieuwe kookplaat (en verwijdering van de oude). In het duurste geval kost het elektrisch koken € 2.100.

### Conclusie vergelijking

Wanneer we in een situatie zonder de plaatsing van een (booster)warmtepomp Vesta vergelijken met de kostencategorieën B, C en D van Rebel, dan onderschat Vesta MAIS dit moment de inpandige kosten gemiddeld met ongeveer € 3.500. Daarvan is € 1.200 voor





elektrisch koken, wat tot nog toe apart is meegenomen in Vesta-studies. Wanneer we kijken naar de maximale kostenschatting van Rebel kan dit zelfs oplopen tot een verschil van bijna € 9.000. Dit verschil zit voornamelijk in de bouwkundige kosten tot en na de afleverset. Vesta rekent een aantal kostenposten zoals herstelwerkzaamheden niet mee. Door de voorgestelde aanpassingen door te voeren zitten deze kosten wel in het model verwerkt.

## LT-warmtenetten

Vesta MAIS 5.0 rekent met de waarden uit Tabel 32 voor de inpandige kosten van bestaande bouw. Naast de kosten die bij een MT- of HT-warmtenet komen kijken, zijn er additionele kosten voor het opwaarderen van de warmte en aanpassing van het afgiftesysteem. Wel vervallen de kosten van de afleverset bij woningen met individuele opwaardering. Vesta neemt aan dat de warmtepomp deze functie overneemt. De totale kosten hangen sterk af van of het een woning of utiliteit betreft, of het grondgebonden of gestapelde bouw betreft en het schillabel van het pand.

Tabel 32 - Inpandige kosten LT-warmtenetten in Vesta MAIS 5.0 (PBL, 2021)

	Kostenpost	Min. waarde	Max. waarde	Eenheid
Warmtemeter	Vaste kosten warmtemeters	898,69	926,78	€/aansl.
	Variabele kosten warmtemeters	1,24	1,46	€/kW
Afleverset	Kosten afleverset voor warmtelevering wanneer geen opwaardering nodig is	1.300		€/aansl.
Warmte opwaarderen	Kosten boosterwarmtepomp	2.225,98	2.560,84	€/aansl.
	Inpandige w/w warmtepomp label B	4.500		€/aansl.
	Inpandige w/w warmtepomp label C/D/E	7.000		€/aansl.
	Inpandige w/w warmtepomputiliteit	700		€/kW
Inpandige distributiekosten	Inpandige distributiekosten grondgebonden objecten	2.500		€/aansl.
	Inpandige distributiekosten hoogbouw geen blokverwarming	1.500		€/aansl.
	Inpandige distributiekosten hoogbouw met blokverwarming	722		€/aansl.
	Aandeel blokverwarming in Nederland	15,4		%
Afgiftesysteem	Kosten LT-afgiftesysteem-utiliteit	90,577		€/m <sup>2</sup>
	Kosten LT-afgiftesysteem gestapelde woningen	401,34	2.014,85	€/aansl.
	Kosten LT-afgiftesysteem grondgebonden woningen	957,21	3.221,92	€/aansl.
	Kosten LT-afgiftesysteem-utiliteit	10		€/m <sup>2</sup>

Aan de hand van de memo van Rebel en andere bronnen kunnen we geen veranderingen voorstellen aan de kosten voor het opwaarderen van warmte of het afgiftesysteem. De inpandige distributiekosten kunnen worden aangepast zoals voor HT- en MT-warmtenetten.

### 3.4.3 Wie betaalt de inpandige kosten?

Vesta MAIS 5.0 rekent de inpandige kosten niet toe aan een bestaande actor. Het maakt hiervoor een aparte actor *inpandige distributeurs*.

Het warmtebedrijf investeert in de warmtewisselaar. De klant betaalt hiervoor via zijn bijdrage aansluitkosten en vastrecht. De warmtemeter kan zowel in het bezit zijn van het warmtebedrijf als de pandeigenaar. Als het warmtebedrijf de meter bezit, betaalt de klant

hiervoor huur als onderdeel van het vastrecht. De overige in pandige kosten, zoals die voor het afgiftesysteem, liggen bij de pandeigenaar. In de praktijk maken deze ingrepen vaak deel uit van het aanbod van het warmtebedrijf aan de klant. Het warmtebedrijf voert deze ingrepen dan uit en verdient deze over de jaren heen terug via de bijdrage aansluitkosten en het vastrecht.

De kosten van additionele installatie voor warmtapwaterbereiding bij laagtemperatuurwarmte kunnen zowel bij het warmtebedrijf als bij de pandeigenaar terecht komen. Als de pandeigenaar deze kosten draagt en ook de energiekosten voor de opwaardering, betaalt hij een gereduceerd tarief voor de warmte. Anders betaalt het warmtebedrijf de investeringskosten en energiekosten. Mijwater past deze laatste constructie toe. Hierbij kiest het ervoor om naast de warmteleiding een elektriciteitskabel naar de woning te leggen. Zo maakt Mijwater gebruik van eigen elektriciteit en betaalt voor de gebruikte elektriciteit het gunstigere elektriciteitstarief voor grootgebruikers.

