



# Functioneel ontwerp Vesta 4.0



*Committed to the Environment*

# Functioneel ontwerp Vesta 4.0

Dit rapport is geschreven door:

**CE Delft**

Benno Schepers, Nanda Naber

**PBL**

Ruud van den Wijngaart, Steven van Polen, Folckert van der Molen, Tijs Langeveld,  
Bas van Bommel

**Ecorys**

Alexander Oei

**Objectvision**

Maarten Hilferink, Martin van Beek

Delft, CE Delft, december 2019

Publicatienummer: 19.190146.173

Gebouwde omgeving / Energievoorziening / Energiebesparing / Maatregelen / Besluitvorming / Gegevensbestanden  
VT : Rekenmodellen

Opdrachtgever: PBL, Ruud van den Wijngaart

Uw kenmerk: 5200000970

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

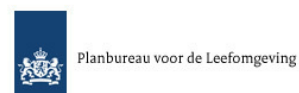
Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Benno Schepers (CE Delft)

© copyright, CE Delft, Delft

**CE Delft**

Committed to the Environment

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



# Dankwoord

In het rapport zijn beschrijvingen van methode, rekenregels en data opgenomen waar vele deskundigen aan hebben bijgedragen. Aan hen allen zijn we dank verschuldigd. De volgende personen in het bijzonder:

- validatiesessies van het Vesta MAIS-model;  
(<https://www.rvo.nl/actueel/evenementen/validatiesessies-voor-het-vesta-mais-model>):
  - organisatie: Lex Bosselaar en Leo Brouwer (ECW/RVO);
  - energiebesparing gebouwen: Robin Niessink, Casper Tigchelaar en Vera Rovers (allen ECN/TNO);
  - warmtenetten: Emma Koster en Katja Kruit (beide CE Delft).
- gas- en elektriciteitsnetten: Auke Akkerman (Alliander), Raoul Bernards (Enexis) Rob Cloosen (Stedin) en Rolf van der Velde (Alliander).

# Inhoud

1	Inleiding	7
	1.1 Dit document	7
	1.2 Leeswijzer	8
2	Algemene beschrijving model	9
	2.1 Inleiding	9
	2.2 Gebouwen	12
	2.3 Energievraag	14
	2.4 Energievraag bij gebiedsmaatregelen	17
	2.5 Gas- en elektriciteitsinfrastructuur	24
	2.6 Energieprijzen	25
	2.7 Kostenontwikkeling	25
	2.8 Beleid	26
3	Werking model	28
4	Geografie en classificaties	33
	4.1 Geography	33
	4.2 Classifications - modeldefinities	33
5	Invoer	41
	5.1 Ruimtelijke data	41
	5.2 Kengetallen	50
	5.3 Energieprijzen	67
	5.4 Defaultinstellingen	68
	5.5 Specifieke instellingen	77
6	Methode	80
	6.1 Inleiding	80
	6.2 Werkwijze	80
	6.3 Gebouwmaatregelen	83
	6.4 Gebiedsmaatregelen	88
	6.5 Infrastructuur gas en elektriciteit	111
	6.6 Maatschappelijke- en eindgebruikerskosten	113
7	Energie en rentabiliteit	119
	7.1 Gebouwmaatregelen	120
	7.2 Opbrengsten gebiedsmaatregelen	128
	7.3 Investeringskosten gebiedsmaatregelen	132
	7.4 Jaarlijkse kosten gebiedsmaatregelen	147
	7.5 Jaarlijkse kosten G- en E-infra	151
	7.6 Investeringskosten G- en E-infra	152



8	Resultaten	157
	8.1 TussenResultaten	157
	8.2 Resultaten	157
	8.3 Type resultaten	158
	 Bibliografie	 159
A	Invoerparameters	162
	A.1 Basis	162
	A.2 Leercurves	166
	A.3 Kosten HT/MT warmtenetten	168
	A.4 Kosten LT-warmtenet	169
	A.5 Infrastructuur	170
	A.6 Efficiëntie	172
	A.7 Aansluitwaarden	174
	A.8 Onderhoud	176
	A.9 Defaultinstellingen	177
	A.10 Warmtebronnen	181
	A.11 Overige parameters	185
B	Invoerbestanden	192
	B.1 Energieprijzen	198
	B.2 CO <sub>2</sub> - en overige luchtmissies	202



# DEEL 1

## Beschrijving

# 1 Inleiding

## 1.1 Dit document

Dit functioneel ontwerp geeft een beeld van de uitgangspunten en de werking van het Vesta MAIS-model. Daarbij wordt de onderbouwing gegeven van de rekenregels die het Vesta MAIS-model hanteert en wordt toegelicht hoe tot bepaalde keuzes is gekomen.

Het Functioneel ontwerp 4.0 is niet het eerste functioneel ontwerp van dit model. Het model is sinds 2010 constant in ontwikkeling en dit werd op gezette tijden vastgelegd in verschillende functionele ontwerpen. Daarnaast zijn er deels voor en deels na de laatste publicatie van het functioneel ontwerp diverse aanpassingen gedaan aan het model en deze zijn meestal beschreven in aparte rapportages of notities, zoals weergegeven in Tabel 1. Om te zorgen dat het voor eenieder makkelijker wordt om de onderbouwing terug te vinden van de rekenregels wordt de informatie uit deze documenten in dit functioneel ontwerp bijeengebracht. De gedetailleerde onderbouwing van de data of de rekenregels blijven nog wel in de separate rapportages staan, maar de hoofdlijnen in de redenering worden wel beschreven in dit document. Hierdoor wordt dit document wel omvangrijker dan vorige versies, maar het maakt het voor de geïnteresseerde wel makkelijker om de onderbouwing terug te vinden. Hierbij is het document bedoeld voor onderzoekers, adviseurs, beleidsmedewerkers en modelleers die geïnteresseerd zijn in de achtergrond en rekenregels van het model.

Het Vesta MAIS-model wordt ook open-source aangeboden. Om de gebruikers te helpen met de toepassing van het Vesta MAIS-model is een wiki-pagina ingericht (Wijngaard, lopend). Deze wiki-pagina geeft een gebruiker de handvatten om aan de gang te gaan met het Vesta MAIS-model. Om te zorgen dat de verbinding, voor de geïnteresseerde, makkelijker te leggen is tussen dit document en de wiki-pagina komt de structuur die wordt gehanteerd binnen de wiki-pagina en dit document grotendeels overeen. Let hierbij wel op dat dit geldt bij de publicatie van dit document en de wiki-pagina van november 2019. Hierna gaat de ontwikkeling van het model verder en kan het zijn dat er (kleine) verschillen komen tussen beide rapportages maar getracht wordt dit zoveel mogelijk in lijn te houden.

Een belangrijk deel van de documenten die als input dienen voor het model en dit document worden weergegeven in Tabel 1. Deze en overige referenties zijn ook opgenomen in de literatuurlijst.

Tabel 1 - Gebruikte documenten voor model en Functioneel Ontwerp 4.0

Naam document
Functioneel Ontwerp 3.0 (CE Delft, 2017)
Het Vesta MAIS ruimtelijk energiemodel voor de gebouwde omgeving (PBL, 2017)
Uitbreidingen en dataverificaties (Vesta 2.0) (CE Delft, 2013)
Validatie Vesta MAIS-model schilisolatie Woningen (TNO, 2019b)
Notitie aanpassingen VESTA MAIS-model schilmaatregelen utiliteitsgebouwen (TNO, 2019a)
Notitie wijzigingen Vesta MAIS-model Functioneel Ontwerp: Technische aanpassingen elektriciteits- en gasinfrastructuur als gevolg van veranderingen in de warmtevoorziening (Molen, 2019b)
Functioneel ontwerp LT-warmtenetten gebouwde omgeving (CE Delft, 2019a)
Overzicht aanpassingen Vesta MAIS (warmtenetten en conversietechnieken) (CE Delft, 2019b)

## 1.2 Leeswijzer

Dit document bestaat uit vier delen:

Deel 1: Algemene beschrijving van het model (Hoofdstuk 2).

Deel 2: Verdieping (Hoofdstuk 3 t/m 5).

Deel 3: Rekenregels (Hoofdstuk 6 t/m 8).

Deel 4: Bijlagen.

Deel 1 geeft een algemene beschrijving van het model.

Deel 2 is de verdieping van het model, waarin de werking van het model wordt uitgelegd, de geografie en classificaties die worden gebruikt in het model en de modelinput. Dit deel sluit zo goed mogelijk aan op de wiki-pagina, waarin de gebruiker wegwijs wordt gemaakt met het model. De kopjes in het Functioneel Ontwerp 4.0 hebben dezelfde naam als de kopjes in de wiki-pagina en het Vesta MAIS-model (versie eind oktober 2019). Ook wordt er in een tekstkader bij elke paragraaf een link geplaatst naar de wiki. Op deze manier is het gemakkelijk om extra informatie over een bepaald onderdeel op te zoeken. Niet alle containers in het model worden genoemd in dit document, omdat sommige onderdelen interne tussenstappen bevatten die alleen relevant zijn voor de modelberekening. In het tekstkader bij elke paragraaf wordt ook het pad gegeven naar hetzelfde onderdeel in het model. Het pad linkt niet direct naar het model, maar kan wel gekopieerd worden en in het model worden geplaatst, zodat men direct naar het juiste onderdeel kan springen in het model.

Voorbeeld tekstkader met pad:

GeoDmsGui:	/Invoer/RuimtelijkeData/BAG
Wiki:	<a href="#">/wiki/C.4.1-RuimtelijkeData</a>

In Deel 3 worden de rekenregels weergegeven. Hierin staan alle formules die worden gebruikt in het model om tot resultaten te komen. In de formules wordt gebruikgemaakt van symbolen om termen of beschrijvingen af te korten. Deze symbolen komen niet altijd overeen met de symbolen gebruikt in het model. Voor de modelbenaming van de verschillende termen is een parameterlijst opgesteld, te vinden in de wiki. Waarden van parameters gebruikt in de formule, zijn te vinden in Bijlage A.

Deel 4 bevat de bijlagen. Hier staat onder andere een bijlage met alle door het model gebruikte kengetallen.



## 2 Algemene beschrijving model

### 2.1 Inleiding

GeoDmsGui:	N.v.t.
Wiki:	<a href="#">/wiki/A-Algemene Beschrijving</a>

Het Vesta MAIS-model is een ruimtelijk energiemodel van de gebouwde omgeving (onder andere woningen, kantoren, winkels en ziekenhuizen) en de glastuinbouw. Het doel van Vesta MAIS is het verkennen van mogelijkheden om het energiegebruik en de CO<sub>2</sub>-uitstoot te verminderen in de periode tot 2050. Zowel gebouw- als gebiedsmaatregelen kunnen worden doorgerekend waarbij rekening kan worden gehouden met lokale omstandigheden in heel Nederland. Met het model kunnen simulaties worden uitgevoerd om na te gaan welke mix en volgorde van gebouw- en gebiedsmaatregelen het meest kosteneffectief is. Het is echter geen optimalisatiemodel dat ‘automatisch’ de meest kosteneffectieve route naar een CO<sub>2</sub>-arme gebouwde omgeving berekent. Het Vesta MAIS-model is een beslissingsondersteunend ruimtelijk model voor beleidsmakers. Het model geeft inzicht in het technisch-economisch potentieel van energiebesparing, hernieuwbare energie, individuele gebouwinstallaties en warmtenetten. Dit geeft inzicht in de ontwikkeling van het energiegebruik, de CO<sub>2</sub>-uitstoot en de kosten en baten van actoren naar een CO<sub>2</sub>-arme gebouwde omgeving.

#### Hoe worden maatregelen ingezet?

Het model weegt eerst per individueel gebouw, de kosten van gebouwmaatregelen om energie te besparen af tegen de opbrengsten gerelateerd aan de bespaarde inzet van energiedragers.

De effecten van deze gebouwmaatregelen hebben invloed op de warmtevraag die ingevuld kan worden door gebiedsmaatregelen. Gegeven de resterende warmtevraag berekent het model de gebieden waar warmte- en koudelevering door gebiedsmaatregelen rendabel is, dat wil zeggen dat het een rendabele investering is voor de leverancier en gebouweigenaren niet meer betalen dan met verwarming op basis van aardgas. Daarnaast kunnen gebouwen geselecteerd worden om wel of niet mee te doen met maatregelen op basis van verschillende (sociaaleconomische) kenmerken. Hieronder wordt nader ingegaan op de manier waarop het Vesta MAIS-model omgaat met gebouw- en gebiedsmaatregelen en de interactie tussen deze twee.

#### 2.1.1 Gebouwmaatregelen

Gebouwmaatregelen zijn, zoals de naam al aangeeft, maatregelen die plaatsvinden op gebouwniveau. Hierbij kan aan de ene kant worden gedacht aan energiebesparende maatregelen zoals het aanbrengen van dak-, gevel- en vloerisolatie, het vervangen van enkel glas door glas met een hogere isolerende waarde en de ventilatie. Deze maatregelen resulteren in een warmtevraagreductie. Aan de andere kant bevatten gebouwmaatregelen ook de maatregelen om op individueel gebouwniveau in de warmtevraag te voorzien, zoals het vervangen van de ketel door een (hybride) warmtepomp, inclusief afgiftesysteem, of het plaatsen van een zonneboiler. Als laatste valt de toepassing van zon-PV voor elektriciteitsproductie ook onder de gebouwmaatregelen.

Het Vesta MAIS-model bevat informatie over zowel de investeringskosten, jaarlijkse kosten en de baten van vermeden gas- en elektriciteitsinzet. Met deze gegevens is het mogelijk om op gebouwniveau te analyseren of de baten van gebouwmaatregelen voldoende zijn om de investeringen te compenseren. Dit kan zowel vanuit maatschappelijk perspectief als vanuit het eindgebruikersperspectief. Het verschil in deze perspectieven zit voornamelijk in de discontovoet die wordt gehanteerd voor de gebouweigenaren bij investeringen en het wel/niet meenemen van belastingen op energie in de rentabiliteitsafweging. Binnen Vesta MAIS is het mogelijk om vanuit beide perspectieven te rekenen, wat verder wordt toegelicht in Hoofdstuk 6.

Naast de mogelijkheid om de toepassing van gebouwmaatregelen te berekenen is het ook mogelijk om deze gebouwmaatregelen op te leggen. Dit houdt in dat de rentabiliteitsberekening geen invloed heeft op de vraag of een gebouwmaatregel wel/niet wordt toegepast maar dat alle gebouwen de opgelegde maatregel uitvoeren, ook al is deze niet rendabel. Het effect op de kosten wordt dan nog wel doorgerekend maar is dus niet van invloed op de keuze of de maatregel wel/niet wordt toegepast. De mogelijkheid voor het opleggen van een gebouwmaatregel wordt regelmatig gebruikt om te zien wat de effecten op de ingroei van verschillende warmteopties zijn indien een bepaalde gebouwmaatregel (bijvoorbeeld mate van isolatie) overal wordt toegepast.

Binnen Vesta MAIS is het als modelgebruiker dus mogelijk om de effecten van gebouwmaatregelen op verschillende manieren mee te nemen. Hierbij is het mogelijk om de effecten van gebouwmaatregelen weer te geven voor woningen en utiliteit, maar (nog) niet voor de glastuinbouw. Bij woningen en utiliteit wordt binnen Vesta MAIS-onderscheid gemaakt naar woning- en utiliteitstype en verschillende bouwjaarklassen. De methodiek en achtergrond van de gebouwmaatregelen wordt verder toegelicht in Hoofdstuk 6.

### 2.1.2 Gebiedsmaatregelen

Met de gebiedsmaatregelen worden maatregelen bedoeld die gebruik maken van een lokale energiebron en een collectieve aanpak vereisen. Denk hierbij voornamelijk aan warmtenetten met verschillende temperatuurniveaus en type warmtebronnen. In het verleden werd er binnen het Vesta MAIS-model al wel een eerste onderscheid gemaakt naar bronnen met verschillende temperatuurniveaus, zoals beschreven in het Functioneel ontwerp Vesta 3.0 (CE Delft, 2017).

Hier werd onderscheid gemaakt naar hogetemperatuur (HT) warmtebronnen, zoals restwarmte en geothermie, en de lagetemperatuur (LT) bron die werd onderscheiden was warmte-koudeopslag (WKO). In de ontwikkeling van het Vesta MAIS-model in de afgelopen jaren zijn er (kleine) aanpassingen geweest in de modellering van het warmtenet met HT/MT-bron en is de modellering voor LT-bronnen uitgebreid. Er zit een groot verschil in de manier waarop het warmtenet met LT-bron wordt gemodelleerd ten opzichte van het warmtenet met HT/MT-bron, deze worden hier kort afzonderlijk toegelicht.

De meeste warmtenetten in de huidige situatie worden gevoed door HT-warmtebronnen. Hieronder vallen restwarmte van industriële installaties, afvalverwerkingsinstallaties en elektriciteitscentrales. Om de warmte van deze installaties te kunnen benutten zijn meestal grote uitkoppelingen nodig waardoor de investering alleen loont als er een groot gebied met voldoende gebouwen mee kan worden voorzien. Nu is dit nog meestal hogetemperatuurwarmte maar in de toekomst is het ook mogelijk dat de grootschalige warmtenetten kunnen worden vervangen of nieuw worden uitgelegd op basis van midden-temperatuur (MT) bronnen. Binnen Vesta MAIS wordt het type warmtenet aangeduid op basis van de originele bron van warmte waarmee het warmtenet wordt gevoed, grootschalige warmtenetten worden daarom aangeduid als warmtenet met HT/MT-bron.

Het minimale niveau dat nodig is om de rentabiliteit van deze warmtenetten uit te rekenen is standaard binnen Vesta MAIS het CBS-buurniveau. Na de toepassing van de gebouwmaatregelen is het mogelijk om het potentieel voor het warmtenet met HT/MT-bron in te schatten op basis van de resterende warmtevraag. Dit potentieel wordt ingeschat op basis van rentabiliteitsberekeningen vanuit het oogpunt van een warmteleverancier. Voor de inkomsten wordt er hierbij vanuit gegaan dat de warmtegebruikers niet meer betalen dan wanneer ze zouden zijn aangesloten op gas, dus conform het Niet Meer Dan Anders (NMDA) principe. De investeringen en jaarlijkse kosten worden berekend op basis van informatie over de warmtebron, het (eventuele) transportnet van de warmtebron naar het distributiegebied, het distributienet binnen de buurt, de inpandige kosten, de warmteaansluiting van het gebouw en energetische eigenschappen zoals temperatuurniveaus en warmteverliezen. De modelgebruiker kan daarbij bepalen voor welk type warmtelevering – restwarmte, aftapwarmte of geothermie – als eerst de rentabiliteitsafwegingen wordt gedaan. Omdat de rentabiliteit van warmteprojecten samenhangt met de afstand tussen warmteaanbod en warmtevraag, beschouwt het model de ruimtelijke verdeling van potentiële warmtebronnen en -afnemers, verder beschreven in Paragraaf 2.1.3.

Het warmtenet met LT-bron is een warmtenet dat wordt gevoed door lagetemperatuur-warmtebronnen. Hierbij kan worden gedacht aan diverse bronnen zoals datacenters, supermarkten, zwembaden, rivieren en WKO. Deze bronnen hebben dus warmte over, maar deze hebben een lager temperatuurniveau en hierdoor is het mogelijk nodig om deze warmte op te waarden naar een hoger temperatuurniveau voordat deze gebruikt kan worden voor de verwarming van een gebouw. Afhankelijk van de isolatie van de gebouwen, het type gebouwen, het temperatuurniveau van de bron, collectieve- of individuele opwaardering en de afgiftetemperatuur van gebouwen is het mogelijk om een aantal configuraties van het warmtenet met LT-bron mee te nemen binnen het Vesta MAIS-model. Net als bij het warmtenet met HT/MT-bron zijn de opbrengsten afhankelijk van het NMDA-principe. Door de kleinere schaal van het warmtenet met LT-bron is er geen transportnet van de warmtebron naar het distributiegebied nodig en daarom zijn de kosten gebaseerd op investeringen en jaarlijkse kosten voor de opwekking, distributie, inpandige distributie en de warmte-aansluitingen van het warmtenet met LT-bron. In tegenstelling tot de groot-schalige netten met HT/MT-warmtebronnen hebben de netten met LT-warmtebronnen vaak niet voldoende capaciteit om een hele buurt van warmte te voorzien maar wel voor kleinere clusters van gebouwen. Binnen het Vesta MAIS-model wordt daarom gerekend met een cluster-methode waarbij zowel gekeken wordt naar clustering van de vraag (gebouwen) als clustering van het aanbod (LT-bronnen). De resulterende warmtenetten zijn van een kleinere schaal dan de warmtenetten van HT/MT-bronnen en worden uitgelegd over een gedeelte van de buurt. De overige gebouwen in de buurt kunnen overgaan op andere vormen van warmtevoorziening, afhankelijk van de uitgangspunten van de modelgebruiker. De cluster-methode wordt verder beschreven in Paragraaf 2.4.2.

### 2.1.3 Interactie van vraag en aanbod

Bij de warmtevoorziening van een gebied is er interactie tussen vraag en aanbod. De omvang van de warmtevraag in een gebied is namelijk medebepalend voor de rentabiliteit van warmtedistributieprojecten. Isoleren van gebouwen reduceert zo bijvoorbeeld het potentieel aan rendabele warmteprojecten, maar maakt wel lagere temperaturen haalbaar. De gebruiker van het model kan handmatig zoeken naar optimale situaties, en/of het rekenmodel gebruiken om (sub)optimale oplossingen te vinden.

Van belang voor een goed begrip van het model is het besef dat de modelgebruiker bij de energievraagzijde een keuze kan maken om maatregelen op te leggen of de toepassing van maatregelen kan laten afhangen van rentabiliteitsafwegingen. Voorbeelden van maatregelen die de warmtevraag in een gebied beperken zijn het isoleren van gebouwen en alternatieven voor het warmteaanbod zoals de elektrische warmtepomp. De modelgebruiker kan er voor kiezen om deze maatregelen (voor een deel van de gebouwen) wel of niet mee te nemen in de analyse door ze in het model op te leggen of op basis van rentabiliteit mee te nemen. Met de overgebleven warmtevraag is het vervolgens mogelijk om het potentieel van warmtenetten in te schatten. De warmtenetten kunnen (nog) niet worden opgelegd in toekomstige situaties en als de modelgebruiker deze wil mee nemen zal de toepassing worden gebaseerd op basis van rentabiliteitsafwegingen conform de prioriterings volgorde die wordt aangegeven door de modelgebruiker. Deze prioriteringsvolgorde houdt in dat in een, door de gebruiker, bepaalde volgorde een rentabiliteitsafweging wordt gemaakt voor het warmtenet met HT/MT-bron en clusters voor het warmtenet met LT-bron.

Voor de aanbodkant van de warmtenetten geldt dat is vastgelegd waar zich in Nederland bedrijven bevinden die restwarmte kunnen leveren en waar de ondergrond geschikt is voor geothermie en/of WKO. Daarnaast wordt er onderscheid gemaakt tussen bestaande bronnen (puntbronnen) met vaste locatie en eventuele nieuw te bouwen bronnen zoals geothermie (met ruimtelijke beperking) of bio-WKK (zonder ruimtelijke beperking). Voor de vraagkant is vastgelegd waar bestaande woningen, utiliteitsgebouwen en glastuinbouwen zich bevinden, wat hun energievraag is en wat hun mogelijkheden zijn om hun energievraag te verminderen of zelf in te vullen. Daarnaast is het mogelijk om eventuele nieuwbouw van woningen, utiliteit of glastuinbouw mee te nemen. Binnen het Vesta MAIS-model is het mogelijk om deze ruimtelijke verdeling van warmtevraag en warmte-aanbod mee te nemen in de afweging van de opties om te voorzien in de warmtevraag.

In de komende paragrafen wordt de opbouw van het Vesta MAIS-model geschetst aan de hand van de verschillende ruimtelijke schalen waarop wordt gerekend in het model. In de rest van dit document zal de verdere onderbouwing worden gegeven.

## **2.2 Gebouwen**

### **2.2.1 Bestaande voorraad van gebouwen**

In het Vesta MAIS-model zijn gegevens van (nagenoeg alle individuele) bestaande woningen, utiliteitsgebouwen en glastuinbouwkassen in Nederland met hun locatie opgenomen.

De woningen en utiliteitsgebouwen zijn gebaseerd op de Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG) van 1 januari 2019 en het Pand Hoogtebestand Nederland (PHN 2014). Het BAG-bestand zoals gebruikt in Vesta MAIS maakt gebruik van het datamodel-object verblijfsobject (vbo) en pand. Het vbo-deel beschrijft onder andere de geografische ligging, verblijfsfunctie en oppervlakte. Het pand-deel beschrijft het bouwjaar en geeft het woningtype op basis van de geometrie van het gebouw. Het is mogelijk dat een gebouw uit meerdere vbo's bestaat, zo is bijvoorbeeld elk appartement in een appartementencomplex een individuele vbo. De BAG, zoals gebruikt in Vesta MAIS, geeft een overzicht van al deze vbo's in Nederland.

Eén van de kenmerken die wordt meegegeven aan een vbo is de status die de desbetreffende vbo heeft. In de selectie die wordt gemaakt door Vesta MAIS wordt een selectie gemaakt van de vbo's met bepaalde statussen, deze worden in meer detail beschreven in Paragraaf 5.1. Naast de status van een pand wordt ook een selectie gedaan op basis van oppervlakte. Zo worden vbo's met een woonfunctie die kleiner zijn dan 10 m<sup>2</sup> of groter dan 1.000 m<sup>2</sup> niet meegenomen. Voor vbo's met een utiliteitsfunctie worden oppervlaktes groter dan 160.000

m<sup>2</sup> niet meegenomen. Verder worden panden zonder vbo's, zoals schuren en garages, niet meegenomen binnen Vesta MAIS en worden vbo's met alleen een industrie functie uitgesloten, omdat de industrie buiten de systeemgrenzen ligt van het Vesta MAIS-model.

Door de BAG-gegevens te combineren met de hoogte van het gebouw uit het PHN-bestand kan ieder gebouw worden ingedeeld in één van de woning- en utiliteitscategorïeën die staan in Tabel 2 en Tabel 3. De geografische ligging van de glastuinbouwkassen is gebaseerd op de CBS landbouwtellingen per gemeente in combinatie met het glastuinbouwbestand uit de [WarmteAtlas WFS-service](#).

Tabel 2 - Aantal woningen naar type en bouwjaarklasse in Vesta MAIS 4.0

	Voor 1946	1946-1964	1965-1973	1974-1990	1991-2004	2005-2018	Totaal
Vrijstaand	287.943	143.102	126.676	183.823	186.413	89.394	1.017.351
2 onder 1 kap	176.586	139.704	98.475	120.635	99.220	55.433	690.053
Rijwoning hoek	128.333	159.911	209.050	308.324	124.654	81.311	1.011.583
Rijwoning tussen	343.432	311.267	439.430	703.918	354.913	197.231	2.350.191
Meergezins < = 4	293.039	201.085	117.618	370.579	211.237	215.369	1.408.927
Meergezins > 4	237.925	189.928	296.465	207.148	204.274	183.384	1.319.124
<b>Totaal</b>	<b>1.467.258</b>	<b>1.144.997</b>	<b>1.287.714</b>	<b>1.894.427</b>	<b>1.180.711</b>	<b>822.122</b>	<b>7.797.229</b>

Bron: BAG 1 januari 2019 en PHN\* 1 oktober 2018.

\* PHN=Pand Hoogte Bestand [Object Vision GeoDMS BAG Toolkit v1.1](#)

Tabel 3 - Bruto vloeroppervlakte (bvo m<sup>2</sup>) utiliteit naar sector en bouwjaarklasse in Vesta MAIS 4.0

	Voor 1920	1920-1975	1976-1990	1991-1995	1996-2016	Onbekend	Totaal
Kantoor	5.572.462	14.189.769	12.306.438	7.055.798	27.567.773	411	66.692.651
Winkel	5.113.748	14.716.974	8.122.699	3.814.189	16.094.847	0	47.862.457
Gezondheidszorg	800.307	5.873.891	4.059.902	1.570.725	7.430.903	0	19.735.728
Logies	1.045.830	3.311.696	2.511.427	1.249.859	5.605.071	0	13.723.883
Onderwijs	1.479.546	12.526.215	7.839.088	1.929.272	12.421.007	0	36.195.128
Industrie	1.045.228	9.500.214	9.274.314	3.556.017	24.673.947	0	48.049.720
Bijeenkomst	6.840.218	11.324.450	4.853.374	2.406.213	7.696.817	2.902	33.123.974
Sport	296.197	3.234.194	3.803.220	1.254.118	4.675.207	420	13.263.356
Cel	148.004	175.940	163.423	128.677	517.700	0	1.133.744
Overig	1.199.869	9.898.742	4.559.551	2.075.151	15.028.640	67	32.762.020
<b>Totaal</b>	<b>23.541.409</b>	<b>84.752.085</b>	<b>57.493.436</b>	<b>25.040.019</b>	<b>121.711.912</b>	<b>3.800</b>	<b>312.542.661</b>

Bron: BAG 1 januari 2019.

Tabel 4 - Oppervlakte kassen glastuinbouw (m<sup>2</sup>) naar type teelt, belicht/onbelicht en verwarmd/onverwarmd

	Belicht	Onbelicht	Verwarmd	Onverwarmd	Totaal
Bloemen	16.424.923	28.624.288	40.760.311	2.440.888	88.250.410
Groente	8.086.805	32.648.002	32.926.818	1.892.343	75.553.968
Boomkwekerij	0	0	1.079.571	1.334.502	2.414.073
<b>Totaal</b>	<b>24.511.728</b>	<b>61.272.290</b>	<b>74.766.700</b>	<b>5.667.733</b>	<b>166.218.451</b>

Bron: Onder andere CBS-landbouwtellingen 2017.

## 2.2.2 Ruimtelijke ontwikkeling in de gebouwenvoorraad

Voor de ruimtelijke ontwikkeling van de gebouwde omgeving binnen Nederland wordt in de berekeningen met Vesta MAIS voor de toekomstige jaren uitgegaan van de WLO-scenario's (CPB; PBL, 2015) die vorm zijn gegeven in de Ruimtescanner (ruimtelijk model). Binnen deze scenario's wordt op basis van economische en demografische uitgangspunten de regionale ontwikkeling in COROP-gebieden van sloop en nieuwbouw van woningen en utiliteit opgesteld. Deze zijn op basis van heuristische regels verder gedetailleerd in specifieke locaties voor heel Nederland, met als doel de resultaten nationaal dekkend te kunnen presenteren. Deze detaillering kan afwijken van de daadwerkelijk te verwachten regionale of lokale ontwikkeling op basis van recentere data en kwalitatief betere lokale data. De WLO-gegevens zijn niet bedoeld om te worden gebruikt voor een analyse op dit niveau. Indien het Vesta MAIS-model lokaal of regionaal wordt toegepast dan wordt geadviseerd om de ruimtelijke ontwikkeling te bevrozen of gebruik te maken van informatie over de ruimtelijke ontwikkeling van lokale overheden, woningcorporaties en andere stakeholders.

## 2.3 Energievraag

### 2.3.1 Definitie functionele energievraag en metervraag

In Vesta MAIS wordt de energievraag naar warmte en elektriciteit van een woning en utiliteitsgebouw berekend op basis van de functionele behoefte aan warm tapwater, ruimteverwarming, koeling, elektrische apparatuur en verlichting. Deze functionele behoefte vertegenwoordigt – vanuit energetisch oogpunt – een bepaalde hoeveelheid energie: de functionele energievraag.

Met andere woorden: de functionele energievraag staat voor de energiebehoefte die de gebruikers van het gebouw hebben. Deze vertaalt zich naar een vraag 'aan de energiemeter' via de efficiency van de schil van het gebouw en de efficiency van de installatie/apparatuur. Daarbij wordt bijvoorbeeld rekening gehouden met pompenergie voor de ruimteverwarming om het warme water van de ketel door leidingen naar de radiatoren te laten stromen en met de warmteverliezen die daarbij optreden. De energievraag van koken wordt vooralsnog genegeerd omdat deze relatief klein is<sup>1</sup>.

De energievraag van glastuinbouw wordt door Vesta MAIS berekend op basis van de functionele energievraag naar ruimteverwarming en apparatuur/belichting per teelttype (bloemen, groente en vaste planten/bomen). De functionele energievraag naar warm tapwater, koelen en elektrische apparatuur anders dan verlichting is verwaarloosd. Koeling wordt vooral toegepast bij productkoeling bij fruitteelt en bollenteelt op koude grond, en niet zozeer bij glastuinbouw; het energiegebruik voor warm tapwater en elektrische apparatuur is verwaarloosbaar ten opzichte van de energievraag naar verwarmen en belichten. Op basis van de efficiency van de schil van het gebouw, de warmte-installaties en belichtingsapparatuur wordt de metervraag per oppervlakte-eenheid berekend.

In de paragrafen hieronder wordt in grote lijnen ingegaan op de vaststelling van deze functionele vraag binnen het Vesta MAIS-model. Eerst wordt een toelichting gegeven op de bepaling van de energievraag in het basisjaar, vervolgens op toekomstige ontwikkelingen en als laatste op de conversietechnieken die worden meegenomen.

<sup>1</sup> In de toekomst zal het koken op aardgas praktisch en technisch-economisch gezien zonder al te grote problemen kunnen worden vervangen door verschillende vormen van elektrisch koken.



### 2.3.2 Functionele energievraag en metervraag gebouwen basisjaar

Voor de vaststelling van de energievraag van woningen in het basisjaar (voor dit functioneel ontwerp is dit 2018) wordt uitgegaan van CBS-data met de werkelijke verbruiken uitgesplitst naar woningtype, bouwjaarklasse, oppervlakteklasse en gecertificeerd energie-label (CBS, 2019a).

Op basis van deze gegevens is het mogelijk om een inschatting te maken van de aardgasvraag afhankelijk van bovenstaande uitsplitsingen en dit dan terug te voeren naar de functionele vraag van de woningen. Met deze gegevens is het mogelijk om een inschatting te maken van het huidige energieverbruik per woning op basis van landelijk gemiddelde kengetallen die gelden voor de desbetreffende woning. De elektriciteitsvraag wordt in het model nu nog gebaseerd op de elektriciteitsvraag voor de combinatie van woningtype en bouwjaarklasse, maar hier wordt nog geen rekening gehouden met de oppervlakte van een woning. De onderbouwing van de methodiek wordt verder toegelicht in Paragraaf 5.2.1.

De functionele vraag voor utiliteit wordt opgesplitst naar utiliteitstype en bouwjaarklasse, waarbij deze wordt uitgedrukt in het verbruik per m<sup>2</sup>. Dit is beschreven in een notitie gerelateerd aan de validatiesessies van de Startanalyse Leidraad Transitievisie Warmte die zijn georganiseerd in april 2019 (TNO, 2019a). Voor de glastuinbouw zijn zowel de methode als de data gelijk gebleven sinds het Functioneel Ontwerp 3.0.

Op basis van deze gegevens kan een beeld gegeven worden van het energieverbruik voor woningen, utiliteit en glastuinbouw in het startjaar en daarmee het totale gas- en elektriciteitsverbruik van de gebouwde omgeving en de glastuinbouw. Als we dit allemaal bij elkaar optellen dan komt het gasverbruik van de gebouwde omgeving (exclusief glastuinbouw) uit op ...PJ, dit wijkt hiermee ... % af van de inschatting voor het gasverbruik van 2018 in de Klimaat- en Energie Verkenning 2019 (KEV). Deze afwijking is te verklaren doordat er nog geen openbare data beschikbaar zijn voor de leegstand (+/- 5%) en deze wel is meegenomen in de berekening van de KEV 2019. De afwijking ten opzichte van de andere inschattingen is hiermee relatief klein.

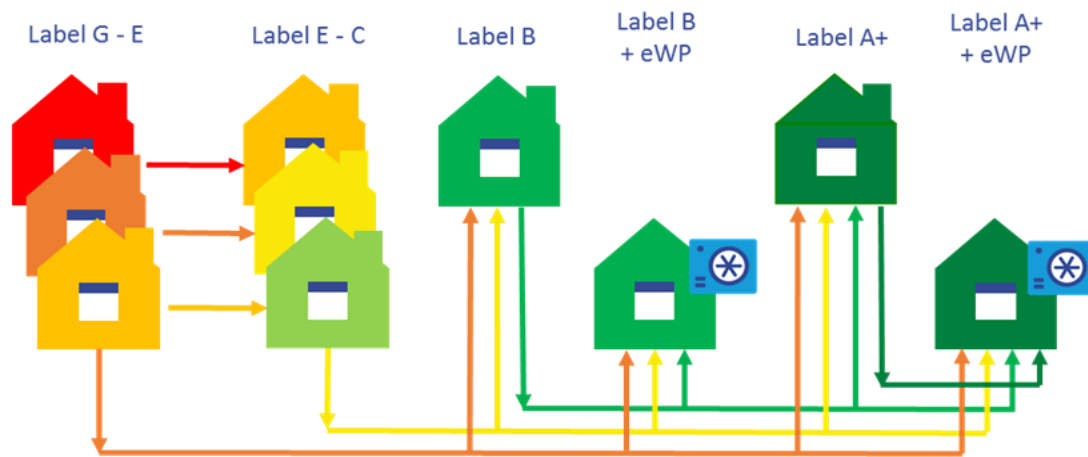
### 2.3.3 Functionele energievraag gebouwen toekomstig jaar

De vaststelling van de functionele energievraag wordt beïnvloed door een grote hoeveelheid factoren. Binnen het Vesta MAIS-model wordt een uitsplitsing gemaakt van de woningen zodat de inschatting per woning al behoorlijk verbetert, maar als er wordt gekeken naar het daadwerkelijke energieverbruik dan zijn er verschillende factoren die ervoor zorgen dat er een grote bandbreedte zit in het gemiddelde verbruik van woningen. Factoren die de functionele energievraag kunnen veranderen zijn veranderingen in de samenstelling van huishoudens en bedrijfsactiviteiten, aanschaf en gebruik van installaties, apparaten en verlichting.

Binnen het Vesta MAIS-model worden dit soort factoren op dit moment niet gemodelleerd, maar het is wel mogelijk om de verwachtingen van de modelgebruiker mee te nemen over deze ontwikkelingen. Het is namelijk mogelijk om voor de toekomstige ontwikkeling een autonome groei- of krimpfactor mee te geven voor de verschillende vormen van functionele energievraag. Bij de functionele energievraag naar warm tapwater, ruimteverwarming, elektriciteitsvraag voor apparatuur en verlichting wordt veelal verondersteld dat deze in de toekomst gelijk blijft, maar het is voor een modelgebruiker mogelijk om een autonome ontwikkeling mee te nemen. Bij elektrische apparatuur en verlichting wordt veelal verondersteld dat de consumptiegroei wordt gecompenseerd door efficiencyverbetering waardoor de metervraag in de toekomst gelijk blijft.

Naast de autonome ontwikkeling is het ook mogelijk om binnen het Vesta MAIS-model een beeld te geven van de potentie voor energiebesparende maatregelen. Hierbij wordt gekeken naar de reductie in de gasvraag van een woning of utiliteitsgebouw wanneer verschillende pakketten van maatregelen worden genomen. Deze pakketten van maatregelen worden binnen Vesta MAIS schilsprongen genoemd (zie Figuur 1). Een pakket van dergelijke maatregelen bestaat uit de verbetering van dak-, gevel- en vloerisolatie of het vervangen van enkel glas door glas met een hogere mate van energiebesparing. In het Vesta MAIS-model is het mogelijk om een schilsprong te maken naar een zogeheten tussenlabel, Schillabel B en Schillabel A+. Elk van deze sprongen heeft een andere mate van energiebesparing en daarmee ook andere investeringskosten. Binnen Vesta MAIS is het mogelijk om voor gebouweigenaren een afweging te maken waarbij de vermeden kosten van energiebesparing vergeleken wordt met de investeringskosten van energiebesparing. Bij een positieve businesscase wordt de schilsprong toegepast. In deze afweging wordt dus alleen gekeken naar de technologische en economische aspecten van een dergelijke afweging en wordt bijvoorbeeld niet gekeken naar het gedrag van gebouweigenaren. De afweging binnen Vesta MAIS wordt daarom een techno-economische analyse genoemd.

Figuur 1 - Opties schillabelsprongen inclusief de sprong met een volledig elektrische warmtepomp (eWP)



Binnen het Vesta MAIS-model is het mogelijk om een inschatting te maken van de autonome ontwikkeling en de mogelijkheden op basis van een techno-economische afweging. Dit resulteert in een inschatting van de resterende warmtevraag die ingevuld kan worden door individuele of collectieve mogelijkheden die kunnen voorzien in deze warmte.



### 2.3.4 Metervraag bij gebouwgebonden installaties

De individuele mogelijkheden om in de functionele warmtevraag te voorzien vallen binnen het Vesta MAIS-model onder de term gebouwgebonden installaties. Met gebouwgebonden installaties wordt aangegeven dat het om installaties gaat die elke vbo individueel voorzien van warmte. In de afgelopen decennia waren dit voornamelijk verschillende vormen van gasketels die elk gebouw individueel voorzagen van warmte. In de modellering van het Vesta MAIS-model zijn deze gasketels ook het uitgangspunt voor de huidige situatie. In de nabije toekomstige jaren is het waarschijnlijk dat de huidige gasketels worden vervangen door HR107-ketels. Deze HR107-ketels hebben een hoger rendement dan de meeste huidige ketels en de vervanging van deze ketels levert dan ook een besparing op het gasverbruik op. Het is als modelgebruiker mogelijk om aan te geven wanneer deze verwacht dat de huidige gasketels worden vervangen door de HR107-ketel, waarbij de HR107-ketel ook de referentie wordt waarmee andere warmte-opties worden vergeleken. Als modelgebruiker is het mogelijk om het zichtjaar aan te geven wanneer dit gebeurt: in dit jaar gaan alle ketels naar een HR107-ketel. Voor deze overgang worden geen meerkosten in rekening gebracht omdat aangenomen wordt dat dit een natuurlijke vervanging van de huidige ketel is.

De warmtevoorziening op basis van gasketels is in veel gebouwen de referentiesituatie. Om over te gaan op een andere invulling van de warmtevoorziening moet, binnen het Vesta MAIS-model, de andere warmtevoorziening financieel aantrekkelijker zijn dan het voortzetten van de warmtevoorziening met de gasketel. In het geval van de gebouwgebonden installaties is een dergelijke rentabiliteitsafweging op dit moment alleen mogelijk voor de elektrische warmtepomp. Voor deze technologie wordt de afweging gemaakt of de reductie in vaste en variabele kosten voor gas een positief resultaat oplevert ten opzichte van de investeringskosten en additionele elektriciteitsinzet. Andere gebouwgebonden installaties, zoals een hybridewarmtepomp, zonneboiler, microwarmte-krachtkoppeling of zon-PV, worden ook meegenomen in het Vesta MAIS-model, maar kunnen nog niet meegenomen worden op basis van rentabiliteit. Het is wel mogelijk om de ingroei van deze technologieën mee te nemen om de effecten te zien op de energiehuishouding maar dit gebeurt nu nog niet op basis van rentabiliteit. De verwachting is wel dat in een volgende versie van het Vesta MAIS-model deze technologieën wel meegenomen kunnen worden op basis van rentabiliteit.