Het dashboard eindgebruikerskosten dat TNO heeft ontwikkeld in opdracht van het Rijk rekent de kosten voor in pandige leidingen en afgifteset toe aan de woningeigenaar. De eventuele kosten voor warmtapwaterbereiding rekent het toe aan het warmtebedrijf (TNO, 2021).

#### 3.4.4 Aanbevelingen voor Vesta MAIS

De in pandige kosten voor gestapelde bouw zonder blokverwarming en grondgebonden bouw in Vesta MAIS 5.0 zijn aan de lage kant. We raden aan om bij de post ‘in pandige distributieleidingen’ te werken met de minimale en maximale waarden zoals gegeven in Tabel 30 en Tabel 31. Onder ‘in pandige distributieleidingen’ valt ook het verwijderen van de bestaande verwarmingsinstallatie. Echter hebben we geen specifiek getallen gevonden om deze kosten verder uit te splitsen. We adviseren deze aanpassing voor zowel HT-, MT- en LT-warmtenetten. Immers, de koppeling met het cv-systeem en het verwijderen van de gasketel met toebehoren moet in alle gevallen plaatsvinden.

Er is weinig nieuwe informatie over utiliteiten. De huidige modellering maakt geen onderscheid tussen woningen en utiliteiten, behalve voor een LT-afgiftesysteem. We zien geen aanleiding om deze aanpak te herzien.

### 3.5 Onderhoud en administratie

Vesta rekent doorlopende kosten voor het onderhoud en de administratie van warmtenetten. Deze kosten zijn gedefinieerd als een percentage van de investeringssom. In Tabel 33 en Tabel 34 staan de huidige percentages in het model samen met de opgehaalde input van warmtebedrijven en de getallen van Rebel. De huidige getallen komen uit de validatiesessies voor het Functioneel Ontwerp 4.0.

Tabel 33 - Onderhoudspercentages

Beschrijving	Huidige waarde	Input warmtebedrijven	Memo Rebel	Eenheid
Warmteoverdrachtstation	3	2,7	3	Procent
Onderstations	3	2,7	-	Procent
Secundaire distributienet	1	1,9	1	Procent
Primaire transportleidingen	1	1,8	1	Procent
Installaties in warmtenetten	3	2,7	2-2,6	Procent
Inpandige distributie	2,5	2,5	1,5-2,5	Procent
Bestaande MT-puntbronnen	5	-	-	Procent
Nieuwe bio-wkk warmtebronnen	16,6	-	-	Procent
Nieuwe geothermie warmtebronnen	6,9	-	-	Procent
Wijkdistributienet	1	1,8	-	Procent
Collectieve warmtepompen	3,5	4,0	-	Procent
Wko-bronnen	2	2,0	-	Procent
TEO-bronnen	3	-	-	Procent

De onderhoudspercentages van Rebel sluiten over het algemeen aan bij de huidige percentages. De warmtebedrijven geven iets afwijkende percentages aan, waar met name de onderhoudspercentages voor de netten met bijna een procentpunt hoger liggen. We raden daarom aan om alleen deze percentages te verhogen naar bijvoorbeeld 1,8% en de rest te handhaven.

Tabel 34 - Administratiepercentages

Beschrijving	Huidige waarde	Input warmtebedrijven	Eenheid
Installaties in warmtenetten	3	3	Procent
Leveranciers	1	1	Procent
Opwekkingsinstallaties	2,5	2,5	Procent
Collectieve warmtepompen	2,5	-	Procent

De administratiepercentages die warmtebedrijven teruggeven zijn dezelfde als nu in Vesta gebruikt. Rebel rapporteert een gemiddeld administratiebedrag van € 50 tot 90 per jaar per aansluiting. In de memo van Rebel rapporteert ze de gemiddelde aansluitkostenpost (voor het warmtebedrijf) van een grondgebonden woning als tussen de € 3.500 en 4.000 per stuk. Het administratiepercentage van Rebel ligt daarmee in de range van 1,2 tot 2,5 %, wat lijkt op de huidige uitgesplitste getallen. We raden daarom aan om de huidige getallen te handhaven.

De warmtebedrijven geven verder aan dat ze voorlopig geen andere onderhouds- of administratiepercentages hanteren of verwachten voor toekomstige (LT/ZLT) netten. De processen en materialen zijn grofweg vergelijkbaar. Eén bedrijf stelt op basis van praktijkervaring wel dat de onderhoudskosten voor LT-kunststofleidingen hoger zouden kunnen zijn. Echter is er nog te weinig ervaring mee in de markt om te zeggen of deze ervaring structureel of incidenteel is.

## 3.6 Bronbestanden

Vesta gebruikt vijf bestanden als input voor warmtenetbronnen:

- MT-puntbronnen (april 2019);
- LT-puntbronnen (mei 2019);
- Geothermie (november 2020);
- wko (augustus 2018);
- TEO (februari 2020).

We lopen na of actualisatie van de bronbestanden mogelijk is. Daar waar een nieuwe versie van een bronbestand beschikbaar is, voeren we een update uit. In dat geval beschrijven we ook de doorgelopen bewerkingsschappen.

### 3.6.1 MT- en LT-puntbronnen

De bronbestanden van MT- en LT-puntbronnen zijn oorspronkelijk voor de Startanalyse opgesteld, en zijn beschikbaar via de WarmteAtlas van RVO. De actuele versie in de WarmteAtlas is niet dezelfde versie als nu gebruikt door Vesta. Tussentijds hebben gemeenten de mogelijkheid gehad om wijzigingen door te geven over de LT-bronnen. In de update van het HT/MT-puntbronnenbestand zijn 11 nieuwe bronnen opgenomen en 22 oude bronnen weggevalen. In de update van het LT-puntbronnenbestand zijn 148 naamsveranderingen van bestaande bronnen doorgevoerd en zeven classificaties van voedingsmiddelen\_dranken\_tabak naar bakkerij gegaan.

Het metadatabestand van de bronbestanden omschrijft de bronnen en bewerkingsschappen die nodig zijn voor het verkrijgen van de data. We actualiseren de bronbestanden en doorlopen de bewerkingsschappen op 3-11-2021 opnieuw. Tussen nu en de vorige actualisatie heeft RVO de WarmteAtlas lagen geconsolideerd naar één laag voor MT-bronnen en drie lagen voor LT-bronnen. Van de LT-lagen beschrijven twee lagen subsets van bronnen uit de derde laag. Uiteindelijk zijn de volgende twee kaartlagen daarom gebruikt voor actualisatie:

- DuurzaamEnergiePotentieel > Restwarmte > MT-Warmtebronnen startanalyse ECW;
- DuurzaamEnergiePotentieel > Restwarmte > LT-Warmtebronnen startanalyse ECW.

### 3.6.2 Geothermie

Het huidige geothermiebestand (11-2020) is up-to-date met de meest recente data uit ThermoGIS.

### 3.6.3 Wko

De wko-potentiecontourkaart combineert twee datalagen: de bodempotentiekaart voor warmteopslag en grondwaterbeschermingsgebieden. De potentiecontourkaart die nu door Vesta wordt gebruikt is verouderd, met name de grondwaterbeschermingsgebied-laag (juni 2015) wijkt af van de meest recente informatie.

Op basis van datalagen in de WarmteAtlas combineren we op 3-11-2021 de volgende twee lagen:

- DuurzaamEnergiePotentieel > Omgevingswarmte > WKOgeslWarmteOpslag;
- Restrictiegebieden > WKO Verbodsgebieden.

Aandachtsgebieden en partiële restrictiegebieden halen we net als in het origineel niet van het potentiecontour af. Een wko-installatie is hier wel toegestaan, maar er zijn bepaalde eisen aan verbonden.

### 3.6.4 TEO

Het huidige TEO-bestand (2-2020) is up-to-date met de meest recente data uit de WarmteAtlas.

## 3.7 Subsidies

Naast de nationale kosten, kan Vesta ook de eindgebruikerskosten voor verschillende eindgebruikers berekenen. Bij berekeningen voor eindgebruikerskosten spelen subsidies ook een rol. Vesta rekent met twee soorten subsidies, een subsidie op investeringen (EIA) en een subsidie op de productie van warmte (SDE).

- EIA, een overheidssubsidie voor investeringen:
  - voor elk type EIA kan de modelgebruiker een andere hoogte van de subsidie opgeven;
  - voor gebouw gerelateerde EIA kan de modelgebruiker voor elk type gebouw een aparte hoogte van de subsidie opgeven.
- SDE, een productiesubsidie voor warmtenetten gebaseerd op de hoeveelheid geleverde warmte door de primaire bron:
  - deze subsidie kan de modelgebruikers apart opgeven voor MT-bronnen, LT-bronnen en configuraties met een wko.

Over het algemeen neemt Vesta standaard geen subsidie mee, de modelgebruiker kan zelf de waarden voor de subsidies instellen. Warmtebedrijven geven aan niet standaard de EIA mee te nemen, maar de SDE indien toepasbaar wel in de businesscase opnemen. Wanneer een bestaande woning aangesloten wordt rekenen ze ook de SAH of ISDE mee. De EIA en ISDE kunnen niet gecombineerd gebruikt worden.