## 2.4 Energievraag bij gebiedsmaatregelen

Naast de gebouwgebonden maatregelen is het ook mogelijk om de warmtevraag van gebouwen in te vullen door middel van gebiedsmaatregelen. Met gebiedsmaatregelen wordt aangegeven dat het gaat om collectieve maatregelen die vanuit één of een beperkt aantal warmtebronnen meerdere vbo's van warmte voorzien. Een voorbeeld hiervan zijn warmtenetten, ook wel stadsverwarming genoemd, die nu ongeveer 5% van de woningen in Nederland van warmte voorzien. In deze warmtenetten wordt de warmte voor soms duizenden woningen geleverd door enkele installaties die hiermee dus een gebied van warmte voorzien. Om deze reden wordt de term gebiedsmaatregelen gehanteerd. Voor de toepassing van deze warmtenetten is de warmtevraag in een bepaald gebied van belang, maar ook de energievraag van warmteproductie, -transport en -distributie spelen een belangrijke rol in de vraag of een gebiedsmaatregel een gunstig alternatief is voor de warmtevoorziening. Binnen het Vesta MAIS-model worden al deze componenten meegenomen in de afwegingen om een warmtenet uit te leggen. Zoals eerder toegelicht wordt binnen het Vesta MAIS-model onderscheid gemaakt tussen twee type warmtenetten, namelijk warmtenet met hoge- of middentemperatuurbron (warmtenet met HT/MT-bron) en warmtenet met een lagetemperatuurbron (warmtenet met LT-bron). Deze netten

verschillen in het temperatuurniveau dat de initiële warmtebronnen aanleveren en de grootte van de warmtenetten. Dit wordt verder toegelicht in de volgende paragrafen.

### 2.4.1 Warmtenet met HT/MT-bron

Bij gebiedsmaatregelen met de typering Warmtenet met HT/MT-bron gaat het om warmtenetten met een hogetemperatuur (HT) of middentemperatuur (MT) warmtebron als primaire bron voor de warmtelevering. Het gaat hierbij om warmtebronnen die zelf een temperatuur produceren van 70°C of hoger en die warmte af kunnen leveren aan de gebouwen van 70°C. Met deze temperaturen is het mogelijk om gebouwen te verwarmen met de radiatoren die nu aanwezig zijn in veel gebouwen. Dit is een belangrijk voordeel omdat er dan relatief weinig aan het gebouw hoeft te veranderen om te zorgen dat het gebouw verwarmd kan worden. Om een warmtenet met HT/MT-bron uit te leggen moet de warmtevraag wel voldoende groot zijn. Binnen het Vesta MAIS-model wordt standaard uitgegaan van het CBS-buurniveau, met gemiddeld ongeveer 580 woningen en een variërend aantal utiliteitsgebouwen. Het is mogelijk voor de modelgebruiker om hiervan af te wijken door een andere ruimtelijke schaal te kiezen waarop de warmtenetten doorgerekend worden, zoals bijvoorbeeld op PC04-niveau of rasters variërend van 2.000 x 2.000 m<sup>2</sup> tot 500 x 500 m<sup>2</sup>.

Om te voorzien in de warmtevraag van de gebouwen wordt binnen een warmtenet met HT/MT-bron voornamelijk een beroep gedaan op een primaire bron van warmte die voorziet in de basislast. Binnen het Vesta MAIS-model worden verschillende opties meegenomen die kunnen dienen als primaire bron, dit zijn de volgende types:

- Restwarmte: Dit is een brede categorie met bijvoorbeeld warmte van elektriciteitscentrales, afvalverbrandingsinstallaties en industriële bedrijven. Maar hieronder valt ook warmte van de warmtecentrales gestookt op snoeihout en houtpellets.
- Geothermie: Warmte uit diepe aardlagen op 1.500 tot 4.000 meter diepte.
- Wijk-WKK: Efficiënt geproduceerde warmte uit (aardgasgestookte) warmtekrachtkoppeling in de wijk.
- Bio-wijk-WKK: Warmte verkregen uit een wijk-wkk door te stoken met biomassa bestaande uit snoeihout, houtpellets of biogas.

Dit zijn de primaire bronnen voor warmtelevering in een warmtenet met HT/MT-bron, maar niet de enige bron van warmte. Een warmtenet met HT/MT-bron bevat ook een hulpwarmteketel die functioneert als aanvullend piekvermogen of als reservevermogen voor de momenten dat de primaire warmtebron in onderhoud is of onverwacht uitvalt. Omdat de hulpwarmteketel als back-up dient voor het totale vermogen is het benodigde vermogen van deze hulpwarmteketel relatief groot ten opzichte van het volume dat deze standaard levert. Standaard wordt binnen het Vesta MAIS-model aangenomen dat 30% van het warmtevraagvermogen wordt geleverd door de primaire bron en 85% door de hulpwarmteketel, waarmee het vermogen wordt overgedimensioneerd. De verdeling van het volume van de warmtevraag over de hulpwarmteketel en de primaire bron laat een tegengesteld beeld zien. De primaire bron levert de basislast met standaard 80% van de warmtelevering en de hulpwarmteketel levert 20% van de warmte. Het model houdt rekening met warmteverliezen die optreden bij het transport en de distributie van de warmte.

De aandelen die hier genoemd worden zijn de uitgangspunten waar het Vesta MAIS-model op terugvalt wanneer er geen andere informatie bekend is. Wanneer er meer informatie bekend is over de daadwerkelijke situatie voor bepaalde (rest)warmtebron in Nederland dan is het mogelijk om deze informatie op te geven voor een specifieke bron in Nederland. Meer generiek is het ook mogelijk om de bovenstaande aandelen op te geven per type warmtebron, hierbij kunnen de aandelen dus afwijken tussen bijvoorbeeld geothermie of restwarmtelevering. Als modelgebruiker is het ook mogelijk om de aandelen aan te

passen voor de standaardsituatie, waarbij men dus kan differentiëren in het aandeel vermogen/volume uit de primaire bron of de hulpwarmteketel.

De hulpwarmteketel wordt binnen het Vesta MAIS-model nog gevoed met (aard)gas, omdat dit veelal nu ook nog het geval is. Naar de toekomst toe is het natuurlijk mogelijk om deze hulpwarmteketels te voeden met andere energiedragers of hier andere type installaties in te zetten om de piekvraag op te vangen. Deze opties zijn nog niet standaard opgenomen in het Vesta MAIS-model, maar een modelgebruiker zou dit wel mee kunnen nemen bij de interpretatie van de resultaten.

## Opbrengsten en kosten van een warmtenet

Voor de gekozen ruimtelijke schaal berekent het Vesta MAIS-model de opbrengsten en kosten van grootschalige warmtelevering op basis van aantallen en kenmerken van gebouwen, zoals warmtebehoefte, aansluitdichtheid en -capaciteit per gebouw. De opbrengsten bestaan uit een eenmalige aansluitbijdrage en de jaarlijkse opbrengsten voor vastrecht en geleverde warmte. Bij de vaststelling van de opbrengsten uit geleverde warmte wordt het 'Niet Meer Dan Anders'-principe gehanteerd.

De kosten voor de warmtelevering zijn meer complex om te bepalen vanwege de vele actoren en onderdelen en bestaan uit de eenmalige investeringen (CAPEX) en jaarlijkse operationele (OPEX) kosten. Deze worden binnen het model uitgesplitst naar de volgende actoren):

**Warmteopwekker:** De warmteopwekker is de eigenaar van de warmtebron. De warmte-productiekosten worden berekend op basis van de eenmalige investering voor de uitkoppeling van de restwarmtebron zoals een elektriciteitscentrale of nieuwe warmtebronnen, zoals geothermie en de bio-warmtekrachtkoppeling; en de jaarlijkse operationele kosten, zoals onderhoud en bediening en energie (euro/gigajoule). Bij de warmteaftap van een elektriciteitscentrale wordt rekening gehouden met het feit dat het rendement van elektriciteitscentrales door warmtelevering omlaag gaat.

**Transporteur:** De transporteur is eigenaar van het primaire transportnet van een warmtebron naar het warmtevraaggebied. De kosten komen voort uit eenmalige investeringen en jaarlijks onderhoud en bediening. Het model veronderstelt dat er bij wijk-WKK en bio-wijk-WKK geen transport over langere afstand plaatsvindt. De bebouwing waar de geproduceerde warmte wordt ingezet bevindt zich dus rondom de bron. Bij restwarmte en geothermie staat het model wel warmtetransport toe naar gebieden die daarvoor zelf geen geschikte ondergrond hebben of waar geen restwarmtebron aanwezig is in het gebied zelf.

**Distributeur (gebied):** De distributeur zorgt voor het warmtedistributienet binnen het warmtevraaggebied. Hij doet eenmalige investeringen in:

- warmteoverdrachtstation;
- transport- en distributienet binnen het warmtevraaggebied;
- onderstations;
- hulpwarmteketels;
- aansluitleidingen en aansluitset.

De operationele kosten bestaan naast onderhoud en bediening uit de bijstook van (aard)gas door de hulpwarmteketels. Hierbij kan de modelgebruiker aangeven welke aandelen worden meegenomen in de berekeningen van het Vesta MAIS-model, de standaard uitgangspunten zijn hiervoor beschreven.

**Distributeur (inpandig):** Binnen het gebouw worden eenmalige investeringen alsmede onderhoud en bediening gedaan ten behoeve van het inpandige distributienet en de warmtemeter. Veelal is vooraf onduidelijk wie de investeringen doet en is dit de uitkomst van de onderhandeling tussen de distributeur van het warmtevraaggebied en de eigenaar van het gebouw. Daarom is er in het Vesta MAIS-model voor gekozen om de kosten van inpandige distributie apart zichtbaar te maken bij de actor ‘distributeur (inpandig)’ hoewel deze in de praktijk zelden zal voorkomen. De gebruiker van het model kan – indien gewenst – na de doorrekening zelf bepalen of de inpandige distributiekosten moeten worden opgeteld bij de distributeur van het warmtevraaggebied of de gebouw-eigenaar.

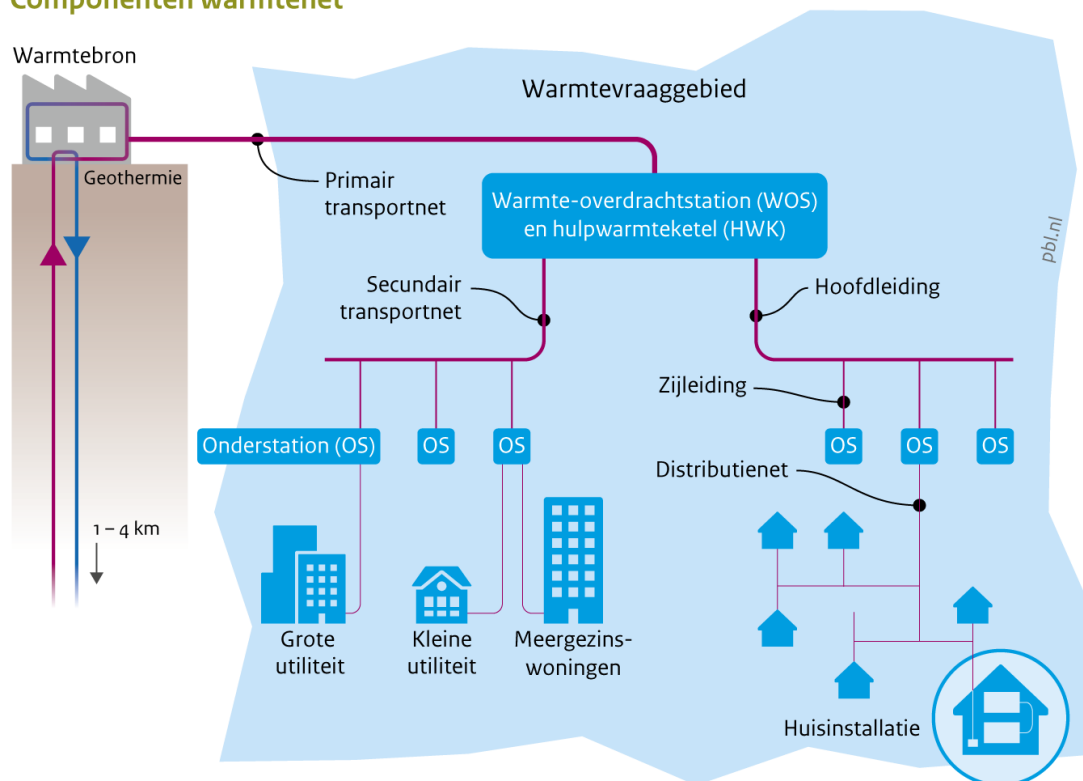
**Gebouweigenaar:** De gebouw-eigenaar maakt eenmalig kosten bestaande uit de aansluitbijdrage. Daarnaast kan in sommige gevallen huurverlaging plaatsvinden als gevolg van de lagere waardering van warmtenetten vergeleken met de individuele warmtevoorziening volgens het puntensysteem van sociale huurwoningen.

**Gebouwgebruiker:** De gebouwgebruiker betaalt het jaarlijkse vastrecht van het warmtenet en voor het warmteverbruik. De prijs is gebaseerd op wat de gebouwgebruiker zou betalen als deze gas zou gebruiken. De gebouwgebruiker betaalt dus hetzelfde voor warmte indien hij/zij gas zou verbruiken. Dit komt overeen met de maxumprijs van het ‘Niet-meer-dan-anders’-principe dat van toepassing is voor kleinverbruikers volgens de Warmtewet. In sommige gevallen ontvangt de gebouwgebruiker eenmalig een ongeriefsvergoeding en vindt er huurverlaging plaats. Deze overdrachten van gebouw-eigenaar naar -gebruiker zijn hiervoor beschreven.

**Warmteleverancier:** De warmteleverancier wordt in het Vesta MAIS-model beschouwd als de actor die de opbrengsten van de warmtelevering int en de kosten van alle actoren betrokken bij de warmtelevering vergoedt. De warmteleverancier beheert zelf geen fysieke goederen anders dan het gebruik van een administratiekantoor voor de boekhouding. Daarnaast zorgt deze actor voor de vergoeding van het projectmanagement waaronder het informeren van de gebouwgebruikers en de ongeriefsvergoeding voor alternatief verblijf- en overnachting van de gebouwgebruiker tijdens de renovatie. Winst en verlies van de warmtelevering komen bij de warmteleverancier tot uiting.

Figuur 2 - Componenten van een warmtenet met HT/MT-bron

### Componenten warmtenet



Bron: PBL

#### 2.4.2 Warmtenet met LT-bron

Naast de gebiedsmaatregelen gevoed door HT/MT-warmtebronnen is het binnen het Vesta MAIS-model ook mogelijk om te rekenen met warmtenetten gevoed door lagetemperatuur (LT) warmtebronnen. De temperatuurniveaus voor deze warmtebronnen variëren binnen Vesta MAIS tussen 15 en 30 °C. In vorige versies van het Vesta MAIS-model was het al wel mogelijk om warmte-koude opslag (WKO) mee te nemen als LT-bron maar de modellering van het warmtenet met LT-bron is de laatste tijd significant uitgebreid. Het is nu mogelijk om diverse LT-warmtebronnen mee te nemen in de modellering waarbij de configuraties van het warmtenet met LT-bron ook de warmte op verschillende temperatuurniveaus aan kunnen leveren aan de gebouwen. Waar bij het warmtenet met HT/MT-bron de warmte wordt aangeleverd op minimaal 70 °C kan het warmtenet met LT-bron binnen het Vesta MAIS-model warmte afleveren op 30, 50 of 70 °C. In het laatste geval is wederom geen aanpassing nodig aan de radiatoren. Voor de andere twee temperatuurniveaus is het nodig om een lagetemperatuuraufgifte-systeem (LTAS) te installeren om zo de ruimtes in het gebouw voldoende te kunnen verwarmen. LT-convectieradiatoren zijn een vorm van LTAS en in bestaande woningen zijn deze makkelijker te plaatsen dan bijvoorbeeld vloerverwarming wat een andere vorm van LTAS is. Daarnaast zijn aanvullende installaties voor de ruimteverwarming of het tapwater nodig in het gebouw om de warmte op voldoende hoge-temperatuur te brengen.

De warmtelevering door het warmtenet met LT-bron kan dus als gevolg hebben dat er ook nog aanpassingen nodig zijn op gebouwniveau, los van de aansluiting op het warmtenet met LT-bron.

De schaal waarop een warmtenet met LT-bron kan worden toegepast is veel kleiner dan voor een warmtenet met HT/MT-bron. Er is daarom geen specifieke ruimtelijke schaal waarop de kansrijkheid van het warmtenet met LT-bron wordt uitgerekend, maar deze wordt van onderaf opgebouwd. Er wordt eerst op individueel gebouwniveau berekend of het een financieel voordeel oplevert voor een gebouw om aan te sluiten op een warmtenet met LT-bron. Een financieel voordeel wordt binnen het Vesta MAIS-model aangeduid met een positieve contributiemarge, verder beschreven in Paragraaf 6.2. De vervolgstap is dat in het geval van een positieve contributiemarge van een warmtenet met LT-bron voor dit gebouw wordt berekend of de contributiemarge groter wordt wanneer het gebouw wordt gecombineerd met een nabijgelegen gebouw (met ook een positieve contributiemarge). Deze zogeheten clustering wordt toegepast totdat er geen gebouwen meer gevonden kunnen worden waarvoor het financieel interessant is om aan te sluiten op een LT-warmtenet. Dezelfde methodiek wordt toegepast op de aanbodzijde van de LT-bronnen, waarbij vervolgens wordt berekend of de financieel haalbare clusters aan de vraagzijde kunnen worden verbonden met de financieel haalbare clusters aan de aanbodzijde. Deze clustermethode voor het warmtenet met LT-bron wijkt hiermee qua schaal af van de methodiek die wordt gehanteerd voor het warmtenet met HT/MT-bron, waarbij de modelgebruiker vooraf een regionale schaal instelt waarop deze warmtenetten worden doorgerekend.

De vraagzijde voor deze warmtenetten bestaat uit de warmtevraag van de clusters van gebouwen (woningen en utiliteit). Voor de aanbodzijde zijn er diverse bronnen die LT-warmte kunnen leveren en die als voeding gebruikt kan worden voor een warmtenet met LT-bron. In het Vesta MAIS-model worden nu de volgende LT-warmtebronnen meegenomen:

- middelgrote industrie (bedrijventerreinen);
- rioolwaterzuiveringsinstallaties;
- koel- en vrieshuizen;
- industriële bakkerijen;
- industriële wasserijen;
- diervoederbedrijven;
- levensmiddelenindustrie;
- slachthuizen;
- datacenters;
- kunstijsbanen;
- supermarkt.

Dit zijn allemaal zogeheten puntbronnen voor LT-warmte. Ze hebben namelijk een bepaalde locatie (punt) in Nederland van waaruit ze eventueel LT-warmte kunnen leveren aan een warmtenet. Daarnaast worden ook de mogelijkheden voor WKO-systemen meegenomen, waarbij ook de combinatie van WKO met aquathermie op basis van oppervlaktewater wordt meegenomen in de analyses. Voor zowel WKO als oppervlaktewater is een (Molen, 2019a) zogeheten contour opgenomen in het Vesta MAIS-model. Deze contour geeft door middel van vlakken de locaties binnen Nederland aan waar de ondergrond geschikt is voor WKO (bijvoorbeeld geen drinkwatergebieden) of waar oppervlaktewater beschikbaar is voor aquathermie (bijvoorbeeld rivieren). Hiervoor is dus geen exact x/y-coördinaat bekend zoals voor de puntbronnen maar deze contouren bestaan uit ruimtelijke vlakken die de potentie voor Nederland weergeven, zie Figuur 3.



Figuur 3 - Potentieelkaart energie uit oppervlaktewater. Blauw geeft het oppervlaktewater dat in potentie geschikt is voor onttrekking van thermische energie

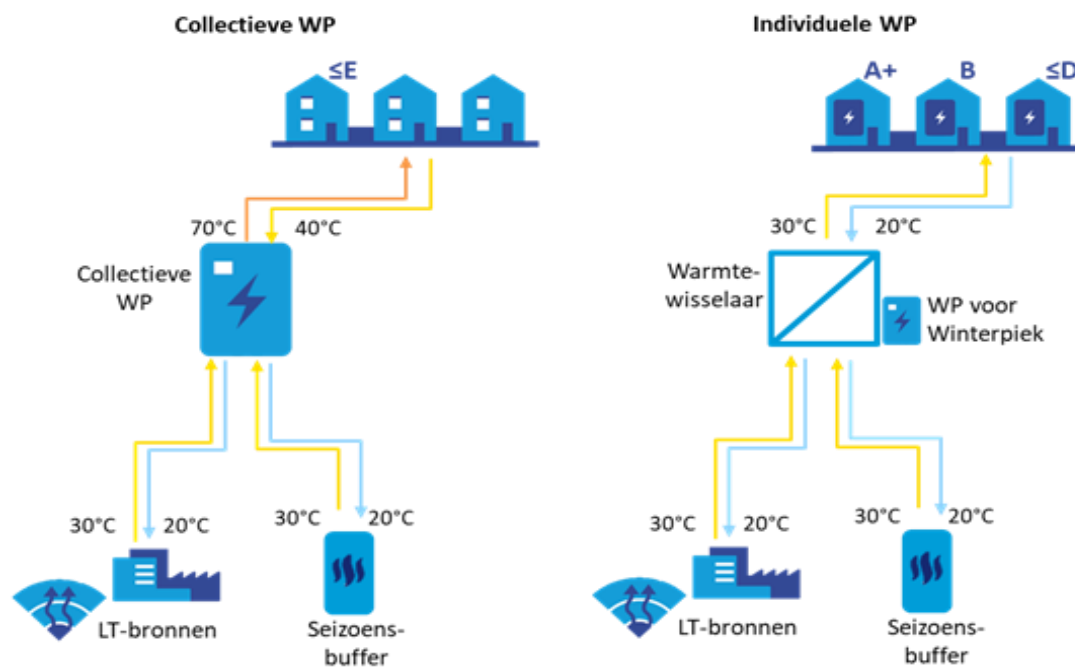


Bron: PBL.

De configuraties voor het warmtenet met LT-bron zijn zeer divers binnen het Vesta MAIS-model, maar net als bij het warmtenet met HT/MT-bron bestaat het warmtenet uit primaire warmtelevering en hulpwarmtelevering. Bij het warmtenet met HT/MT-bron was dit een hulpwarmteketel, maar bij het warmtenet met LT-bron wordt uitgegaan van collectieve of individuele opwaardering van de LT-warmte naar de gewenste temperaturen. De LT-warmte kan vanuit de bronnen direct worden geleverd aan de gebouwen en daar met individuele warmtepompen worden opgewaardeerd naar de gewenste temperaturen. Een andere mogelijkheid is dat de LT-warmte wordt geleverd aan een collectieve warmtepomp die de warmte vervolgens op 50°C of 70°C aanlevert aan de gebouwen, waarbij in het geval van 50°C de gebouwen individueel nog een booster warmtepomp hebben voor het warme tapwater. Kortom, er zijn meerdere configuraties mogelijk voor een LT-warmtenet binnen het Vesta MAIS-model en hieronder wordt in Figuur 4 een weergave gegeven van twee van deze configuraties. De opbouw van de warmtenetten qua kostencomponenten komt overeen met de opbouw van het warmtenet met HT/MT-bron. Het verschil is dat er voor het

warmtenet met LT-bron nooit sprake is van een primair net en voor een aantal componenten andere kostenkengetallen worden aangenomen, maar de opbouw van het warmtenet qua kostencomponenten volgt dezelfde logica.

Figuur 4 - Mogelijke configuraties voor een warmtenet met LT-bronnen



## 2.5 Gas- en elektriciteitsinfrastructuur

Veranderingen in de warmtevoorziening kunnen invloed hebben op de infrastructuur die nu wordt gebruikt voor de energievoorziening van gebouwen, de gas- en elektriciteitsinfrastructuur. De gevolgen die de warmtetransitie kan hebben op deze infrastructuren worden in beeld gebracht binnen het Vesta MAIS-model. Het is belangrijk om te vermelden dat er ook andere factoren zijn, zoals elektrisch vervoer, die van invloed kunnen zijn op aanpassingen in het elektriciteitsnet die in het Vesta MAIS-model niet worden meegenomen. In samenwerking met Netbeheer Nederland is gewerkt aan een methode waarbij rekening wordt gehouden met de situatie van de gas- en elektriciteitsnetten op CBS-buurtniveau. De methode wordt verder beschreven in Paragraaf 6.4.4. Deze methodiek geeft een beeld van de kosten die gemaakt zouden moeten worden wanneer het gasnet verwijderd of het elektriciteitsnet verzwakt zou moeten worden. Daarbij wordt rekening gehouden met de lengte van zogeheten grondroeringsgevoelige netten per buurt. Dit zijn over het algemeen oude netten die gevoelig zijn voor eventuele graafwerkzaamheden en deze moeten ook eerst vervangen worden wanneer een buurt aangesloten wordt op een warmtenet. Naast de kosten voor het aanpassen van het gas- en elektriciteitsnet worden ook de opbrengsten in beeld gebracht. Deze opbrengsten kunnen veranderen door volumeveranderingen in het energiegebruik onder invloed van gebouw- en gebiedsmaatregelen. Daarnaast kunnen de opbrengsten van het gasnet gerelateerd aan de vaste jaarlijkse netbeheerkosten dalen wanneer het aantal gasaansluitingen daalt.



## 2.6 Energieprijzen

De energieprijzen binnen Vesta MAIS zijn gebaseerd op de ontwikkelingen van de energieprijzen, zoals deze worden gehanteerd binnen de Klimaat- en Energie Verkenning 2019 (PBL, 2019). Binnen deze studie wordt een verkenning gedaan van de ontwikkelingen in de energiehuishouding tot en met 2030, waarbij ook een beeld wordt gegeven van de ontwikkelingen in de groothandelsprijzen van gas, elektriciteit, CO<sub>2</sub> en biomassa. Daarnaast wordt voor gas en elektriciteit binnen Vesta MAIS deze prijs verhoogd met de volgende prijscomponenten:

- variabele distributiekosten;
- transport- en capaciteitskosten;
- opslag duurzame energie (ODE-opslag);
- energiebelasting;
- BTW.

De optelling van deze verschillende componenten geeft de totaalprijs van gas en elektriciteit. Binnen Vesta MAIS zelf worden de prijscomponenten apart meegenomen, omdat dan duidelijk blijft welke actoren bepaalde prijscomponenten binnen krijgen voor de geleverde diensten. Naast het onderscheid naar prijscomponenten, wordt ook het onderscheid gemaakt naar gebruiksklasse. Prijzen verschillen namelijk fors tussen kleinverbruikers en grootverbruikers en dit wordt meegenomen binnen Vesta MAIS. Het onderscheid voor de klassen is te vinden op Belastingdienst (Belastingdienst, lopend), waarbij binnen Vesta MAIS de volgende categorieën worden onderscheiden voor elektriciteit:

- kleingebruik (< 10.000 kWh/jaar);
- klein-middelgroot gebruik (10.001 t/m 50.000 kWh);
- midden-middelgroot gebruik (50.001 t/m 10 miljoen kWh);
- grootgebruik (> 10 miljoen kWh).

Voor aardgas worden de volgende categorieën onderscheiden:

- kleingebruik (< 5.000 m<sup>3</sup>/jaar);
- klein-middelgroot gebruik (5.001 t/m 170.000 m<sup>3</sup>);
- midden-middelgroot gebruik (170.001 t/m 1 miljoen m<sup>3</sup>);
- groot-middelgroot gebruik & groot gebruik (> 1 miljoen m<sup>3</sup>);
- glastuinbouw: voor tuinders is een apart tarief van toepassing.

## 2.7 Kostenontwikkeling

Het Vesta MAIS-model is een techno-economisch model en daarom wordt er ook rekening mee gehouden dat de investeringen of onderhoud & beheer (O&B) kosten van technologieën kunnen stijgen of dalen. De ontwikkelingen in investeringen en O&B-kosten worden binnen Vesta MAIS gebaseerd op zogeheten leerfactoren. Deze leerfactoren geven de relatieve verandering in het investeringsbedrag of de O&B-kosten van de technologie in een zichtjaar ten opzichte van de uitgangssituatie in het startjaar. Deze leercurves zijn een input die de modelgebruiker kan opgeven, waarbij de onderbouwing van de leercurves die nu in Vesta MAIS zitten verder worden beschreven in Paragraaf 5.2.3.

Naast de toekomstige ontwikkeling in de kosten wordt binnen Vesta MAIS ook een bandbreedte gegeven van de investeringen en kosten voor de huidige situatie. De bovenkant van de bandbreedte van bijvoorbeeld investeringskosten wordt bepaald door een pessimistische inschatting van de investeringskosten voor een bepaalde technologie. Daarentegen wordt de onderkant van de bandbreedte bepaald door een optimistische inschatting van de technologie. Standaard wordt binnen het Vesta MAIS-model uitgegaan van de gemiddelde investeringen voor een technologie, maar het is voor een modelgebruiker mogelijk om in te stellen dat alleen wordt uitgegaan van de pessimistische of optimistische inschattingen van

de investeringskosten in de huidige situatie. Als hier een pessimistische inschatting wordt aangehouden dan zal voor de toekomstige ontwikkeling worden uitgegaan van de relatieve ontwikkeling ten opzichte van deze pessimistische inschatting.

## 2.8 Beleid

Naast de kostenontwikkelingen van technologieën zelf is het ook mogelijk dat er vanuit beleid bepaalde instrumenten worden geïntroduceerd die invloed hebben op de warmte-transitie. Binnen Vesta MAIS is het op dit moment mogelijk om de volgende beleids-instrumenten door te rekenen:

- veranderingen in de energiebelasting en de opslag duurzame energie voor gas en elektriciteit;
- investeringssubsidies voor gebouw- en gebiedsmaatregelen;
- exploitatiesubsidies op gebiedsmaatregelen;
- CO<sub>2</sub>-heffing op elektriciteit;
- eventuele verplichtingen voor verbeteringen in schillabels.

Naast deze instrumenten wordt op dit moment uitgegaan van het NMDA-principe voor de vaststelling van de warmteprijs conform het huidige beleid. Het is mogelijk om berekening-en te maken voor de rentabiliteit van een warmtenet wanneer wordt afgeweken van dit beleid door bijvoorbeeld een vast warmtetarief per GJ warmte te introduceren. Of door niet exact aan het NMDA vast te houden maar aan te geven dat de warmteprijs een factor lager (bijvoorbeeld 90%) of hoger komt van het tarief op basis van het NMDA. Dergelijke mogelijkheden geven een modelgebruiker gevoel voor het effect van aanpassingen in de vaststelling van de warmteprijs. In het Vesta MAIS-model wordt standaard uitgegaan van het NMDA-principe, maar het is mogelijk om verkenningen met andere vormen van tariefstelling voor warmteprijsen.

# DEEL 2

## Verdieping



## 3 Werking model

Het voorgaande hoofdstuk heeft de lezer een introductie geboden tot *waarom en waarvoor* het Vesta MAIS-model is ontwikkeld en *wat* de uitgangspunten van het model zijn. In dit hoofdstuk zoomen we in op *hoe* het model rekt door te kijken naar de verschillende stappen die het model doorloopt wanneer men een *doorrekening van een toekomstscenario* uitvoert. Dit hoofdstuk is verdeeld in twee onderdelen. Allereerst wordt er in Paragraaf 3.1 een overzicht gegeven van de volgorde van de verschillende doorrekeningsstappen in het model. Hierbij wordt stilgestaan bij de vier ‘hoofdstappen’ die men doorloopt wanneer men een doorrekening van een toekomstscenario uitvoert met het Vesta MAIS-model. Vervolgens biedt Paragraaf 3.2 een korte reflectie op hoe men de resultaten van een doorrekening met het Vesta MAIS-model dient te interpreteren en op waarde kan schatten voor beleidsvorming, investeringskeuzes of andersoortige vragen ten behoeve van de warmtetransitie in de gebouwde omgeving.

### 3.1 Rekenen met het Vesta MAIS-model: de vier hoofdstappen van een doorrekening

VESTA MAIS is een *technisch-economisch* rekenmodel dat is ontwikkeld om inzicht te krijgen in de *mogelijke transitiepaden* van de warmtevoorziening in de *gebouwde omgeving* op de lange termijn (2050). In de doorrekening van zo’n mogelijk transitiepad kan men vier hoofdstappen onderscheiden: **(1)** Het inlezen van invoerdata en keuzes, **(2)** Het initialiseren van rekenschema’s, **(3)** het doorrekenen van het voorkeursalternatief voor de warmtevoorziening en **(4)** het ontsluiten van de uitvoerdata. Figuur 5 biedt een overzicht van de vier hoofdstappen van een doorrekening en wat deze behelzen. In de opeenvolgende sub-paragrafen worden de vier hoofdstappen één voor één achtereenvolgens besproken.

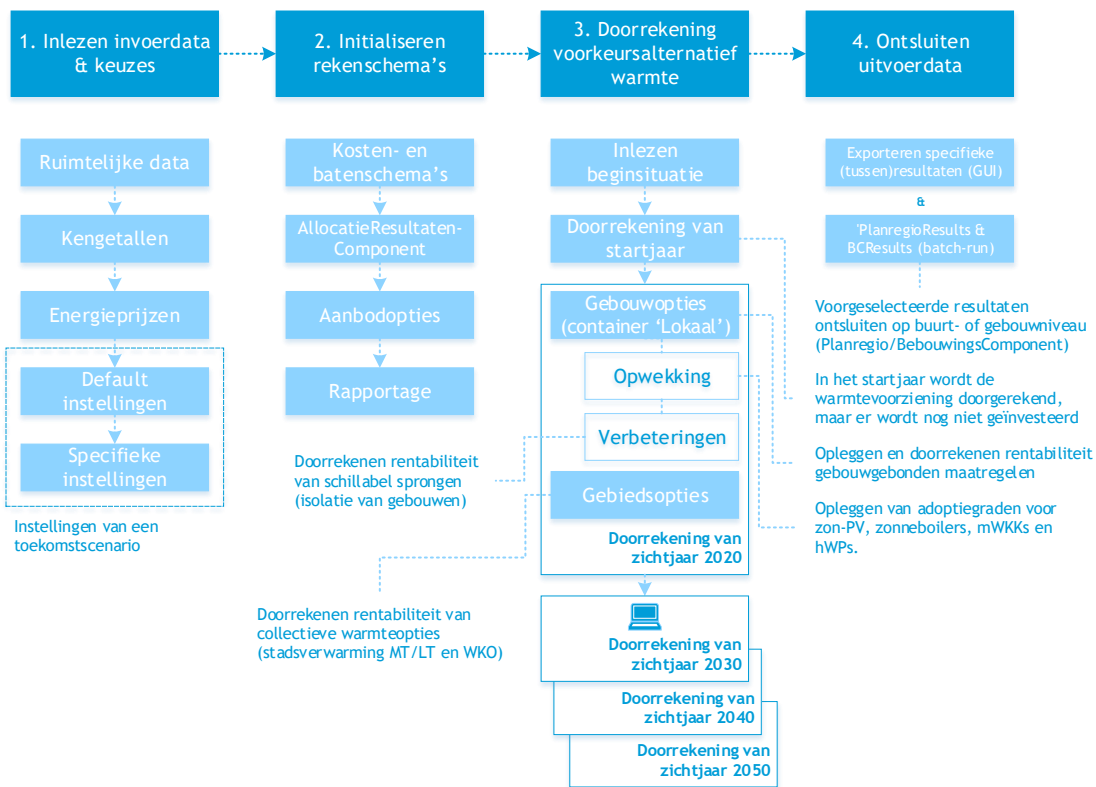
#### 3.1.1 Stap 1: Het inlezen van invoerdata en keuzes

In de eerste stap worden er eerst drie verschillende verzamelingen van invoerdata ingelezen in het model: *ruimtelijke data*, *kengetallen* en *energieprijzen*. Daarna volgen de instellingen die een modelleur meegeeft aan het model voor het doorrekenen van een toekomstscenario. In het model zijn hiervoor twee plaatsen gereserveerd: de *default instellingen* en *specifieke instellingen*.

Voorbeelden van *ruimtelijke data* zijn het Nederlandse gebouwenbestand van de gebouwde omgeving (de BAG), de grootte en plaatsing van glastuinbouwobjecten in Nederland (relevant voor warmtevraag), maar ook toekomstscenario’s voor sloop en nieuwbouw van gebouwen tot en met 2050.

De *kengetallen* omvatten specifieke cijfers die nodig zijn ten behoeve van het matchen van de vraag naar en het aanbod van warmte, dan wel de kosten en baten, dan wel de emissies van schadelijke stoffen die daarmee gepaard gaan. Voorbeelden van kengetallen zijn de vraag naar elektriciteit en warmte van verschillende typen gebouwen, maar ook bijvoorbeeld de kosten voor het uitkoppelen van restwarmte vanuit een elektriciteitscentrale. Weer andere kengetallen zijn bijvoorbeeld de leercurves die in het model zijn opgenomen om aannames te kunnen doen over de kostenontwikkeling van verschillende installatie- en infrastructuurcomponenten waaraan gerekend wordt in het model.

**Figuur 5 - Schematisch overzicht van de vier hoofdstappen gedurende een doorrekening met het Vesta MAIS-model**



*Nota bene: Onder de hoofdstappen vindt men in het lichtblauw een (niet-uitputtende) detaillering van de verschillende tussenstappen die plaatsvinden bij een doorrekening met het Vesta MAIS-model. In de detaillering wordt gebruik gemaakt van dezelfde naamgeving als is te vinden in het Vesta MAIS-model zelf.*

Als derde blok leest het model tevens alle benodigde **energieprijzen** in voor het uitvoeren van een doorrekening. Het gaat hierbij om prijzen voor zowel kleinverbruikers als grootverbruikers van aardgas en elektriciteit, maar ook om de commodity prijzen van verschillende energiedragers, zoals kolen en biomassa of de schaduwprijs van CO<sub>2</sub>-emissies (ten behoeve van doorrekening maatschappelijk effect van CO<sub>2</sub>-emissies).

Naast het inlezen van de invoerdata leest het model tevens een aantal keuzes in. In het Vesta MAIS-model is een selectie van een handzaam aantal parameters verzameld onder de plaatsen **default instellingen** en **specifieke instellingen**. Onder de default instellingen vindt men een breed scala aan instellingen. Het gaat om instellingen zoals beleidskeuzes over de vraag of men subsidies wilt verlenen voor specifieke technologieën, met welk prijsscenario men haar doorrekening wilt uitvoeren of aannames aangaande de kostenontwikkelingen van installaties en infrastructuurcomponenten. Deze verzameling aan keuzes biedt het startpunt van een doorrekening, dat wil zeggen, de default instellingen bepalen de instellingen voor het startjaar van de doorrekening van een toekomstscenario.

Goed om te beseffen is dat men in principe alle uitgangspunten in het Vesta MAIS-model ter discussie mag stellen en naar eigen inzicht kan aanpassen. De default instellingen bieden enkel een verzamelplaats en hulpmiddel voor de modelleur om in één overzicht een groot aantal belangrijke keuzes te kunnen bekijken en aan te passen.

Naast de default instellingen is er tevens een plaats gereserveerd voor het toevoegen van *specifieke instellingen per zichtjaar*. Op deze plaats kan men specifieke wijzigingen opgeven ten opzichte van de defaultinstellingen die worden meegegeven aan het startjaar van een doorrekening. Het Vesta MAIS-model werkt hierbij met een ‘overervingsprincipe’, in de eerste plaats gelden de instellingen voor het startjaar tevens allen voor de opvolgende zichtjaren (standaard 2020, 2030, 2040 en 2050), tenzij anders is opgegeven.

#### Tekstbox 1 - Het concept-zichtjaar nader uitgelicht

Het Vesta MAIS-model berekent de mogelijke transitiepaden van de warmtetransitie in de gebouwde omgeving aan de hand van zichtjaren. Deze zichtjaren zijn standaard een startjaar, gevolgd door de jaren 2020, 2030, 2040 en 2050. Voor deze zichtjaren maakt het Vesta MAIS-model telkens weer een snapshot van de technisch-economisch meest aantrekkelijke warmteoptie voor de verwarming van de Nederlandse gebouwde omgeving. Door voor deze zichtjaren de omgevingssituatie voor de warmtetransitie te modelleren kan men het potentieel voor verduurzaming van de gebouwde omgeving inschatten in de tijd. Voor de omgevingssituatie kan men denken aan factoren zoals wat is de prijs van aardgas in 2020, hoeveel kost het installeren van een warmtepomp in 2030, wat vertellen klimaatscenario's over de temperatuurverdeling in Nederland in 2040 (relevant voor de warmtevraag), en wat verwachten we op het gebied van sloop en nieuwbouw in de gebouwde omgeving in 2050.

In Hoofdstuk 5 van dit rapport wordt alle *invoer* van het Vesta MAIS-model nader besproken in dezelfde volgorde als hierboven. Dit is bovendien tevens dezelfde volgorde waarin het Vesta MAIS-model alle data en instellingen inleest en verder meeneemt in haar doorrekening.

### 3.1.2 Stap 2: Het initialiseren van rekenschema's

Het Vesta MAIS-model berekent de technisch economisch meest aantrekkelijke warmte-opties op basis van een kosten-baten analyse voor de gehele warmteketen. Het berekent bovendien de effecten van de transitie op de energieprestaties, CO<sub>2</sub>-emissies, en kosten-baten van alle betrokken actoren. Om dit alles te kunnen doorrekenen bevindt zich onder de motorkap van het Vesta MAIS-model een verzameling aan *rekenschema's*.

Deze rekenschema's worden in Vesta MAIS ingelezen onder de ‘container’ *model*. Het betreft de zogeheten ‘CalculationSchemes’. Enkele belangrijke, maar lang niet alle, ‘CalculationSchemes’ zijn weergegeven in Figuur 5, zijn de Kosten- en batenschema's (in het model ‘KostenBaten’), het schema ‘AllocatieResultatenComponent’, ‘Aanbodopties’ en ‘Rapportage’. Om te begrijpen hoe het Vesta MAIS-model werkt is het nuttig, maar niet noodzakelijk, om de modeltechnische implementatie van deze rekenschema's nader te bestuderen in de modelcode. Voor een functionele beschrijving van hoe het model rekent biedt dit Functioneel Ontwerp van Vesta MAIS een beschrijving in Hoofdstuk 6.