## 4 Conclusies

Dit rapport beschrijft de huidige modellering, laatste bekende literatuur en aanbevelingen voor de modellering van verschillende onderdelen van de warmtenetberekeningen in Vesta MAIS. De huidige modellering van Vesta MAIS is een mooie basis. Deze rapportage geeft op verschillende onderdelen aanbevelingen voor verbetering van de modellering. Dit zijn:

- **Configuraties van de warmtenetten:** we raden aan om koude toe te voegen en nieuwe configuraties toe te voegen die aansluiten bij toekomstige (5<sup>e</sup> generatie) warmtenetten.
- **Clusters van warmtebronnen:** we raden aan om niet een algemene clustermethode voor MT-warmtebronnen op te nemen in Vesta, maar om voor enkele industriegebieden de bronnen in de warmtebronnenkaart al samen te voegen tot één grote bron.
- **Gelijktijdigheid:** we raden aan de gelijktijdigheidsfactor voor warmtapwaterbereiding voor kleine warmtenetten (< 100 aangesloten panden) afhankelijk te maken van het aantal panden.
- **Clusters in plaats van buurten:** we raden aan de huidige clustermethode voor gebouwen voor LT-netten aan te passen zodat deze ook geschikt is voor MT-netten.
- **Warmtetarieven in Warmtewet 2:** we raden aan om in plaats van de ACM-tarieven de warmtetarieven die eindgebruikers betalen zelf uit te rekenen per warmtekavel.
- **Aansluitregels:** we raden aan om aansluitregels te implementeren voor wanneer de warmtekavels van tevoren wel bekend zijn en wanneer deze nog niet bekend zijn. In het laatste geval sluiten gebouwen aan wanneer de warmtekosten lager zijn dan een alternatief.
- **Duurzaamheidsnormen:** we raden aan om voor ieder warmtekavel de uitstoot per GJ uit te rekenen en mee te geven als modelresultaat.
- **Leercurves:** we raden aan de huidige leercurves te behouden, en standaard uit te gaan van de pessimistische leercurve.
- **Nieuwe warmtebronnen:** we raden aan ondiepe geothermie en thermische energie uit drinkwater toe te voegen als bronnen aan Vesta. We raden aan om voor thermische energie uit afvalwater de huidige methode te behouden.
- **Warmtevraagverdeling over het seizoen:** We raden aan om na te gaan op welke termijn warmteleveranciers seizoensopslag en het stapelen van warmtebronnen overwegen.
- **Nieuwe warmtebronnen:** we raden aan ondiepe geothermie als LT-bron toe te voegen.
- **Maximale capaciteit geothermie, aquathermie en wko:** we raden voor geothermie aan verder onderzoek te doen naar de totale potentie van geothermie en op basis van die resultaten te beslissen of een limiet toegevoegde waarde heeft. Voor TEO raden we aan een limiet toe te voegen. Voor wko raden we aan de huidige methode te behouden.
- **Split incentive:** we adviseren aan te sluiten bij de aanpak van het Dashboard Eindgebruikerskosten van TNO, waarbij de investeringsbeslissing van de verhuurder (sociaal en particulier) vergelijkbaar wordt met die van een eigenaar-bewoner, en waarbij de investering verrekenet door middel van een huurverhoging.
- **Huurverlaging LT-warmtenet:** we raden aan om de huurverlaging voor MT-warmtenetten ook toe te passen bij LT-warmtenetten.
- **Eindgebruikerskosten LT-warmtenet:** we raden aan om het vastrecht voor koudelevering en lagetemperatuurwarmte over te nemen van de ACM-maximum-tarieven. Daarnaast raden we aan om het variabele warmtetarief voor koude te berekenen vanuit de productiekosten van koude.

Naast een evaluatie van de modelleermethodes, hebben we een evaluatie van de kengetallen uitgevoerd. Deze rapportage geeft de volgende aanbevelingen voor de kengetallen in Vesta MAIS:

- **Discontovoeten:** we raden aan de standaard maatschappelijke discontovoet te verlagen naar 2,25%, de discontovoet voor verzonken investeringen te verlagen naar 1,6% en de discontovoet voor warmtenet-actoren te verhogen naar 6,8%.
- **Kostprijs warmte uit warmtebronnen:** we raden aan voorlopig deze kengetallen te behouden, maar wel aan te sluiten bij nieuwe ontwikkelingen, zoals de Warmtewet 2.0, wanneer deze zich voordoen.
- **Warmtenetdemarcatie:** we raden aan om de terminologie in het functioneel ontwerp aan te passen om zo beter aan te sluiten bij de definities binnen de warmtebranche, zie Paragraaf 3.2.1.
- **Kostprijs en kengetallen onderdelen warmtenet:** op basis van de literatuur en gesprekken met warmtebedrijven stellen we enkele wijzigingen in deze kengetallen voor.
- **Buisleidingkosten:** we raden aan om binnen de huidige aanpak van leidingkosten te differentiëren naar het temperatuurverschil tussen aanvoer en retour.
- **Warmteoverdrachtsstation:** we raden aan om deze niet meer standaard te modelleren in een warmtenet, en in plaats daarvan alleen onderstations als verdeel- en regelstations te modelleren. Een hulpwarmte-installatie moet wel altijd worden gemodelleerd.
- **Vermogensvraag en gelijktijdigheid:** we raden aan om verder onderzoek te doen naar de waarden voor gelijktijdigheid de vermogensvragen van woningen en utiliteiten. De evaluatie heeft aanleiding gegeven deze getallen te herzien, maar te weinig handvaten geboden waarmee we een nieuw voorstel kunnen doen. Daarom raden we aan om dit nader te onderzoeken en tot die tijd de huidige waarden te hanteren.
- **Warmtetarieven:** we adviseren (voor de NMDA-modellering, niet de Warmtewet 2-modellering) aan te sluiten bij de meest recente tarieven van ACM.
- **Inpandige kosten:** we raden aan de inpandige kosten te verhogen op basis van de meest recente literatuur (memo Rebel voor Template Businesscase warmtenetten) en aan te sluiten bij het dashboard Eindgebruikerskosten voor de verdeling van de kosten.
- **Onderhoud en administratie:** we raden op basis van de evaluatie aan de waarden voor enkele kengetallen aan te passen en de rest gelijk te houden.
- **Bronbestanden:** we raden aan om het bestanden met wko-potentiecontouren en MT- en LT-puntbronnen te actualiseren.

# Literatuur

- CE Delft, 2018. Nationaal potentieel van aquathermie : Analyse en review van de mogelijkheden. Delft, CE Delft.
- CE Delft, 2021. Factsheet 'Onrendabele top collectieve warmtesystemen'. Delft, CE Delft.
- ECN part of TNO. 2019. *Wat kunnen we in Nederland leren van warmtenetten in Denemarken?* [Online]. TNO. Available: <https://publications.tno.nl/publication/34634054/SmEIJ4/huygen-2019-wat.pdf> [Accessed].
- Ecovat, 2019. 5e generatie warmtenetten: Ongekende mogelijkheden. *Content Ecovat*.
- ECW. 2019. *Uitvraag warmtebronnen en proeftuinen\_linkpagina* [Online]. Expertise Centrum Warmte (ECW). Available: <https://www.expertisecentrumwarmte.nl/documenten/documentenpagina+uitvraag+warmtebronnen+proeftuine/default.aspx#folder=1508875> [Accessed 23-11-2021].
- ECW. lopend. *Bestaande bouw aansluiten op warmtenetten* [Online]. Expertise Centrum Warmte (ECW). Available: <https://www.expertisecentrumwarmte.nl/themas/technische+oplossingen/bestaande+bouw+aansluiten+op+warmtenetten/default.aspx> [Accessed 2021].
- Huurcommissie, 2021. Beleidsboek waarderingsstelsel zelfstandige woonruimte. Den Haag, Huurcommissie.
- Midttømme, 2014. Geothermal energy in Norway. Bergen (NO), Christian Michelsen Research Center.
- Mijnwater. 2021. *D2GRIDS INTERREG NWE* [Online]. Available: <https://mijnwater.com/d2grids-interreg-nwe> [Accessed 10-11-2021].
- Ministerie van BZK, 2021. Huurprijsbeleid voor de periode 1 januari 2021 tot en met 20 juni 2022 (Circulaire). Den Haag, Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (BZK).
- Ministerie van Economische Zaken en Klimaat. 2021. *Warmtewet* [Online]. Den Haag: wetten.overheid.nl. Available: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0033729/2021-10-09> [Accessed].
- PBL, 2021. Functioneel ontwerp Vesta MAIS 5.0. Den Haag, Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).
- PBL, TNO, DNV GL, Guidehouse & Witteveen+Bos, 2021. Eindadvies basisbedragen SDE++ 2021. Den Haag, Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).





- Platform Geothermie.** 2019. *Factsheet Geothermie* [Online]. Available: [https://geothermie.nl/images/Factsheets/20190429\\_fs\\_Wat\\_is\\_geothermie.pdf](https://geothermie.nl/images/Factsheets/20190429_fs_Wat_is_geothermie.pdf) [Accessed 23-11-2021 2021].
- Platform Geothermie, DAGO, Warmtenetwerk & EBN.** 2018. *Masterplan Aardwarmte in Nederland : Een brede basis voor een duurzame warmtevoorziening* [Online]. Available: <https://kennisbank.ebn.nl/wp-content/uploads/2018/08/20180529-Masterplan-Aardwarmte-in-Nederland.pdf> [Accessed november 2021].
- Rijkswaterstaat.** 2019. *Klimaatmonitor* [Online]. Available: <https://klimaatmonitor.databank.nl/jive> [Accessed].
- RVO.** lopend. *Warmteatlas* [Online]. Available: <https://rvo.b3p.nl/viewer/app/Warmteatlas/v2> [Accessed 19 augustus 2021].
- Simone Buffa,** 2019. 5th generation district heating and cooling systems: A review of existing. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 504-522.
- Stef Boesten,** 2019. 5th generation district heating and cooling systems as a solution for. *Advances in Geosciences*, 129-136.
- TKI Urban Energy.** lopend. *Koudenetten* [Online]. Available: <https://www.topsectorenergie.nl/tki-urban-energy/kennisdossiers/factsheets-koudetechnieken/koudenetten> [Accessed 18-11-2021].
- TNO,** 2021. Eindgebruikerskosten Technische achtergrondrapportage. Amsterdam, TNO.
- Vattenfall.** 2021. *Warmtenetten: altijd in beweging* [Online]. Vattenfall. Available: <https://www.vattenfall.nl/grootzakelijk/producten/stadsverwarming/whitepaper-warmtenetten/> [Accessed].
- WarmingUp.** 2021a. *Aquathermie potentiekaart, online tool* [Online]. Available: <https://warmingup.geoapps.nl/> [Accessed 11/23/2021].
- WarmingUp.** 2021b. *Project 2C. Aanlegkosten MT/LT-warmtenetten* [Online]. Available: <https://www.warmingup.info/project/23/2c-aanlegkosten-mt-lt-warmtenetten> [Accessed 11/23/2021].
- Warmteling.** lopend. *Warmteling project* [Online]. Available: <https://www.warmteling.nl/project#:~:text=Warmteling%20zorgt%20ervoor%20dat%20restwarmte,geloosd%2C%20nuttig%20gebruikt%20kan%20worden.&text=In%20de%20toekomst%20worden%20ook,of%20uit%20andere%20duurzame%20bronnen> [Accessed november 2021].
- Warmtenetwerk.** 2021a. *Koudenet Amsterdam Zuidoost* [Online]. Available: <https://warmtenetwerk.nl/warmteproject/koudenet-amsterdam-zuidoost/> [Accessed 10-11-2021].
- Warmtenetwerk.** 2021b. *Warmteprojectentool* [Online]. Available: <https://warmtenetwerk.nl/map/> [Accessed 10-11-2021].



# A Memo Gasunie WarmtelinQ

## Waar gaat het om

Het delen van kentallen voor warmteleidingen (kosten/kilometer gegeven bepaalde omgeving (akkers, binnenstad, haven,...) met het Planbureau voor de Leefomgeving ten behoeve het energie transitie (Vesta/MAIS) model.

## Brongegevens voor een vergelijk

Analyse ramingsmethodiek WLQ voor traject Vlaardingen – Den Haag middels kentallen versus marktconsultaties en gunning 2021. De manier van rekenen Vesta en WLQ is verschillend, voor een goed vergelijk is er gezocht naar harmonisering o.b.v. expert judgment.

Vertaalsleutel naar Vesta's op basis van WLQ-model; traceindeling obv omgeving*						
	L	SB	I	S	K	Totaal
open	60%	20%			20%	100%
dicht		30%	10%	30%	30%	100%

\*) inschatting JAB Q1-2022

1. Vesta/Mais heeft een min/max (open/dicht) waarde per diameter. Er wordt een waarde gekozen en deze geldt voor het hele traject.
2. WLQ heeft een basisgetal met gebiedstoeslagen. Toeslag voor landelijk (L), stedelijk buiten (SB), industrie/haven (I), stedelijk (S) en kruisingen (K).

Na beoordeling van aanbiedingen voor materiaal (2 raamcontracten) en constructie (5 raamcontracten) voor 5 loten (DN500/600/700) en gebaseerd op de mediaan van de aanbiedingen liggen deze voor 5 loten binnen een P50 bandbreedte van +/-10% van de WLQ raming middels kentallen. Het betreft een lastig gebied waar het aandeel kruisingen ca. 1/3 is van de tracélengte met een groot aandeel SIS voor HDD kruisingen.