### 3.1.3 Stap 3: Het doorrekenen van het voorkeursalternatief voor de warmtevoorziening

Het doorrekenen van het voorkeursalternatief voor de warmtevoorziening van de gebouwde omgeving is verder onder te verdelen in een aantal deelstappen. Allereerst start Vesta MAIS met het inlezen van de ‘BeginSituatie’. Dit omvat het initiëren van de verschillende typen gebouwen, het inlezen van de energetische staat van deze gebouwen (het schillabel van woningen en utiliteitsgebouwen), maar ook de vraag of woningen of utiliteitsgebouwen reeds aangesloten zijn op bestaande stadsverwarmingsnetten. Samenvattend worden hier in feite een gedeelte van de invoerdata & keuzes uit Stap 1 klaargezet voor gebruik.

Vervolgens start de doorrekening van het ‘[Startjaar](#)’. In deze deelstap worden voor het startjaar van de doorrekening alle rekenstappen doorlopen. Dat wil zeggen, de energieprestaties, kosten en baten van alle actoren en emissies gepaard gaande met de warmtevoorziening van de gebouwde omgeving worden volledig doorgerekend voor het gekozen startjaar. Belangrijk is dat in tegenstelling tot de opvolgende zichtjaren er in het startjaar géén investeringen plaatsvinden in duurzame warmteopties zoals gebouwmaatregelen of gebiedsopties. Deze investeringen in duurzame warmte vinden plaats in de doorrekening van de opvolgende zichtjaren.

De eerste deelstap na het startjaar is standaard de doorrekening van het ‘[zichtjaar 2020](#)’. In dit zichtjaar worden dezelfde stappen doorlopen als in het startjaar (herhaling van rekenstappen) met als grote verschil dat er nu wél investeringen plaatsvinden in gebouwmaatregelen én gebiedsopties. De doorrekening van het ‘zichtjaar 2020’ kan dan ook wel als het startschot van de verkenning naar het technisch-economisch potentieel voor verduurzaming van de warmtevraag van de Nederlandse gebouwde omgeving worden gezien.

Investeringen in duurzame warmteopties vinden plaats wanneer deze technisch-economisch rendabel zijn. Dat wil zeggen, de beslisregel is om te investeren in duurzame warmte-opties wanneer de netto contante waarde van investeringsmaatregelen positief is. Hierbij is het zo dat standaard eerst ‘[gebouwopties](#)’ aan bod komen en daarna ‘[gebiedsopties](#)’ (zie ook Figuur 5). Resultaat van de doorrekening van zichtjaar 2020 is dat elk gebouw en daarmee ook elke buurt een voorkeursalternatief toegewezen krijgt wat betreft de isolatiegraad en de warmtetechniek ter invulling van de warmtevraag van de gebouwde omgeving.

Een doorrekening met Vesta MAIS bestaat standaard uit vijf zichtjaren. Na doorrekening van het startjaar en zichtjaar 2020 volgen dan ook de doorrekening van ‘[zichtjaar 2030](#)’, ‘[zichtjaar 2040](#)’, en ‘[zichtjaar 2050](#)’. In deze zichtjaren herhaalt het Vesta MAIS-model dezelfde doorrekeningsstappen van zichtjaar 2020, voor opeenvolgende toekomstschetsen van het energiesysteem. Er worden als het ware ‘snapshots’ van de toekomst gemaakt waarin men benadert hoeveel de kosten van energie, investeringsmaatregelen en schaduw prijzen zoals de prijs van CO<sub>2</sub> zijn in de toekomst om het technisch-economisch verduurzamingspotentieel van de gebouwde omgeving te kunnen inschatten op de genoemde specifieke momenten. Het resultaat van de doorrekening van alle zichtjaren beschrijft een technisch-economisch optimaal transitiepad voor de verduurzaming van de gebouwde omgeving.

### 3.1.4 Stap 4: Het ontsluiten van de uitvoerdata

Nadat het voorkeursalternatief voor de invulling van de warmtevraag gevonden is met het doorlopen van Stap 3 kan men de resultaten op verschillende wijze [ontsluiten](#) voor verdere verwerking en analyse. Dit kan op twee manieren: (1) het exporteren van specifieke (tussen)resultaten met de Grafische User Interface (GUI) van het model, en, (2) het wegschrijven van de voor gedefinieerde ‘PlanregioResults’ (resultaten op buurniveau) en de ‘BCresults’ (resultaten op gebouwniveau) door middel van het uitvoeren van een batch-run.

Het wegschrijven van specifieke resultaten met de GUI is een modeltechnische exercitie die uitvoerig beschreven staat op de Wiki<sup>2</sup> van het Vesta MAIS-model. Met deze specifieke exports kan de modelleur zélf uitkiezen welke (tussen)resultaten voor hem of haar van belang zijn en welke niet.

---

<sup>2</sup> Zie Wiki-pagina ‘[D.2 Resultaten genereren met GUI](#)’

Het wegschrijven van de voor gedefinieerde planregio resultaten en bebouwingscomponent resultaten (BCresults) met de batch-run betreft tevens een modeltechnische exercitie. Op de Wiki<sup>3</sup> van het Vesta MAIS-model worden de hiervoor te doorlopen stappen uitvoerig beschreven.

### 3.2 Het interpreteren van de resultaten van Vesta MAIS

Rekenen met het Vesta MAIS-model geeft de modelleur de kans om inzicht te verkrijgen in *waar* in Nederland *welke* warmtevoorzieningsoplossingen technisch-economisch rendabel zijn en *wanneer* dat het geval is. Het modelleren van lange termijn trends en het gebruik van ‘zichtjaren’ stelt de modelleur in staat om op de lange termijn mogelijke toekomsten voor verduurzaming van de Nederlandse warmtevraag te verkennen. Het is echter goed om te beseffen dat net zoals ieder ander model Vesta MAIS de werkelijkheid nabootst, maar niet volledig kan vatten.

Beperkingen van het model zijn bijvoorbeeld dat het enkel de *technisch-economische dimensie* van de warmtetransitie simuleert en voor andere dimensies er enkel *voor-opgestelde aannames en toekomstscenario's* kunnen worden opgesteld. Voorbeelden hiervan zijn bijvoorbeeld gedragingen en keuzes die niet een technisch-economisch rationale grondslag hebben, maar voortkomen uit socio-economische, politieke of bijvoorbeeld emotionele drivers. Hierbij kan gedacht worden aan zaken zoals de investeringsbereidheid van woningeigenaren, beleidskeuzen van de politiek met betrekking tot het faciliteren of stimuleren van duurzame warmtetechnieken, of het bekende reboundeffect van woningeigenaren wanneer zij hun woning isoleren - een gedeelte van de energiebesparing wordt in de praktijk veelal teniet gedaan doordat woningeigenaren een stap maken in woningcomfort (verwarming ietsjes hoger zetten; het hele huis verwarmen).

Met genoemde beperkingen kan in het Vesta MAIS-model worden omgegaan door aannames te doen, met scenario's te werken en gevoeligheidsanalyse uit te voeren op de door de modelleur gehanteerde aannames. Wat blijft, is dat de modelleur kijkt naar het resultaat van een technisch-economische doorrekening en haar resultaten daarom dient te bekijken met deze bril.

Ook moet de modelleur zich realiseren dat de invoerdata van Vesta MAIS enkel een inschatting bieden van de werkelijke situatie. De databronnen voor Vesta MAIS worden voortdurend ge-update, echter, op lokaal niveau is het mogelijk dat er een niet adequate weerspiegeling van de werkelijke kosten, baten of technische (on)mogelijkheden is opgenomen omdat lokaal specifieke factoren niet voldoende worden meegenomen. Samenvattend kan gesteld worden dat de resultaten van een doorrekening met Vesta MAIS met name op nationaal en regionaal niveau het best te interpreteren zijn. Ook op lokaal niveau zijn de inzichten met betrekking tot de kosten van verduurzaming, mogelijkheden voor energieprestatieverbetering en CO<sub>2</sub>-emissiereductie nuttig, maar ze dienen wel met de nodige achtzaamheid te worden bekeken.

---

<sup>3</sup> Zie Wiki pagina [D.3 Resultaten genereren met batch procedure](#)





## 4 Geografie en classificaties

Voor een berekening met het Vesta MAIS-model is het van belang om allereerst vast te leggen van welke geografische indeling gebruik wordt gemaakt. Standaard wordt ervan uitgegaan dat wordt gerekend voor heel Nederland waarbij het mogelijk is om Nederland op verschillende manieren in te delen. Dit wordt toegelicht in Paragraaf 4.1. Ook is het mogelijk om voor een deel van Nederland te rekenen. Hoe dit kan wordt beschreven op de wiki: [link toevoegen](#) (eventueel de BAG-tool). Daarnaast wordt in dit hoofdstuk beschreven welke classificaties worden gebruikt binnen het model. Met een classificatie wordt hiermee een grootte binnen Vesta MAIS aangegeven met daarbij de klassen waaruit een dergelijke grootte bestaat. Bijvoorbeeld welke woningklassen vallen onder de grootte “Bestaande woning”, deze grootheden staan beschreven in Paragraaf 4.2.

### 4.1 Geography

GeoDmsGui:	/Geography
Wiki:	<a href="#">/wiki/C.2-Geography</a>

Voor de ruimtelijke berekeningen en visualisatie zijn er geografische data nodig. Het model gebruikt hierbij regio-indelingen.

#### 4.1.1 Regio-indelingen

Regio-indelingen worden gebruikt voor het plannen van ruimtelijke berekeningen van veelal gebiedsmaatregelen. Dit zijn de zogenoemde planregio's en bij de huidige versie van het model zijn dit CBS-buurtten. De omvang van de CBS-buurtten vormt meestal een goed gebied voor het doorrekenen van de rentabiliteit van grootschalige warmtelevering. Het buurt-niveau doorsnijdt doorgaans geen grote barrières als waterwegen en vormt voor de woningbouw in de meeste gevallen een relatief homogene woonwijk. Ook worden regio-indelingen gebruikt voor het schaalniveau waarop rapportages worden gemaakt. Dit zijn de zogeheten rapportageregio's.

Mogelijke rapportageregio's in Vesta MAIS zijn:

- buurt;
- wijk;
- gemeente;
- energieregio;
- provincie;
- Nederland.

### 4.2 Classifications - modeldefinities

GeoDmsGui:	/Classifications
Wiki:	<a href="#">/wiki/C.3-Classifications</a>

In de container classificaties worden de klassen die gebruikt worden in het model gedefinieerd. In dit hoofdstuk worden deze klassen weergegeven.

## 4.2.1 Woningbouw

### 4.2.1.1 Bestaande woningbouw

De bestaande woningen zijn ingedeeld in de volgende typen:

- vrijstaand;
- 2 onder 1 kap;
- rijwoning hoek;
- rijwoning tussen;
- meergezinswoning tot en met vier verdiepingen;
- meergezinswoning meer dan vier verdiepingen.

Daarnaast zijn ze ook ingedeeld in de volgende bouwjaarklassen:

- vóór 1946;
- 1946-1964;
- 1965-1974;
- 1975-1991;
- 1992-2005;
- vanaf 2006.

### 4.2.1.2 Nieuwbouwwoningen

Nieuwbouwwoningen zijn ingedeeld in de volgende typen:

- herenhuis grachtenpand;
- boerderij/tuinderij;
- vrijstaand/bungalows;
- 2 onder 1 kap;
- rijtjeshuizen/eengezins;
- flats vier of minder verdiepingen;
- flats meer dan vier verdiepingen;
- zelfstandige;
- etagewoning/maisonette;
- etage/flats grachtenpand;
- studentenwoning/flat;
- divers;
- Onbekend.

Daarnaast zijn ze ook ingedeeld in de volgende bouwjaarklassen, deze geven aan in welke periode de woningen gebouwd worden:

- 2010 < = 2020 (lees: startjaar van de modelberekeningen);
- 2020 < = 2030;
- 2030 < = 2040;
- 2040 < = 2050.

## 4.2.2 Utiliteit

### 4.2.2.1 Bestaande utiliteitsbouw

Type utiliteitsgebouwen:

- kantoor;
- winkel;
- gezondheidszorg;
- logies;
- onderwijs;
- industrie (let op: niet alle industrie wordt meegenomen, zie Paragraaf 5.4.1);
- bijeenkomst;

- sport;
- cel;
- overig;

Daarnaast zijn ze ook ingedeeld in de volgende bouwjaarklassen:

- vóór 1920;
- 1920-1975;
- 1976-1990;
- 1991-1995;
- vanaf 1996;
- onbekend.

#### 4.2.2.2 Nieuwbouw utiliteit

Nieuwbouw utiliteit wordt ingedeeld naar type utiliteitsgebouw:

- kantoren;
- winkels;
- verpleging en verzorging;
- ziekenhuizen;
- onderwijs;
- autohandel en reparatie;
- groothandel;
- horeca;
- overige dienstverlening.

Daarnaast zijn ze ook ingedeeld in de volgende bouwjaarklassen, deze geven aan in welke periode de utiliteit gebouwd is/wordt:

- 2010 <= 2020 (lees: startjaar van de modelberekeningen);
- 2020 <= 2030;
- 2030 <= 2040;
- 2040 <= 2050.

### 4.2.3 Glastuinbouw

De glastuinbouw is in Vesta MAIS ingedeeld naar type teelt.

Hiervoor worden de volgende categorieën aangehouden:

- bloemen;
- groente;
- overig.

Daarnaast wordt er ook een indeling aangehouden met betrekking tot of de gewassen worden belicht of niet en of ze worden verwarmd of niet. Deze onderverdeling is hetzelfde voor zowel de bestaande glastuinbouw als de nieuwbouw.

### 4.2.4 Energielabels (schillabels)

Alle woningen en utiliteitsgebouwen hebben een energielabel in het basisjaar op basis van de energiekwaliteit. In Vesta MAIS wordt gewerkt met een schillabel. Het schillabel heeft hetzelfde idee als het energielabel, behalve dan dat er hiervoor alleen schilmaatregelen mee worden genomen en geen installatiemaatregelen, zoals een warmtepomp of zon-PV.

In Vesta MAIS worden de energielabels van RVO geïnterpreteerd als schillabels.<sup>4</sup>

De schillabels die de gebouwen kunnen hebben zijn:

- A+ (verzamelnaam voor A en alles dat beter is);
- B;
- C;
- D;
- E;
- F;
- G.

Naast deze schillabels die ook voorkomen in de RVO EP-onlinedatabase worden er ook modelmatig twee statussen toegevoegd die aangeven dat een gebouw een elektrische warmtepomp heeft. Dit zijn de labels 'AeWP' en 'BeWP' die aangeven dat het met gebouw elektrische warmtepomp wordt verwarmd bij respectievelijk Schillabel A+ of Schillabel B. Bij elke opvraag van labels in het model of de GUI zullen deze twee waarden aan de lijst zijn toegevoegd.

## 4.2.5 Labelsprongen

### 4.2.5.1 Woningen

De belangrijkste gebouwmaatregelen om energie te besparen zijn verbeteringen aan de schil van het gebouw met name gevel-, vloer- en dakisolatie en het vervangen van enkel of dubbel glas door HR++(+)-glas. Wanneer dit soort maatregelen wordt genomen, kan een woning 'springen' naar een beter schillabel. Daarnaast kan er ook een andere warmteoptie dan de HR-ketel worden gekozen, waardoor het energieverbruik omlaag gaat. De opties van labelsprongen in het model zijn:

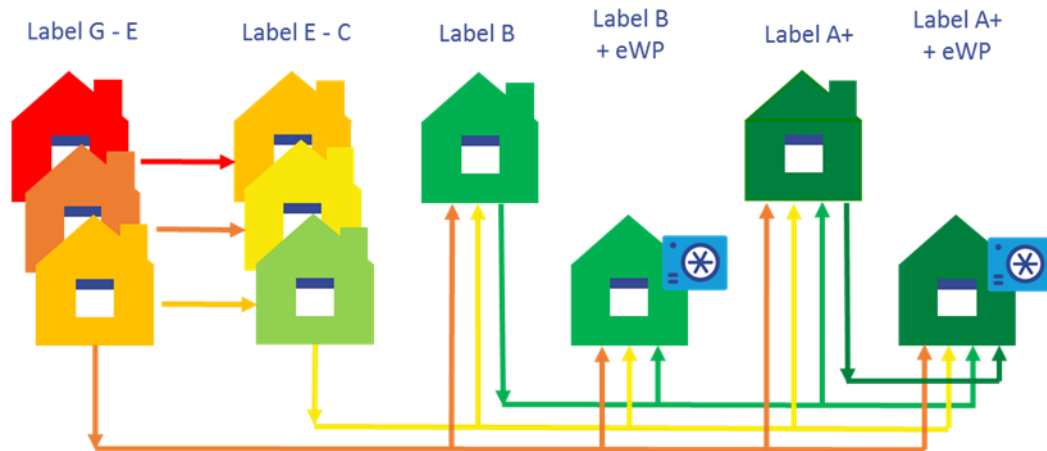
- tussenlabel: Dit is een sprong met twee labels omhoog van een label (E, F en G) naar (C, D respectievelijk E);
- label B;
- label B met volledig elektrische warmtepomp (eWP);
- label A+;
- label A+ met elektrische warmtepomp.

Er zijn ook andere combinaties van schillabels met installaties mogelijk, zoals bijvoorbeeld zon-PV of hybridewarmtepompen. Deze volgen een andere methodiek, zie hiervoor Paragraaf 4.2.6.

---

<sup>4</sup> Tot en met 2015 leverde dit geen groot verschil op omdat er nog niet heel veel zon-PV geïnstalleerd was. Het verschil in schillabel en energielabel kan wel toenemen naarmate er meer zon-PV en overige installaties zoals warmtepompen worden geïnstalleerd. We weten nu niet hoe individuele energielabels tot stand zijn gekomen.

Figuur 6 - Opties schillabelsprongen inclusief de sprong met een volledig elektrische warmtepomp (eWP)



#### 4.2.5.2 Utiliteit

Op vergelijkbare wijze als de woningen kunnen utiliteitsgebouwen in het Vesta MAIS-model 'springen' naar een schil met een betere isolatiewaarde. Sprongen naar de volgende energieschillabels zijn mogelijk:

- schil met isolatiewaarde  $R_c = 3,5$  (in model 'Label B');
- schil met isolatiewaarde  $R_c = 3,5$  en elektrische warmtepomp (in model 'BeWP');
- schil met isolatiewaarde  $R_c = 5,0$  (in model 'Label A+');
- schil met isolatiewaarde  $R_c = 5,0$  en elektrische warmtepomp (in model 'AeWP').

Glastuinbouw: bij gebrek aan bruikbare gegevens zijn geen besparingsmaatregelen geïmplementeerd voor kassen.

## 4.2.6 Installatie-opties

Naast schilverbeteringen kunnen er ook diverse installatie-opties worden toegepast.

### 4.2.6.1 Individueel

Individuele installatie-opties die in het model kunnen worden meegenomen:

- HR107-ketel;
- zonneboiler (in model 'ZonB');
- micro-warmtekrachtkoppeling (in model 'mWKK');
- elektrische warmtepomp op basis van buitenlucht (in model 'eWP');
- elektrische warmtepomp met bodemenergiesysteem (in model 'eWP');
- hybridewarmtepomp (in model 'hWP');
- PV-panelen (in model 'ZonPV').

Merk op dat mechanische ventilatie en airco-unit niet als aparte installaties zijn gemodelleerd. Investeringskosten van mechanische ventilatie is onderdeel van het maatregelpakket naar Schillabel B. Het elektriciteitsverbruik van de mechanische installatie wordt meegenomen in het model. Het elektriciteitsverbruik van de airco-unit wordt standaard meegenomen indien er een koudevraag is verondersteld en er is ingesteld dat die ook vervuld wordt (zie Paragraaf 5.4.3). Investeringskosten van airco-units worden niet berekend.

#### 4.2.6.2 Collectief

In het Vesta MAIS-model zijn de volgende warmtebronnen opgenomen voor collectieve warmte:

- Restwarmte: Warmte van elektriciteitscentrales, afvalverbrandingsinstallaties en industriële bedrijven. Hieronder valt ook warmte van de warmtecentrales gestookt op snoeihout en houtpallets.
- Geothermie: warmte uit diepe aardlagen op 500 tot 4.000 meter diepte.
- Warmtekoudeopslag (WKO): warmte en koude afkomstig van grondwater op een diepte van 20 tot 200 meter dat wordt benut als energiebuffer.
- Wijk-WKK: efficiënt geproduceerde warmte uit (aardgasgestookte) warmtekracht-koppeling in de wijk.
- Bio-wijk-WKK: warmte verkregen uit een wijk-WKK door te stoken met biomassa bestaande uit snoeihout, houtpellets of biogas.
- Lagetemperatuurbronnen:
  - middelgrote industrie (bedrijventerreinen);
  - rioolwaterzuiveringsinstallaties;
  - koel- en vrieshuizen;
  - industriële bakkerijen;
  - industriële wasserijen;
  - diervoederbedrijven;
  - levensmiddelenindustrie;
  - slachthuizen;
  - datacenters;
  - kunstijsbanen;
  - supermarkt.
- Warmtekoudeopslag (WKO).
- TEO: Thermische energie uit oppervlaktewater in combinatie met WKO.

#### 4.2.7 Actoren

De partijen die onderscheiden worden ten behoeve van Vesta zijn:

1. Gebouweigenaar (te onderscheiden naar bestaand en nieuw):
  - a Woningen.
  - b Utiliteit.
  - c Glastuinbouw.
2. Gebouwgebruiker (te onderscheiden naar bestaand en nieuw):
  - a Woningen.
  - b Utiliteit.
  - c Glastuinbouw.
3. Warmteopwekker (te onderscheiden naar type bron).
4. Warmtetransporteur.
5. Warmtedistributeur in de wijk/buurt.
6. Warmtedistributeur binnen panden.
7. Warmteleverancier.
8. Overheid.
9. Netbeheerder:
  - a Elektriciteit.
  - b Gas.

#### 4.2.8 Inkomensklasse & Eigendomsklasse

Verschillende inkomensklassen & eigendomsklassen zitten als percentage per buurt in het model<sup>5</sup>. Het wordt niet gebruikt voor de berekeningen, maar kan worden gebruikt om resultaten gewogen naar aandeel te rapporteren. Hiermee worden bijvoorbeeld resultaten apart gegeven voor huur- en koopwoningen, of lage, midden- en hoge inkomens.

#### 4.2.9 Zichtjaar

Het model maakt gebruik van een startjaar, op dit moment 2018. Daarnaast kunnen zichtjaren worden ingesteld door de gebruiker. De zichtjaren 2020, 2030, 2040 en 2050 staan als default ingesteld. De modelgebruiker kan dit aanpassen door in de runfile deze parameters aan te passen. Daar kunnen meerdere rekenstappen opgegeven worden die in een doorrekening worden doorlopen. Per rekenstap wordt opgegeven welk zichtjaar wordt aangehouden. Dat heeft invloed op:

- sloop en nieuwbouw;
- klimaateffect;
- leercurves;
- energieprijzen;
- warmtebronnen.

Per rekenstap worden voor het gekozen zichtjaar de bijbehorende waarden van elk van deze invoerdata gebruikt. Bijvoorbeeld, welke gasprijs er in een bepaald toekomstig jaar wordt verondersteld.

#### 4.2.10 Gebiedsmaatregelen

Gebiedsmaatregelen zijn collectieve verwarmingssystemen waarbij een groep afnemers gezamenlijk op een warmtebron wordt aangesloten voor warmtelevering via een warmtewet. Binnen Vesta MAIS zijn verschillende gebiedsmaatregelen door te rekenen. Deze verschillen onderling in het type warmtebron, temperatuurniveaus en omvang van het net. Ook kunnen er verschillende technieken voor opwekking en opslag worden gebruikt. Momenteel zijn de volgende gebiedsmaatregelen in Vesta MAIS opgenomen:

- restwarmte;
- geothermie;
- bio-WKK;
- wijk-WKK;
- WKO;
- TEO;
- LT15\_30;
- LT15\_50;
- LT15\_70;
- LT30\_30;
- LT30\_50;
- LT30\_70.

Een aantal van deze gebiedsmaatregelen maakt gebruik van bestaande (rest)warmtebronnen, bij anderen wordt gerekend met een nieuw te realiseren warmtebron. Afhankelijk van het temperatuurniveau van de warmtebron (T\_Bron) en het temperatuurniveau dat in het secundaire distributienet wordt aangeboden (T\_Sec) moet er wellicht op gebouwniveau nog met behulp van een in pandige warmtepomp opwaardering plaatsvinden. Dit moet in sommige gevallen alleen voor warm tapwater (WW) en in andere gevallen ook

---

<sup>5</sup> Inkomensverhoudingen in buurten worden verkregen uit de [Kerncijfers Wijken en Buurten van het CBS](#)

voor ruimteverwarming (RV). Bij lage aflevertemperaturen vanuit het net kan ook een lagetemperatuur (LT) afgiftesysteem nodig zijn.

Tabel 5 - Verschillende typen gebiedsmaatregelen en hun eigenschappen

Type warmtenet	Soort bron	T_bron	T_sec	Eigen WW	Eigen RV	LT afgiftesysteem
Restwarmte	Bestaand	> 70°C	70°C	Nee	Nee	Nee
Geothermie	Nieuw	> 70°C	70°C	Nee	Nee	Nee
BioWKK	Nieuw	> 70°C	70°C	Nee	Nee	Nee
WijkWKK	Nieuw	> 70°C	70°C	Nee	Nee	Nee
WKO	Nieuw	+/- 15°C	50°C	Ja	Vanaf Label C	Ja
TEO	Nieuw	+/- 15°C	70°C	Nee	Nee	Nee
LT15_30	Bestaand	+/- 15°C	30°C	Ja	Ja	Ja
LT15_50	Bestaand	+/- 15°C	50°C	Ja	Vanaf Label C	Ja
LT15_70	Bestaand	+/- 15°C	70°C	Nee	Nee	Nee
LT30_30	Bestaand	+/- 30°C	30°C	Ja	Ja	Ja
LT30_50	Bestaand	+/- 30°C	50°C	Ja	Vanaf Label C	Ja
LT30_70	Bestaand	+/- 30°C	70°C	nee	Nee	Nee

Voor de wijze van koppeling tussen vraag een aanbod en de omvang van vraaggebieden waarover deze opties worden afgewogen zie Paragraaf 6.4. Hierin wordt ook vermeld welke type gebouwen in aanmerking komen voor elk type warmtenet.



## 5 Invoer

GeoDmsGui:	/Invoer
Wiki:	<a href="/wiki/C.4-Invoer">/wiki/C.4-Invoer</a>

Het Vesta MAIS-model maakt gebruik van verschillende invoerdata, waarbij het gaat om zowel ruimtelijke data, zoals bijvoorbeeld de BAG en de ruimtelijke ontwikkeling van de gebouwde omgeving, als niet-ruimtelijke data, zoals (energie) kengetallen en energieprijzen. In dit hoofdstuk worden de verschillende invoerbestanden en kengetallen besproken. De invoerbestanden zijn te vinden in het model zelf en alle door het model gebruikte parameters zijn te vinden in Bijlage A.

Input wordt ingelezen voor het startjaar (meest recente gegevens voor de huidige situatie), en voor het zichtjaar 2030. De investeringskengetallen zijn voorzien van een range met minimum- en maximumwaarde, en van een leercurve die aangeeft hoe het kengetal zich in de loop van de tijd ontwikkelt. De gebruiker kan in de modelinput kiezen op welk punt tussen minimum en maximum de investering wordt genomen, en in hoeverre de leercurve wordt gevolgd.

### 5.1 Ruimtelijke data

GeoDmsGui:	/Invoer/RuimtelijkeData
Wiki:	<a href="/wiki/C.4.1-RuimtelijkeData">/wiki/C.4.1-RuimtelijkeData</a>

Een onderdeel van de invoer zijn de ruimtelijke data. Dit zijn data die gekoppeld zijn aan een bepaalde locatie of gebied.

#### 5.1.1 Studiegebied

GeoDmsGui:	/Invoer/RuimtelijkeData/StudieGebied
Wiki:	<a href="/wiki/C.4.1-RuimtelijkeData">/wiki/C.4.1-RuimtelijkeData</a>

In de runfile kan de modelgebruiker opgeven wat het geografische gebied is waarop onderzoek wordt gedaan. Hiermee kan de rektijd worden beperkt door gebieden die niet relevant zijn voor de eigen studie buiten beschouwing te laten. Een studiegebied kan worden aangegeven op basis van een provinciegrens, een RES-regio, een verzameling gemeenten of een enkele gemeente. Het voorbeeld hieronder geeft aan op welke manier een StudieGebied kan worden opgegeven. In de uitvoering wordt het StudieGebied eenmalig opgegeven, in het voorbeeld zijn meerdere opties naast elkaar gezet:

```
//Geografische afbakening studiegebied: 'NL' of een of meerdere gemeentecodes,
parameter<string> StudieGebied: ['NL'];
parameter<string> StudieGebied: ['GMO034'];
parameter<string> StudieGebied: ['GMO453,GMO375,GMO396']

//Optioneel RES-regio als geografische selectie
parameter<string> RES_StudieGebied: ['RESNoordHollandZuid'];
parameter<string> StudieGebied: := Geography/RegioIndelingen/Energieregio/GM_code_list
.. [lookup(RES_StudieGebied, Geography/RegioIndelingen/Energieregio/name)];
```

Default staat het studiegebied ingesteld op 'NL' wat betekent dat heel Nederland wordt meegenomen in de berekeningen. Wordt er gekozen voor een kleiner studiegebied dan wordt alle ruimtelijke data van buiten het studiegebied niet meegenomen. Het is mogelijk om er voor te kiezen om wel MT-warmtebronnen van buiten het studiegebied bij de studie te betrekken. Dat kan door in het bronnenbestand dit expliciet op te geven in de kolom 'TargetGMC'. Daarin moet dan een gemeentecode worden opgegeven die binnen het studiegebied ligt. Voor LT-puntbronnen is dit niet mogelijk.

### 5.1.2 BAG

GeoDmsGui:	/Invoer/RuimtelijkeData/BAG
Wiki:	<a href="#">/wiki/C.4.1-RuimtelijkeData</a>

Vesta MAIS maakt gebruik van de dataset Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG). De BAG geeft een overzicht van alle gebouwen in Nederland. De BAG wordt door elke gemeente gevuld met hun gegevens over adressen en gebouwen. De BAG wordt beheerd en landelijk ontsloten door het Kadaster<sup>6</sup>. Binnen Vesta MAIS wordt met name de ruimtelijke component van de BAG gebruikt voor de datamodel-objecten Pand (o.a. oppervlakte) en Verblijfsobject (o.a. functie).

De BAG is een omvangrijke database en niet al deze data wordt gebruikt in Vesta MAIS. Dit is één van de redenen dat het PBL voor Vesta MAIS gebruik maakt van de BAG-tool, een instrument ontwikkeld door ObjectVision en de VU om de relevante gegevens voor Vesta MAIS en andere ruimtelijke modellen uit de centrale BAG database te halen.

De woningcategorieën en categorieën van utiliteitsgebouwen zijn gebaseerd op de BAG van 1 januari 2019. Voor de woningen wordt hieraan met behulp van de BAG-tool ook het bestand [Pand Hoogtes Nederland](#) (PHN 2018) gekoppeld om de woningen te kunnen indelen in verschillende hoogteklassen. In de BAG staat onder andere het type woning en bouwjaar van de woningen. Ook staat in de BAG de verblijfsfunctie en het bouwjaar van de utiliteitsgebouwen. Met deze gegevens kan iedere woning en utiliteitsgebouw worden ingedeeld in een bepaald type en bouwjaarklasse. Voor de indeling van deze klassen zie Paragraaf 4.2.

### 5.1.3 Nieuwbouw & sloop

GeoDmsGui:	/Invoer/RuimtelijkeData/Nieuwbouw en /Invoer/RuimtelijkeData/Sloop
Wiki:	<a href="#">/wiki/C.4.1-RuimtelijkeData</a>

Voor de ruimtelijke ontwikkeling van de gebouwde omgeving binnen Nederland wordt binnen Vesta MAIS nu uitgegaan van de WLO-scenario's (CPB; PBL, 2015). Binnen deze scenario's wordt op basis van economische en demografische uitgangspunten de regionale ontwikkeling van sloop en nieuwbouw van woningen en utiliteit opgesteld. Deze zijn op basis van heuristische regels verder gedetailleerd in specifieke locaties voor heel Nederland, met als doel om resultaten te kunnen presenteren op nationaal niveau. Deze detaillering hoeft echter niks te zeggen over de te verwachten regionale of lokale ontwikkeling zelf en is niet bedoeld om te worden gebruikt voor een analyse op het regionale niveau. Indien Vesta MAIS lokaal of regionaal wordt toegepast kan het model draaien zonder ruimtelijke ontwikkeling, waarbij de gebruiker zo nodig zelf de ruimtelijke ontwikkeling kan toevoegen op basis van eigen inzichten.

<sup>6</sup> De BAG wordt verkregen via [INSPIRE Download Service van BAG - INSPIRE Adressen](#), zie ook [Kadaster Bag-overzicht](#)



### 5.1.4 Glastuinbouw

GeoDmsGui:	/Invoer/RuimtelijkeData/GlasTuinBouw
Wiki:	<a href="#">/wiki/C.4.1-RuimtelijkeData</a>

De huidige omvang van glastuinbouw wordt ontleend aan de Landbouwtelling uit 2017 voor glastuinbouw per gemeente (CBS). Dit wordt onderscheiden in de types bloemen, groente en overig (i.e. 'blijvende teelt'). De input is gegeven in m<sup>2</sup> kasoppervlak, en verdeeld naar de categorieën. Voor de indeling van deze klassen zie Paragraaf 4.2.

De indeling is niet disjunct omdat de eerste zes categorieën volledig de laatste zes categorieën overlappen. De reden is dat geen nauwkeurige statistiek kon worden gevonden over combinaties van (on)verwarmd en (on)belicht. In het model wordt hier pragmatisch mee om gegaan door aan de categorieën (on)verwarmd wel een warmtevraag<sup>7</sup> toe te kennen en geen elektriciteitsvraag en aan de categorieën (on)belicht geen warmtevraag toe te kennen en wel een elektriciteitsvraag. Een uitgebreidere beschrijving is gegeven in (PBL, 2012).

In de functionaliteit van het model wordt de glastuinbouw volgens dezelfde bouwjaar-klassen verdeeld als de utiliteitsbouw. Omdat de energievraaggegevens van glastuinbouw die differentiatie echter momenteel nog niet kennen, wordt alle bestaande glastuinbouw aan de categorie 'bouwjaar onbekend' toegedeeld.

### 5.1.5 Bebouwing

GeoDmsGui:	/Invoer/RuimtelijkeData/Bebouwing
Wiki:	<a href="#">/wiki/C.4.1-RuimtelijkeData</a>

In deze stap worden geen nieuwe gegevens ingelezen maar worden de hiervoor beschreven gegevens gecombineerd om een beeld te geven van de bebouwing in verschillende zichtjaren. Hierbij gaat het erom hoe de totale gebouwvoorraad van woningen, utiliteit en glastuinbouw is verdeeld over Nederland. Dit is een resultante van de berekening die wordt weergegeven in Figuur 7, waarbij de bebouwing in een toekomstig zichtjaar vastgesteld wordt door de sloop en nieuwbouw mee te nemen ten opzichte van de bebouwing in het zichtjaar ervoor. In het geval van het Startjaar worden nog geen bewerkingen gedaan voor nieuwbouw en sloop. Na ieder zichtjaar wordt de status van bebouwingsobjecten meegenomen naar een volgend zichtjaar.

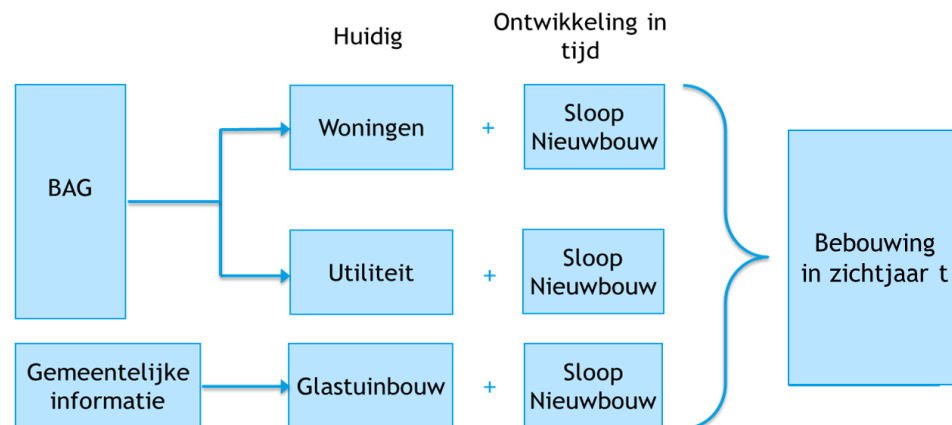
Het is mogelijk om extra beslisregels toe te voegen waarmee bijvoorbeeld slechts een deel van de bebouwing wordt meegenomen in de berekeningen. Zo kan bijvoorbeeld een run worden opgesteld met of zonder glastuinbouw.

---

<sup>7</sup> In het model worden alleen de eerste drie categorieën, met verwarmde kassen, potentieel aangesloten op warmtedistributie.



Figuur 7 - Schematische opbouw van de bebouwing in zichtjaar t



### 5.1.6 Energielabel (schillabel)

GeoDmsGui: /Invoer/RuimtelijkeData/energielabel  
 Wiki: [/wiki/C.4.1-RuimtelijkeData](#)

Elk gebouwobject krijgt een schillabel mee. Deze schillabels zijn gebaseerd op het werkelijke – door RVO gecertificeerde – energielabel van een verblijfsobject en zijn opgenomen in de database van het Vesta MAIS-model. De label van verblijfsobjecten zonder RVO gecertificeerd label wordt ingeschat op basis van het bouwtype en de bouwjaar-klasse. Het schillabel verschilt van het energielabel in het feit dat er hiervoor alleen schilmaatregelen mee worden genomen en geen installatiemaatregelen, zoals een warmtepomp of zon-PV. In Vesta MAIS worden de energielabels van RVO geïnterpreteerd als schillabels. Tot en met 2015 leverde dit geen groot verschil op omdat er nog niet heel veel zon-PV geïnstalleerd was. Het verschil in schillabel en energielabel kan wel toenemen naarmate er meer zon-PV en overige installaties zoals warmtepompen worden geïnstalleerd. We weten nu niet hoe door RVO gecertificeerde individuele energielabels tot stand zijn gekomen.

### 5.1.7 Warmtebronnen

GeoDmsGui: /Invoer/RuimtelijkeData/WarmteBronnen  
 Wiki: [/wiki/C.4.1-RuimtelijkeData](#)

Er zijn verschillende warmtebronnen die kunnen worden meegenomen binnen het Vesta MAIS-model. Hieronder wordt per type warmtebron binnen Vesta een korte toelichting gegeven op de onderbouwing van deze warmtebronnen.

#### *Puntbronnen*

Dit zijn bronnen met een vaste locatie binnen Nederland met een mogelijk warmte-overschot (bijvoorbeeld restwarmte) of die warmte extra kunnen produceren (bijvoorbeeld aftapwarmte bij elektriciteitscentrales). Deze bronnen kunnen verschillende temperatuur-niveaus hebben en daarom wordt er onderscheid gemaakt tussen HT/MT-warmtebronnen (> 70°C) en LT-warmtebronnen (< 70°C). Een verdere toelichting op de uitleg van warmte-netten gegeven deze verschillende type bronnen wordt gegeven in Paragraaf 6.4.

Het temperatuurniveau heeft invloed op de modellering en daarom worden ook twee aparte bestanden met puntbronnen (HT/M & LT) als input gebruikt voor het model.

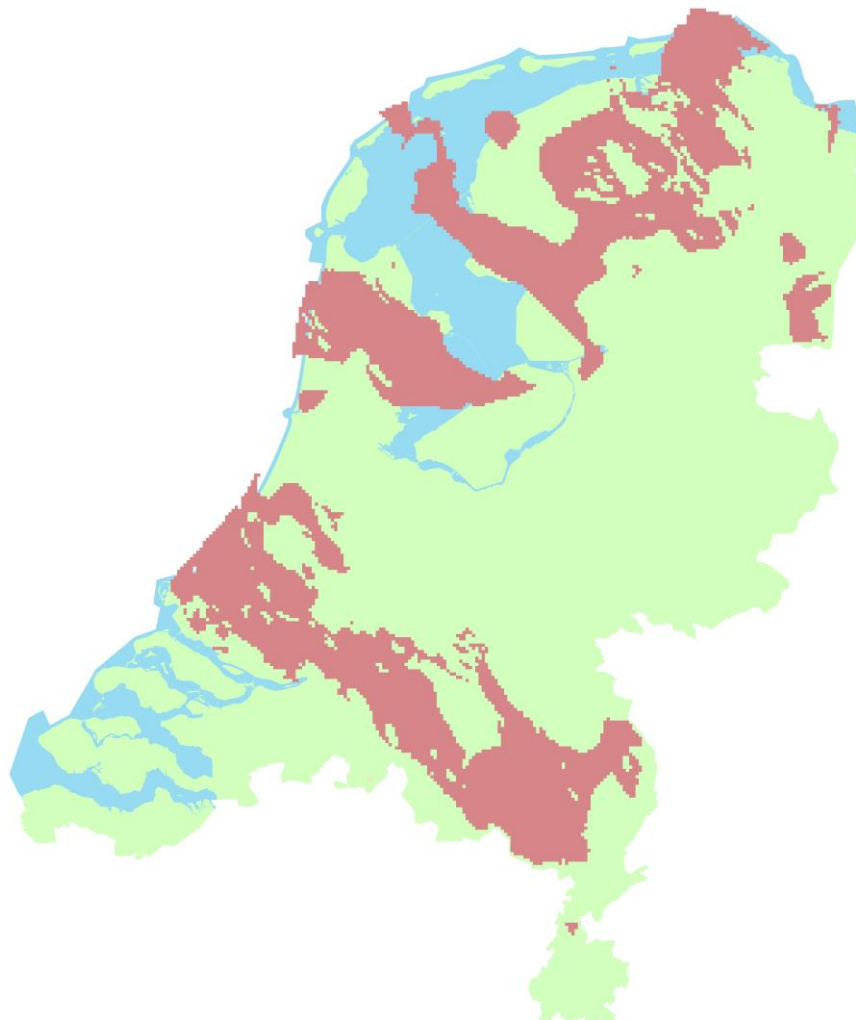
De basis voor de invoerbestanden is de Warmteatlas van RVO

(<https://rvo.b3p.nl/viewer/app/Warmteatlas/v2>). Deze bevatten de locaties van een zeer groot aantal warmtebronnen en waar mogelijk een inschatting van het thermische inputvermogen. Waar gegevens bekend zijn over dit inputvermogen wordt een correctie toegepast naar outputvermogen. Dit omdat de beschikbare warmte afhankelijk is van de outputwarmte en niet van de input. Daarnaast worden er regelmatig aanvullingen gedaan op dit bestand, waarbij de meest recente in mei 2019 heeft plaatsgevonden. In het kader van de Leidraad hebben enkele gemeentes hebben toen namelijk aanvullende informatie aangeleverd over mogelijkheden van puntbronnen.

### *Geothermiecontour*

Deze contour beschrijft in welke gebieden in Nederland er sterke indicaties zijn dat er in theorie een geothermiebron kan worden gerealiseerd. Buiten deze kansrijke gebieden is dat niet het geval, of is er onvoldoende data beschikbaar op dit moment om dat vast te kunnen stellen. De primaire bron van de geothermiecontour is ThermoGIS v2.1 en de data is opgehaald in maart 2019 (<https://www.thermogis.nl/mapviewer>). Deze contour beschrijft de kaartlaag “Technisch Potentieel” en is geclassificeerd op basis van het aantal theoretisch winbare MW thermisch. De keuze is gemaakt om alle gebieden met een goede indicatie van meer dan 5 MWh aan te merken als kansrijke gebieden. Deze gebieden zijn op de kaart bruin gekleurd. In andere gebieden is ofwel te weinig data beschikbaar ofwel is er uit de beschikbare data niet naar voren gekomen dat er aan dit minimumpotentieel wordt voldaan. In deze contour zijn niet alle mogelijk geschikte lagen voor aardwarmte uit de Nederlandse ondergrond opgenomen, omdat niet van alle lagen voldoende informatie beschikbaar is om een potentiekaart te maken. Ook is nog geen rekening gehouden met gebieden waar in de komende tijd meer informatie beschikbaar kan komen vanuit het SCAN-project.

Figuur 8 - Theoretische potentiegebieden voor geothermie



### WKO-contour

De contour geeft aan waar het mogelijk is om nieuwe WKO-installaties te realiseren, waarbij rekening wordt gehouden met de geschiktheid van de ondergrond voor WKO. Heel Nederland wordt opgedeeld in WEL of NIET geschikt. Er wordt geen onderscheid gemaakt in gradaties of kwaliteit van de eventuele installatie. WKO wordt benaderd vanuit een ja-tenzij-principe. Er wordt aangenomen dat overal in Nederland WKO toegepast kan worden, tenzij bekend is dat er een fysieke of juridische reden is dat het aanleggen van een WKO-systeem onmogelijk maakt. Dit kunnen bijvoorbeeld gebieden zijn waar drinkwater wordt gewonnen.

Voor WKO wordt geen rekening gehouden met de capaciteit van de bodem. Hierbij worden alle gebieden meegenomen waar in de open warmteatlas

(<https://rvo.b3p.nl/viewer/app/Warmteatlas/v2>) enige potentieel is aangegeven, waarbij grondwaterbeschermingsgebieden zijn “geknipt” uit de ontstane contour.

Figuur 9 - Overzicht van Nederland waar Warmte-Koude Opslag wel/niet toegepast kan worden



### *Contour voor waterlopen en plassen*

De thermische energie uit oppervlaktewater van waterlopen en plassen (EOW) kan in combinatie met Warmte en Koude Opslagsystemen (WKO) worden ingezet voor het duurzaam verwarmen en/of koelen van gebouwen. Hiervoor zal een pompinstallatie met een warmtewisselaar in de nabijheid van de afnemer worden geplaatst waarmee met een klein temperatuursverschil ( $\pm 3^\circ\text{C}$ ) warmte of koude uit het water wordt gewonnen. Bij een overwegende warmtevraag (zoals woningen) wordt warmte ( $15\text{-}25^\circ\text{C}$ ) opgeslagen in het grondwater van de WKO waarmee het in de winter beschikbaar komt en kan worden ingezet voor verwarming met behulp van een warmtepomp. Door deze pompinstallatie slim te integreren in het bestaande watersysteem kunnen voordelen worden behaald in waterkwaliteit (doorspoeling en afkoeling) en zoetwatervoorziening. Bij een overwegende koudevraag (zoals utiliteitsgebouwen en datacenters) wordt koude ( $5\text{-}9^\circ\text{C}$ ) opgeslagen in het grondwater van de WKO waarmee het in de zomer beschikbaar komt en kan worden ingezet voor koeling.

De contour geeft inzicht in de potentiële gebieden waar oppervlaktewater beschikbaar is. Het is hierbij nog niet zeker of het water ook kan worden gewonnen, dit kan namelijk beïnvloedt worden door verschillende andere factoren. Kleine wateren (klein debiet en volume, zoals greppels, sloten, droogvallende beken, e.d.) zijn uitgesloten omdat het potentieel voor energiewinning hierin zeer klein is. Voor de onderbouwing van deze contour is gebruik gemaakt van diverse bronnen.



Dit is een combinatie van de Warmteatlas (<https://rvo.b3p.nl/viewer/app/Warmteatlas/v2>), Oppervlaktewater TOP10NL kaart van het Kadaster, Watertypekaart 2009. (<https://www.nationaalgeoregister.nl/geonetwork/srv/api/records/c36c462c-fd18-492a-bb03-0c97eba06803>), Bodemgeschiktheid voor open bodemenergiesystemen NHI 2.1 en IF Technology (Energie uit oppervlaktewater).

Figuur 10 - Overzicht van waterlopen en plassen in Nederland



### 5.1.8 Infrastructuur

GeoDmsGui:	/Invoer/RuimtelijkeData/infra
Wiki:	<a href="#">/wiki/C.4.1-RuimtelijkeData</a>

Gas- en elektriciteitsnet (aangeleverd door netbeheerders).  
De gegevens die zijn aangeleverd, worden beschreven in Tabel 6.



Tabel 6 - Gebruikte gegevens netbeheers omtrent gas- en elektriciteitsnetten

Gegevenstype op CBS-buurniveau	Afkorting	Bron
Aantal gasaansluitingen	aant_g-aansl	Netbeheerders
Lengte grondroeringsgevoelige LD-gasleidingen	lengte_grogel_LD-net	Netbeheerders
Lengte LD-gasnet	lengte_LD-net	Netbeheerders
Aandeel van aansluitingen dat momenteel al 3x25 of groter is	fractie_3x25_aansl	Netbeheerders
Huidige opgestelde capaciteit aan MS-ruimtes	capaciteit_buurt	Netbeheerders
Totale lengte van het LS-net	lengte_LS_buurt	Netbeheerders

De data is geaggregeerd op buurniveau aangeleverd per BU-code (Buurten-definitie van CBS 2018) en heeft peildatum 1-1-2019. Zie onderstaande format:

bBuurt-code	aant_g-aansl (#)	lengte_grogel_LD-net (m)	lengte_LD-net (m)	fractie_3x25_aansl (tussen 0-1)	capaciteit_buurt (kVA)	lengte_LS_buurt (m)	Vermogens vraag_huidig (kVA)
BUXXXXX	[getal]	[getal]	[getal]	[getal]	[getal]	[getal]	[getal]

### 5.1.9 Klimaat

GeoDmsGui: /Invoer/RuimtelijkeData/Klimaat  
 Wiki: [/wiki/C.4.1-RuimtelijkeData](#)

Het klimaat verschilt binnen Nederland. Zo zitten er temperatuurverschillen tussen het Zuidwesten van Nederland en het Noordoosten. Vanwege de ruimtelijke opzet van Vesta MAIS is het mogelijk om deze verschillen in temperatuur mee te nemen in de afwegingen van de verschillende energie gerelateerde opties. De gebruikte bron achter deze temperatuurverschillen is het KNMI. Er wordt door Vesta MAIS een 100x100 m<sup>2</sup> gridbestand met zogenaamde graaddagencorrectie ingelezen. De warmte- en koudebehoefte wordt default ruimtelijk gecorrigeerd met graaddagencorrectie. De correctiefactor wordt toegepast op de functionele vraag ruimteverwarming in de gebouwen, en dient om te kunnen corrigeren voor de ruimtelijke verdeling van de gemiddelde jaartemperatuur in Nederland en voor de toekomstige temperatuurstijging in de zichtjaren. De jaarvraag naar ruimteverwarming is rechtevenredig met het aantal graaddagen per jaar in het beschouwde gebied. De gebiedscorrectie voor de ruimtelijke verdeling wordt toegepast op de functionele vraag naar ruimteverwarming van gebouwen. Deze functionele ruimteverwarmingsvraag is gebaseerd op een actueel gemeten referentiejaar dat op zijn beurt is gecorrigeerd voor de buitentemperatuur op basis van het langjarig Nederlands gemiddelde zoals gemeten in De Bilt. Zie (PBL, 2012) en voor nadere informatie (Bemmel, 2019).

Daarnaast kunnen er ook klimaatscenario's worden meegenomen. Vesta MAIS gebruikt hiervoor de WLO-scenario's van de CPB/PBL-studie Welvaart en Leefomgeving (CPB; PBL, 2015). De WLO-scenario's sluiten aan bij mondiale klimaatscenario's die op lange termijn leiden tot een mondiaal gemiddelde temperatuurstijging van 2,5-3 graden in het WLO-scenario Hoog en 3,5-4 graden in het WLO-scenario Laag.

### 5.1.10 CBS Wijk en Buurt

GeoDmsGui:	/Invoer/RuimtelijkeData/CBSWijkEnBuurt
Wiki:	<a href="#">/wiki/C.4.1-RuimtelijkeData</a>

In het Vesta MAIS-model worden meerdere ruimtelijke databestanden op wijk- en buurt-niveau van het CBS (2019b) gebruikt als input voor de analyse. Voorbeelden hiervan zijn het aandeel oppervlaktewater voor de aanleg van warmtenetten en het percentage stadsverwarming voor de naberekening leidraad-startanalyse. Daarnaast kunnen inkomen en eigendom van verblijfsobjecten worden gebruikt voor de rapportage.

## 5.2 Kengetallen

GeoDmsGui:	/Invoer/Kengetallen
Wiki:	<a href="#">/wiki/C.4.2-Kengetallen</a>

In de container ‘Kengetallen’ worden kengetallen ingeladen voor verschillende thema’s ten behoeve van de modelberekeningen. Het gaat hierbij om niet ruimtelijke kengetallen van:

- bebouwing;
- warmtebronnen;
- leercurves;
- infra;
- onderhoud;
- warmtetechnieken.

In de volgende paragrafen wordt per onderdeel toegelicht wat voor type kengetallen worden gebruikt in het Vesta MAIS-model. Waar nodig wordt een toelichting gegeven op de herkomst van de kengetallen. De waarden van de kengetallen zelf en de bron achter de getallen zijn te vinden in Bijlage A.

### 5.2.1 Bebouwing

GeoDmsGui:	/Invoer/Kengetallen/Bebouwing
Wiki:	<a href="#">/wiki/C.4.2-Kengetallen</a>

De waarden van de kengetallen die gebruikt worden voor de bebouwing zijn te vinden in Bijlage A.

De volgende energievraagkengetallen worden ingevoerd in het model:

1. Functionele energiebehoefte (uitgesplitst in vier energiebehoefte-categorieën: warmte, koude, ventilatie en elektrische apparatuur en warmwater) van:
  - a Woningen (per woning: woningtype, bouwjaarklasse en m<sup>2</sup>).
  - b Utiliteit (per m<sup>2</sup> bvo: bouwjaar en type).
  - c Glastuinbouw (per m<sup>2</sup>: bouwjaar en type).

In Vesta MAIS wordt de energievraag naar warmte en elektriciteit van een woning en utiliteitsgebouw berekend op basis van de functionele behoefte aan warm tapwater, ruimteverwarming, koeling en elektrische apparatuur en verlichting. Deze functionele behoefte vertegenwoordigt – vanuit energetisch oogpunt – een bepaalde hoeveelheid energie: de functionele energievraag. Met andere woorden: de functionele energievraag



staat voor de energiebehoefte die de gebruikers van het gebouw hebben. Deze vertaalt zich naar een vraag 'aan de energie-meter' via de efficiency van de schil van het gebouw en de efficiency van de installatie/apparatuur. Daarbij wordt rekening gehouden met pompenergie voor de ruimteverwarming om het warme water van de ketel door leidingen naar de radiatoren te laten stromen en met de warmteverliezen die daarbij optreden. Op de gasverbruiken is voor iedere woning dezelfde hoeveelheid in mindering gebracht als correctie voor kookgas. Voor het startjaar 2018 was dit 37 m<sup>3</sup>/woning. Het gasverbruik van koken is relatief gering en sterk afhankelijk van leefstijl. Daarnaast wordt de warmtevraag ruimtelijk gecorrigeerd met de graaddagencorrectie, zie Paragraaf 5.1.9.

2. Gebouwefficiency en installatie-efficiency per gebouw voor het startjaar<sup>8</sup>. Voor zowel de warmte-, de koude- als de warmwatervraag wordt gedifferentieerd naar energiedrager: elektriciteit, gas, warmtelevering (zie Tabel 7).
  - a. Woningen (per woningtype: per bouwjaarklasse).
  - b. Utiliteit (per m<sup>2</sup>: per aard utiliteit).
  - c. Glastuinbouw (per m<sup>2</sup>: per type).

De efficiency voor warm waterinstallatie en ruimteverwarmingsinstallatie is als echte fysieke efficiency gemodelleerd, de gebouwefficiency is als *indexgetal* gemodelleerd, met indexgetal = 1,0 voor de huidige bebouwing.

NB: Per bebouwingsobject (woning, m<sup>2</sup> utiliteit en m<sup>2</sup> glastuinbouw) wordt ook de aansluitcapaciteit voor warmtelevering (RV en WW) ingevoerd. Deze is nodig voor de kostenbepaling (i.e. investeringen) en afzetprijs van eventuele warmtelevering.

Tabel 7 - Modelinput per type gebouw. Functionele vraag, gebouwefficiency en apparatuur/installatie efficiency bepalen gezamenlijk 'de vraag aan de netten'

	Warm water			Koude	Elektriciteit apparatuur	Ruimteverwarming		
	Gas	Warmte	Elek.			Gas	Warmte	Elek.
Functionele vraag	V_WW			V_KOU	V_APP_ELEK	V_RV		
Efficiency gebouw	N.v.t.			EG	N.v.t.	EG		
Efficiency apparatuur c.q. installatie	E_WW_G	E_WW_W	E_WW-E	E_KOU_E	E_APP_E	E_RV_G	E_RV_W	E_RV_E

#### 5.2.1.1 Woningbouw

### Methode warmtevraag

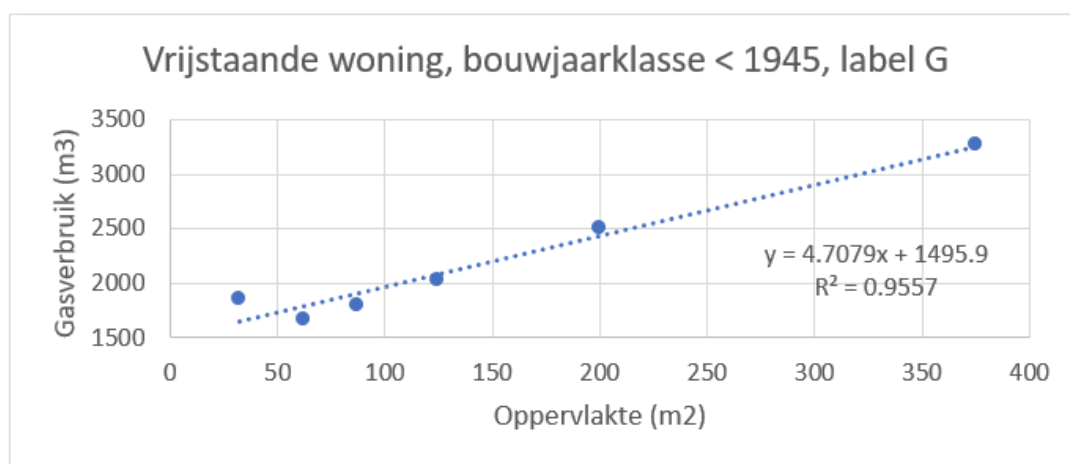
Voor het bepalen van de energievraag per woningtype, heeft het CBS-tabellen met het gemiddelde gasverbruik van woningen aangeleverd, waarin per combinatie van energielabel, woningtype, bouwjaar- en vloeroppervlakteklasse het werkelijk statistisch gemiddelde gasverbruik over het jaar 2018 is gerapporteerd (referentie toevoegen).

<sup>8</sup> NB: Mocht er naderhand voortschrijdend inzicht zijn over de huidige kwaliteit van gebouwen dan kunnen de invoermatrices daar op worden aangepast, bijvoorbeeld door een andere (verbeterde) invoerset in te lezen.

## Regressieanalyse op CBS-data

Voor de combinaties woningtype-bouwjaarklasse-energielabel waarvoor voldoende waarnemingen beschikbaar waren (voldoende oppervlakteklassen waarvoor in de database van het CBS minimaal 50 waarnemingen beschikbaar waren), zijn aan de hand van een regressieanalyse de coëfficiënten van de lineaire relatie  $ax + b$  bepaald waarin  $x$  = oppervlakte woning in  $m^2$ . Onderstaand voorbeeld toont het resultaat voor een woning van het type 'vrijstaand', Energielabel G binnen bouwjaarklasse '< 1945'. Het CBS heeft de data op basis van oppervlakteklassen verstrekt. Ten behoeve van de regressieanalyse is bij de gerapporteerde verbruiken voor het bijbehorende aantal vierkante meters telkens het gemiddelde van de range van de oppervlakteklasse aangehouden (bijvoorbeeld: voor oppervlakteklasse 75-100  $m^2$  wordt 88  $m^2$  aangehouden).

Figuur 11 - Voorbeeld bepalen formule gasverbruik woningtype 'vrijstaande woning, bouwjaarklasse < 1945, Label G'



Dit voorbeeld resulteert in de coëfficiënten  $a = 4,71 \text{ m}^3/\text{m}^2$  en  $b = 1.496 \text{ m}^3$ . Het resulterende verbruik voor een vrijstaande woning met 100  $m^2$  vloeroppervlak, label G en uit bouwjaarklasse '< 1945' bedraagt dan bijvoorbeeld  $4,71 * 100 + 1.496 = 1.967 \text{ m}^3$ .

## Correctie gasverbruik voor koken

Op de gasverbruiken is 37  $m^3$ /woning in mindering gebracht als correctie voor kookgas.

## Temperatuurcorrectie

De gasverbruiken aangeleverd door het CBS reflecteren het werkelijke verbruik over het jaar 2018 en zijn niet temperatuur-gecorrigeerd. Vesta MAIS rekent met temperatuur-gecorrigeerd verbruik. De verbruiken zijn temperatuur-gecorrigeerd aan de hand van graaddagen, waarbij het gasverbruik voor ruimteverwarming voor 2018 met 3,55% is verhoogd, conform de temperatuurcorrectie toegepast in de KEV-2019. Om het aandeel ruimteverwarming in de totale gasvraag te bepalen, is bij de berekening van de kengetallen/coëfficiënten voor elke combinatie woningtype-bouwjaarklasse een vast kengetal aangehouden voor de vraag naar warmtapwater. Na aftrek van de warmtevraag voor warmtapwater en kookgas resteert de vraag voor ruimteverwarming, waarop de temperatuurcorrectie is toegepast.

## Conversie naar functionele vraag

De kengetallen voor de warmtevraag voor ruimteverwarming en warmtapwater worden in de huidige opzet van Vesta MAIS ingevoerd op het niveau van de functionele warmtevraag, uitgesplitst naar de vraag voor ruimteverwarming en warmtapwater. De CBS-gegevens reflecteren het gecombineerde primaire verbruik (de metervraag inclusief conversieverliezen) voor ruimteverwarming en warmtapwater. De CBS-gasverbruiken zijn terugerekend naar de functionele warmtevraag op basis van de energie-inhoud van aardgas op onderwaarde (31,65 MJ/m<sup>3</sup>). Het functioneel verbruik voor ruimteverwarming is berekend tegen een variabel rendement van de gasketel, waarbij de originele kengetallen uit Vesta 3.4 zijn gehanteerd. De functionele vraag naar warmtapwater is berekend tegen 72% boilerrendement. Voor de berekening van het aandeel warmtapwater worden de originele kengetallen voor de functionele vraag voor warmtapwater gehandhaafd, vermeld in Tabel 8.

De woning uit laatstgenoemd voorbeeld (vrijstaande woning, 100 m<sup>2</sup>, Label G, bouwperiode '< 1945') heeft een berekend verbruik van 1.967 m<sup>3</sup>. Hierop wordt 37 m<sup>3</sup> kookgas in mindering gebracht, waarna 1.930 m<sup>3</sup> resteert. De functionele vraag voor warmtapwater bedraagt conform de tabel 8,5 GJ, omgerekend naar de metervraag  $8,5 / 0,72 = 11,8$  GJ = 373 m<sup>3</sup> aardgas. Het restant,  $1.930 - 373 = 1.557$  m<sup>3</sup>, wordt toegeschreven aan de metervraag voor ruimteverwarming. Na temperatuurcorrectie bedraagt dit  $1557 * 1,0355 = 1.612$  m<sup>3</sup>, waaruit een functionele warmtevraag voor ruimteverwarming van  $1.612 * 0,99 * 0,03165 = 50,5$  GJ wordt berekend.

Op kengetalniveau is op coëfficiënt b de vraag voor warmtapwater in mindering gebracht en zijn de gasverbruiken teruggerekend naar functionele warmtevraag. Voor de woning uit het voorbeeld resulteert dit in  $a = 4,71 * 0,99 * 0,03165 = 0,148$  GJ/m<sup>2</sup> en  $b = (1967 - 373 - 37) * 0,99 * 0,03165 = 48,8$  GJ.

Tabel 8 - Kengetallen functionele warmtevraag warmtapwater en rendement ruimteverwarming.

Woningtype	Bouwperiode	Woningtype_ bouwjaarklasse	Functionele vraag warmtapwater (GJ)	Rendement ruimteverwarming
Vrijstaandewoning	1200 tot en met 1945	1_0	8.5	0.99
Vrijstaandewoning	1946 tot en met 1964	1_1	8.5	0.99
Vrijstaandewoning	1965 tot en met 1974	1_2	9.2	0.97
Vrijstaandewoning	1975 tot en met 1991	1_3	9.7	1.00
Vrijstaandewoning	1992 tot en met 1999	1_4	10.6	1.01
Vrijstaandewoning	2000 tot en met 2006	1_5	10.6	1.01
Vrijstaandewoning	2007 tot en met 2010	1_6	10.6	1.05
Vrijstaandewoning	vanaf 2011	1_7	10.6	1.05
21-kapwoning	1200 tot en met 1945	2_0	7.5	0.98
21-kapwoning	1946 tot en met 1964	2_1	7.5	0.98
21-kapwoning	1965 tot en met 1974	2_2	8.15	0.98
21-kapwoning	1975 tot en met 1991	2_3	8.15	0.99
21-kapwoning	1992 tot en met 1999	2_4	8.6	1.00
21-kapwoning	2000 tot en met 2006	2_5	8.6	1.00
21-kapwoning	2007 tot en met 2010	2_6	8.6	1.05
21-kapwoning	vanaf 2011	2_7	8.6	1.05
Hoekwoning	1200 tot en met 1945	3_0	7.1	0.95
Hoekwoning	1946 tot en met 1964	3_1	6.35	0.95
Hoekwoning	1965 tot en met 1974	3_2	7.3	0.96
Hoekwoning	1975 tot en met 1991	3_3	7.3	0.97



Woningtype	Bouwperiode	Woningtype_ bouwjaarklasse	Functionele vraag warmtapwater (GJ)	Rendement ruimteverwarming
Hoekwoning	1992 tot en met 1999	3_4	7.7	1.00
Hoekwoning	2000 tot en met 2006	3_5	7.7	1.00
Hoekwoning	2007 tot en met 2010	3_6	7.7	1.05
Hoekwoning	vanaf 2011	3_7	7.7	1.05
Tussenwoning	1200 tot en met 1945	4_0	7.1	0.95
Tussenwoning	1946 tot en met 1964	4_1	6.35	0.95
Tussenwoning	1965 tot en met 1974	4_2	7.3	0.96
Tussenwoning	1975 tot en met 1991	4_3	7.3	0.97
Tussenwoning	1992 tot en met 1999	4_4	7.7	1.00
Tussenwoning	2000 tot en met 2006	4_5	7.7	1.00
Tussenwoning	2007 tot en met 2010	4_6	7.7	1.05
Tussenwoning	vanaf 2011	4_7	7.7	1.05
Appartement I	1200 tot en met 1945	5_0	4.95	0.90
Appartement I	1946 tot en met 1964	5_1	5.3	0.82
Appartement I	1965 tot en met 1974	5_2	5.55	0.93
Appartement I	1975 tot en met 1991	5_3	5.5	0.94
Appartement I	1992 tot en met 1999	5_4	5.7	0.98
Appartement I	2000 tot en met 2006	5_5	5.7	0.98
Appartement I	2007 tot en met 2010	5_6	5.7	1.05
Appartement I	vanaf 2011	5_7	5.7	1.05
Appartement II	1200 tot en met 1945	6_0	5.6	0.94
Appartement II	1946 tot en met 1964	6_1	5.6	0.94
Appartement II	1965 tot en met 1974	6_2	6.1	0.90
Appartement II	1975 tot en met 1991	6_3	5.4	0.95
Appartement II	1992 tot en met 1999	6_4	5.95	1.01
Appartement II	2000 tot en met 2006	6_5	5.95	1.01
Appartement II	2007 tot en met 2010	6_6	5.95	1.05
Appartement II	vanaf 2011	6_7	5.95	1.05

## Resultaat warmtevraag

### *Resulterende coëfficiënten voor berekening van de functionele vraag naar ruimteverwarming*

Tabel 9 toont een overzicht van de resulterende coëfficiënten voor berekening van de functionele warmtevraag voor ruimteverwarming op basis van het aantal vierkante meters vloeroppervlak per combinatie van woningtype, bouwperiode en energielabel. Voor de lege cellen in de tabel zijn vanuit de statistieken van het CBS onvoldoende datapunten beschikbaar voor regressieanalyse. Deze cellen beslaan gezamenlijk 0,07% van de totale woningvoorraad (5.399 woningen). Bij de inpassing van de kengetallen op de huidige inputstructuur van Vesta MAIS, blijven de lege cellen buiten beschouwing.

Tabel 9 - Resulterende coëfficiënten voor berekening functionele warmtevraag ruimteverwarming

w_b	Geen label		Label A		Label B		Label C		Label D		Label E		Label F		Label G	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	A	b	a	b
1_0	0.14	38.84	0.13	23.39	0.14	26.28	0.14	26.41	0.17	26.31	0.19	26.29	0.18	29.04	0.15	35.34
1_1	0.14	38.85	0.11	28.66	0.19	17.61	0.16	23.71	0.18	24.05	0.19	27.26	0.17	32.01	0.16	29.04
1_2	0.17	31.20	0.18	16.29	0.18	17.00	0.18	20.66	0.19	25.76	0.16	33.50	0.16	32.01	0.25	15.81
1_3	0.14	31.53	0.15	18.91	0.15	22.14	0.17	23.32	0.17	27.15	0.21	18.97	0.15	33.65		
1_4	0.10	29.18	0.13	16.04	0.16	13.16	0.14	17.13								
1_5	0.08	31.73	0.12	17.47	0.15	14.86										
1_6	0.06	34.01	0.11	18.06												
1_7	0.08	20.01	0.13	1.64												
2_0	0.13	30.24	0.18	11.49	0.23	7.30	0.13	20.91	0.15	20.87	0.15	22.64	0.15	25.80	0.17	23.22
2_1	0.10	33.59	0.15	14.89	0.15	14.44	0.12	19.74	0.10	23.61	0.11	27.89	0.11	29.14	0.14	24.76
2_2	0.09	36.20	0.18	7.03	0.16	13.18	0.14	17.92	0.13	22.92	0.17	19.91	0.20	15.29	0.16	23.11
2_3	0.09	29.84	0.15	13.45	0.12	16.57	0.12	20.53	0.13	21.18	0.24	8.60	0.04	30.22		
2_4	0.10	21.96	0.13	12.55	0.12	13.46	0.15	11.11								
2_5	0.06	27.38	0.11	10.61	0.11	13.84										
2_6	0.07	22.39	0.09	12.80	0.06	15.48										
2_7	0.06	17.13	0.07	10.18												
3_0	0.14	27.29	0.16	12.56	0.18	13.83	0.15	17.94	0.15	18.55	0.20	17.29	0.15	25.00	0.15	25.07
3_1	0.09	34.37	0.10	18.16	0.13	16.55	0.13	19.56	0.14	20.38	0.13	25.99	0.15	25.19	0.14	25.97
3_2	0.08	34.06	0.13	15.26	0.14	14.15	0.13	20.31	0.11	24.73	0.15	20.71	0.15	21.45	0.15	25.23
3_3	0.08	27.23	0.15	10.58	0.17	8.23	0.08	20.23	0.07	25.46	0.19	15.80	0.10	25.80	0.13	26.01
3_4	0.06	24.59	0.15	6.50	0.09	14.14	0.16	7.13	0.24	-1.03						
3_5	0.20	10.99	0.15	10.63	0.25	2.80										
3_6	0.08	16.54	0.09	11.57	0.09	10.49										
3_7	0.08	10.71	0.10	6.31												
4_0	0.15	19.01	0.17	6.77	0.15	10.39	0.14	11.81	0.17	11.08	0.15	15.13	0.15	16.13	0.16	15.41
4_1	0.09	26.20	0.08	16.89	0.12	13.00	0.13	14.20	0.13	17.14	0.07	24.00	0.16	16.99	0.16	16.36
4_2	0.07	27.41	0.14	7.91	0.13	12.53	0.07	20.77	0.07	23.77	0.14	16.75	0.17	13.62	0.17	14.97
4_3	0.08	21.19	0.16	4.35	0.09	12.79	0.08	15.37	0.06	20.32	0.17	9.82	0.13	15.60		
4_4	0.07	17.58	0.14	4.00	0.08	11.26	0.13	5.91	0.14	5.41						
4_5	0.07	15.55	0.09	4.23	0.13	5.00	0.04	15.17								
4_6	0.07	15.13	0.09	8.17	0.08	9.14										
4_7	0.06	9.67	0.04	10.26	0.08	6.57										
5_0	0.13	20.44	0.17	6.47	0.17	7.64	0.14	12.38	0.19	10.31	0.15	15.86	0.18	13.32	0.13	18.61
5_1	0.12	18.69	0.09	9.47	0.11	10.35	0.12	12.10	0.13	13.57	0.15	13.21	0.15	14.29	0.15	13.94
5_2	0.10	19.53	0.13	6.70	0.07	11.51	0.10	12.15	0.12	12.80	0.12	15.12	0.11	17.30	0.14	16.39
5_3	0.11	15.18	0.12	6.23	0.06	13.03	0.06	16.02	0.13	11.38	0.16	12.33	0.20	10.36	0.16	15.43
5_4	0.11	10.21	0.15	3.09	0.13	4.78	0.03	14.63	0.08	10.76	0.20	6.11				
5_5	0.11	7.67	0.08	7.83	0.09	6.64	0.06	14.22	0.07	19.70						
5_6	0.09	8.55	0.08	6.83	0.08	7.35	0.04	12.70								
5_7	0.11	5.00	0.11	3.37	0.01	12.95	0.13	9.44								
6_0	0.13	19.51	0.17	5.55	0.17	6.71	0.14	11.45	0.19	9.38	0.15	14.93	0.18	12.39	0.13	17.68
6_1	0.12	18.26	0.09	9.04	0.11	9.92	0.12	11.67	0.13	13.14	0.15	12.78	0.15	13.86	0.15	13.51
6_2	0.10	18.74	0.13	5.92	0.07	10.73	0.10	11.36	0.12	12.02	0.12	14.33	0.11	16.51	0.14	15.60
6_3	0.11	15.33	0.12	6.37	0.06	13.17	0.06	16.16	0.13	11.52	0.16	12.47	0.20	10.51	0.16	15.58
6_4	0.11	9.86	0.15	2.73	0.13	4.43	0.03	14.27	0.08	10.41	0.20	5.75				
6_5	0.11	7.31	0.08	7.47	0.09	6.29	0.06	13.86	0.07	19.34						
6_6	0.09	8.20	0.08	6.47	0.08	6.99	0.04	12.35								

w_b	Geen label		Label A		Label B		Label C		Label D		Label E		Label F		Label G	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	A	b	a	b
6_7	0.11	4.65	0.11	3.01	0.01	12.60	0.13	9.09								

### *Onderscheid tussen woningen zonder en met gecertificeerd energielabel*

In de CBS-statistieken wordt het gasverbruik van zowel woningen met als zonder gecertificeerd energielabel gerapporteerd. Voor woningen waarvoor een gecertificeerd energielabel beschikbaar is, wordt bij de berekening van de functionele warmtevraag voor ruimteverwarming gebruik gemaakt van de statistieken voor woningen met gecertificeerd energielabel. Voor woningen waar geen energielabel voor is afgemeld, wordt bij de berekening van de functionele warmtevraag voor ruimteverwarming gebruik gemaakt van de statistieken van het gasverbruik voor woningen zonder afgemeld energielabel.

### *Totaal berekende gasvraag in Vesta MAIS op basis van de nieuwe kengetallen*

Het resulterend berekende gasverbruik in Vesta MAIS voor bestaande woningen in 2018 komt bij toepassing van de nieuwe set kengetallen uit op 315,2 PJ, met een gemiddeld verbruik per woning van 1.277 m<sup>3</sup>/jaar. In de KEV-2019 (PBL, 2019) wordt voor het jaar 2018 een aardgasverbruik voor woningen voor ruimteverwarming en warmtapwater van 294,5 PJ aangehouden. Bij de bepaling van dit gasverbruik is rekening gehouden met leegstand van woningen. Binnen Vesta MAIS wordt geen rekening gehouden met leegstand van woningen, omdat op woningniveau niet bekend is waar leegstand van toepassing is. In de Kerncijfers Wijken en Buurten 2018 (CBS, 2019b) rapporteert het CBS een leegstandspercentage van 4% op een totale woningvoorraad van 7.740.984 woningen, ofwel zo'n 310.000 woningen. Vermenigvuldigd met het gemiddelde gasverbruik zoals berekend door Vesta MAIS staat dit gelijk aan  $310.000 * 1.277 * 35,17 = 13,9$  PJ. Gecorrigeerd voor leegstand bedraagt het berekende totale gasverbruik op basis van de nieuwe kengetallen dan  $315,2 - 13,9 = 301,3$  PJ. De uiteindelijke resterende afwijking van het berekende gasverbruik door Vesta MAIS ten opzichte van het volume gehanteerd in de KEV-2019 bedraagt dan 2,2%. Waar op basis van de vorige set kentallen voor de warmtevraag een correctiefactor werd toegepast om het berekende gasverbruik in lijn te brengen met het gasverbruik gehanteerd in de NEV, lijkt toepassing op basis van de nieuwe set kentallen niet meer noodzakelijk.

### *Inpassing van kengetallen op de huidige modelstructuur van Vesta MAIS*

Uit de uiteindelijke set kengetallen/coëfficiënten voor berekening van de warmtevraag voor ruimteverwarming per combinatie van energielabel-woningtype-bouwjaar-klasse is een selectie van kengetallen overgenomen in het input-kengetallenbestand voor bestaande woningen. Binnen de huidige modelstructuur is het nog niet mogelijk om de volledige set kengetallen 1:1 over te nemen. Dit heeft te maken met de wijze waarop woningen in de startsituatie binnen Vesta MAIS worden gekarakteriseerd en de wijze waarop afwijkingen tussen de 'default schillabels' en gecertificeerde labels van RVO binnen het model worden gecorrigeerd.

In beginsel wordt per woningtype-bouwjaarcategorie een bepaald 'default schillabel' aangenomen met een bijbehorende set coëfficiënten voor berekening van de warmtevraag. Waar het 'default schillabel' afwijkt van een beschikbaar gecertificeerd energielabel, wordt het schillabel van de woning hierop aangepast. Bij deze correctie is het model gebonden aan de methode van labelstappen. In een aantal gevallen is het wegens deze restrictie niet mogelijk om voldoende 'fijnmazig' correcties door te voeren, omdat er alleen ingedeeld kan worden in het defaultlabel volgens de modeltoekenning, een tussenstap (een stap van 2



labels omhoog), Label B of Label A+. Een correctie van een hoog default-label naar een lager gecertificeerd label is niet mogelijk. De systematische fout die hierdoor optreedt is zover als mogelijk gereduceerd door voor woningen met een lager gecertificeerd energie-label dan aangenomen onder het 'default label' de warmtevraag toe te kennen die van toepassing is bij één label lager, maar binnen de huidige modelstructuur wordt de warmtevraag naar ruimteverwarming momenteel alsnog bij circa 367.000 woningen onderschat en bij circa 88.000 woningen overschat. Dit punt staat op de nominatie voor door te voeren aanpassingen in aanloop op de 1.0 versie van de startanalyse.

## Koudevraag

De koudevraag van de Nederlandse woningen gaat naar verwachting stijgen door de opwarming van de aarde als gevolg van klimaatverandering. Met de stijging van de temperatuur kan in het Vesta MAIS-model – net als bij de warmtevraag – rekening worden gehouden met behulp van klimaatscenario's (zie Paragraaf 5.1.9).

Voor het effect op de stijging van de koudevraag worden de onderzoeksresultaten uit het W/E-rapport 'Ontwikkeling van koudevraag van woningen' 2018 gebruikt. In het rapport wordt aangenomen dat de temperatuur in 2050 zal stijgen met 1,4 tot 3,3°C ten opzichte van het huidige niveau waarbij het aantal zomerse dagen van het huidige 21 dagen tot 35 dagen kan toenemen (W/E adviseurs, 2018a). Dit heeft als gevolg dat de koudevraag aanzienlijk zal toenemen. In het rapport wordt de huidige koelbehoefte vastgesteld op 3,6 kWh/m<sup>2</sup>. Hierbij wordt uitgegaan van woningen die aan het voorgenomen BENG-niveau van een EPC ≤ 0,4 voldoen omdat juist van deze woningen een zeer hoge binnentemperatuuroverschrijding wordt verwacht. De resultaten stellen dat de koudebehoefte oploopt tot 5 à 10 kWh/m<sup>2</sup> in 2050 (W/E adviseurs, 2018a) afhankelijk van de genoemde stijging van de buitentemperatuur. In Vesta MAIS zijn deze resultaten als uitgangspunt genomen en wordt de koudebehoefte van woningen gecorrigeerd voor de buitentemperatuur afhankelijk van het zichtjaar, de regio en het klimaatscenario waarvoor is gekozen. Deze waarde is in Vesta MAIS aangenomen voor zowel woningen met Label B als A+. Op deze wijze wordt de koudevraag berekend op basis van de oppervlakte van de woning. Lokale verschillen naar aanleiding van het urban heat island effect zijn hierin niet opgenomen.

## Methode schilmaatregelen

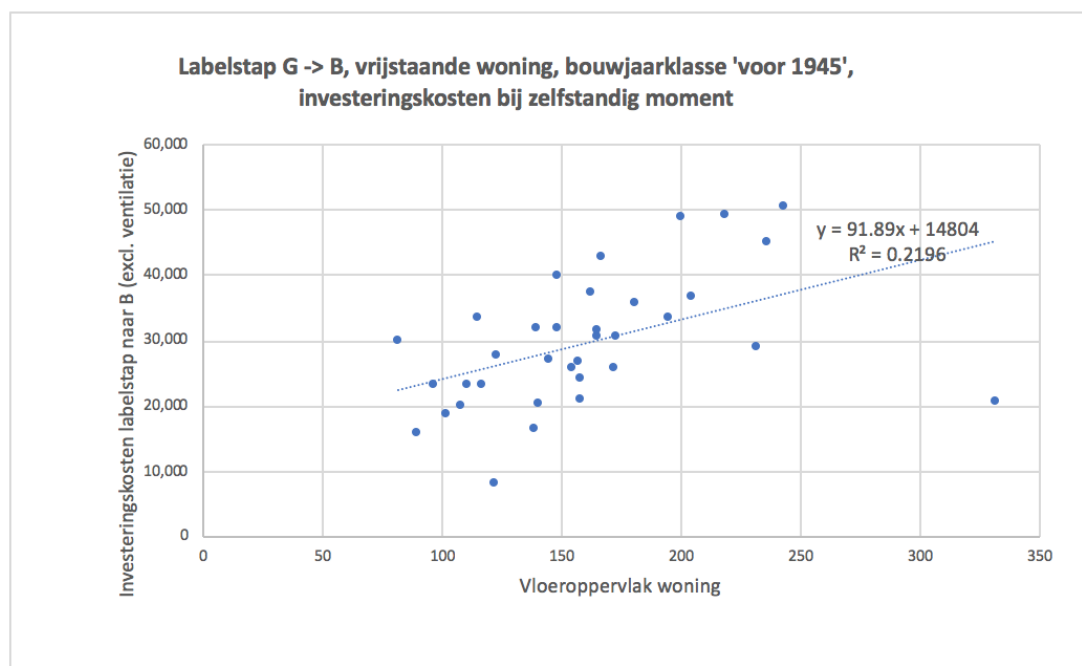
In toevoeging op vloeroppervlak-afhankelijke kentallen voor de warmtevraag zijn ook vloeroppervlak-afhankelijke kentallen voor de investeringskosten in schilmaatregelen bepaald. Deze zijn gebaseerd op regressieanalyses op data afkomstig uit de Variatietool van TNO, waarbij gebruik is gemaakt van kostenkengetallen schilmaatregelen van Arcadis voor 2018. De Variatietool rekent met de werkelijke isolatiekenmerken en geometrie van woningen uit de energiemodule van WoON 2012. In versie 1.0 van de startanalyse worden de kentallen geüpdatet met nieuwe resultaten uit het WoON 2018 onderzoek, welke in aanloop op de 1.0 versie worden gepubliceerd.

Op basis van circa 4.700 datapunten uit de Variatietool is per combinatie van woningtype en bouwjaarklasse ingeschat welk bedrag geïnvesteerd moet worden om een woning naar Schillabel B, of een 'tussenlabel' (G->E, F->D, E->C) toe te brengen. Dit betreft de totale kosten voor het aanbrengen van isolatiematerialen, HR++-beglazing, kierdichting en mechanische ventilatie om van het huidige gemiddelde energielabel binnen een klasse woningtype-bouwjaar het gewenste label te springen. Hierbij is een onder- en bovenwaarde bepaald voor toepassing van de maatregelen op respectievelijk een individueel als natuurlijk moment. In de berekening van de investeringskosten wordt rekening gehouden

met de grootte van de woning. Als indicator wordt hiertoe het aantal vierkante meters vloeroppervlak zoals opgenomen in de BAG gehanteerd.