## Uitgangspunten ramingen WLQ

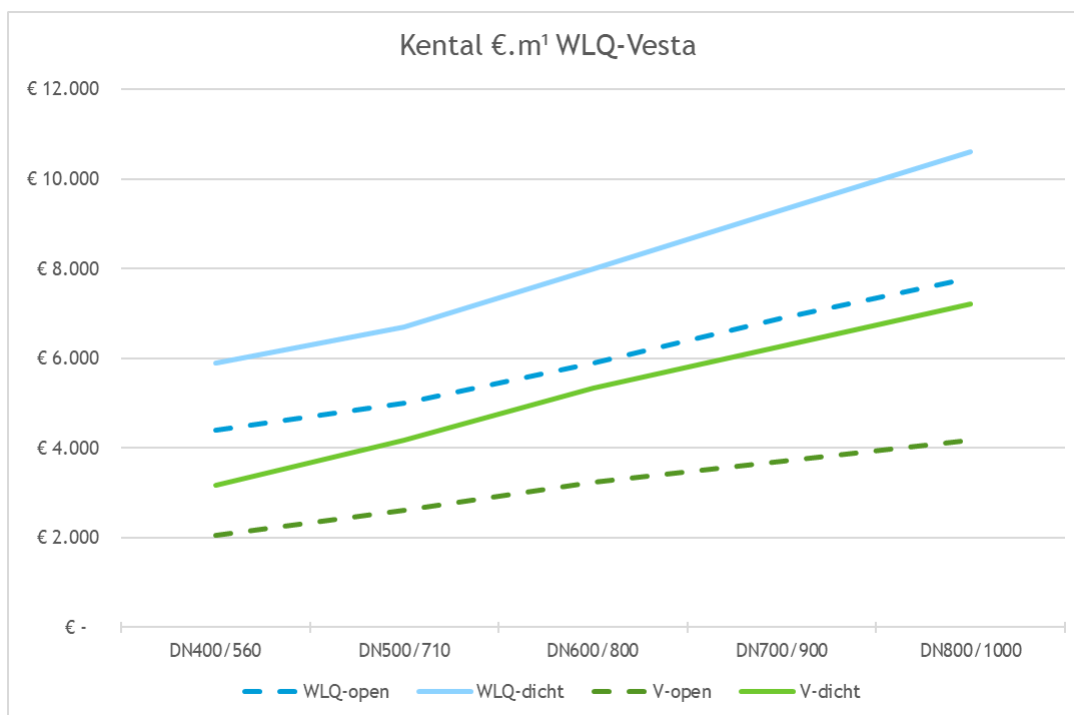
- Kentallen WLQ prijsniveau 2020, gem. tracélengte minimaal 5-10km,
- Gevolgen/invloed van Corona pandemie 2020-2022 zijn niet meegenomen,
- Effecten op staalprijs/brandstof t.g.v. geopolitieke ontwikkelingen 2021-22, niet meegenomen,
- Effecten van beschikbaarheid resources (mens/materiaal/materieel), overspannen markt, maatschappelijke acceptatie en stikstofdepositie zijn niet meegenomen.

## Uitkomst analyse

Meterprijs per diameter A+R, DACE Class 5 +30/-20%

Diameter	GU ---> Vesta		CE Delft Vesta-model max	
	WLQ-open	WLQ-dicht	V-open	V-dicht
DN400/560	€ 4.400,00	€ 5.900,00	€ 2.053,54	€ 3.179,39
DN500/710	€ 5.000,00	€ 6.700,00	€ 2.612,49	€ 4.174,61
DN600/800	€ 5.900,00	€ 8.000,00	€ 3.233,05	€ 5.340,18
DN700/900	€ 6.900,00	€ 9.300,00	€ 3.707,08	€ 6.266,39
DN800/1000	€ 7.800,00	€ 10.600,00	€ 4.180,00	€ 7.217,37





#### Advies

Per diameter en gebied/omgeving het tracé op knippen in secties, een toeslag per gebied/omgeving voor complexiteit/grondslag/.... Hierdoor kan de gebruiker beter differentiëren en corrigeren op veranderende omstandigheden per onderdeel.

# B Buisleidingkosten warmtebedrijven

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	

\* Niet-standaardmaten waar slechts een bedrijf informatie voor opgaf. Weggelaten in de formuleschatting.

\*\* Te weinig datapunten om formule mee te schatten, in plaats daarvan dT50-formule geschaald op vermogen en gecontroleerd bij warmtebedrijven.

Formules, gefit op basis van data in Tabel 35:

$$K_{dT10(max)} = 1585.4 * P_{sec}^{0.36}$$

$$K_{dT10(min)} = 1069.2 * P_{sec}^{0.41}$$

$$K_{dT20(max)} = 1114.4 * P_{sec}^{0.38}$$

$$K_{dT20(min)} = 776.1 * P_{sec}^{0.42}$$

$$K_{dT30(max)} = 1075.5 * P_{sec}^{0.35}$$

$$K_{dT30(min)} = 680.3 * P_{sec}^{0.41}$$

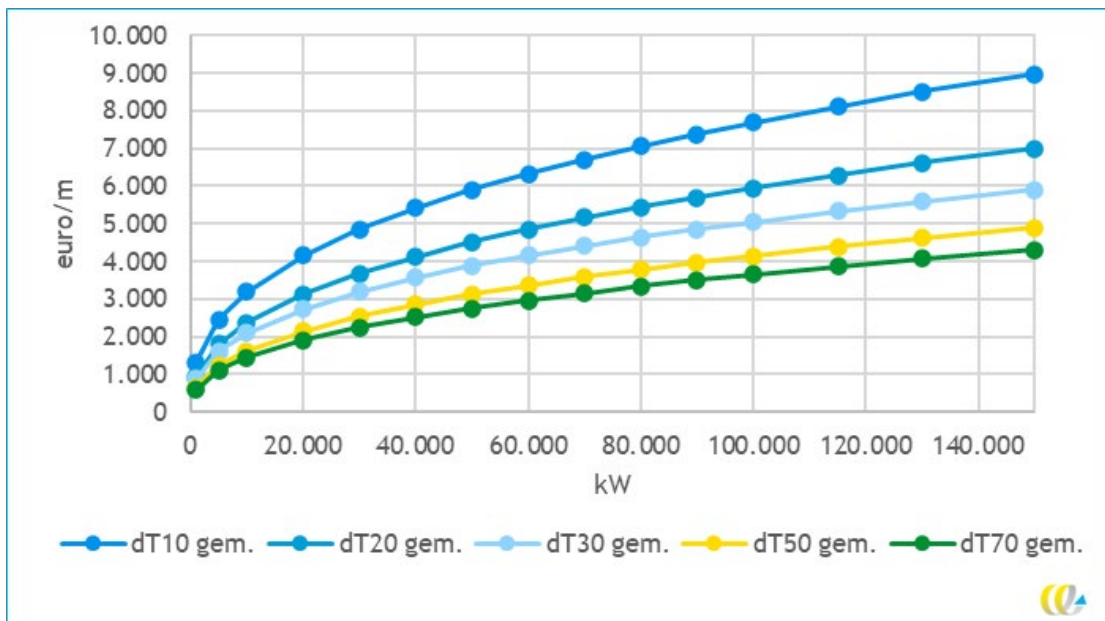
$$K_{dT50(max)} = 890.4 * P_{sec}^{0.36}$$

$$K_{dT50(min)} = 407.8 * P_{sec}^{0.48}$$

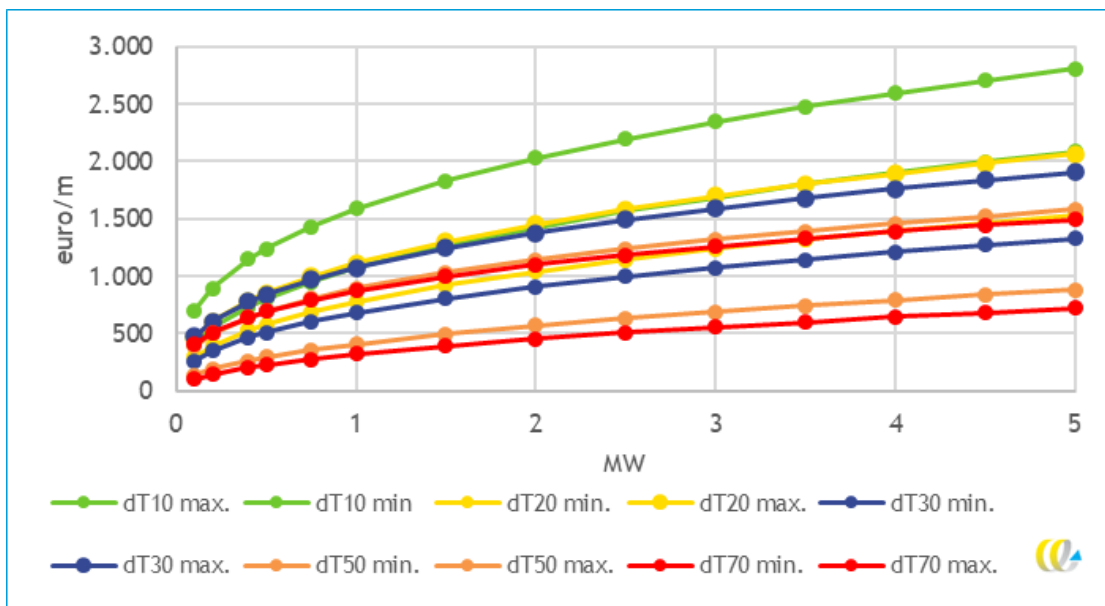
$$K_{dT70(max)} = 320.5 * P_{sec}^{0.50}$$

$$K_{dT70(min)} = 871.4 * P_{sec}^{0.33}$$

Figuur 13 - Gemiddelde buisleidingkosten warmtenetten o.b.v. vermogen en temperatuurverschil



Figuur 14 - Minimale en maximale buisleidingkosten warmtenetten o.b.v. vermogen en temperatuurverschil (0-5 MW)



Figuur 15 - Minimale en maximale buisleidingkosten warmtenetten o.b.v. vermogen en temperatuurverschil (0-250 MW)