Hierbij volgt het model een verondersteld lineair verband tussen kosten en aantal vierkante meters vloeroppervlak. Uit een regressieanalyse blijkt echter dat er slechts in beperkte mate sprake is van een correlatie tussen het aantal vierkante meters vloeroppervlak en investeringskosten. Dit houdt in dat het berekende bedrag aan investeringskosten een gemiddelde van een verzameling van waarnemingen uit de Variatietool reflecteert waarbinnen de individuele investeringsbedragen in sommige gevallen sterk uiteen kunnen lopen. Onderstaande grafiek toont een voorbeeld voor het resultaat de kosten van een labelstap van G naar B voor een vrijstaande woning gebouwd voor 1945. Wel is er in de meeste gevallen een trend van stijgende kosten bij een toename van het aantal vierkante meters vloeroppervlak zichtbaar. Voor combinaties van woningtype-bouwjaar-klasse waarvoor voldoende datapunten beschikbaar zijn, wordt deze trendlijn aangehouden. In een aantal gevallen, met name in gevallen waarin weinig datapunten beschikbaar waren, liet de regressieanalyse afnemende kosten bij een toenemend vloeroppervlak zien. Waar dit het geval is wordt in de kentallen een vaste waarde voor de investeringskosten onafhankelijk van het vloeroppervlak gehanteerd, welke de gemiddelde investeringskosten over alle waarnemingen reflecteert. In deze gevallen bedraagt de richtingscoëfficiënt 0 in de kengetallen set. De bouwjaar-klasse en het uitganglabel zijn logischerwijs het meest bepalend voor de hoogte van kosten, de kosten vallen voor oudere woningen hoger uit.

Figuur 12 - Voorbeeld resultaat kosten labelstap van G naar B, vrijstaande woning, < 1945



### *Energiebesparing schilsprong naar Label B of tussenlabel*

Een schilsprong resulteert in een besparing op het energieverbruik voor ruimteverwarming. De omvang van de besparing wordt berekend aan de hand van dezelfde set CBS-statistieken als wordt toegepast voor de berekening van de warmtevraag in de huidige situatie zonder schilsprong. De reductie in warmtevraag wordt bepaald door het werkelijk statistisch

gemiddelde gasverbruik van woningen met het label waar naartoe wordt gesprongen met een vergelijkbaar vloeroppervlak in dezelfde categorie woningtype-bouwjaar in mindering te brengen op het berekende huidige verbruik van de woning.

### *Investeringskosten schilsprong naar Label A+*

Voor woningen is tevens een inschatting gemaakt voor de investeringskosten voor een schilsprong naar Label A+. Het aantal datapunten wat binnen de Variatietool en WoON 2012 beschikbaar is voor een labelstap naar A+ bleek te beperkt om via een identieke route als bij de sprong naar Label B-kentallen voor de schilsprong naar Label A+ te bepalen. Mogelijk resulteren uit het WoON 2018 onderzoek voldoende datapunten om dit alsnog mogelijk te maken, dit wordt in de ontwikkeling van Versie 1.0 van de startanalyse bekeken.

INNAX heeft een rapport uitgebracht waarin diverse maatregelpakketten op woningen worden toegepast om bepaalde energieprestatiedoelen te bereiken. Eén van deze pakketten is de renovatie naar 'NOM ready'<sup>9</sup>, met als uitgangspunten: vloerisolatie  $R_c = 3,5$ ; gevelisolatie  $R_c = 4,5$ ; dakisolatie  $R_c = 4$  en HR++ beglazing. De daarbij behorende investeringskosten zijn overgenomen als indicatieve bedragen voor de investeringskosten in een labelstap naar A+. De overgenomen investeringskosten gelden voor een particuliere bewoner die maatregelen treft op een natuurlijk moment. De gehanteerde minimum- en maximumwaarde voor de investeringskosten in Label A+ reflecteren de kosten bij een onderscheid naar respectievelijk eenvoudig (goedkoop) uit te voeren maatregelen en meer kostbare maatregelen wanneer de uitvoering complexer is.

### *Energiebesparing schilsprong naar Label A+*

De energiebesparing van labelstappen naar Label-B en tussengelegen labels zijn bepaald aan de hand van CBS-statistieken waarin per labelklasse het gemiddelde gasverbruik is aangegeven. Voor alle labelstappen tot en met Label-B zijn de besparingspercentages bij labelstappen 1:1 berekend op basis van de gasverbruiken vermeld in de statistieken. Bij het bepalen van de kentallen voor de besparing bij stappen naar Label A+ is hiervan afgeweken, omdat het op basis van genoemde statistieken berekende relatieve verschil in gasverbruik tussen Label-B en Label-A woningen zeer laag uitvalt, voor sommige combinaties van woningtype en bouwperiode zelfs licht negatief. Dit wordt mogelijk veroorzaakt doordat woningen met Label A in de praktijk vaak tot dit label komen in combinatie met de toepassing van zonnepanelen, een maatregel welke geen invloed heeft op de energiezuinigheid van de woning, maar wel een sterke invloed heeft op de uiteindelijke hoogte van het energielabel. Tegelijkertijd wordt in de investeringsramingen voor schilverbetering in Vesta MAIS voor stappen naar Label A+ een hoge  $R_c$ -waarde aangenomen om tot Label A+ te komen. De investeringsbedragen die hierbij worden gehanteerd liggen in verhouding tot labelstappen richting Label B relatief hoog. Het is dan aannemelijk dat de besparingspercentages voor een labelstap naar A+ berekend op basis van de CBS-statistieken het pakket wat hiertoe wordt toegepast onvoldoende recht doen, de werkelijke besparing komt naar verwachting significant hoger te liggen. Hoeveel hoger is onduidelijk, ten tijde van dit schrijven waren er geen geschikte kentallen beschikbaar op basis waarvan dit besparingspercentage kon worden bepaald.

De berekende besparingspercentages op basis van de CBS-statistieken komen dus onrealistisch laag uit. Tegelijkertijd kwam uit validatiesessies ten behoeve van de ontwikkeling van FO 4.0 naar voren dat de gehanteerde besparingspercentages in de originele kentallenset

<sup>9</sup> Uit: 'Technische verbeteropties bestaande bouw', INNAX(2017): 'Nul-op-de-Meter (NOM) ready' houdt in dat de woning bouwkundig gezien geschikt is voor NOM en dus een warmtebehoefte kleiner dan 50 kWh/m<sup>2</sup> heeft, maar qua installatie en PV nog niet aan alle NOM-criteria voldoet (maar op termijn wel kan voldoen).'

van Vesta waarschijnlijk te hoog lagen. Gekozen is om de besparingspercentages uit de CBS-statistieken te middelen met de originele besparingspercentages gehanteerd in de vorige versie van het kentallenbestand van Vesta. Het besparingspercentage op het warmteverbruik bij een labelstap van B naar A+ bedraagt in de nieuwe kentallen gemiddeld 14%.

### *Sprongen naar en vanaf tussenlabels*

In de van TNO ontvangen dataset met de 4.700 waarnemingen ligt de nadruk op een schilsprong naar Label B. De dataset bevat daardoor geen datapunten waarbij specifiek is berekend wat de investeringskosten van een stap van een huidig label naar een tussenlabel bedragen. Wel kan uit de dataset worden afgeleid wat de kosten van de stap van een tussenlabel naar Label B bedragen. De investeringskosten voor een stap van een huidig label naar een tussenlabel is bepaald door de investeringskosten bij een stap van een tussenlabel naar Label B of A+ in mindering te brengen op de kosten bij een directe labelstap van het huidige label naar Label B of A+. Of er in de praktijk ook werkelijk sprake is van het daarbij veronderstelde verband verdient nader onderzoek. Voor de startanalyse is dit een minder relevante vraag, omdat hierin de nadruk ligt op een labelstap naar B.

#### 5.2.1.2 Resultaat investeringskosten in labelstappen

In Bijlage B zijn in Tabel 37 de kosten van kengetallen van de labelstappen weergegeven.

#### 5.2.1.3 Utiliteitsbouw

## **Energievraag**

Er is een kengetallenbestand ontwikkeld op basis van het gemeten gebruik (gas en elektriciteit) per grootteklasse binnen een bouwjaarklasse. Deze kengetallen zijn afkomstig uit een kengetallenstudie voor 24 typen utiliteitsgebouwen uitgevoerd door ECN in 2016, waarin koppelingen zijn gemaakt tussen de BAG, klantenbestanden met het gemeten gas en elektriciteitsgebruik en andere databronnen (ECN, 2016). In de ECN (2016) dataset is een opdeling naar grootteklassen en bouwjaarklassen gemaakt, maar ook een opdeling naar grootteklassen binnen bouwjaarklassen. Hieruit volgt een spreiding in energie-intensiteiten afhankelijk van grootteklasse. Het effect van de spreiding van vormfactoren zit hier impliciet in, omdat bij verschillende grootteklassen verschillende (gemiddelde) vormfactoren horen. Er wordt per bouwjaarklasse en per gebouwtype een gewogen gemiddelde bepaald met het werkelijke gebruik voor de totale oppervlaktes (m<sup>2</sup> BVO) van de ECN-gebouwtypen die binnen dezelfde bouwjaarklasse en BAG-gebruiksfunctie vallen.

### *Ventilatie bij utiliteit*

De aanname is dat de mechanische ventilatie met WTW wordt toegepast in het gebouw wanneer schilmaatregelen genomen worden:

- kosten voor mechanische ventilatie + warmteterugwinning (WTW) worden meegenomen in het maatregelpakket;
- besparing op de functionele warmtevraag door toepassing van WTW wordt impliciet meegenomen in het model doordat wordt uitgegaan van het verschil in werkelijk gebruik per bouwjaarklasse (waar de invloeden van ventilatiesystemen inzitten).

### *Koeling bij utiliteit*

Voor koelvraag per gebouwtype zijn nieuwe kengetallen bepaald door TNO die in deze paragraaf worden beschreven.

Voor bepaling van het aandeel ruimtekoeling op het elektriciteitsgebruik is gebruik gemaakt van een KWA-rapport uit 2016 (KWA, 2016). Hierin staan gegevens over het energiegebruik voor koelinstallaties in de dienstensector. Het betreft het percentage van het totale elektriciteitsgebruik per gebouwtype dat naar koeling gaat. Dit betreft zowel ruimtekoeling als proceskoeling. Per gebouwtype is beredeneerd of proceskoeling een groot aandeel zou kunnen hebben. Wanneer dat het geval is dan is het percentage niet gebruikt.

Voor kantoren en horeca (alleen airco) stonden er bijvoorbeeld percentages in het KWA-rapport die gebruikt zijn voor Vesta MAIS. Voor andere typen utiliteit is gebruik gemaakt van een rapport van Meijer (Meijer E&M, 2009). Dit rapport maakt een opdeling van het energiegebruik per gebouwtype naar energiefunctie. In dit rapport wordt steeds onderscheid gemaakt tussen de functies proces en ruimtekoeling. Voor gebouwtypen die ontbreken in beide rapporten zijn inschattingen gemaakt door de gevonden % voor de gebouwtypen onderling te vergelijken en te beredeneren welke gebouwtypen qua koelvraag enigszins op elkaar zouden kunnen lijken.

De functionele koelvraag wordt vervolgens berekend door het elektriciteitskengetal te vermenigvuldigen met het aandeel ruimtekoeling. De elektriciteitsintensiteiten ( $\text{kWh/m}^2\text{GO}$ ) per gebouwtype zijn afkomstig uit de ECN kentallen studie (ECN, 2016). Door te vermenigvuldigen met het aandeel ruimtekoeling is de functionele koelvraag bepaald. In de omrekening is de gemiddelde waarde voor het rendement (COP) van koelmachines per branche gebruikt op basis van KWA (KWA, 2016). In dit geval geldt voor alle gebouwtypen  $\text{COP}=4$ . Dit komt overeen met het rendement van compressiekoelmachines in de EPA-U labelmethodiek. Dit is 1,56 op primair. Het rendement van elektriciteitsopwekking dat is aangenomen in EPA-U is 39%. Teruggerekend komt dit uit op een COP van 4, oftewel hetzelfde als KWA.

Er is per BAG-gebruiksfunctie een gewogen gemiddelde koelvraag bepaald voor de gebouwtypen die binnen de betreffende BAG-gebruiksfunctie vallen. Dit is gedaan door per BAG-gebruiksfunctie (voor de gebouwtypen die binnen de betreffende BAG-gebruiksfunctie vallen) en bouwjaarklasse een weging te maken van de kengetallen op basis van de totale  $\text{m}^2$  BVO's per gebouwtype binnen de betreffende BAG-gebruiksfunctie. Voor de koelvraag per type utiliteitsbouw, zie Bijlage A.

## Energetische verbeteringen

### *Besparing van huidig naar Rc3,5*

De besparing van huidig naar Rc3,5 wordt gebaseerd op het verschil in werkelijk gebruik tussen de betreffende bouwjaarklasse en de bouwjaarklasse 'vanaf 1995 tot en met 2015'. Het uitgangspunt is dat 'vanaf 1995 tot en met 2015' gebouwd werd met een Rc waarde van ca. Rc3,5. Het uitgangspunt is dat gebouwen die eerder gebouwd zijn dit gebruik krijgen zodra ze gerenoveerd zijn. De invloed van ketelvervanging en het ventilatiesysteem op het gasgebruik zijn dan impliciet meegenomen in de besparing.

Het voordeel van de benadering is dat deze is gebaseerd op reële verschillen in werkelijk gebruik. De besparing wordt daardoor voor de oudste bouwjaarklassen niet meer ruimschoots overschat zoals dit met theoretische EPA-U berekeningen voor de oudste bouwjaarklassen (i.e. de slechte energielabels) het geval is (ECN, 2017). De recentere bouwjaarklassen gaan met deze benadering juist meer energie (kunnen) besparen, dit omdat EPA-U het (gebouwgebonden) gebruik voor de goede labels (o.a. A-labels) gemiddeld gezien onderschat (ECN, 2017).

Een limitatie van de benadering is dat verondersteld wordt dat na renovatie het gebruik hetzelfde is onafhankelijk van de bouwjaarklasse. In werkelijkheid zijn er wel degelijk verschillen in (gemiddelde) bezettingsgraad per bouwjaarklasse en deze worden nu niet meegenomen. Zo kan in werkelijkheid een oud gebouw met lage bezetting wat gerenoveerd wordt een lager gebruik bereiken dan een recenter gebouw met hogere bezetting. De invloed van de bezettingsgraad (aantal fte's) meenemen is dan ook een aandachtspunt in de verdere verbetering van het model.

### *Werkelijke verschillen in gebruik per label voor kantoren*

Uit de kantorenstudie van ECN (2017) blijkt dat het verschil in gemiddelde werkelijke gas-intensiteit tussen Label G en Label A ca.  $7 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ GO}$  bedraagt (afname van  $0,16 \text{ GJ}/\text{m}^2 \text{ BVO}$  voor functionele vraag ruimteverwarming). Het gebruik neemt af van Label G naar Label A, met voor de tussenliggende labels een vlak tussenstuk.

Een theoretische EPA-U besparingskental toepassen (zowel absolute besparing als procentuele besparing) op het werkelijk gebruik leidt tot een overschatting van de besparing voor (in ieder geval) de oudste twee bouwjaarklassen. Dit blijkt uit TNO-analyses door uit te gaan van de ECN (2016) kengetallen en de besparingspercentages van de maatregel-pakketten die voorheen in VESTA zaten en waren gebaseerd op de studie van Jeffry Sipma, ECN-rapport 'Verbetering referentiebeeld utiliteitssector' (ECN, 2014), zie (CE Delft, 2015a). Bijvoorbeeld: beschouw het isolatiepakket voor een kantoor uit bouwjaarklasse 1920-1975 die gaat van huidig naar Rc3,5. Dit pakket bespaart volgens EPA-U  $0,59 \text{ GJ}/\text{m}^2 \text{ BVO}$  (74%) op de functionele warmtevraag voor ruimteverwarming. Omgerekend naar het gasgebruik per  $\text{m}^2$  gebruiksoppervlak (rekening houdend met rendement ketel, omrekening vloeroppervlakte en temperatuurcorrectie) is dat een besparing van  $26,5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ GO}$ . Fors hoger dan het gemiddelde verschil in gasgebruik tussen label G en A. Deze enorme overschatting van de besparing is uit het Vesta MAIS-model gehaald door uit te gaan van het werkelijk gebruik. Zoals hierboven aangegeven wordt een gemiddelde besparing verwacht in de buurt van de  $7 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ GO}$  voor deze isolatiestap. Het nieuwe besparingskengetal sluit hier beter op aan, dit is namelijk  $7,4 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ GO}$  (met bijhorende besparing op functionele vraag ruimteverwarming van  $0,16 \text{ GJ}/\text{m}^2 \text{ BVO}$ ). Het resultaat is dat het pakket 38% besparing oplevert op de functionele vraag voor ruimteverwarming (in plaats van 74%).

### *Besparing van Rc3,5 naar Rc5*

Voor de tweede isolatiestap van Rc3,5 naar Rc5 nemen we aan dat het gebruik voor ruimteverwarming met 5% afneemt. Met andere woorden: het gebruik voor ruimteverwarming van een Rc5 gebouw is 95% van het gebruik van hetzelfde Rc3,5 gebouw. Deze afname in gebruik is gebaseerd op een Rc-waarde vs. gasbesparingscurve voor woningen (EPC Platform, 2015) welke de afnemende meeropbrengsten van vergaande isolatie laat zien. Er kan van worden uitgegaan dat een dergelijke relatie tussen Rc-waarde en besparing ook geldt voor utiliteitsgebouwen.

Voor de voorbeeldwoning geldt volgens de curve: de besparing betreft eerst ca.  $1.250 \text{ m}^3$  gas naar Rc2,0. Daarna nog slechts ca.  $200 \text{ m}^3$  gasbesparing naar Rc3,5 en vanaf daar nog slechts ca.  $75 \text{ m}^3$  gasbesparing naar Rc5. De laatste stap van Rc3,5 naar Rc5 bespaart dus ca. 5% van het totaal. Er zijn duidelijke afnemende meeropbrengsten (besparing) van na isolatie te zien.

### *Besparing van huidig naar Rc5*

Dit wordt berekend als de som van de twee hiervoor genoemde Rc-stappen.



## Kosten

Er wordt voor de Startanalyse (eerste run) gebruikgemaakt van de Arcadis kostenkentallen maatwerkadvis (bestaande bouw) uit 2016. Arcadis geeft de kosten van individuele isolatiemaatregelen voor diverse gebouwtypen (Arcadis, jaarlijks). Deze Arcadis gebouwtypen zijn toegewezen/gekoppeld aan de BAG-gebruiksfuncties die in Vesta MAIS worden gehanteerd. Door optelling van de investeringskosten van individuele maatregelen van Arcadis zijn de maatregelpakketten samengesteld voor het Vesta MAIS-model. De geometrie van de referentiegebouwen is ontleend aan de het ECN-rapport 'Verbetering referentiebeeld utiliteitssector' (ECN, 2014). Zie voor verdere toelichting op de bepaling van de kostenkentallen het CE rapport 'Energiekentallen utiliteitsgebouwen VESTA 2.0' (CE Delft, 2015a). De achterliggende bron is het ECN-rapport 'Verbetering referentiebeeld utiliteitssector' (ECN, 2014). Per maatregel en bouwjaarklasse is aangegeven wat de minimale en maximale kosten zijn per m<sup>2</sup> BVO, gebaseerd op het doorvoeren van de maatregelen op een natuurlijk moment (NM) versus een zelfstandig moment (ZM). Er is gekeken welke isolatiedikte bij de Arcadis maatregelen hoort en dit is omgerekend naar de bijhorende Rc-waarde. Vervolgens zijn de kosten in Vesta MAIS verhoudingsgewijs aangepast, zodat het overeenkomt met de Rc-waarde die in Vesta MAIS bij een labelsprong hoort. In het Vesta MAIS-model wordt voor de minimale investeringskosten uitgegaan van de kosten op een natuurlijk moment (NM) en voor de maximale kosten van de kosten op een zelfstandig moment (ZM).

### 5.2.1.4 Glastuinbouw

## Energievraag

De energievraag van glastuinbouw wordt door Vesta MAIS berekend op basis van de functionele energievraag naar ruimteverwarming en apparatuur (belichting) per teelttype (bloemen, groente en vaste planten/bomen). De functionele energievraag naar warm tapwater, koelen en elektrische apparatuur anders dan verlichting is verwaarloosd. Koeling wordt vooral toegepast bij productkoeling bij fruitteelt en bollenteelt op koude grond, en niet zozeer bij glastuinbouw; het energiegebruik voor warm tapwater en elektrische apparatuur is verwaarloosbaar ten opzichte van de energievraag naar verwarmen en belichten. Op basis van de efficiency van de schil van het gebouw, de warmte-installaties en belichtingsapparatuur wordt de metervraag per oppervlakte-eenheid berekend.

## 5.2.2 Warmtebronnen

GeoDmsGui:	/Invoer/Kengetallen/WarmteBronnen
Wiki:	<a href="#">/wiki/C.4.2-Kengetallen</a>

De waarden van de kengetallen die gebruikt worden voor de warmtebronnen zijn te vinden in Bijlage A.

Een belangrijk onderdeel van het model vormt de afweging of warmtedistributie rendabel toe te passen is. In het bestand met restwarmtelocaties dat hiervoor wordt ingelezen, wordt het volgende meegenomen:

- jaartal ingebruikname (i.e. reeds beschikbaar in 2018, of jaartal in de toekomst);
- productiekostprijs van de warmte (per zichtjaar);
- eenmalige investeringskosten in de uitkoppeling van de restwarmte;
- maximale (en minimale) capaciteit van de levering, hierin wordt ook de levering aan reeds aangesloten planregio's meegenomen;



- CO<sub>2</sub>-emissie per geleverde GJ warmte vanuit de bron;
- jaarlijkse onderhoudskosten als fractie van de eenmalige investering.

Indien de gegevens niet beschikbaar zijn in het puntbronnenbestand, worden brontype-specifieke gegevens gebruikt (TypeInfo). Indien die ook niet zijn opgegeven wordt teruggevallen op een ingevoerd kengetal in de code.

De inkoopkosten van (rest)warmte worden uit een invoerbestand ingelezen in het model. De gebruiker kan desgewenst een ander invoerbestand aankoppelen met eigen gegevens. Elk type restwarmtebron kent een eigen bedrag per kWth aan eenmalige investering voor de uitkoppeling van de restwarmte. Deze is gegeven in een range van minimum tot maximum investeringskosten voor de uitkoppeling om warmte te kunnen leveren. Om geen onrealistisch kleine uitkoppelingen te genereren in het model is er een ondergrens aan uitkoppelingsvermogen aan elk type verbonden. Verder wordt rekening gehouden met een jaarlijks percentage aan onderhoud op de uitkoppelingsinvestering, en met de variabele kostprijs van een GJ warmte. Deze laatste zijn per zichtjaar bepaald.

### 5.2.3 Leercurves

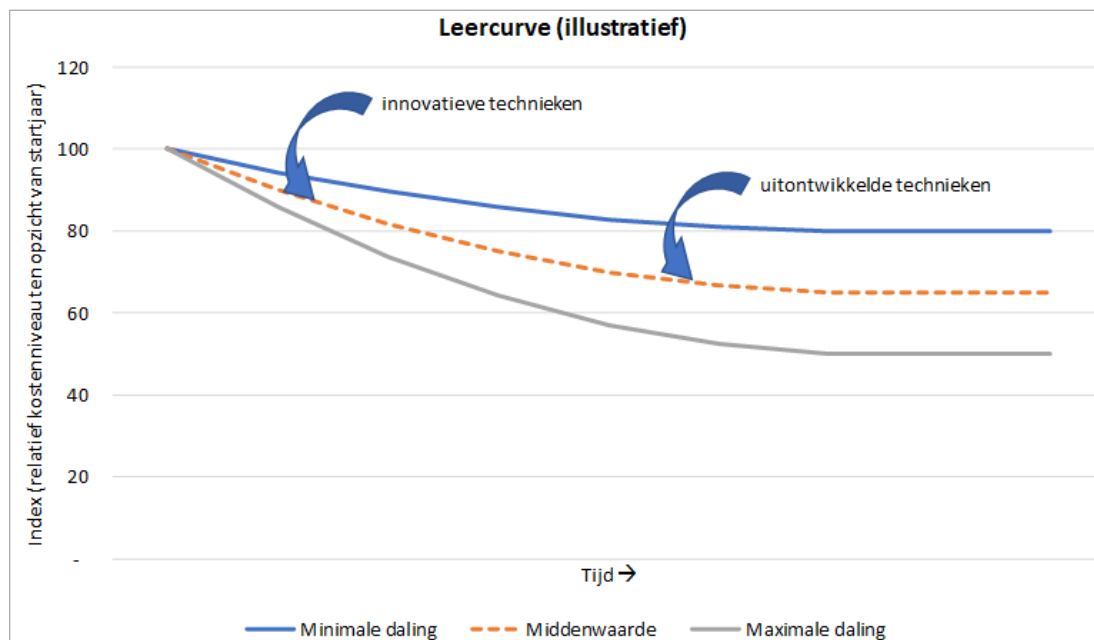
GeoDmsGui:	/Invoer/Kengetallen/LeerCurves
Wiki:	<a href="#">/wiki/C.4.2-Kengetallen</a>

Alle investeringskengetallen kunnen in de toekomst veranderen door ontwikkelingen in materiaalprijzen, arbeidskosten en productiviteit. Zo kunnen door innovaties de kosten voor bepaalde materialen, producten en installaties dalen. De kosten kunnen echter ook toenemen, bijvoorbeeld door schaarste en stijgende lonen. De ontwikkeling van de kosten kan worden weergegeven in zogenoemde leercurves. De basisgedachte van leercurves is dat de kosten dalen door het opdoen van ervaring met een technologie. De leercurves van maatregelen zijn geïnventariseerd voor een minimale en maximale waarde die het innovatiesucces en het opdoen van ervaring weerspiegelen in de loop van de tijd. In Vesta MAIS wordt met een grote diversiteit aan leercurves gewerkt, welke onder andere van toepassing zijn op alle investeringen.

De opbouw van de curves is voortgekomen uit verschillende studies, aannames en inventarisaties. In het huidige FO bestaan de leercurves voor de eerste jaren uit de aannames die zijn gedaan in het Klimaatakkoord en in de jaren naar 2050 toe uit inventarisaties in markt. Veel technieken en/of investeringen maken daarbij gebruik van dezelfde leercurves, maar bevinden zich op een andere plek. Technieken die al lang worden toegepast en waar weinig innovatie nog mogelijk is bevinden zich redelijk aan het eind (weinig kostendaling naar de toekomst) en degenen die aan het begin van de marktintroductie staan bevinden zich aan de start van de curve (veel kostendaling naar de toekomst). In Figuur 13 wordt dit illustratief weergegeven.



Figuur 13 - Gebruikte leercurve in Vesta MAIS (illustratief)



#### 5.2.4 Infra

GeoDmsGui:	/Invoer/Kengetallen/infra
Wiki:	<a href="#">/wiki/C.4.2-Kengetallen</a>

De waarden van de kengetallen die gebruikt worden voor infra zijn te vinden in Bijlage A.

#### 5.2.5 Onderhoud

GeoDmsGui:	/Invoer/Kengetallen/Onderhoud
Wiki:	<a href="#">/wiki/C.4.2-Kengetallen</a>

De waarden van de kengetallen die gebruikt worden voor onderhoud zijn te vinden in Bijlage A.

#### 5.2.6 Gebouwgebonden installaties

De waarden van de kengetallen die gebruikt worden voor gebouwgebonden installaties zijn te vinden in Bijlage A.

Per gebouwgebonden installatie worden in ieder geval de volgende kengetallen meegenomen:

- investeringskosten;
- onderhoudskosten;
- rendement.

Per gebouwgebonden installatie worden ook nog de volgende specifieke kengetallen meegenomen:

- Zon-PV:
  - Beschikbaar dakoppervlak per type gebouw en bouwperiode. Bij woningen is uitgegaan van een vaste omvang dakoppervlak per woningtype en bouwperiode. Dit zal in een volgende versie afhankelijk worden van de oppervlakte van de woning.
  - Jaarproductie met zon-PV per m<sup>2</sup> dakoppervlak.
- Zonneboiler:
  - benodigd dakoppervlak per type gebouw; ervan uitgaand dat de zonneboiler alleen voor warmtapwaterproductie in het betreffende gebouw wordt gebruikt;
  - jaarproductie per m<sup>2</sup> dakoppervlak.
- Elektrische warmtepomp (eWP):
  - effect op installatie-efficiency;
  - extra benodigde elektriciteitsinzet, bepaald uit toename elektriciteitsvraag = warmtevraag aan eWP/SPF:
    - waarbij warmtevraag aan eWP = functionele vraag warmwater + ((func.vraag ruimteverwarming + func. vraag ruimtekoeling)/eff.gebouw);
    - SPF (seasonal performance factor) afhankelijk van het schillabel, wonen/utiliteit en type vraag (warmte/koude/warmtapwater).
- Hybridewarmtepomp (HWP):
  - verhouding gebruik warmtepomp/HR-ketel, afhankelijk van schillabel;
  - SPF afhankelijk van schillabel.
- Micro-WKK:
  - Elektriciteitsproductie;
  - benodigde gasinzet per geleverde eenheid warmte in te zetten in de woningbouw.

## 5.2.7 Afgiftesysteem

De kengetallen die gebruikt worden voor de afgiftesystemen zijn terug te vinden in Bijlage A.

Voor het afgeven van warmte kan een verblijfsobject gebruikmaken van een hoge- of lagetemperatuurafgiftesysteem.

### 5.2.7.1 Hogetemperatuurafgiftesysteem

Vesta MAIS gaat bij een HR-ketel of een hogetemperatuurwarmtenet uit van een hogetemperatuurafgiftesysteem. Het hogetemperatuurafgiftesysteem bestaat uit HT-radiatoren. Bij gebouwen wordt er van uitgegaan dat deze standaard in het gebouw aanwezig is.

### 5.2.7.2 Lagetemperatuurafgiftesysteem

Voor het efficiënt toepassen van een elektrische warmtepomp is het wenselijk een afgiftesysteem in de woning te hebben dat ontworpen is voor lage temperaturen. De meest voorkomende systemen hiervoor zijn vloerverwarming of radiatoren. Bij vloerverwarming worden op/in de vloer verwarmingslussen gelegd. Over het algemeen is dit alleen toe te passen op betonnen vloeren, wat betekent dat dit vooral voor de nieuwere woningen een optie is. Bij lagetemperatuurradiatoren worden radiatoren geplaatst die groter en dikker zijn dan bij een gewone HR-ketel, zodat er een groter oppervlak is om warmte uit te wisselen. Deze radiatoren kunnen in principe in iedere woning worden geplaatst<sup>10</sup>. In het

<sup>10</sup> Indien geïnvesteerd wordt in een zwaarder isolatiepakket dan de nu aangenomen defaultwaardes in Vesta MAIS ontstaat een andere situatie. Bij voldoende lage warmtevraag, kan zelfs de traditionele radiator al volstaan, en

Vesta MAIS model kan nu alleen worden gekozen voor LT-radiatoren. Vloerverwarming wordt later aan het model toegevoegd.

## LT-radiatoren

Voor het bepalen van de kosten van radiatoren die op lage temperatuur werken, wordt gebruikgemaakt van de inzichten van de Validatiesessies. Door de kosten om te rekenen naar vierkante meters, kunnen zij ook worden vertaald naar de utiliteitstypes van het Vesta MAIS-model (zie Paragraaf 4.2.2). Hierbij zijn de maximale variant de kosten van een individuele plaatsing op een niet-natuurlijk moment en de minimale variant is projectmatig op een natuurlijk moment. Daarnaast wordt onderscheid gemaakt tussen een- en meer-gezinswoningen. LT-radiatoren kunnen in Vesta MAIS bij alle bouwjaren worden toegepast.

In Bijlage A0 staan de uitkomsten van de investeringen voor de afgiftesystemen en de parameters van de investeringskosten van een warmtenet.

## 5.3 Energieprijzen

GeoDmsGui:	/Invoer/energieprijzen
Wiki:	<a href="#">/wiki/C.4.3-Energieprijzen</a>

De energieprijzen binnen Vesta MAIS zijn gebaseerd op de ontwikkelingen van de energieprijzen zoals deze gehanteerd worden binnen de KEV2019 (PBL, 2019). Voor zichtjaren na 2030 zijn de prijzen geëxtrapoleerd. In het model worden de commodityprijzen opgenomen voor aardgas, kolen, biomassa, elektriciteit en CO<sub>2</sub>. De commodityprijzen van gas en elektriciteit worden voor het eindgebruik in Vesta MAIS verhoogd met de volgende prijscomponenten, allen gebaseerd op dezelfde bron:

- distributiekosten;
- transport- en capaciteitskosten;
- opslag duurzame energie (ODE);
- energiebelasting;
- BTW.

### 5.3.1 Elektriciteit en aardgas

De optelling van deze verschillende componenten geeft de totaalprijs van gas en elektriciteit. Binnen Vesta MAIS zelf worden de prijscomponenten apart meegenomen, omdat dan duidelijk blijft welke actoren bepaalde prijscomponenten toegerekend krijgen voor de geleverde diensten. Naast het onderscheid naar prijscomponenten, wordt ook het onderscheid gemaakt naar gebruiksklasse. Prijzen verschillen namelijk fors tussen kleinverbruikers en grootverbruikers en dit wordt meegenomen binnen Vesta MAIS. Het onderscheid voor de klassen is te vinden op Belastingdienst (Belastingdienst, lopend), waarbij de volgende categorieën worden onderscheiden voor elektriciteit:

- kleingebruik (< 10.000 kWh/jaar);
- klein-middelgroot gebruik (10.001 t/m 50.000 kWh);
- midden-middelgroot gebruik (50.001 t/m 10 miljoen kWh);
- grootgebruik (> 10 miljoen kWh).

Voor aardgas worden de volgende categorieën onderscheiden:

---

hoeft dus niet geïnvesteerd te worden in radiatorvervanging. In passiefhuis woningen kan zelfs volstaan worden met naverwarming van de ventilatielucht.

- kleingebruik (< 5.000 m<sup>3</sup>/jaar);
- klein-middelgroot gebruik (5.001 t/m 170.000 m<sup>3</sup>);
- midden-middelgroot gebruik (170.001 t/m 1 miljoen m<sup>3</sup>);
- groot-middelgroot gebruik & grootgebruik (> 1 miljoen m<sup>3</sup>);
- glastuinbouw: voor tuinders is een apart tarief van toepassing.

### 5.3.2 Groengas

Groengas kan worden ingezet in het aardgasnet zonder dat aanpassingen nodig zijn van leidingen en installaties als gasfornuizen. Groengas is biogas dat is opgewaardeerd tot aardgaskwaliteit.

#### Tekstbox 2 - Definities biogas, groengas en biomethaan

##### Biogas, groengas en biomethaan: vergelijkbaar, maar toch anders

In het volgende lichten we deze drie termen kort toe, waarbij we vooral focussen op het voor dit onderzoek belangrijkste component van deze gassen: het methaangehalte. Het methaan is de component in deze gassen dat de energie voor verbranding levert: hoe hoger het methaangehalte van het gas, hoe hoger de energiedichtheid.

- Biogas is een brandstof die wordt geproduceerd uit biologische grondstoffen, d.m.v. vergisting of vergassing. Het methaangehalte varieert tussen ca. 55 en 65%, de rest van het gas (ca. 35%) is grotendeels CO<sub>2</sub>.
- Dit biogas kan worden opgewaardeerd tot groengas. Hierbij wordt het CO<sub>2</sub> grotendeels verwijderd, waardoor het methaangehalte toeneemt. Ook moeten siloxanen, organisch actief materiaal, chloor, zwavel, etc. verwijderd worden. Het gas wordt daarmee van Nederlandse aardgaskwaliteit (het zogenaamde laagcalorisch gas, Slochterenkwaliteit) en mag worden bijgemengd in het aardgasnetwerk. Het methaangehalte van dit groene gas is ca. 89%.
- Biomethaan noemen we het gas dat ontstaat als het biogas of het groene gas wordt opgewaardeerd naar een methaangehalte van meer dan 97%. Dit methaangehalte komt overeen met de standaard aardgaskwaliteit die in bijvoorbeeld Duitsland en Zweden wordt gehanteerd, het zogenaamde hoog calorisch gas.

Op dit moment is groengas nog niet als volledige optie mee te nemen in het model. Wat wel kan is het aanpassen van het gasprijzenbestand om hierin te rekenen met een commodity-prijs en een emissiefactor die horen bij groengas. Dit heeft als gevolg dat alle gasvraag in het model wordt ingevuld door groengas, met bijbehorende kosten en emissies.

## 5.4 Defaultinstellingen

GeoDmsGui:      /Invoer/DefaultInstellingen  
 Wiki:              </wiki/C.4.4-Defaultinstellingen>

Het Vesta MAIS-model heeft voor alle parameters die deel uitmaken van de modelrun-instellingen een defaultwaarde. Alle waarden die genoemd staan in defaultinstellingen kunnen door de gebruiker worden aangepast. Het is ook mogelijk het model te gebruiken op basis van defaults. Er zijn defaultinstellingen voor het startjaar en specifieke instellingen voor de toekomstige jaren. In theorie zijn alle defaultinstellingen per zichtjaar apart in te stellen. Als de gebruiker een defaultinstelling niet apart specificeert worden de instellingen die in het startjaar gehanteerd worden voortgezet in de toekomstige jaren. In deze paragraaf wordt uitgewerkt welke instellingen als defaultinstellingen in het model staan. Ook alle parameter-instellingen uit Paragraaf 5.5 komen voor in dit bestand maar zullen daar pas beschreven worden. De waarden van de parameters zijn terug te vinden in Bijlage A. Achtereenvolgens komen de volgende defaultinstellingen aan bod: achtergrond-, beleids-, gedrag- en techniekinstellingen.



## 5.4.1 Achtergrondinstellingen

### 5.4.1.1 Regio

De gebruiker kan hier kiezen op welk niveau de resultaten in de rapportage worden gepresenteerd, waarbij kan worden gekozen uit:

- gemeente (of verzameling van gemeenten);
- energieregio (RES-regio);
- provincie;
- Nederland.

### 5.4.1.2 IndustrieDoetMee

De gebruiker kan voor industrie in defaultinstellingen aangeven welk gedeelte van de industrie binnen de scope van de studie valt. Hierbij kan er een keuze worden gemaakt uit:

- in utiliteit doet alle industrie niet mee (ook niet de vbo's die industrie in combinatie met een ander gebruiksdoel hebben);
- in utiliteit doen vbo's niet mee die alleen een industriefunctie hebben;
- in utiliteit doet alle industrie mee.

### 5.4.1.3 WloScenarioFolder

Hier geeft de gekoudebruiker op welk scenario voor sloop en nieuwbouw er wordt gebruikt. Deze parameter moet verwijzen naar een map in de SourceData directory waarin de relevante grid-bestanden staan die per zichtjaar aangeven waar er gesloopt en gebouwd wordt. Zie ook Paragraaf 5.1.3.

### 5.4.1.4 Prijzenbron

Hier kan de gebruiker aangeven welk bestand met energieprijzen moet worden ingeladen. Er is standaard een aantal prijzenbestanden opgenomen in de folder DATA in de modelconfiguratie. De energieprijzen bestaan uit drie bestanden:

- `_Gas` - gasprijzen;
- `_Elek` - elektriciteitsprijzen;
- `_Overigekosten` - CO<sub>2</sub>, Biomassa en Kolen.

De DATA-folder moet drie bestanden bevatten met de opgegeven naam in de parameter Prijzenbron, met elk een van deze suffixen.

### 5.4.1.5 LeercurveMinMaxSchuif

Via deze schuif kan de gebruiker aangeven welke leercurve gebruikt moet worden. Vesta MAIS bevat twee leercurves: één met een optimistische inschatting van toekomstige kostendaling en één met een pessimistische inschatting. Als deze parameter op 0 wordt gezet wordt volledig gebruik gemaakt van de meest optimistische inschatting en als de parameter op 1 wordt gezet de meest pessimistische. Tussentijdse waarden zijn ook mogelijk waarbij naar rato een tussenwaarde tussen de twee curves wordt gehanteerd.

### 5.4.1.6 LeercurveGebruikSchuif

Afzonderlijk van wat er bij bovenstaande LeercurveMinMaxSchuif wordt opgegeven kan de gebruiker ook opgeven dat de leercurves in het geheel niet gebruikt moeten worden. Dat kan door deze parameter in een 0 te veranderen. Als de gebruiker dat invoert worden toekomstige kosten gelijk aan het startjaar gehouden. Waarden tussen 0 en 1 zijn ook mogelijk, in dat geval wordt de leercurve slechts gedeeltelijk toegepast.

## 5.4.2 Beleidsinstellingen

### 5.4.2.1 VAT & VAT\_gv

De gebruiker kan hier de hoogte van de BTW instellen. De extra parameter VAT\_gv geeft de mogelijkheid om voor gebouwverbetering een ander BTW-tarief op te geven dan voor overige uitgaven.

### 5.4.2.2 Extra\_CO2\_heffing

Hoewel de invoerbestanden voor gas en elektriciteit al een bedrag kunnen bevatten voor bestaande CO<sub>2</sub>-heffing kan de gebruiker via deze parameter een extra bedrag in euro per ton uitgestoten CO<sub>2</sub> opgeven. Dit bedrag komt bovenop de bestaande heffingen die in de prijzenbron worden ingelezen.

### 5.4.2.3 Heffingskorting

De heffingskorting is een tegemoetkoming van de overheid om energiegebruikers te ontzien qua belastingen voor het eerste deel van de energierekening. Dit bedrag wordt hier ingevoerd in euro per aansluiting per jaar. Dit bedrag wordt in Vesta MAIS per elektriciteitsaansluiting afgetrokken van de energiebelasting die de gebruiker betaalt.

### 5.4.2.4 R\_SplitIncentiveFactor

Split Incentive ontstaat doordat de gebouweigenaar verantwoordelijk is voor investeringen in gebouwmaatregelen en dat de gebouwgebruiker daar vervolgens van profiteert door een lagere energierekening. Indien de eigenaar niet zelf de gebruiker is betekent dit dat er voor de eigenaar geen incentive is om te investeren tenzij de eigenaar kan meedelen in de besparing. Via deze parameter kan de modelgebruiker een percentage invoeren dat staat voor welk deel van de energiebesparing door gebouwmaatregelen wordt teruggesluisd naar de gebouweigenaar via de gebouwgebruiker.

### 5.4.2.5 EIA

EIA is overheidssubsidie voor investeringen. Via deze regeling wordt een vast percentage van een specifiek type investering teruggegeven aan de actor die de investering doet. Er zijn verschillende actoren en componenten in te stellen en voor elk type EIA kan een andere hoogte worden opgegeven. Voor gebouwgerelateerde investeringen kan de modelgebruiker eventueel per soort bebouwing andere subsidiehoogtes instellen. Componenten waarop EIA gegeven kan worden zijn:

- Rs\_LokaleOpwekking: Hybridewarmtepompen, zonneboilers en microWKK.
- Rs\_GebouwVerbetering: Schilsprongen en elektrische warmtepompen.
- Rs\_OngeriefsVergoeding: Vergoeding aan bewoner bij aanleg van warmtenetten.
- Rs\_ProjectManagement: Proceskosten bij aanleg van warmtenetten.
- Id: Inpandige systemen en individuele opwaardering in warmtenetten.
- Wd: Distributieleidingen in warmtenetten van aansluitleiding tot en met WOS.
- Pt: Warmtetransportleidingen van primaire bron naar de buurt.
- Ow: Uitkoppeling van MT-warmtebronnen en realisatie van nieuwe MT-bronnen.
- LT: Uitkoppeling van LT-warmtebronnen.
- WKO: Realisatie van nieuwe WKO-installaties, eventueel inclusief TEO-bron.

Voor de component ow kan per brontype een specifiek bedrag worden opgegeven of er kan een generiek bedrag worden opgevoerd dat voor alle brontypen geldt.

### 5.4.2.6 ISDE\_eWP

Deze subsidieknop kan gebruikt worden om een eenmalig vast bedrag per warmtepomp in te stellen dat de gebouweigenaar terugkrijgt van de overheid. Dit bedrag wordt bij de rentabiliteitsafweging in mindering gebracht op de investeringskosten van de warmtepomp.

Deze subsidie werkt zowel op lucht- als op bodemwarmtepompen maar niet op hybride-warmtepompen of collectieve warmtepompen voor warmtenetten.

#### 5.4.2.7 EEA

De EEA is een subsidie op exploitatie van een energieproject en wordt ingevuld als een jaarlijks percentage dat door de overheid wordt vergoed. Er zijn verschillende actoren en componenten in te stellen en voor elk type EEA kan een andere hoogte worden opgegeven. Voor gebouwgerelateerde investeringen kan de modelgebruiker eventueel per soort bebouwing andere subsidiehoogtes instellen. Componenten waarop EEA gegeven kan worden zijn:

- Rs\_LokaleOpwekking: Hybridewarmtepompen, zonneboilers en micro-WKK.
- Rs\_GebouwVerbetering: Schilspelingen en elektrische warmtepompen.
- S\_Leverancier: Administratieve lasten voor eigenaren van warmtenetten.
- S\_OenM: Onderhoudskosten voor individuele gebouweigenaren.
- Ge: Jaarlijkse kosten voor gebouweigenaren in warmtenetten.
- Id, wd, pt, WKO, LT, ow - zie EIA.

Voor de component ow kan per brontype een specifiek bedrag worden opgegeven of er kan een generiek bedrag worden opgevoerd dat voor alle brontypen geldt.

#### 5.4.2.8 SDE, SDE\_LT & SDE\_WKO

SDE is een productiesubsidie voor warmtenetten gebaseerd op de hoeveelheid geleverde warmte door de primaire bron. Deze subsidie wordt uitgedrukt in euro per gigajoule en wordt afgerekend op het volume aan warmte dat de primaire bron uitgaat. Dit is inclusief leidingverliezen en exclusief bijstook in hulpketels. Deze subsidie kan in de parameter SDE\_LT specifiek worden opgegeven voor LT-puntbronnen en in de parameter SDE\_WKO apart voor WKO waaronder ook TEO valt. De parameter SDE op zich werkt alleen door op MT-bronnen. Deze kan bronspecifiek worden opgegeven, bijvoorbeeld op een andere hoogte voor geothermie dan voor industriële restwarmte.

#### 5.4.2.9 VastrechtTarief

Default staat het jaarlijkse vastrecht tarief voor warmtelevering gelijk aan de NMDA-tariefregulering zoals bepaald door de ACM. Het is via deze parameter mogelijk om per type bebouwingsobject hier een ander bedrag op te geven. Dit geeft vervolgens in de berekeningen van warmtenetten het bedrag aan jaarlijkse opbrengsten voor het warmtebedrijf die ze ontvangen van afnemen als onderdeel van hun energierekening. Voor een aantal bebouwingscomponenten – zoals utiliteit – staat default een ander kostenbedrag opgegeven dan het standaard ACM-tarief.

#### 5.4.2.10 AansluitTarief

Ook het aansluittarief voor warmtenetten staat default gelijk aan de NMDA-tariefregulering. Dit is voor een aantal gevallen default overschreven met een ander bedrag, bijvoorbeeld voor nieuwbouwwoningen. Het aansluittarief geeft aan hoe hoog de eenmalige bijdrage van gebouweigenaren is bij aansluiting op een nieuw warmtenet. Er worden gelijke aansluittarieven verondersteld voor alle typen warmtenetten. Het is mogelijk om voor subklassen van gebouwen aparte tarieven in te voeren in Vesta MAIS, bijvoorbeeld een ander bedrag voor gestapelde bouw dan voor grondgebonden woningen.

#### 5.4.2.11 NMDA\_Prijzen

Binnen de NMDA\_prijzen kunnen twee parameters worden aangegeven: 'Aansluitbijdrage/Maximum2019' en 'Vastrecht/Maximum2019'. Dit zijn invoerwaarden voor de maximumtarieven voor aansluitbijdrages en vastrecht bij warmtenetten zoals die jaarlijks worden vastgesteld door de ACM (2018). Dit zijn defaultwaarden die gehanteerd



worden voor alle typen bebouwingsobjecten tenzij voor dat type object een afwijkende waarde is opgegeven.

#### 5.4.2.12 BuitenContour

Deze parameter bestaat in de aanbodkentallen voor zowel WKO als voor TEO. Door deze binaire parameter van 'false' naar 'true' te veranderen, of vice versa, kan worden aangegeven of bij het aanleggen van nieuwe WKO- of TEO-gebiedsmaatregelen rekening gehouden moet worden met ruimtelijke beperkingen. Deze beperkingen zijn in de invoerbestanden ingelezen als een ruimtelijke contour en betreffen onder andere begrenzingsen aan de inzet van bodemsystemen in drinkwatergebieden. Default worden gebouwen die niet binnen deze contour vallen uitgesloten van deelname aan WKO en TEO. Via deze knop kan die beperking worden uitgezet.

#### 5.4.2.13 HuurverlagingBijGebiedsOptieSchuif

In de invoerkentallen is een bedrag opgenomen voor huurverlaging als gevolg van aansluiting op een collectieve warmteoptie. Dit is een uitvloeisel van het puntensysteem voor huurwoningen waarbij een eigen verwarmingsinstallatie hoger staat gewaardeerd dan collectieve warmtelevering. Via deze schuif kan de gebruiker de hoogte van dit bedrag aanpassen door procentueel het bedrag op te schalen of te verlagen - eventueel tot 0. Deze huurverlaging wordt ingerekend als een kostenpost voor gebouweigenaren en als baat voor gebouwgebruikers.

#### 5.4.2.14 MinderDanAndersFactor

Default wordt de warmteprijs bepaald aan de hand van de prijs van aardgas, conform het 'Niet-Meer-Dan-Anders-principe' (NMDA). Deze parameter staat dan op 1.0 ingesteld. Door deze parameter te veranderen kan de modelgebruiker rekenen met een hogere of lagere prijs die afnemers betalen voor warmtelevering. Als deze parameter bijvoorbeeld wordt ingesteld op 0.9, dan krijgen afnemers van warmte 10% korting ten opzichte van de gasreferentie. Staat deze parameter op 1.1 dan betalen afnemers juist 10% meer dan de gasreferentie.

#### 5.4.2.15 IsVasteWarmtePrijs & VasteWarmteprijs

De instelling IsVasteWarmtePrijs geeft aan of er wel of geen vaste warmteprijs geldt. Default staat deze instelling op 'false' wat aangeeft dat het NMDA-principe geldt en de prijs die afnemers betalen voor warmtelevering dus gekoppeld is aan de aardgasprijs. Deze koppeling tussen de warmteprijs en de aardgasprijs kan de modelgebruiker uitzetten door deze instelling in 'true' te veranderen. In dat getal wordt de warmteprijs die onder de parameter VasteWarmtePrijs opgegeven is gehanteerd voor alle afnemers van warmtenetten. Dit is een vast bedrag in euro per gigajoule en kan eventueel door de modelgebruiker per zichtjaar worden aangepast om een alternatief prijspad van warmte door te rekenen los van de aardgasprijs.

### 5.4.3 Gedragsinstellingen

#### 5.4.3.1 Koude-invulling

Via deze parameter wordt opgegeven in hoeverre een type bebouwingscomponent de functionele koudevraag ook daadwerkelijk omzet in een metervraag. Met andere woorden: wordt het gebouw ook echt gekoeld of is het een latente vraag waar niet aan wordt voldaan. Vanuit de invoerkentallen heeft elk gebouw een koudevraag die aangeeft hoeveel koude er gevraagd zou worden indien er een installatie aanwezig is om deze koude te leveren. Deze parameter wordt opgegeven als een ratio tussen 0 en 1, waarbij 0 betekent dat er geen koude geproduceerd wordt en waarbij 1 betekent dat 100% van de koudevraag wordt ingevuld. Alle waarden daar tussenin zijn mogelijk. Als er een waarde hoger dan 0



wordt opgegeven zal er voor de betreffende bebouwingscomponenten een elektriciteitsverbruik worden ingerekend om te representeren dat er via een elektrische installatie wordt gekoeld. Default staat deze parameter per type bebouwing anders ingesteld waarbij woningen geheel niet en utiliteitsbouw geheel wel in de eigen koudevraag voorziet.

#### 5.4.3.2 Deelname

Via deze parameter kan specifiek per bebouwingstype worden opgegeven wat de bereidheid is om deel te nemen aan collectieve gebiedsmaatregelen. Dit is een procentuele invoer die aangeeft welk aandeel van de potentiële afnemers zich laat aansluiten op het warmtenet indien het wordt aangeboden. Default staat deze parameter op 100% ingesteld maar die kan naar elk percentage worden aangepast. Dit is vooral nuttig bij het uitvoeren van gevoeligheidsanalyses om de robuustheid van de businesscase van een warmtenet te testen. Omdat in Vesta MAIS vervolgens niet bepaald kan worden exact welke gebouwen wel of niet zullen deelnemen, wordt er voor het overige deel van de gebouwen in het vraaggebied geen alternatieve verwarmingstechniek meer overwogen in vervolgstappen met andere woorden dit deel blijft aangesloten op het gasnet.

#### 5.4.3.3 Schalingsfactoren energievraag

De gebruiker kan een schalingsfactor toepassen op de functionele vraag naar ruimteverwarming, koude, warm tapwater, of elektriciteit voor apparatuur. Via deze schalingfactor maakt de modelgebruiker deze typen vraag exogeen hoger of lager. Dit kan worden ingesteld per type of generiek voor alle bebouwingscomponenten. Deze optie kan worden gebruikt voor verandering in de energievraag in toekomstige jaren en voor gevoeligheidsanalyses of als de modelgebruiker reden heeft om aan te nemen dat het verbruik van gebouwen in een lokaal studiegebied significant afwijkt van landelijke gemiddelden.

#### 5.4.3.4 Zon\_PV & ZonneBoiler

Hier kan de gebruiker opgeven welk percentage van alle mogelijke dakoppervlakken wordt benut voor zonnepanelen of zonneboilers. In de kentallenbestanden is opgenomen hoeveel dakoppervlak elk type bebouwingsobject nuttig kan gebruiken voor opwek van elektriciteit of warm water. Default staan de parameters Zon\_PV en ZonneBoiler op 0, maar als de gebruiker hier iets anders opgeeft wordt verondersteld dat dat aandeel van het oppervlak met die opwekkingsinstallatie wordt belegd. Dit leidt tot investeringskosten voor de gebouweigenaar en een lagere vraag naar elektriciteit of warm tapwater voor de gebouwgebruiker. Het betreft hier aannames door de modelgebruiker; Vesta MAIS controleert niet of de oppervlakken voor zonnepanelen en zonneboilers elkaar niet overlappen en er is ook geen data in het model opgenomen over lokale situaties en de geschiktheid van individuele daken. De gebruiker kan ook opgeven dat er in het startjaar al zonnepanelen of zonneboilers aanwezig zijn. Als de gebruiker een getal tussen de 0 en 1 instelt wordt dat aandeel van de gebouwen verondersteld deze techniek toe te passen. Omdat Vesta MAIS in dat geval niet kan vaststellen exact welke gebouwen wel en niet binnen dat aandeel vallen wordt het percentage gelijkmatig gespreid over alle gebouwen.

#### 5.4.3.5 mWKK

Via deze instelling kan de gebruiker instellen welk aandeel van de aansluitingen wordt verondersteld een micro-warmtekracht-koppeling te hebben. Default staat dit aandeel op nul maar die kan een modelgebruiker per type bebouwing veranderen. Zo kan er bijvoorbeeld worden aangenomen dat een vast aandeel van de utiliteitsbouw of glastuinbouw een dergelijke installatie heeft staan. Indien deze schuif niet op 0 staat wordt er voor de betreffende gebouwen een investeringsbedrag ingerekend en worden de energetische effecten in de resultaten verwerkt. De gebruiker kan ook hier opgeven of er in het startjaar al micro-WKK aanwezig is. Als de gebruiker een getal tussen de 0 en 1 instelt wordt dat aandeel van de gebouwen verondersteld deze techniek toe te passen. Omdat Vesta MAIS in

dat geval niet kan vaststellen exact welke gebouwen wel en niet binnen dat aandeel vallen wordt het percentage gelijkmatig gespreid over alle gebouwen.

#### 5.4.3.6 hWP

Met deze parameter kan de gebruiker per type bebouwing en per schillabel opleggen of er een hybridewarmtepomp wordt geïnstalleerd. Default staat dit aandeel op 0, en door dit aan te passen – tot een maximum van 100% – wordt aangegeven welk aandeel van de gebouwen een hybridewarmtepomp toepast. Dit kan per zichtjaar worden opgegeven en als dit wordt ingevoerd wordt er voor die gebouwen die aan de criteria voldoen (juiste schillabel) een hybridewarmtepomp geïnstalleerd. Voor deze gebouwen wordt een investeringsbedrag in rekening gebracht en de metervragen naar gas en elektriciteit worden hierop aangepast – wat doorwerkt in het bedrag dat de gebouwgebruiker betaalt voor deze energiedragers. Gebouwen met een hybridewarmtepomp worden verondersteld niet meer over te stappen op een volledig elektrische warmtepomp of deel te nemen aan een warmtenet, tenzij dit percentage in een toekomstig zichtjaar weer op 0 wordt gesteld. Als de gebruiker een getal tussen de 0 en 1 instelt wordt dat aandeel van de gebouwen verondersteld deze techniek toe te passen. Omdat Vesta MAIS in dat geval niet kan vaststellen exact welke gebouwen wel en niet binnen dat aandeel vallen wordt het percentage gelijkmatig gespreid over alle gebouwen.

#### 5.4.3.7 RuimteVerwarmingsJaar

Hier wordt het jaar aangegeven vanaf wanneer gebouw eigenaren kunnen kiezen of ze een nieuwe individuele gasgestookte ketel aanschaffen of overstappen op een alternatief. In zichtjaren vanaf dit jaar kunnen gebouwen bijvoorbeeld elektrische warmtepompen installeren, indien de criteria (bijvoorbeeld opleggen of rentabiliteitseis) zoals opgegeven door de modelgebruiker worden vervuld. Als een gebouw in een zichtjaar vanaf dit jaar geen elektrische warmtepomp aanschafft wordt de warmtevraag in plaats daarvan vervuld door een HR107-ketel.

#### 5.4.3.8 LTversusWP

Via deze instelling kan de modelgebruiker opgeven wat de referentie is waartegen wordt afgewogen wat een individuele afnemer kan bijdragen aan contributiemarge bij LT-opties. Default wordt ook voor LT-opties alleen de gasreferentie gebruikt, waarbij gebruikers alleen worden geacht te betalen voor warmte volgens het NMDA-principe waaruit vervolgens de contributiemarge wordt vastgesteld. Deze contributiemarge is vervolgens leidend voor de rentabiliteitsafweging en of een object wel of niet deelneemt aan LT-gebiedsmaatregelen. Als alternatief hierop kan de modelgebruiker deze schuif van ‘false’ naar ‘true’ zetten om aan te geven dat niet aardgas maar de elektrische warmtepomp gehanteerd wordt als referentie bij LT-opties. In dat geval wordt de rentabiliteit van een hypothetische overstap naar een elektrische warmtepomp per object ingecalculeerd bij de berekening van de contributiemarge van een object en is daarmee van invloed op de beslissing om wel of niet deel te nemen aan een LT-optie. Hiermee wordt een situatie geschetst waarin de gebouw eigenaar zou moeten kiezen om ofwel deel te nemen aan een collectieve LT-gebiedsmaatregel ofwel een individuele elektrische warmtepomp aan te schaffen. Deze instelling heeft alleen invloed op de rentabiliteitsafweging voor LT-opties en brengt verder geen kosten of baten in rekening bij actoren.

#### 5.4.3.9 Discontovoet

Om rentabiliteitsberekeningen te kunnen maken, wordt in het model gerekend met verschillende discontovoeten voor verschillende stakeholders. De volgende stakeholders worden apart meegenomen in de berekening en voor elk kan individueel de gehanteerde discontovoet worden aangepast:

- Mr - Maatschappij;

- Ow            - Energieproducenten;
- Wd           - Wijkdistributeurs;
- Pt           - Primaire transporteurs;
- Id           - Inpandige distributeurs;
- E\_bw        - Eigenaren van bestaande woningen;
- E\_nw       - Eigenaren van nieuwe woningen;
- E\_bu       - Eigenaren van bestaande utiliteit;
- E\_nu       - Eigenaren van nieuwe utiliteit;
- E\_bt       - Eigenaren van bestaande glastuinbouw;
- E\_nt       - Eigenaren van nieuwe glastuinbouw.

## 5.4.4 Techniekinstellingen

### 5.4.4.1 LuchtBodemSchuif

Deze schuif tussen 0 en 1 geeft aan of er wordt gerekend met bodem- of luchtwarmtepompen. Staat deze schuif op 1 dan wordt er bij de berekeningen voor individuele elektrische warmtepompen uitgegaan van de kentallen (kosten en efficiency) voor warmtepompen met een buitenluchteenheid als bron van omgevingswarmte. Is de schuif op 0 ingesteld dan wordt er gerekend met de kentallen voor warmtepompen op basis van een bodemenergiesysteem. Als de waarde tussen 0 en 1 licht wordt naar rato een middenwaarde tussen de twee sets kentallen gehanteerd.

### 5.4.4.2 LuchtBodemAls1

Via deze parameter kan de gebruiker aangeven of bovenstaande LuchtBodemSchuif gebruikt moet worden om te bepalen of er met lucht- of met bodemwarmtepompen wordt gerekend. Indien deze schuif op 'true' wordt ingesteld wordt in plaats van een procentuele schuif gebruik gemaakt van een invoerbestand waarin per CBS-buurt staat opgegeven welk type warmtepomp daar de voorkeur heeft. Zo kan het type warmtepompen dat wordt ingezet ruimtelijk gedifferentieerd worden. Voorwaarde is wel dat er dan een geldig bestand aanwezig is waarin deze informatie is opgenomen.

### 5.4.4.3 EfficiencySchuif

Vesta MAIS bevat veel kengetallen die de efficiëntie van bepaalde componenten van het energiesysteem beschrijven. De meeste van deze kentallen hebben een bandbreedte van onzekerheid er omheen in de vorm van een min- en maxwaarde. Bij deze parameter kan de modelgebruiker een 0 invoeren om te rekenen met de meest pessimistische inschatting van deze kengetallen en door een 1 in te voeren met de meest optimistische inschatting. Deze schuif heeft onder andere invloed op:

- leidingverliezen in warmtenetten;
- conversieverliezen in gasketels;
- efficiëntie van elektrische warmtepompen.

### 5.4.4.4 VerbeterMinMaxSchuif

Vesta MAIS bevat veel kengetallen die de investeringskosten van bepaalde componenten van het energiesysteem beschrijven. De meeste van deze kentallen hebben een bandbreedte van onzekerheid er omheen in de vorm van een min- en maxwaarde. Bij deze parameter kan de modelgebruiker een 0 invoeren om te rekenen met de meest pessimistische inschatting van deze kengetallen en door een 1 in te voeren met de meest optimistische inschatting. Deze schuif heeft onder andere invloed op:

- kosten van schilverbetering in gebouwen;
- kosten voor de aanleg van nieuwe warmtenetten;
- kosten van gebouwinstallaties zoals warmtepompen.

Deze schuif heeft in sommige gevallen een omgekeerd effect op de kentallen voor opbrengsten. Worden de kosten hoog verondersteld dan worden de inkomsten laag verondersteld en vice versa. Die werkt door in de parameter Opbrengsten/MinMaxSchuif, die eventueel ook los kan worden opgegeven. Opbrengsten die hierdoor worden beïnvloed zijn bijvoorbeeld aansluitbijdrages van nieuwbouwwoningen voor nieuwe warmtenetten.

#### 5.4.4.5 IndividueleVerwarmingSchuif

Deze parameter geeft aan welk aandeel van de bestaande meergezinswoningen in de uitgangssituatie verwarmd wordt met een individuele gasketel, en welk deel wordt verwarmd met blokverwarming. Dit heeft onder andere invloed op de kosten van in pandige leidingen bij aansluiting op een warmtenet. Als deze schuif op 1 staat wordt 100% van de meergezinswoningen verondersteld individuele gasketels te hebben. Default staat deze parameter ingesteld op een waarde tussen de 0 en 1.

#### 5.4.4.6 GroenGasFactor

Het Nederlandse gasnet vervoert zowel aardgas als groengas. Omdat deze functioneel gelijk zijn gebruiken zij dezelfde infrastructuur. Op elk gegeven moment is daarom een bepaald aandeel van het gas wat door het netwerk stroomt groengas. Deze parameter kan gebruikt worden om dat aandeel op te geven en wordt vervolgens gebruikt om de berekende uitstoot van broeikasgassen gerelateerd aan gasstook te verlagen.

#### 5.4.4.7 AlwaysBIO & AlwaysGEO

Deze twee instellingen kunnen worden gebruikt om voor alle planregio's in één keer over te schakelen op Geothermie (AlwaysGEO) ofwel BioWKK (AlwaysBIO). Als deze knoppen op 'true' worden gezet wordt bij de afweging van de betreffende gebiedsmaatregel automatisch overal een positieve aanlegafweging gemaakt, ook als deze eigenlijk verlieslijdend is. Deze opties kunnen bijvoorbeeld gebruikt worden als sluitstuk bij het opstellen van 100% aardgasvrije scenario's.

#### 5.4.4.8 GEOcontour

Door deze binaire parameter van 'false' naar 'true' te veranderen, of vice versa, kan worden aangegeven of bij het aanleggen van nieuwe geothermie-gebiedsmaatregelen rekening gehouden moet worden met ruimtelijke beperkingen. Deze beperkingen zijn in de invoerbestanden ingelezen als een ruimtelijke contour en geven een inschatting van welke gebieden kansrijk zijn voor geothermie. Default wordt ervan uitgegaan dat vraaggebieden die niet binnen deze contour vallen voor de aanleg van geothermie eerst een transportleiding naar een gunstiger gebied moeten leggen. Via deze knop kan die beperking worden uitgezet.

#### 5.4.4.9 OnrendabelMT

Bij standaardinstellingen worden alleen warmtenetten op basis van MT-puntbronnen aangelegd in Vesta MAIS als er een positieve rentabiliteitsafweging is vanuit het perspectief van de warmteleverancier. Voor sommige specifieke modeldoeleinden kan het wenselijk zijn om ook de aanleg van onrendabele MT-netten te simuleren. Daarvoor kan bij de parameter OnrendabelMT een bedrag per gigajoule worden ingevoerd. Als hier een bedrag wordt ingevoerd dan wordt er vanaf de 10<sup>e</sup> iteratie voor de aanleg van restwarmte geleidelijk een toegestane onrendabele top meegenomen. Op deze manier worden eerst alle rendabele buurten aangesloten, en worden deze netten vervolgens eventueel uitgebreid naar minder rendabele buurten. De invoer wordt als volgt verwerkt:

Toegestane onrendabele top =  $-30 + \sqrt{(\text{IterNR} - 10) * \text{OnrendabelMT}}$

Hierin is:

- IterNR - het nummer van de iteratie (begint bij 10 en loopt tot 50 iteraties);
- OnrendabelMT - een door de gebruiker ingevoerd bedrag per gigajoule.

Dit leidt tot een toegestane onrendabele top wat functioneel inhoudt dat er een fictief bedrag aan ongedefinieerde opbrengsten wordt meegerekend bij de rentabiliteitsafweging wat bij de warmteleverancier in rekening wordt gebracht. Dit kan de aanleg van verliesgevende warmtenetten simuleren. De gebruiker kan het invoerbedrag variëren totdat het gewenste niveau wordt bereikt.

#### 5.4.4.10 BeginOpbrengstJaar & EindOpbrengstJaar

Bij de aanleg van warmtenetten wordt er doorgaans eerst een grote investering gedaan en komen er pas later inkomsten binnen. Deze investeringen worden in Vesta MAIS over een periode van 30 jaar afgeschreven (de verwachte technische levensduur). Via deze twee parameters BeginOpbrengstJaar en EindOpbrengstJaar kan de gebruiker aangeven over welk deel van die periode er ook inkomsten worden ontvangen. Default staat dit bijvoorbeeld ingesteld op respectievelijk 2 en 30 jaar. Dit betekent dat ervan uit wordt gegaan dat twee jaar na de start van de aanleg er inkomsten geïnd kunnen worden van afnemers en dat dit vervolgens 28 jaar geïnd kan blijven worden. Via deze instellingen kan een modelgebruiker daar andere aannames voor doen.

## 5.5 Specifieke instellingen

GeoDmsGui:	/Invoer/SpecifiekeInstellingen
Wiki:	<a href="#">/wiki/C.4.5-SpecifiekeInstellingen</a>

Voor toekomstige zichtjaren worden dezelfde instellingen aangehouden als in basisinstellingen is ingesteld, tenzij anders wordt opgegeven door de modelgebruiker. Dit kan door instellingen te overschrijven per zichtjaar in het toekomst-bestand. Standaard staan hier twee onderdelen die kunnen worden aangepast: afwegingscriteria voor bouwmaatregelen en de selectie en volgorde van gebiedsmaatregelen. De gebruiker kan zelf meer onderdelen toevoegen aan het toekomst-bestand als er meer wijzigingen gewenst zijn ten opzichte van de defaultinstellingen.

### 5.5.1 Gebouwmaatregelen

#### 5.5.1.1 Criteria verbeteringen

Per schilspiong kunnen criteria worden opgegeven voor wanneer die wel of niet moet worden toegepast. Standaard zijn er twee criteria mogelijk: 'always' en 'never'. Dit geeft aan dat een schilspiong ofwel nooit ofwel altijd wordt toegepast, onafhankelijk van de rentabiliteitsafweging of het type gebouw. Eventueel kunnen deze regels afzonderlijk voor verschillende type objecten worden opgegeven. Het is ook mogelijk om via onderstaande instellingen SpringMeestRendabel en SpringMaatschappelijk een andere afweging te maken. Bij criteria voor verbeteringen moet dan wel 'always' bij de betreffende sprong staan. Staat een schilspiong hier op 'never' dan is deze hoe dan ook uitgesloten, ook als er in de instellingen hieronder wordt opgegeven dat rentabiliteit leidend is bij het wel of niet toepassen van een bouwverbetering. Voor een overzicht van welke schilspongen er mogelijk zijn en waar criteria voor kunnen worden opgegeven zie Paragraaf 4.2. Zie onderstaand voorbeeld voor een situatie waarbij alle schilspongen zonder warmtepomp op 'always' staan en alle schilspongen met warmtepomp op 'never'.

### 5.5.1.2 SpringMeestRendabel

In plaats van via bovenstaande criteria in alle gevallen wel of niet een schilsprong toe te passen kan er ook gerekend worden op basis van rentabiliteit.

Default staat SpringMeestRendabel op 'false' wat inhoudt dat bovenstaande criteria de enige zijn om te bepalen of een sprong wel of niet wordt toegepast. Wordt deze parameter echter op 'true' gezet dan wordt per sprong (met uitzondering van sprongen waar bij de criteria 'never' is opgegeven) een rentabiliteitsafweging gemaakt. Als een sprong rendabel is voor de gebouweigenaar dan wordt deze toegepast. Zijn meerdere sprongen rendabel, dan wordt de voor de gebouweigenaar meest rendabele sprong genomen. Zie onderstaand voorbeeld voor een situatie waar SpringMeestRendabel aan staat.

### 5.5.1.3 SpringMaatschappelijk

Deze instelling functioneert identiek aan bovenstaande behalve dat in plaats van de rentabiliteit voor de gebouweigenaar, de maatschappelijke rentabiliteit leidend is. Staat SpringMaatschappelijk op 'true' (En SpringMeestRendabel op 'false') dan wordt per schilsprong de maatschappelijke rentabiliteit bepaald. Vervolgens wordt een sprong toegepast als die rendabel is. In het geval dat meerdere sprongen maatschappelijk rendabel zijn wordt de meest rendabele toegepast. Zie onderstaande voorbeeld voor een situatie waar SpringMaatschappelijk uit staat.

Figuur 14 - Voorbeeld van instellingen voor afweging van bouwmaatregelen

```
container·Verbeteringen·:=·Basis/RuimtelijkeVraag/Lokaal/Generiek/Verbeteringen
{
    //·@USERINPUT:·'Never',·'Always'
    //·Letters·verwijzen·naar·kolomheaders·in·het·kentallen-bestand
    parameter<string>·S_H_T:·····['Criteria/always'];
    parameter<string>·S_H_B:·····['Criteria/always'];
    parameter<string>·S_H_AP:·····['Criteria/always'];
    parameter<string>·S_T_B:·····['Criteria/always'];
    parameter<string>·S_T_AP:·····['Criteria/always'];
    parameter<string>·S_B_AP:·····['Criteria/always'];

    //·labelsprongen·naar·B·inclusief·eWP·aan·(incl·lt-afgiftesysteem)
    parameter<string>·S_H_BeWP:··['Criteria/never'];
    parameter<string>·S_T_BeWP:··['Criteria/never'];
    parameter<string>·S_B_BeWP:··['Criteria/never'];

    //·labelsprongen·naar·A+·inclusief·eWP·aan·(incl·lt-afgiftesysteem)
    parameter<string>·S_H_AeWP:··['Criteria/never'];
    parameter<string>·S_T_AeWP:··['Criteria/never'];
    parameter<string>·S_B_AeWP:··['Criteria/never'];
    parameter<string>·S_AP_AeWP:··['Criteria/never'];

    parameter<bool>·SpringMeestRendabel:··[true]·;
    parameter<bool>·SpringMaatschappelijk:··[false]·;
}
```

## 5.5.2 Gebiedsmaatregelen

### 5.5.2.1 Aantal gebiedsopties

Hier moet de gebruiker opgeven hoeveel verschillende gebiedsmaatregelen er doorgerekend moeten worden. Dit kan ook 0 zijn als er in het geheel geen gebiedsopties doorgerekend moeten worden. Vervolgens moet er gedefiniëerd worden welke opties er mee doen. Voor een overzicht van welke gebiedsopties er mogelijk kunnen worden opgegeven zie Paragraaf 4.2. Zie onderstaande voorbeeld voor een situatie waarin acht verschillende gebiedsopties mee worden genomen.

### 5.5.2.2 Volgorde gebiedsopties

In Vesta MAIS worden gebiedsmaatregelen één voor één doorgerekend. Er is geen afweging tussen verschillende gebiedsmaatregelen om te bepalen welke het meest geschikt is. In plaats daarvan wordt elke gebiedsmaatregel op zichzelf doorgerekend en indien er een rendabele businesscase gevonden is wordt de gebiedsmaatregel daar toegepast. Gebouwen die zo worden aangesloten blijven in volgende rondes buiten beschouwing voor andere gebiedsopties. De gebruiker moet daarom per zichtjaar opgeven in welke volgorde de opties moeten worden doorgerekend. Dit kan door eerst via bovenstaande instelling te kiezen welke gebiedsopties meedoen en vervolgens de volgorde aan te geven door de opties hoger of lager in de lijst te zetten en de nummering aan te passen. Zie onderstaande voorbeeld voor een situatie waar Restwarmte als eerste optie wordt afgewogen, vervolgens Geothermie, en zo verder totdat WKO als laatste optie wordt doorgerekend.

Figuur 15 - Voorbeeld van instellingen voor afweging van gebiedsmaatregelen

```
container.Gebiedsopties
{
    parameter<UInt32>.Aantal:[.8.];

    parameter<Classifications/Gebiedsoptie>.Optie1:=[.Classifications/Gebiedsoptie/V/Restwarmte;
    parameter<Classifications/Gebiedsoptie>.Optie2:=[.Classifications/Gebiedsoptie/V/Geothermie;
    parameter<Classifications/Gebiedsoptie>.Optie3:=[.Classifications/Gebiedsoptie/V/BioWKK;
    parameter<Classifications/Gebiedsoptie>.Optie4:=[.Classifications/Gebiedsoptie/V/Lt30_30;
    parameter<Classifications/Gebiedsoptie>.Optie5:=[.Classifications/Gebiedsoptie/V/Lt30_50;
    parameter<Classifications/Gebiedsoptie>.Optie6:=[.Classifications/Gebiedsoptie/V/Lt30_70;
    parameter<Classifications/Gebiedsoptie>.Optie7:=[.Classifications/Gebiedsoptie/V/TEO;
    parameter<Classifications/Gebiedsoptie>.Optie8:=[.Classifications/Gebiedsoptie/V/WKO;
}
```



# 6 Methode

## 6.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft de uitwerking van de rekenmethodes die binnen het Vesta MAIS-model worden toegepast. Hierbij gaat het om de algemene gedachtegang die wordt gehanteerd in de doorrekening van gebouw- en gebiedsmaatregelen, hierbij worden nog niet de formules vermeld omdat het dan minder overzichtelijk zou worden. In Hoofdstuk 7 wordt een overzicht gepresenteerd van de formules die gehanteerd worden binnen Vesta MAIS.

In Paragraaf 6.2 wordt de rekenmethode besproken op hoofdlijnen, vervolgens wordt in meer detail ingegaan op de verschillende stappen die worden doorlopen binnen het model. Zo gaat Paragraaf 6.3 in op de gebouwmaatregelen, Paragraaf 6.4 op de gebiedsmaatregelen, Paragraaf 6.5 op de gas- en elektriciteitsinfrastructuur en in Paragraaf 6.6 op het verschil tussen maatschappelijke/nationale kosten en eindgebruikerskosten.

## 6.2 Werkwijze

Het Vesta MAIS-model geeft de mogelijkheid om verkenningen uit te voeren omtrent de warmtetransitie gegeven verschillende omgevingsfactoren zoals beleid, ontwikkeling van energieprijzen en andere factoren. Het model is zo ontworpen dat het mogelijk is om een grote diversiteit aan verkenningen te doen, waarbij het wel kennis van de warmtevoorziening en ervaring met het model vergt om deze toepassingen ook daadwerkelijk allemaal te kunnen gebruiken. In deze paragraaf wordt een overzicht gegeven van de algemene opzet van het Vesta MAIS-model en de mogelijkheden die dit biedt om verkenningen te doen.

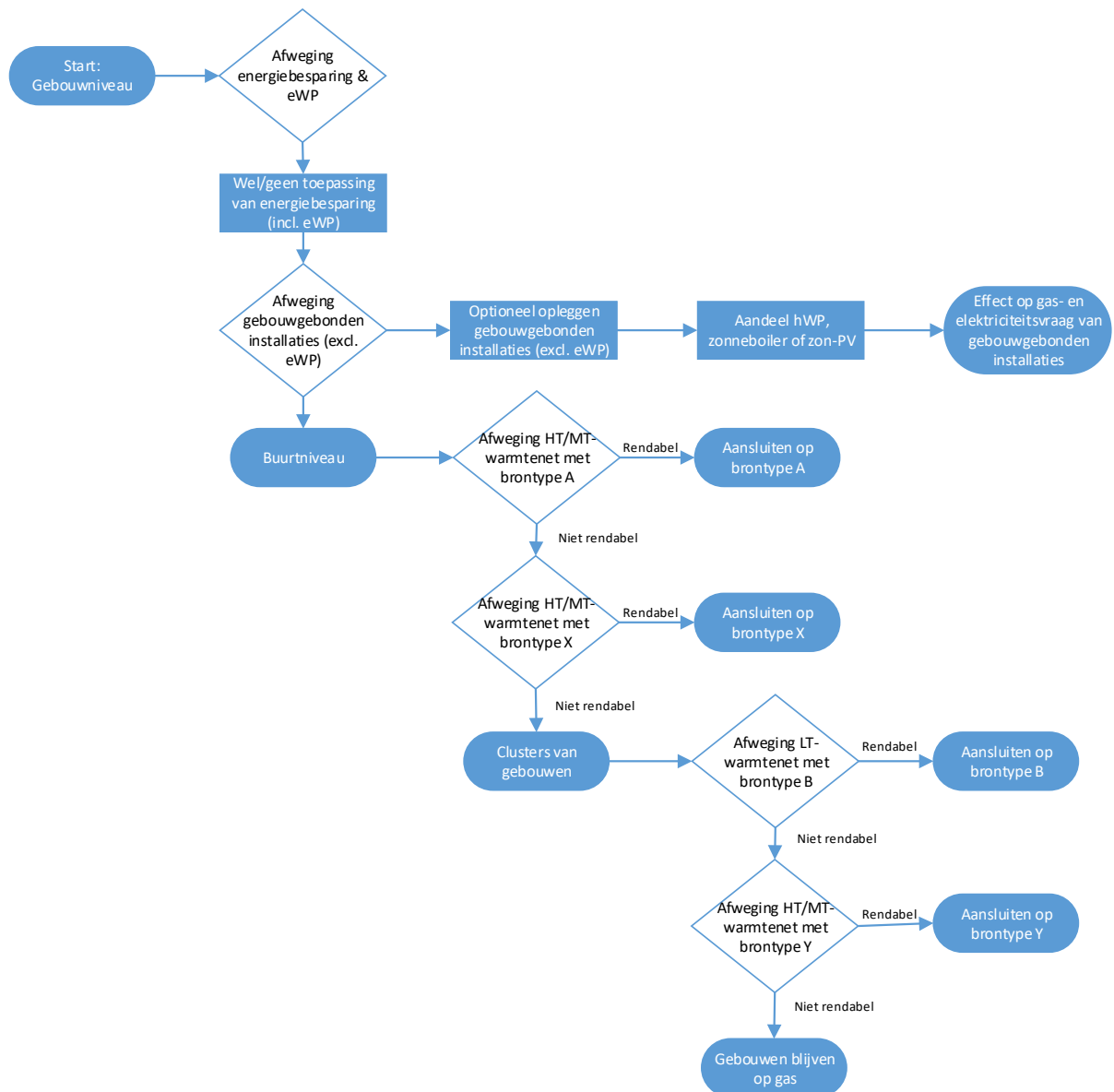
Het meest basale uitgangspunt van het model is dat er voor de toepassing van een maatregel een afweging wordt gemaakt tussen kosten en baten. Deze maatregelen variëren van energiebesparing, de toepassing van gebouwgebonden installaties en de verschillende vormen van warmtenetten. Wanneer de kosten van één van deze maatregelen hoger zijn dan de baten dan zal een maatregel in principe niet worden toegepast. Het is mogelijk om dit te overrulen, maar standaard wordt binnen het model uitgegaan van een afweging op basis van kosten en baten. Voor energiebesparing gebeurt dit op gebouwniveau waarbij het voor een gebouweigenaar financieel aantrekkelijk moet zijn om de maatregel toe te passen, hetzelfde geldt voor de toepassing van een elektrische warmtepomp. Andere gebouwgebonden installaties kunnen op dit moment niet meegenomen worden op basis van rentabiliteit maar alleen op basis van ingroeipaden. Voor warmtenetten wordt een afweging gemaakt vanuit het perspectief van een warmteleverancier. De leverancier financiert alle investeringen die nodig zijn voor een warmtenet en weegt deze af tegen de opbrengsten uit de aansluitbijdrage, vastrecht en warmtelevering om te komen tot een totaal kosten/baten plaatje vanuit het oogpunt van de leverancier. Als dit positief is dan wordt een warmtenet aangelegd.

Het is mogelijk om dit uitgangspunt te overrulen door een maatregel op te leggen los van de rentabiliteit van deze toepassing. Binnen het model wordt dit aangeduid met de term 'opleggen'. Voor een verkenning kan het interessant zijn om de situatie te verkennen gegeven een bepaalde mate van energiebesparing. Dit heeft namelijk invloed op de rentabiliteit van warmtenetten omdat de warmtevraag van gebouwen lager wordt. Hierbij kan het zijn dat bijvoorbeeld energiebesparing naar Schillabel A+ niet rendabel is, maar dat een

modelgebruiker wel wil verkennen wat de impact is op het algehele plaatje wanneer alle gebouwen overgaan naar Label A+. In dit geval is het mogelijk de schilspgong naar schillabel A+ op te leggen en daarna verder te rekenen met het model. Op dit moment is het mogelijk om binnen het model verschillende niveaus van energiebesparing op te leggen en de toepassing van een elektrische warmtepomp bij Schillabel B of A+. Het is (nog) niet mogelijk om de warmtenetten in een bepaald gebied op te leggen.

Het model kan niet alle gebouw- en gebiedsmaatregelen gelijktijdig integraal optimaliseren en daarom is een volgorde nodig waarin het model verschillende opties langs loopt. Het stroomdiagram dat wordt weergegeven in Figuur 16 is een weergave waarin de maatregelen worden doorgelopen. Het model begint met de rentabiliteitsafweging voor energiebesparing op gebouwniveau, inclusief de rentabiliteitsafweging voor de toepassing van een elektrische warmtepomp op gebouwniveau. Naast de elektrische warmtepomp is het ook mogelijk om andere gebouwgebonden installaties in te laten groeien, zoals een hybride-warmtepomp. Het is op dit moment (nog) niet mogelijk om deze mee te nemen op basis van rentabiliteit. Na de analyse op gebouwniveau wordt er vervolgens een analyse gemaakt van de warmtenetten. Standaard wordt ervan uitgegaan dat eerst de HT/MT-warmtenetten worden geanalyseerd en dit gebeurt op buurniveau. Hierbij wordt een berekening gemaakt van de kosten en baten voor het HT/MT-warmtenet gevoed met Brontype A, als dit niet rendabel is wordt vervolgens een analyse gemaakt voor brontype X. Mocht het niet interessant om een HT/MT-warmtenet aan te leggen dan wordt een berekening gemaakt voor de LT-warmtenetten. Deze analyse vindt niet plaats op buurniveau maar wordt gebaseerd op een clustermethode, verder toegelicht in Paragraaf 6.4. Wanneer geen van de maatregelen een financieel voordeel oplevert dan blijft het gebouw aangesloten op aardgas.

Figuur 16 - Stroomdiagram werkwijze model



In de volgende paragrafen wordt dieper ingegaan op de afzonderlijke maatregelen en de afwegingen die hier worden gedaan. De invloeden van beleid, zoals subsidies en belastingen, en kostenontwikkelingen worden niet elke keer apart genoemd maar deze kunnen wel invloed uitoefenen op de kostenfactoren die worden genoemd binnen de onderstaande paragrafen. Verder wordt bovenstaand stroomschema doorlopen voor elk zichtjaar binnen het model.

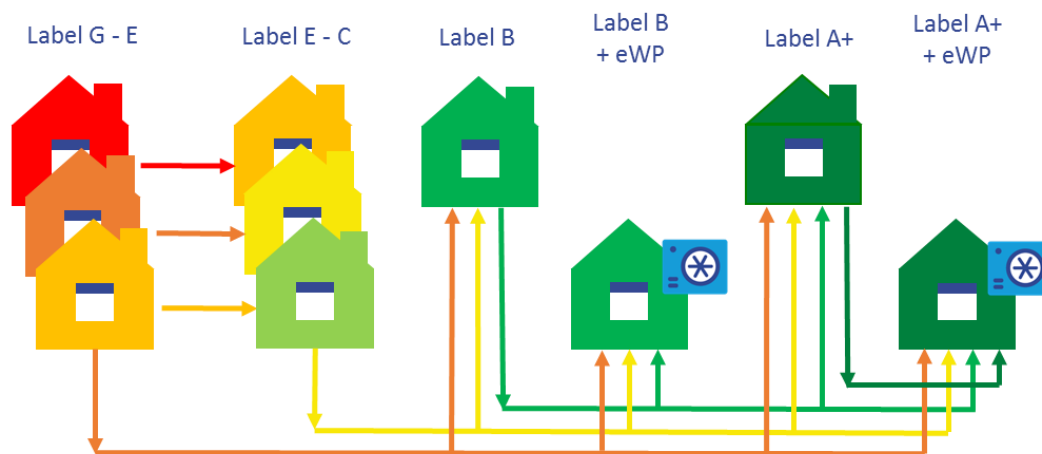
## 6.3 Gebouwmaatregelen

Zoals de naam al aangeeft gaat het bij gebouwmaatregelen om de maatregelen die een gebouweigenaar kan toepassen op gebouwniveau, denk hierbij aan energiebesparing en gebouwgebonden installaties. Over de toepassing van deze maatregelen kan elke gebouweigenaar individueel beslissen en daarom wordt de rentabiliteitsberekening ook gedaan op individueel niveau. Deze paragraaf start met een overzicht van de kosten en baten voor energiebesparing in Paragraaf 6.3.1, gevolgd door de kosten en baten van gebouwgebonden installaties in Paragraaf 6.3.2 en vervolgens de afwegingen voor gebouwmaatregelen in Paragraaf 6.3.3.

### 6.3.1 Energiebesparing

Binnen het Vesta MAIS-model wordt energiebesparing meegenomen op basis van zogeheten schilsprongen. Deze schilsprong geeft bijvoorbeeld de verwachte gasbesparing van Schillabel D naar Schillabel A en de daarbij behorende investeringskosten om deze schilsprong te realiseren. Hierbij wordt rekening gehouden met de oppervlakte van het gebouw en de gemiddelde samenstelling van de dak-, gevel- en vloerisolatie bij Schillabel D ten opzichte van de gemiddelde samenstelling bij Schillabel A+. De data die wordt gebruikt als input voor deze schilsprongen is eerder beschreven in Paragraaf 5.2. In deze data wordt per combinatie van gebouwtype en bouwjaarklassen een inschatting gegeven van de verschillende schilsprongen, waarbij in het algemeen de schilsprongen die mogelijk zijn binnen het model worden weergegeven in **Figuur 17**. **Error! Reference source not found..**

Figuur 17 - Opties schillabelsprongen inclusief de sprong met een volledig elektrische warmtepomp (eWP)



### Kosten van schilsprongen

Voor energiebesparing zijn de kosten alleen afhankelijk van de investering die moet worden gedaan om de energiebesparende maatregelen te financieren. De investeringskosten (inclusief ventilatie) zijn hierbij afhankelijk van de oppervlakte van het gebouw en het schillabel waarnaar gesprongen wordt. Deze investeringskosten worden beschreven in Paragraaf 5.2.

Vervolgens worden deze investeringskosten vertaald naar geannualiseerde kosten. Deze geannualiseerde kosten worden berekend door de investeringskosten te vermenigvuldigen met de annualisatiefactor ([AnnualisationFactor](#)), een factor gebaseerd op de levensduur van de maatregel (in het geval van energiebesparing 30 jaar) en de discontovoet van de actor. Binnen het model is dit in te stellen door de modelgebruiker, standaard is de discontovoet voor bedrijfsmatige actoren, zoals utiliteit en glastuinbouw, hoger dan voor woning-eigenaren. De reden voor deze hogere discontovoet is dat bedrijven een hoger rendement moeten halen op hun investeringen.

Naast de geannualiseerde investeringskosten is het mogelijk om onderhoudskosten mee te nemen voor gebouwverbetering (modelnaam [R\\_GV\\_onderhoud](#)). Standaard wordt ervan uitgegaan dat er geen onderhoudskosten zijn voor energiebesparing, maar het is als modelgebruiker mogelijk om dit percentage aan te passen als hiervoor wel kosten worden verwacht.

## Baten van schilsprongen

Voor het vaststellen van de baten van energiebesparing wordt uitgegaan van de vermeden inzet van gas. Zoals in Hoofdstuk 5 duidelijk is gemaakt worden er veronderstellingen gedaan over het energieverbruik bij verschillende schillabels, afhankelijk van het oppervlak van het gebouw. De jaarlijkse baten gerelateerd aan de bespaarde energie kunnen worden vastgesteld door de bespaarde hoeveelheid m<sup>3</sup> aardgas per jaar te vermenigvuldigen met de aardgasprijs van het desbetreffende jaar en dit geeft de jaarlijkse opbrengsten van de vermeden inzet van aardgas. Voor warmte geldt hetzelfde principe omdat hier wordt uitgegaan van het NMDA-principe.

### 6.3.2 Gebouwgebonden installaties

Energiebesparing heeft invloed op de vraagzijde van warmte, maar deze warmtevraag kan op verschillende manieren worden voldaan. Op gebouwniveau kan deze warmtevraag worden ingevuld door technologieën zoals de elektrische warmtepomp, de hybride-warmtepomp of de zonneboiler. Daarnaast is het ook mogelijk om in de elektriciteitsvraag te voorzien door de installatie van zon-PV. In deze paragraaf wordt ingegaan op de manier waarop kosten en baten worden meegenomen voor deze verschillende gebouwgebonden installaties.

## Kosten van gebouwgebonden installaties

Investeringskosten zijn net als bij energiebesparing een belangrijke component in de kosten van gebouwgebonden installaties. De investeringen variëren per technologie en zijn daarbij ook doorgaans afhankelijk van het vermogen dat nodig is om het gebouw te verwarmen. De investeringen voor de meeste installaties zijn te vinden in Bijlage A.1. Om de investeringen te vergelijken met de jaarlijkse opbrengsten worden ook deze investeringskosten geannualiseerd, waarbij voor de levensduur meestal wordt uitgegaan van 15 jaar. Daarnaast zijn ook hier de discontovoeten afhankelijk van de actor.

Het tweede component dat een rol speelt in de kosten van gebouwgebonden installaties zijn de onderhoudskosten. Een installatie vergt onderhoud en beheer en hiervoor betaald de gebouweigenaar jaarlijks een bedrag. De hoogte van dit bedrag wordt vastgesteld op basis van een percentage van de investeringskosten, waarbij dit percentage apart opgegeven kan worden voor de elektrische warmtepomp ([R\\_LO\\_EWP\\_onderhoud](#)) en voor de overige

gebouwgebonden installaties tezamen ([R\\_LO\\_onderhoud](#)). De aanname die met het percentage wordt gedaan is dat dure installaties gemiddeld ook duurder zijn om te onderhouden. Naast onderhoudskosten is het ook mogelijk om de administratiekosten mee te nemen. Standaard wordt aangenomen dat er geen administratiekosten zijn bij deze installaties, maar als modelgebruiker is het mogelijk dit aan te passen. De doorwerking van de administratiekosten werkt op eenzelfde manier als de onderhoudskosten, dus een percentage van het investeringsbedrag.

Energiekosten zijn de derde component van de kosten die een rol spelen in de totale kosten van gebouwgebonden installaties. Onder energiekosten verstaan we in dit geval de kosten van de inkoop van energie die nodig is voor het functioneren van de installaties. Het niveau van de energiekosten is sterk afhankelijk van het type installatie, waarbij het per installatie kan verschillen welke energiedrager wordt gebruikt om aan de warmtevraag te voldoen. Zo zijn er twee typen volledig elektrische warmtepompen die meegenomen worden in de berekeningen, namelijk een bodem- of luchtwarmtepomp. Binnen het model zitten de verschillen in de investeringskosten en een schilafhankelijke Seasonal Performance factor (SPF) die de verhouding geeft tussen de warmtevraag die ingevuld kan worden met omgevingswarmte en de additionele elektriciteitsinzet die nodig is om aan de functionele vraag te voldoen. Op dit moment is het nog niet mogelijk om de rentabiliteit van beide warmtepompen met elkaar te vergelijken, maar het is wel mogelijk om aan te geven met welke warmtepomp een modelgebruiker wil rekenen. Dit kan worden ingesteld met de '[LuchtBodemSchuif](#)', beschreven in Paragraaf 5.4.4.1.

Naast de volledig elektrische warmtepomp is het ook mogelijk om een gebouw te verwarmen met een hybridewarmtepomp. Deze hybridewarmtepomp maakt gebruik van zowel (aard)gas als een warmtepomp om te voldoen aan de functionele vraag. Voor deze installatie wordt ook een schilafhankelijke SPF gehanteerd, waarbij de warmtepomp een aandeel van de ruimteverwarmingsvraag invult. Het restant van de ruimteverwarmingsvraag en de warm tapwatervraag worden ingevuld met behulp van (aard)gas. Voor de micro-WKK geldt dat deze installatie alleen (aard)gas als input gebruikt en dit omzet naar warmte en elektriciteit. De zonneboiler en zon-PV genereren alleen energie en vragen dus geen input van energiedragers binnen het model.

## Baten van gebouwgebonden installaties

Met uitzondering van de micro-WKK hebben de overige gebouwgebonden installaties een lagere gasinzet dan een HR-ketel. Een belangrijke baat voor de gebouwgebonden installaties is daarom de vermeden gasinzet van een installatie. De hoogte van deze baat is afhankelijk van zowel de variabele vermeden gasinzet vermenigvuldigt met de gasprijs als ook de vaste netbeheerkosten voor gas wanneer de gebouweigenaar in zijn geheel van het gas af gaat. De gasinzet van een micro-WKK is mogelijk hoger dan de gasinzet bij een HR-ketel, maar een micro-WKK levert niet alleen warmte maar wekt ook elektriciteit op. De opbrengsten voor deze elektriciteitsopwekking is een baat in het geval van de micro-WKK en natuurlijk ook bij zon-PV. Hierbij wordt in beide gevallen uitgegaan van saldering waarbij de jaarlijkse opgewekte elektriciteit wordt afgetrokken van de jaarlijkse elektriciteitsvraag van het gebouw. Bij een overschot van de opgewekte elektriciteit ten opzichte van de elektriciteitsvraag wordt het volume van het overschot vermenigvuldigt met de groothandelsprijs van elektriciteit om de baten te berekenen. Als laatste is een baat dat de onderhoudskosten voor de HR-ketel niet langer hoeven te worden betaald, deze worden wel vervangen door onderhoudskosten van de installatie zelf. Deze onderhoudskosten zijn overigens veelal hoger dan die die van de HR-ketel.

### 6.3.3 Afwegingen voor gebouwmaatregelen

Binnen het model worden de kosten en baten van energiebesparing en gebouwgebonden installaties berekend, maar deze spelen (nog) niet altijd een rol in de beslissing of een gebouwmaatregel wordt toegepast. Op dit moment is het mogelijk om de volgende combinaties van energiebesparing met een gebouwgebonden installatie binnen het model door te laten rekenen op basis van rentabiliteit voor gebouwen met:

- Schillabel E, F of G:
  - schilsprong naar een tussenlabel (een sprong van twee labelstappen);
  - schilsprong naar Schillabel B;
  - schilsprong naar Schillabel B, met een elektrische warmtepomp;
  - schilsprong naar Schillabel A+;
  - schilsprong naar Schillabel A+, met een elektrische warmtepomp.
- Voor gebouwen met Schillabel D of C:
  - schilsprong naar Schillabel B;
  - schilsprong naar Schillabel B, met een elektrische warmtepomp;
  - schilsprong naar Schillabel A+;
  - schilsprong naar Schillabel A+, met een elektrische warmtepomp.
- Voor gebouwen met Schillabel B:
  - schilsprong naar Schillabel B, met een elektrische warmtepomp;
  - schilsprong naar Schillabel A+;
  - schilsprong naar Schillabel A+, met een elektrische warmtepomp.
- Voor gebouwen met Schillabel A+:
  - schilsprong naar Schillabel A+, met een elektrische warmtepomp.

Voor deze combinaties wordt per gebouw berekend wat de balans is van de jaarlijkse kosten en baten, oftewel een businesscase, van een schilsprong met eventueel de toepassing van een elektrische warmtepomp. Wanneer de businesscase positief uitvalt dan zal de combinatie van schilsprong en eventueel een elektrische warmtepomp worden toegepast. In het geval er meerdere combinaties zijn met een positieve businesscase wordt een afweging gemaakt tussen deze verschillende combinaties. In deze afweging wordt de combinatie gekozen die jaarlijks het meeste oplevert, dus de combinatie die jaarlijks de hoogste positieve balans heeft wordt gekozen door de gebouweigenaar. Wanneer de businesscase van alle combinaties negatief is wordt ervoor gekozen om niet te investeren. De berekening van de businesscase kan worden gedaan op basis van maatschappelijke kosten of op basis van eindgebruikerskosten, het verschil tussen deze kostenbenaderingen wordt verder toegelicht in Paragraaf 6.6.

In de businesscase berekening wordt gekeken naar de jaarlijkse kosten en baten. Bij de eindgebruikerskosten wordt in deze afweging nog wel rekening gehouden met een factor die invloed heeft op deze verdeling van kosten en baten bij woningen. Er wordt namelijk rekening gehouden met de [SplitIncentiveFactor](#), een factor die met name een rol speelt binnen de huursector. In de huursector is het namelijk zo dat de eigenaar van de woning (verhuurder) niet direct profijt heeft van een investering in energiebesparende maatregelen omdat de besparing effect heeft op de energierekening van de woninggebruiker (huurder). In de berekening van de businesscase wordt er binnen het model daarom vanuit gegaan dat een aandeel van deze besparingseffecten wordt teruggesluisd naar de woningeigenaar omdat deze zonder baten de investering anders nooit zou doen. Dit aandeel wordt vastgesteld in de [R\\_SplitIncentiveFactor](#), een factor die is toegelicht in Paragraaf 5.4.2.4.

De combinaties die hierboven worden opgesomd geven combinaties van energiebesparing en de elektrische warmtepomp (combinatie-maatregelen), maar hierin valt op dat de andere gebouwgebonden installaties (nog) niet zijn opgenomen. De reden hiervoor is dat het op dit

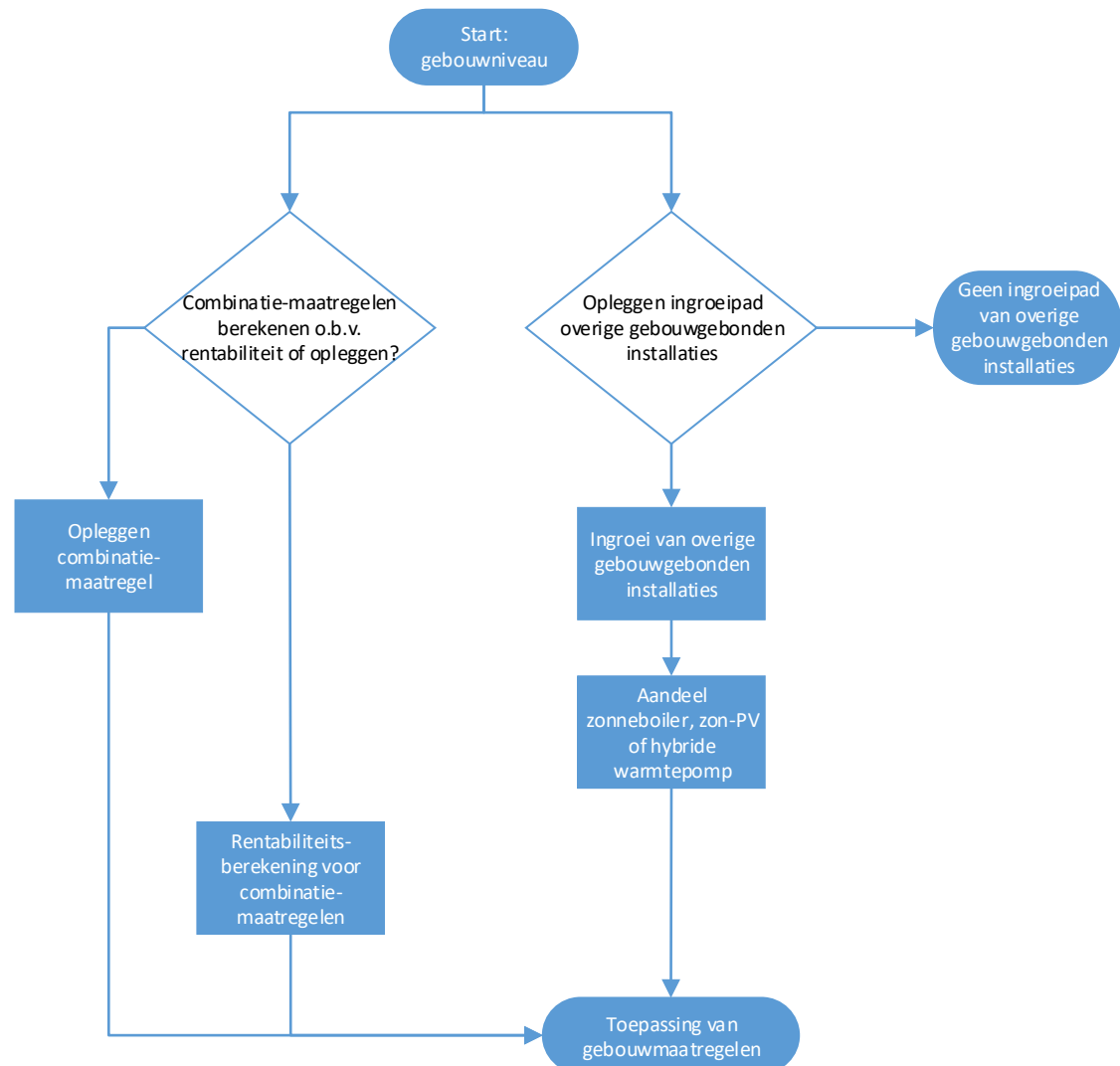


moment (nog) niet mogelijk is om andere gebouwgebonden installaties in te laten groeien in het model op basis van rentabiliteit. Wel is het mogelijk om voor deze installaties een ingroeipad vast te stellen per installatietype om te zien wat de effecten zijn op energie-vraag, CO<sub>2</sub>-uitstoot, de kosten en baten van deze installaties hebben geen effect op de rentabiliteit van de combinatie-maatregelen omdat deze later toegepast worden in model-structuur. Dit ingroeipad wordt door de modelgebruiker exogeen opgegeven, waarbij het nu wordt opgegeven door middel van een percentage. Omdat niet bekend is welke gebouwen de technologie toepast wordt het opgegeven aandeel gelijkmatig toegepast op alle gebouwen, in elk gebouw groeit dus een bepaald aandeel van een technologie in. In de basis is dit een percentage dat wordt opgegeven voor alle gebouwen, maar het is mogelijk om regels toe te voegen en bijvoorbeeld de ingroeipaden te specificeren voor alleen woningen of bepaalde type woningen.

Combinatie-maatregelen kunnen ingroeien op basis van de rentabiliteit van de business-cases, maar deze afweging kan ook worden overgeslagen door een combinatie-maatregel op te leggen. Hierbij wordt de combinatie-maatregel altijd toegepast ook al heeft deze geen positieve businesscase. De effecten op het energieverbruik, CO<sub>2</sub>-uitstoot en de kosten en baten worden wel meegenomen, maar de afweging zelf wordt opgelegd. Ook hier is het uitgangspunt dat dit wordt toegepast voor alle gebouwen, maar het is mogelijk om regels toe te voegen en de ingroeipaden verder te specificeren voor bepaalde type gebouwen.

Het Vesta MAIS-model biedt verschillende mogelijkheden voor de modelgebruiker om de effecten van gebouwmaatregelen mee te nemen in de verkenning die hij/zij wil doen. Voordat een modelgebruiker een verkenning wil maken met het model is het daarom essentieel wat de scope is die de modelgebruiker mee wil nemen voor de gebouwmaatregelen. In Figuur 18 zijn de keuzes die een modelgebruiker hierbij kan maken weergegeven in een stroomdiagram.

Figuur 18 - Stroomdiagram werkwijze berekening gebouwmaatregelen in Vesta MAIS



## 6.4 Gebiedsmaatregelen

Wanneer de afwegingen op gebouwniveau zijn doorlopen is bekend wat de resterende functionele vraag naar warmte is die ingevuld kan worden door collectieve opties. In de berekening van de collectieve opties wordt een groep van gebouwen aangesloten op een warmtenet. De configuraties van deze warmtenetten die meegenomen worden binnen het Vesta MAIS-model zijn divers. Deze warmtenetten kunnen variëren in de temperatuurniveaus waarop de warmte wordt afgeleverd op gebouwniveau, type bronnen die worden gebruikt voor de primaire warmtelevering, de kansrijkheid van bepaalde brontypes, de grootte van het gebied waar het warmtenet wordt uitgelegd en nog diverse andere zaken. Wat deze warmtenetten wel allemaal gemeen hebben is dat er altijd een gebied aangesloten moet worden en daarom worden deze maatregelen binnen het Vesta MAIS-model aangeduid met de term gebiedsmaatregelen.

## Onderscheid warmtenetten op temperatuurniveau

In de modellering van het Vesta MAIS-model wordt ten eerste het onderscheid tussen HT/MT-warmtenetten en LT-warmtenetten, waarbij dit onderscheid is gebaseerd op het temperatuurniveau van de warmte die de warmtebronnen beschikbaar hebben. Voor HT/MT-warmtenetten hebben de warmtebronnen warmte beschikbaar op een temperatuurniveau van 70 °C of hoger, voor LT-warmtenetten heeft de beschikbare warmte een temperatuur lager dan 70 °C. Dit onderscheid wordt gemaakt omdat de HT/MT-warmtenetten warmte kunnen leveren die direct toegepast kan worden om de gebouwen te verwarmen zonder dat hier aanpassing nodig is van de radiatoren die nu veel worden toegepast in bestaande gebouwen. De temperatuurniveaus beschikbaar van LT-warmtebronnen is hiervoor niet direct geschikt. Het temperatuurniveau van deze warmte zou wel kunnen worden verhoogd naar het gewenste temperatuurniveau, of het afgiftesysteem van de gebouwen moet worden aangepast zodat ook lagere temperaturen een gebouw kunnen verwarmen. De impact van het beschikbare temperatuurniveau is vrij groot op het gehele systeem en daarom is dit een belangrijk onderscheid dat ook wordt gemaakt binnen het model.

Zoals later in deze paragraaf wordt toegelicht is er geen verschil in de berekening van distributienetten voor de HT/MT-warmtenetten. Het onderscheid zit hierbij voornamelijk in het type warmtebron dat een HT/MT-warmtenet kan voeden, waarbij binnen Vesta MAIS nu de volgende HT/MT-warmtebronnen worden onderscheiden:

- 1) Restwarmte.
- 2) Geothermie.
- 3) BioWKK.
- 4) Wijk-WKK.

Ook voor de LT-warmtenetten zijn er verschillen in het type warmtebronnen die meegenomen kunnen worden in de berekening maar hier zit ook nog een verschil in de configuratie van het LT-warmtenet zelf. Zo kan de warmte direct aan de gebouwen worden geleverd om vervolgens binnen het gebouw te worden opgewerkt naar het gewenste temperatuurniveau, maar opwerking kan ook gedaan worden met een lokale collectieve warmtepomp voor meerdere gebouwen. Naast de verschillen in de aflevertemperaturen aan gebouwen is er ook nog een verschil in het temperatuurniveau van de warmtebronnen zelf. Het aantal configuraties dat hierdoor gemodelleerd zou kunnen worden groeit hierdoor snel en uiteindelijk is ervoor gekozen om de volgende configuraties van LT-warmtenetten op te nemen in de modellering:

- 5) LT 30-30
- 6) LT 30-50
- 7) LT 30-70
- 8) LT 15-30
- 9) LT 15-50
- 10) LT 15-70
- 11) TEO
- 12) WKO

Hierbij staat het eerste getal dat genoemd wordt voor het temperatuurniveau van de warmtebron in °C en het tweede getal voor de aflevertemperatuur aan de gebouwen in °C.

## Belang van prioriteitsvolgorde gebiedsmaatregelen

Bovenstaande configuraties kunnen worden doorgerekend, maar de modelgebruiker heeft nog wel invloed op de volgorde waarop de rentabiliteit van de configuraties wordt doorgerekend. De volgorde waarin de gebiedsmaatregelen worden meegenomen wordt de prioriteitsvolgorde genoemd, zoals beschreven in Paragraaf 5.5.2.2. Deze prioriteitsvolgorde kan invloed hebben op de uitkomsten van het model omdat er in het model geen optimalisering plaatsvindt van de gebiedsmaatregelen. Waar bij combinatie-maatregelen van gebouwmaatregelen wordt gekozen voor de combinatie-maatregel met de hoogste positieve balans voor de gebouweigenaar wordt deze afweging bij gebiedsmaatregelen niet gedaan. De reden hiervoor is dat er bij gebiedsmaatregelen diverse actoren betrokken zijn en het per configuratie kan verschillen voor welke actor de businesscase het meest gunstig uitvalt. Het model kan geen keuzen maken welke businesscase het belangrijkste is en daarom is ervoor gekozen om geen optimalisering op te nemen voor de gebiedsmaatregelen.

Standaard is de prioriteitsvolgorde binnen het model hetzelfde als hierboven wordt aangegeven, deze start dus met **Restwarmte** en eindigt met **WKO**. Het gevolg van deze prioriteitsvolgorde is dat eerst alle businesscases worden doorgerekend in Nederland met **Restwarmte** als primaire warmtebron. Wanneer de businesscase positief is dan wordt **Restwarmte** toegepast voor dit gebied. Vervolgens wordt dezelfde doorrekening gedaan voor alle gebieden in Nederland met 'Geothermie' als primaire warmtebron en zo worden alle configuraties afgelopen.

Concreet is het mogelijk dat voor een bepaald gebied zowel **Restwarmte** en **Geothermie** een positieve businesscase hebben voor de warmteleverancier, waarbij de businesscase voor **Geothermie** een hogere positieve waarde heeft voor de warmteleverancier dan **Restwarmte**. Het gevolg van de prioriteitsvolgorde die hierboven wordt aangehouden is dat dit gebied nog steeds aangesloten wordt op **Restwarmte**. Deze heeft namelijk een positieve businesscase en staat boven **Geothermie** in de prioriteitsvolgorde. Om te analyseren wat de invloed van deze prioriteitsvolgorde is, is het mogelijk deze volgorde aan te passen. Het is daarbij ook mogelijk om LT-warmtenetconfiguraties hoger in de prioriteitsvolgorde te zetten dan de HT/MT-warmtenetten. De instelling voor deze prioriteitsvolgorde is afhankelijk van de scope van de verkenning, waarbij het ook mogelijk is om bepaalde configuraties niet mee te nemen in de verkenning. De stappen die nodig zijn om dit in te stellen binnen het model worden verder toegelicht op de volgende wiki-pagina:

<https://github.com/RuudvandenWijngaart/VestaDV/wiki/D.1-Doorrekening-van-een-run>

## Rentabiliteit of opleggen

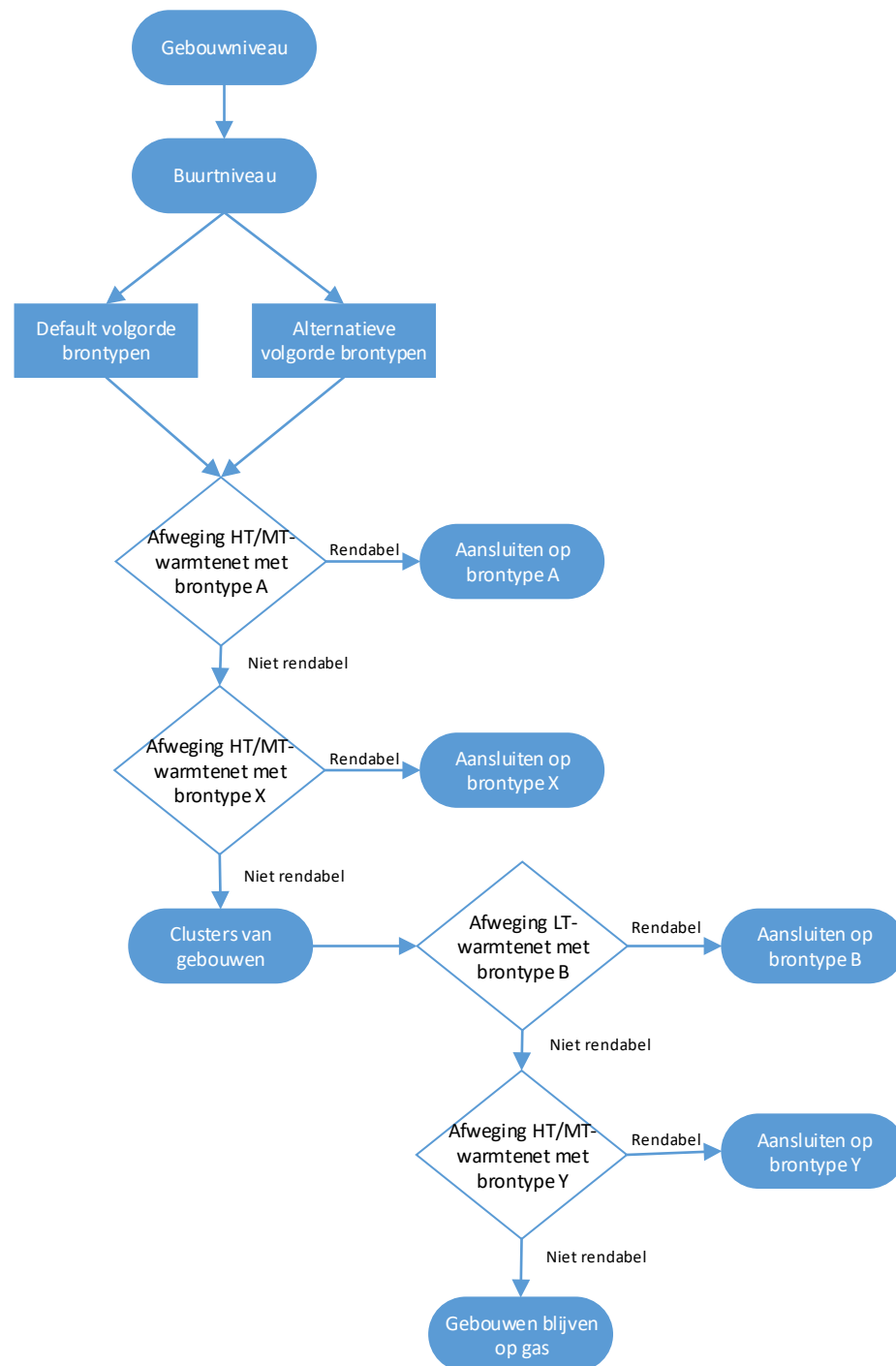
Waar het voor gebouwmaatregelen mogelijk is om de keuze te maken tussen het opleggen van gebouwmaatregelen en de ingroei op basis van rentabiliteit is dit (nog) niet mogelijk voor alle gebiedsmaatregelen. De modelgebruiker kan voor **BioWKK** en **Geothermie** opgeven dat de rentabiliteitsafweging moet worden overgeslagen en dat deze warmtebron moet worden toegepast. Dit heeft als gevolg dat alle verblijfsobjecten in het studiegebied (die bij de afweging van de gebiedsmaatregel nog volledig met aardgas worden verwarmd) dan gebruik gaan maken van de gebiedsmaatregel, ongeacht of deze rendabel is. Dit kan door de instellingen **AlwaysBIO** of **AlwaysGEO** aan te passen, zoals beschreven in Paragraaf 5.4.4.7. In de toepassing van geothermie is dan van belang dat de modelgebruiker ook stilstaat bij de kansrijkheid van geothermie. Standaard wordt in het model uitgegaan van een geothermiecontour die een indicatie geeft van de gebieden waar geothermie potentieel gewonnen kan worden, waarbij de achtergrond wordt beschreven in Paragraaf 5.1.7. Het is ook mogelijk om aan te nemen dat geothermie mogelijk is in het hele studiegebied, dit kan met de functie **GEOcontour** beschreven Paragraaf 5.4.4.8. Het effect van deze functie is dat wanneer wordt aangehouden dat geothermie overal toegepast

kan worden dan hoeven er geen primaire netten te worden gelegd om de gebieden te verbinden die buiten de geothermiecontour vallen. Wanneer wel wordt gerekend met de geothermiecontour worden de kosten van deze primaire netten wel in rekening gebracht.

Voor de overige gebiedsmaatregelen is het op dit moment niet mogelijk om de toepassing van deze maatregelen op te leggen. De ingroei van deze type warmtenetten kan alleen plaatsvinden op basis van rentabiliteitsafwegingen zoals hierboven beschreven. Wel is het mogelijk om specifieke criteria mee te nemen voor de rentabiliteitsafweging. De instelling [LTversusWP](#) kan worden gebruikt om bij de rentabiliteitsafweging van LT-gebiedsmaatregelen de individuele elektrische warmtepomp als referentie te gebruiken in plaats van een individuele aardgasgestookte ketel. De instelling [OnrendabelMT](#) geeft het model de mogelijkheid om ook onrendabele restwarmtenetten door te rekenen. De modelgebruiker bepaalt de hoogte van de toegestane onrendabele top als bedrag per gigajoule geproduceerde warmte. Standaard worden deze instellingen niet gebruikt, maar het is wel mogelijk om hier mee te rekenen als modelgebruiker.

Om meer gevoel te krijgen voor de vaststelling van de kosten/baten van gebiedsmaatregelen wordt in de volgende paragrafen dieper ingegaan op de rekenmethodiek voor gebiedsmaatregel. In deze paragrafen wordt ingegaan op de methodiek maar de rekenregels die hierbij horen zijn opgenomen in Hoofdstuk 7. Een eerste beeld van de werking van de rentabiliteitsafweging voor gebiedsmaatregelen wordt weergegeven in Figuur 19. In dit stroomdiagram is er van de default volgorde van de prioriteitsvolgorde uitgegaan, vandaar dat de afweging eerst wordt doorlopen voor HT/MT-warmtenetten en vervolgens voor LT-warmtenetten. Verder valt op dat de grootte van de gebieden (zoals buurten en clusters van gebouwen) waarvoor wordt gerekend per warmtenet verschillen, dit wordt verder toegelicht in de volgende paragraaf.

Figuur 19 - Stroomdiagramm werkwijze berekenen gebiedsmaatregelen in Vesta MAIS



### 6.4.1 Bepalen vraaggebieden

Na de berekening van de gebouwmaatregelen is per gebouw bekend wat de resterende functionele warmtevraag is die ingevuld kan worden door gebiedsmaatregelen. Om de warmtenetten door te rekenen worden deze gebouwen gecombineerd tot vraaggebieden. Vraaggebieden zijn hierbij groepen verblijfsobjecten waarvoor een gebiedsmaatregel wordt

overwogen. Bij HT/MT-warmtenetten zijn vraaggebieden gelijk aan planregio's, waarbij de CBS-buurt in principe de standaard planregio. Standaard wordt ervan uitgegaan dat 100% van alle verblijfsobjecten meedoet, met uitzondering van verblijfsobjecten die al een andere manier van verwarmen hebben dan individuele aardgasketels. Het percentage verblijfsobjecten dat deelneemt aan de afweging voor HT/MT-warmtenetten kan worden aangepast door de instelling [Deelname](#) aan te passen, toegelicht in Paragraaf 5.4.3.2. Dit kan specifiek worden opgegeven voor alle bebouwingscomponenten.

Bij LT-warmtenetten worden de vraaggebieden niet vastgesteld door middel van een planregio, maar worden vraaggebieden elke keer opnieuw bepaald. De basis voor de vaststelling van de grootte van het vraaggebied is de contributiemarge, de berekening wordt toegelicht in Paragraaf 6.4.1.1. Bij alle LT-warmtebronconfiguraties geldt dat individuele verblijfsobjecten een positieve contributiemarge moeten hebben om onderdeel van het vraaggebied te kunnen worden. Hierbij worden de kosten en baten van het gebouw dat wordt aangesloten op het net van de LT-warmtebron vergeleken met de referentiesituatie. In de meeste gevallen is dit verwarming met een HR-ketel gestookt op aardgas. Dit houdt in dat het saldo van de kosten en baten van een individueel verblijfsobject positief moet zijn. Dit bedrag is de contributiemarge waaruit de aanleg van collectieve infrastructuur en bronkosten betaald moeten worden. Is de contributiemarge van een object negatief dan kan deze niet bijdragen aan het gemeenschappelijke net en wordt deze niet verder meegenomen in de afweging van de LT-warmtenet. Belangrijk om hierbij te vermelden is dat een positieve contributiemarge nog niet per definitie een positieve businesscase geeft, voor de businesscase berekening worden nog andere kosten meegenomen.

Naast een positieve contributiemarge kunnen er nog aanvullende voorwaarden zijn waaraan moet worden voldaan om onderdeel te worden van het vraaggebied van een LT-warmtenet. Voor WKO en TEO wordt eerst voor alle bebouwingsobjecten bepaald of ze in aanmerking komen voor dit type gebiedsmaatregel. In beide gevallen moet het object binnen de WKO-contour liggen en in de uitgangssituatie met een individuele aardgasketel verwarmd worden. Bij TEO geldt aanvullend dat de afstand tot de TEO-contour kleiner moet zijn dan de maximale leidinglengte, gegeven in invoerparameter [L\\_max\\_TEObron](#). Ook worden eisen gesteld aan het isolatieniveau van het gebouw. Default moet een gebouw minimaal Schil-label B hebben om in aanmerking te komen voor WKO of TEO. Bij andere LT-warmtebronnen wordt gekeken of het gebouw minimaal Label E heeft.

De locatie van deze overige LT-warmtebronnen waar LT-warmte beschikbaar is vastgelegd in een puntbronnenbestand. De vraaggebieden voor deze overige LT-warmtebronnen worden bepaald door de verblijfsobjecten in te delen bij de dichtstbijzijnde warmtebron, gezamenlijk vormen deze verblijfsobjecten dan een vraaggebied. In **Error! Reference source not found.** wordt een beeld gegeven van de vraagclusters die ontstaan bij een positieve contributiemarge en de dichtstbijzijnde bron.

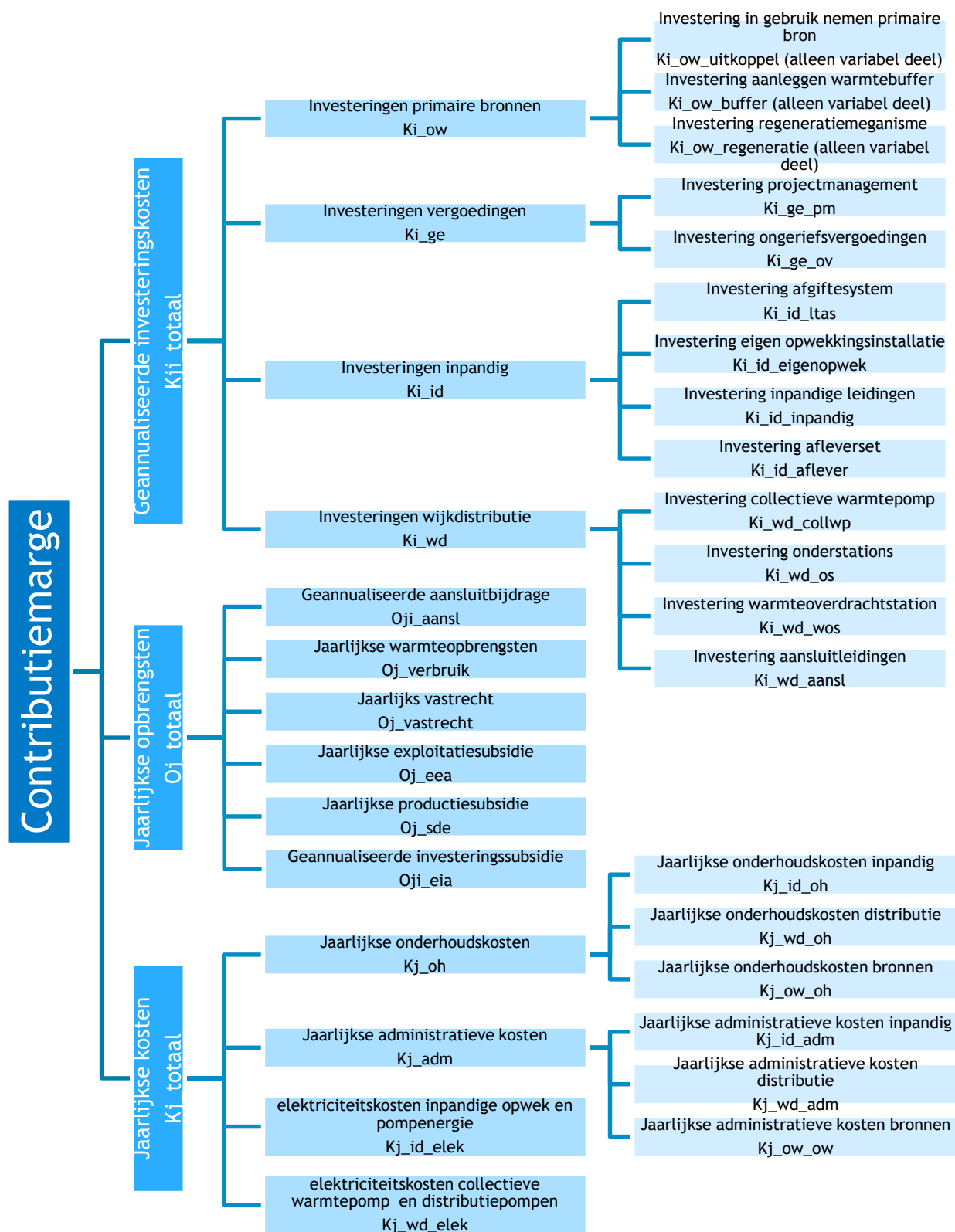




#### 6.4.1.1 Berekening contributiemarge

De basis voor de vaststelling van het vraaggebied bij LT-warmtenetten is de contributiemarge. Deze contributiemarge geeft een beeld van de balans voor kosten en baten die allemaal op individueel niveau al afgewogen kunnen worden. Voor de kosten kan hierbij worden gedacht aan bijvoorbeeld de investeringen die nodig zijn voor de in pandige distributie die elk gebouw moet maken. Daarnaast zijn de investeringen van een primaire bron voor een gedeelte afhankelijk van het gevraagde vermogen door de gebouwen. Per gebouw kan daarom worden berekend wat het qua investeringen zou kosten als deze bron toegevoegd zou worden aan een warmtenet gevoed met een bepaald type warmtebron. Hierbij gaat het alleen om het variabele deel van de investeringen in de primaire bron en wordt de vaste component niet meegenomen in de contributiemarge (want er is nog niet bekend over hoeveel gebouwen deze verdeeld worden). Deze vaste component wordt wel opgenomen in de uiteindelijke totale businesscase van een LT-warmtenet. De baten van een warmtenet zijn vaak wel bekend per gebouw en deze kunnen daarom al worden opgenomen bij de contributiemarge. In Figuur 21 wordt een overzicht gegeven van alle componenten die meegenomen worden in de vaststelling van de contributiemarge. We zullen hier niet alle rekenregels apart behandelen, deze worden namelijk in meer detail behandeld in Paragraaf 7.3.

Figuur 21 - Opbouw contributiemarge per object in LT-warmtenetten



## 6.4.2 Matchen vraaggebieden en bronnen

Met de informatie over de vaststelling van de energievraag in vraaggebieden is het nu mogelijk om een analyse te maken van de matching tussen vraaggebieden en bronnen voor warmte. De methodiek voor deze matching is afhankelijk van het type bron, waarbij het onderscheid wordt gemaakt tussen puntbronnen en contouren. Met puntbronnen worden hier warmtebronnen bedoeld met een vaste locatie, het is mogelijk om met een x- en y-coördinaat aan te geven waar deze bron zich begeeft. Daarnaast zijn er enkele warmtebronnen waarbij de toepassing afhankelijk is van specifieke ruimtelijke beperkingen, zoals de mogelijkheden voor de toepassing van geothermie. De ruimtelijke spreiding in het potentieel van dergelijke warmtebronnen wordt in Vesta MAIS meegenomen op basis van vlakken die aangeven of er potentieel is in een bepaald gebied, deze vlakken worden contouren genoemd.

### 6.4.2.1 Puntbronnen

Een puntbron is een warmtebron met een specifieke locatie, waarbij er een verschil kan zitten in het temperatuurniveau van de beschikbare warmte. Om deze reden wordt er onderscheid gemaakt tussen de HT/MT-puntbronnen en LT-puntbronnen, die elk ook een eigen manier van matching hebben tussen vraag en aanbod. Deze methodieken worden hieronder kort toegelicht, maar de onderbouwing van de huidige waarden voor deze bronnen wordt omschreven in Paragraaf 5.1.7 en de rekenregels in Paragraaf 7.3.

Voor de HT/MT-warmtebronnen is het mogelijk om verschillende puntbronnen op te geven, maar de grootste hoeveelheid bronnen bestaat nu uit restwarmtebronnen. Binnen Vesta MAIS is het mogelijk verschillende typen bronnen (bijvoorbeeld industrie of raffinaderijen) mee te nemen. Maar daarnaast vallen ook type bronnen zoals elektriciteitscentrales of afvalcentrales onder de typering [Restwarmte](#). Deze bronnen hebben wel hun eigen investeringskosten en variabele kosten (euro/GJwarmte), maar vallen wel onder de categorie [Restwarmte](#) binnen het Vesta MAIS-model.

Bij [Restwarmte](#) wordt voor iedere planregio in de eerste iteratieslag de dichtstbijzijnde puntbron beschouwd die voldoende restcapaciteit beschikbaar heeft. Per bron administreert het model door de zichtjaren heen de hoeveelheid nog beschikbare capaciteit, waarbij rekening wordt gehouden met buurten die al eerder op de bron zijn aangesloten. In de tweede (en volgende) iteratieslag wordt de dichtstbijzijnde puntbron en/of centrum van aangesloten planregio beschouwd, weer rekening houdend met de benodigde aansluit capaciteit. In het geval dat binnen één iteratieslag meerdere buurten rendabel zijn om aan te sluiten kan het zijn dat de warmtebron onvoldoende capaciteit heeft voor alle gebieden.

Als dit voorkomt moet er gekozen worden welke buurt wordt aangesloten en welke niet. De toewijzing van gebieden aan een specifieke bron gaat in dat geval in volgorde van maximale opbrengst per eenheid warmtecapaciteit, omdat de warmtecapaciteit van de bron uiteindelijk de limiterende factor is. Dit met als voorwaarde dat de leverancier een haalbare businesscase heeft (zie Paragraaf 6.4.4). In een volgende iteratie zal deze puntbron buiten beschouwing blijven en worden andere minder nabije puntbronnen die nog wel voldoende capaciteit hebben overwogen voor de buurt die niet is aangesloten.

Bij LT-puntbronnen is de locatie van de bron leidend voor het bepalen van het vraaggebied en daarmee ook voor de matching tussen vraag en aanbod. Ieder object is daarmee namelijk op voorhand ingedeeld bij een specifieke puntbron, zoals te zien in [Figuur 20](#)**Error! Reference source not found.** Vervolgens vallen gebouwen met een negatieve contributiemarge af en van de overgebleven objecten wordt eerste degene met de kortste afstand tot de LT-puntbron aangesloten, vervolgens de op een na kortste afstand,

enzovoorts. Zo worden steeds verder weggelegen panden uitgesloten in een uitdijend leveringsgebied tot dat de capaciteit van de bron volledig in gebruik is. Overige gebouwen nemen niet deel aan de gebiedsmaatregelen en blijven bij hun oorspronkelijke methode van verwarmen.

#### 6.4.2.2 Contouren

Naast de warmtebronnen met een specifieke locatie is het ook mogelijk om inschattingen te maken voor warmtebronnen o.b.v. potentieelgebieden, de contouren. Voor de berekening van dit potentieel wordt een check gedaan of het betreffende vraaggebied binnen de potentieelcontour voor de desbetreffende warmte-optie ligt. Wanneer dit het geval is dan wordt ervan uitgegaan dat er geen primair net nodig is om dit vraaggebied te voorzien van warmte door deze warmte-optie. Het is ook mogelijk dat het vraaggebied buiten de contour ligt. In dit geval is het wel nodig om een primair net aan te leggen om het vraaggebied te voorzien van warmte op basis van deze warmte-optie. Het primaire net wordt dan aangelegd van het centrale punt van het vraaggebied naar de dichtstbijzijnde rand van de contour voor de warmte-optie.

Het is binnen het model mogelijk om aan te geven dat er een maximum zit aan de afstand die dit primaire net kan zijn. Zo wordt er standaard vanuit gegaan dat de lengte van het primaire net bij een nieuw WKO-systeem niet langer mag zijn dan een aantal kilometer.

Dergelijke afwegingen kunnen worden meegegeven door de modelgebruiker.

Een belangrijk verschil met de puntbronnen is de bekendheid van het beschikbare warmtevermogen. Voor de puntbronnen wordt een inschatting gemaakt van het beschikbare vermogen van de puntbron en hier wordt ook rekening mee gehouden in de berekening bij de toedeling van capaciteit. Voor de potentieelcontouren is er minder informatie bekend over de hoeveelheid beschikbare vermogen. Binnen Vesta MAIS wordt de aanname gedaan dat er voldoende vermogen beschikbaar binnen de potentieelcontour is om aan de warmtevraag in vraaggebieden te voorzien. Hierbij wordt dus nog geen rekening gehouden met de eventuele uitputting van het beschikbare vermogen voor de warmte-optie in de contour.

### 6.4.3 Configuratie van HT/MT-warmtenetten en LT-warmtenetten

Het verschil tussen HT/MT-warmtenetten en LT-warmtenetten zit in het temperatuurniveau van de warmtebronnen en de schaal van het warmtenet binnen het model.

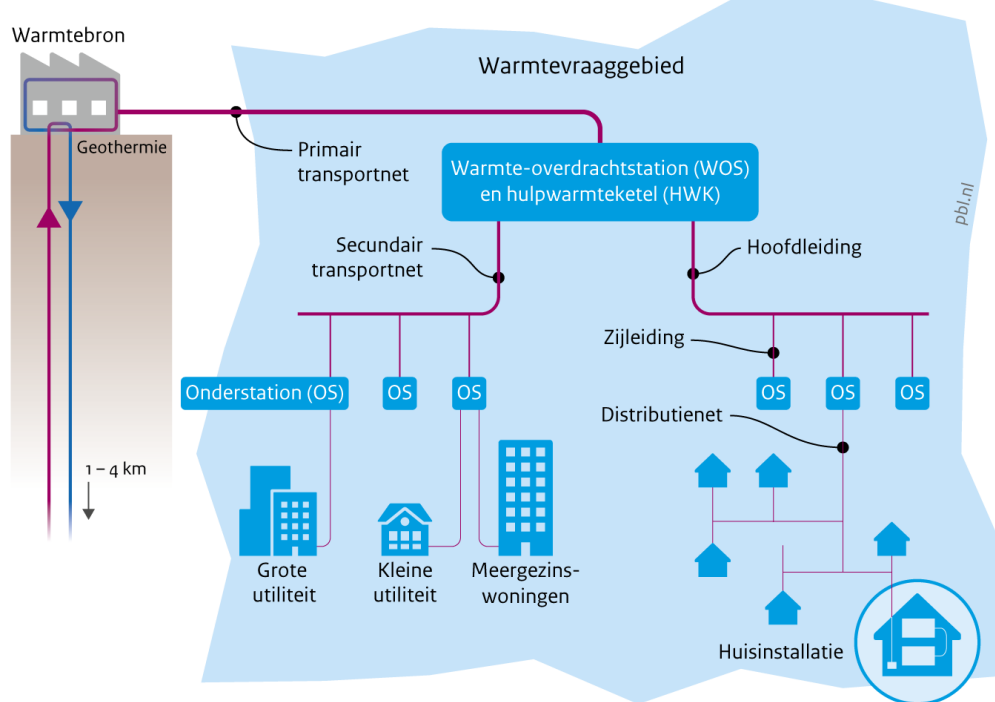
De opbouw qua kostencomponenten van de warmtenetten is in grote lijnen hetzelfde.

Om een beeld te geven van de opbouw van beide type warmtenetten wordt de configuratie van de HT/MT-warmtenetten weergegeven in Figuur 22 - Schematische weergave van de componenten in een HT/MT-warmtenet met geothermie als bron en de configuratie van LT-warmtenetten in

Figuur 23. Na de figuren wordt per kostencomponent kort aangegeven of hier verschillen zitten tussen de HT/MT-warmtenetten, de structuur van de toelichting volgt de structuur zoals beschreven in Figuur 26.

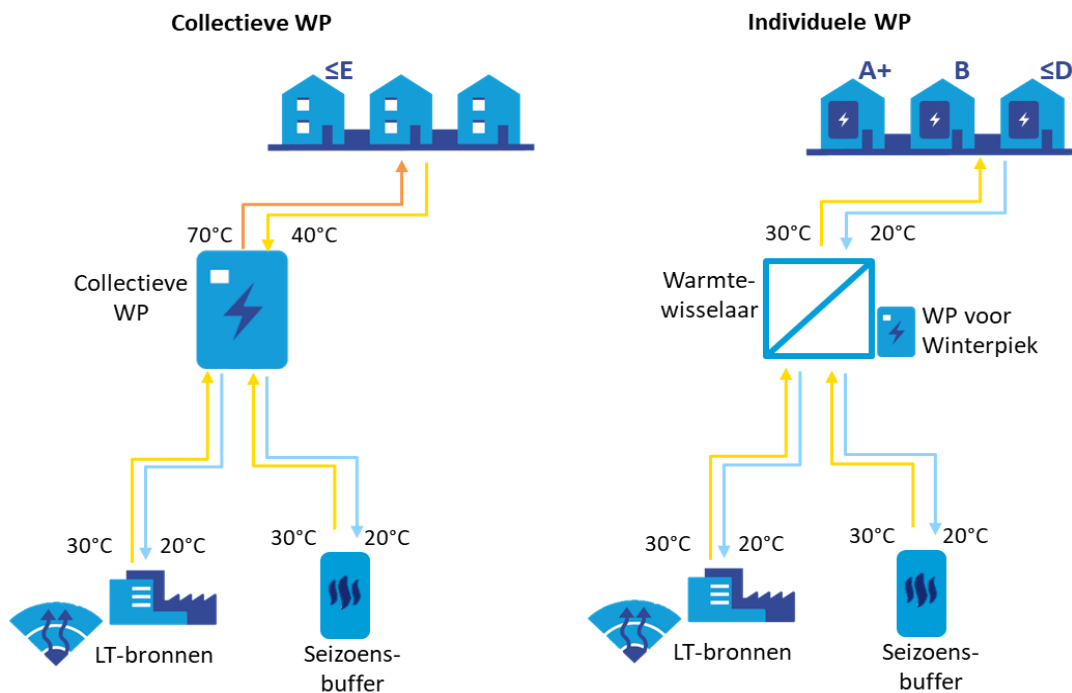
Figuur 22 - Schematische weergave van de componenten in een HT/MT-warmtenet met geothermie als bron

### Componenten warmtenet



Bron: PBL

Figuur 23 - Schematische weergave van de componenten in een LT-warmtenet, voor twee LT-configuraties



#### 6.4.4 Rentabiliteitsberekening gebiedsmaatregelen

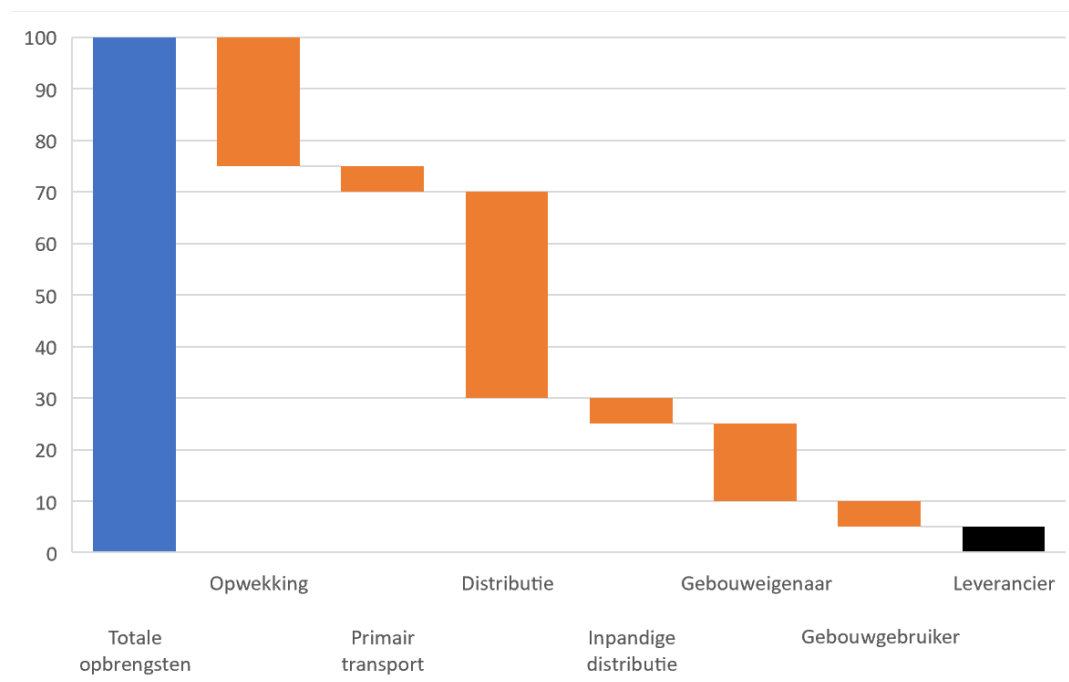
De opbouw van de rentabiliteitsafweging van de LT-warmtenetten en de HT/MT-warmtenetten is ongeveer hetzelfde. Deze worden daarom in deze paragraaf in dezelfde onderdelen beschreven, waarbij uitzonderingen voor één van beide gebiedsmaatregelen zal worden toegelicht. De opbouw van deze paragraaf is als volgt, eerst wordt een beeld gegeven van de opbrengsten voor gebiedsmaatregelen in Paragraaf 6.4.4.1, vervolgens wordt de opbouw van de investeringskosten en de vertaling naar geannualiseerde kosten aangegeven in Paragraaf 6.4.4.2, met daarbij ook de methode voor de jaarlijkse kosten.

Deze opbouw volgt hiermee de algemene opbouw van de rentabiliteitsafweging, die op basis van de volgende berekening wordt gemaakt:

*Jaarlijkse opbrengsten - (jaarlijkse kapitaallasten + overige jaarlijkse kosten).*

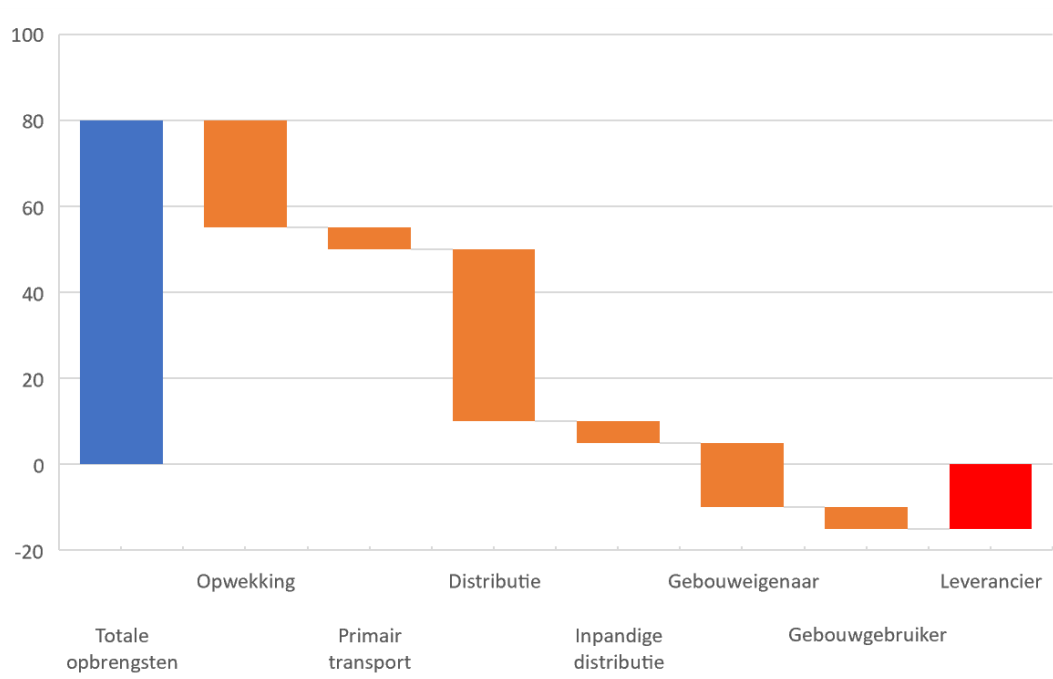
Als deze berekening positief is, dan zijn de opbrengsten hoger dan de kosten en is het project rendabel. Dit betekent dat er binnen het project voldoende jaarlijkse opbrengsten zijn om alle jaarlijkse kosten (CAPEX en OPEX) te dekken. De volgende grafieken geven hiervan indicatief weer hoe dit werkt.

**Figuur 24 -** Indicatief voorbeeld van een rendabel project (blauw geeft de totale opbrengsten weer, oranje zijn kosten, zwart de winst voor de leverancier)





**Figuur 25 -** Indicatief voorbeeld van een onrendabel project (blauw geeft de totale opbrengsten weer, oranje zijn kosten, rood het verlies voor de leverancier)



In Figuur 24 is zichtbaar dat de totale jaarlijkse opbrengsten in het project voldoende zijn om alle jaarlijkse kosten van de actoren te dekken: de leverancier kan ‘zwarte cijfers’ schrijven en het project is daarmee dus rendabel. Figuur 25 laat de situatie zien, waarbij de opbrengsten te laag zijn en de leverancier (fictief) moet bijdragen om alle kosten van de andere actoren te dekken en het project quitte te laten draaien: de leverancier heeft ‘rode cijfers’. Het aanleggen van een warmtenet kan ook kosten en baten voor andere actoren ten gevolge hebben die niet onderdeel zijn van de rentabiliteitsafweging. Dit kan bijvoorbeeld de herverdeling van kosten tussen gebouweigenaren en gebouwgebruikers zijn of vervroegde afschrijving van bestaande HR-ketels in gebouwen.

Bij de aanleg van een warmtenet is er sprake van een investeringsfase en een exploitatiefase. Deze fases worden ook onderscheiden binnen het model, waarbij onderscheid wordt gemaakt naar de inkomsten en uitgaven die horen bij deze fases. In Tabel 11 wordt een overzicht gegeven van deze fases voor de verschillende onderdelen, waarbij opvalt dat een project start met verschillende investeringen en de exploitatiefase pas start vanaf jaar 3. Vanaf jaar 3 worden ook pas de inkomsten geïnd van de uitleg van warmtenetten en dus niet voor de eerste 2 jaren na de investering.

Tabel 11 - Schematische weergave van inkomsten en uitgaven in de tijd in het model met betrekking tot de centrale warmtenetten (en WKO)

Default looptijd is 30 jaar, vanaf aanvang investering; dit is een modelvariabele, door gebruiker te overschrijven								
Defaultlooptijd investeringsperiode is 2 jaar; dit is een modelvariabele, door gebruiker te overschrijven								
Jaar	Investeringsfase				Exploitatiefase			Opmerkingen
	1	2	3	4	...	29	30	
Onderdeel: distributie								
Investering aanleg distributienet	X	X						Inclusief aansluitingen, meters, WOS, piekketels
Uitgaven gas piekketels			X	X	X	X	X	N.v.t. bij WKO en andere LT-netten
Uitgaven bediening en onderhoud, etc.			X	X	X	X	X	Alles wat nodig is om distributienet up and running te houden
Inkomsten verkoop warmte en evt. koude			X	X	X	X	X	
Inkomsten vastrecht			X	X	X	X	X	
Inkomsten aansluitbijdrage			X					
Onderdeel: transport								
Investering uitkoppeling warmte of in warmtebron	X	X						I.g.v. ‘uitkoppeling’: dit betreft bestaande installaties
Investering transportpijpen	X	X						Indien bron buiten het distributieggebied ligt
Uitgaven bediening en onderhoud, etc.			X	X	X	X	X	Alles wat nodig is om transportnet up and running te houden
Uitgaven productie-kosten warmte en eventueel koude			X	X	X	X	X	O.a. derving elektriciteitsproductie bij aftapwarmte elektriciteitscentrale

#### 6.4.4.1 Jaarlijkse opbrengsten

In deze stap worden de totale jaarlijkse opbrengsten in het project bepaald, de rekenregels gerelateerd aan deze opbrengsten worden beschreven in Paragraaf 7.2. Het betreft de opbrengsten die de [Leverancier](#) ontvangt voor de aanleg van het warmtenet en die deze actor gebruikt om de kosten te compenseren van andere actoren. De opbrengsten voor de Leverancier bestaan uit eenmalige opbrengsten, zoals de aansluitbijdrage, en jaarlijkse opbrengsten. De jaarlijkse opbrengsten bestaan uit het vastrecht en de variabele inkomsten afhankelijk van de warmtevraag van gebouwen in het vraaggebied en de warmteprijs.

Voor de aansluitbijdrage van woningen geldt dat wordt aangesloten op het bedrag dat wordt genoemd door de ACM (2018). De aansluitbijdrage is een vast bedrag per woning dat wordt betaald door de woningeigenaar aan de Leverancier. Voor utiliteit en glastuinbouw zijn de tarieven afhankelijk van de capaciteit van de aansluiting (in KW). Er wordt aangenomen dat de eenmalige aansluitbijdrage twee jaar<sup>13</sup> na aanvang van de investeringen wordt geïnd. De reden hiervoor betreft de aanname dat niet vanaf jaar 0 alle gebouwen zijn aangesloten op een warmtenet. Meestal worden de gebouwen verspreid over een

<sup>13</sup> Betreft een default, die te overschrijven is, zie Paragraaf 5.4.4.

periode van 4 jaar vanaf de start van een project aangesloten. Binnen het model wordt voor de eenvoud uit gegaan van een gemiddelde waarbij er de eerste twee jaar nog geen opbrengsten zijn en daarna volledig binnen komen.

Voor het vastrecht geldt dat dit een vast bedrag per jaar is voor alle gebouwtypes, deze is voor utiliteit en glastuinbouw dus niet afhankelijk van het vermogen van de aansluiting. Hierbij verschillen de vastrechtbedragen wel tussen de verschillende gebouwtypes en deze zijn nu gebaseerd op **ACM 2018**. Als modelgebruiker is het wel mogelijk deze bedragen aan te passen indien de modelgebruiker een ander inzicht heeft over de hoogte van het vastrecht. De andere vorm van jaarlijkse kosten zijn de variabele kosten afhankelijk van het verbruik van een gebouw.

De variabele kosten worden gebaseerd op het warmteverbruik van een gebouw en de prijs van warmte. Voor de prijs van warmte wordt uitgegaan van het Niet Meer Dan Anders (NMDA)-principe, zoals beschreven in **ACM 2018**. Dit principe geeft aan dat de maximum-prijs van warmte voor een gebruiker niet hoger mag zijn dan de kosten die een gebruiker maakt bij het gemiddelde gebruik van gas als energiebron. De hoogte van de warmteprijs is daarbij afhankelijk van het type gebouw. Woningen vallen eigenlijk allemaal onder het kleinverbruikerstarief voor gas en daarom worden deze tarieven ook meegenomen in de vaststelling van de warmteprijs van woningen. Voor utiliteit en glastuinbouw worden andere tarieven in rekening gebracht, zo wordt voor utiliteit de staffel doorlopen voor gasprijzen waardoor de gasprijs afhankelijk is van de grootte van het verbruik door utiliteit. Voor glastuinbouw worden aparte prijzen gehanteerd voor gas (en daarmee ook voor warmte) omdat deze een energiebelastingtarief hebben die afwijkt van de staffel. Standaard wordt er uitgegaan van het NMDA-principe, maar het is als modelgebruiker mogelijk om hier andere verkenning mee te doen. Zo is het mogelijk te rekenen met een **Vaste warmteprijs**, zoals beschreven in Paragraaf 5.4.2.15. Hierbij geldt deze vaste warmteprijs nu nog wel voor alle gebouweigenaren en nog niet apart opgegeven kan worden voor de verschillende gebouwtypen. Daarnaast is het ook mogelijk om af te wijken van het NMDA-principe, door bijvoorbeeld aan te geven dat de kosten voor warmte 10% lager moeten zijn ten opzichte van de verwarming met gas, of andersom. Dit kan worden gedaan door de **MinderDanAndersFactor**, beschreven in Paragraaf 5.4.2.14. Dit heeft invloed op de opbrengsten van het warmtenet en daarmee ook op de rentabiliteit.

Naast de bovenstaande opbrengsten is het ook mogelijk dat er subsidies worden meegenomen in de berekening of andere specifieke opbrengsten. Afhankelijk van het niveau waarop deze subsidie of andere opbrengsten worden vastgesteld wordt op verschillende momenten in de berekening geaggregeerd van gebouwniveau naar gebiedsniveau. Hierbij wordt ook op verschillende momenten de vertaalslag gemaakt van investeringsbedragen naar geannualiseerde jaarlijkse kapitaallasten.

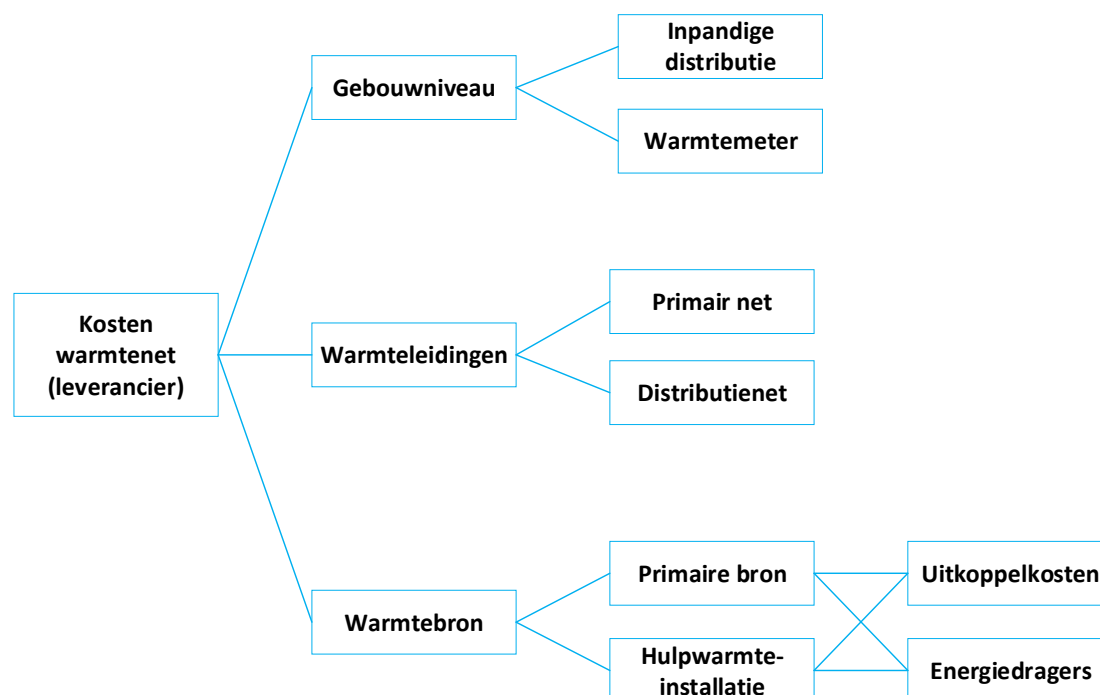
Als laatste is er nog een algemene instelling die invloed heeft op de opbrengsten van een warmtenet, namelijk de instelling **Deelname** (beschreven in Paragraaf 5.4.3.2). Hier kan worden aangegeven dat in de rentabiliteitsafweging er niet van wordt uitgegaan dat het hele vraaggebied wordt aangesloten, maar alleen een bepaald percentage. De kosten en opbrengsten worden aangepast naar het percentage van dit deelnamepercentage. Dit is één van de instellingen, maar er zijn nog andere instellingen die invloed hebben op de kosten en opbrengsten welke beschreven staan in Paragraaf 5.4.

#### 6.4.4.2 Jaarlijkse kosten

Het Vesta MAIS-model rekent per gebied uit wat de jaarlijkse kosten zijn. Hierbij worden de investeringen omgerekend naar jaarlijkse kapitaallasten (CAPEX) en worden de jaarlijkse operationele kosten bepaald (OPEX). Zowel de CAPEX als de OPEX worden

gealloceerd naar één van de acht door het model gebruikte actoren. Per actor wordt een specifieke discontovoet toegepast om de investeringen om te rekenen naar CAPEX (zie Bijlage A voor waarden discontovoet). In Figuur 26 zijn de hoofdonderdelen van de kosten van een warmtenet weergegeven.

Figuur 26 - Onderdelen kosten warmtenet



Dit geeft het generieke beeld van de componenten die een rol kunnen spelen in de kosten van warmtenetten. De hoogte van deze kosten zijn afhankelijk van het type bron, waarbij er ook configuraties van warmtenetten zijn waar sommige componenten helemaal geen rol spelen. Denk hierbij aan de LT-puntbronnen, sommige configuraties hebben geen primair net om van een bron naar een bepaalde buurt te komen maar hier worden alleen de kosten in beeld gebracht van het distributienet. Voor de toepassing van geothermie is het afhankelijk van de locatie van het vraaggebied ten opzichte van de contour of er kosten voor een primair net zijn. Dit is een voorbeeld van een kostencomponent waarin variatie zit afhankelijk van het type warmtenet, maar zo zijn er meer componenten waar dit speelt waarbij deze in detail worden weergegeven in Paragraaf 7.3 en 7.4.

## Warmtemeter

De toepassing van energiebesparende maatregelen en individuele gebouwgebonden installaties wordt beschreven in Paragraaf 6.3. Maar ook bij gebiedsmaatregelen zijn er aanpassingen in het gebouw om te zorgen dat aan de functionele vraag naar warmte voldaan kan worden. Voor zowel LT-warmtenetten als HT/MT-warmtenetten is dit de vervanging van de gasketel door een warmtemeter, zoals beschreven in Paragraaf 0.

## Inpandige distributie

De inpandige distributie omvat de kosten die worden gemaakt om binnen een gebouw de warmte te verdelen. Deze kosten hebben binnen het Vesta MAIS-model alleen betrekking op appartementen omdat er hierbij binnen het gebouw leidingen nodig zijn om de woningen aan te sluiten op een warmtenet en deze gelden voor zowel een HT/MT-warmtenet als een LT-warmtenet. Voor grondgebonden woningen wordt ervan uitgegaan dat er geen inpandige kosten zijn. De hoogte van de inpandige distributiekosten is afhankelijk van de aanwezigheid van blokverwarming.

In de huidige situatie is het namelijk zo dat een gedeelte van de appartementen wordt verwarmd door middel van een centrale ketel voor het gehele appartementencomplex, aangeduid met blokverwarming. Het overige gedeelte van de appartementen heeft wel allemaal aparte ketels en dit wordt aangeduid met de verketelde situatie. Het is bekend dat beide situaties zich voordoen maar het is niet bekend waar deze blokverwarming zich bevindt. Daarom is het niet mogelijk om de daadwerkelijke situatie weer te geven, wel is het als modelgebruiker mogelijk om het aandeel blokverwarming in te stellen ([IndividueleVerwarmingSchuif](#)). Het aandeel blokverwarming is nu gebaseerd op een analyse van het aandeel appartementen met blokverwarming in WoON 2012. Het aandeel blokverwarming heeft namelijk invloed op de kosten van de inpandige distributie. De kosten zijn namelijk lager indien er al blokverwarming aanwezig is in het gebouw. In dit geval hoeft er namelijk geen aanpassing te worden gedaan aan de leidingen in het gebouw zelf. De leidingen moeten wel worden vervangen wanneer er sprake is van een verketelde situatie, het is namelijk niet mogelijk om aan de warmtevraag te voldoen wanneer gebruik zou worden gemaakt van de aardgasleidingen. Het aandeel blokverwarming heeft dus invloed op de kosten die moeten worden gemaakt voor de inpandige distributie, verder toegelicht in Paragraaf 7.3.4.

Voor de LT-warmtenetten zijn deze inpandige kosten ook van toepassing, maar hier is het mogelijk dat er nog andere maatregelen worden getroffen. De toepassing van deze maatregelen is afhankelijk van de configuratie van de LT-warmtenetten. Er zijn namelijk drie configuraties die een temperatuur aanleveren die lager is dan 70 °C, in deze gevallen zullen de huidige radiatoren moeten worden vervangen door een lagetemperatuur afgiftesysteem, de kosten om dit te doen worden meegenomen in het model.

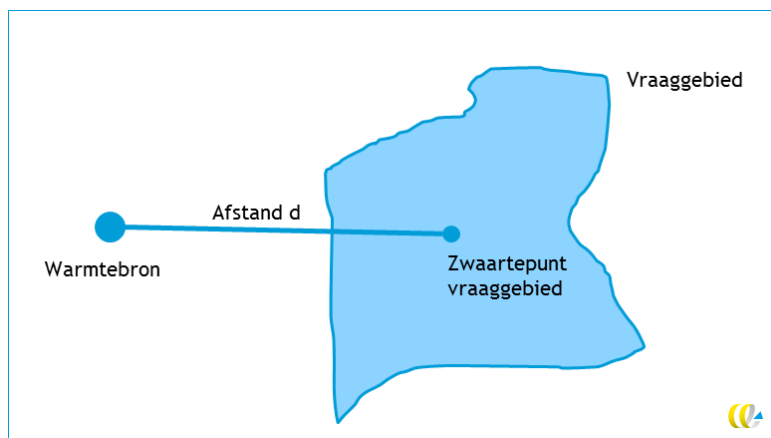
Daarnaast zijn er configuraties van LT-netten waar lokaal een (booster-) warmtepomp wordt geplaatst om te voorzien in de vraag naar ruimteverwarming en warm water. In het geval van [LT\\_3050](#) is de aangeleverde warmte wel voldoende voor ruimteverwarming maar moet deze nog lokaal worden opgewerkt voor de warm tapwatervoorziening. Hiervoor wordt dan niet een normale warmtepomp gebruikt, maar een kleinere booster-warmtepomp. De configuratie [LT\\_3030](#) bevat ook een warmtepomp maar deze is groter dan de boosterwarmtepomp omdat deze de warmte moet opwerken vanaf een lagere aanlever-temperatuur naar de gewenste temperatuur voor ruimteverwarming en warm tapwater.

## Primair net

Het primaire net omschrijft de verbinding die nodig is om een warmtebron te verbinden met het vraaggebied. Het gaat hierbij dus om een enkele leiding die zorgt dat de warmte wordt getransporteerd van de warmtebron naar het vraaggebied en niet om de verdeling van de warmte binnen het vraaggebied. Dit laatste wordt gedaan binnen de distributie. De kosten voor het primaire net worden vastgesteld door de lengte vast te stellen vanaf de warmtebron naar het zwaartepunt van het vraaggebied, zoals weergegeven in Figuur 27. Vervolgens wordt berekend op hoeveel vermogen de leiding moet worden gedimensioneerd

en dit vertaalt zich in de kosten per meter primair net, verder toegelicht in Paragraaf 0. Deze kosten worden vervolgens vermenigvuldigd met de omwegfactor omdat een leiding niet altijd recht aangelegd kan worden. Dit levert de totale investeringskosten op om de warmtebron te verbinden met het vraaggebied.

Figuur 27 - Schematische weergave van bestaande MT-warmtebron en vraaggebied

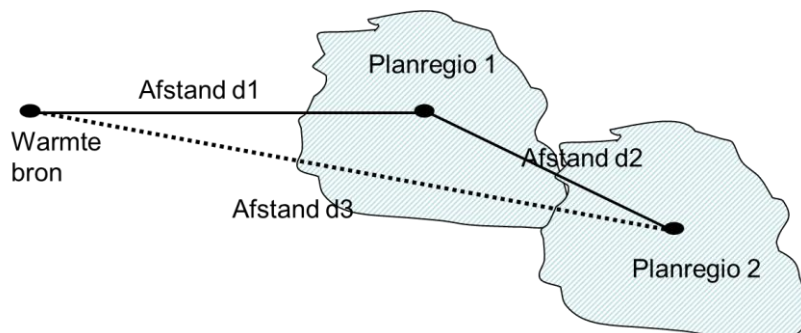


### Aaneenrijgen van buurten bij restwarmte (alleen voor MT-bronnen)

Naast de 1-dimensionale verbinding, zoals weergegeven in Figuur 27, is het ook mogelijk om het primaire net door te takken. Zo hoeft er niet naar elk afzonderlijk gebied een apart primair net aangelegd te worden, maar kan een planregio aangesloten worden op een warmtenet in een nabijgelegen planregio. Op deze manier worden de investeringskosten voor het aanleggen van het primaire net in de tweede buurt lager dan wanneer deze individueel aangekoppeld moet worden. Dit principe wordt weergegeven in Figuur 28. Het Vesta MAIS-model kan hiermee berekenen of het rendabel is voor een afzonderlijk gebied om een warmtenet aan te leggen met een MT-puntbron als primaire bron, maar het model kan ook de rentabiliteit berekenen wanneer meerdere buurten worden aaneengeregen vanuit dezelfde bron.

Om planregio 1 aan te sluiten op een warmtenet is het nodig om een primair net aan te leggen met de afstand  $d_1$ . Als een warmtenet rendabel is in planregio 1 dan wordt vervolgens de kansrijkheid van de toepassing van een warmtenet in Planregio 2 door-gerekend. De verder weggelegen Planregio 2 is op zich kansrijk voor een warmtenet, maar de investeringen in het primaire transport over de afstand  $d_3$  maken de businesscase toch onrendabel. Als de primaire transportleiding van Buurt 1 wordt doorgetrokken naar Buurt 2, over de afstand  $d_2$ , zijn de primaire transportkosten voor buurt 2 lager. Hiermee kan de businesscase voor Buurt 2 veranderen waardoor deze alsnog rendabel zou kunnen worden. In het geval van doorgekoppelde leidingen speelt wel mee dat dan ook de oorspronkelijke leiding over afstand  $d_1$  groter gedimensioneerd moet worden om voldoende warmte te kunnen vervoeren om beide buurten te kunnen voorzien. De extra kosten van het groter dimensioneren van die leiding worden aan Buurt 2 toegerekend.

Figuur 28 - Schematische weergave van het aaneenrijgen van warmteleveringsgebieden



#### Opmerkingen:

1. Het model houdt geen rekening met de mogelijkheid om in het ene zichtjaar transportverbindingen met extra grote capaciteit aan te maken, zodat in een later zichtjaar eventuele nieuwbouw in een nog niet eerder aangesloten CBS-buurt kan worden aangesloten. Het model beschouwt de situatie in het nieuwe zichtjaar als nieuw, en voert het algoritme van voren af aan uit. Indien het gaat om nieuwbouw binnen een reeds eerder aan een warmtebron toegewezen planregio, dan neemt het model aan dat die nieuwbouw op die warmtebron wordt aangesloten, daarbij wordt geen toets meer uitgevoerd of er voldoende capaciteit beschikbaar is.
2. Het algoritme is zo ingericht dat de meest rendabele gebieden worden aangesloten op een warmtevoorziening. Het bewust maken van een omweg met een verbinding, zodat de verbinding door een minder rendabel, naastgelegen bebouwingsgebied loopt en deze kan worden aangesloten, is een optimalisatie die niet is ingebouwd in het model.

### Distributienet (inclusief hulpwarmte-installatie)

Het primaire net transporteert de warmte van een puntbron naar het zwaartepunt van een vraaggebied. Vervolgens moet de warmte worden verdeeld binnen het vraaggebied tot aan de gebouwen en deze verdeling vindt plaats binnen het distributienet. Hierbij omvat het distributienet niet alleen de leidingen om de warmte te distribueren tot aan de gebouw-eigenaren, maar ook de verdeelstations die worden gebruikt om dit te verdelen.

Het startpunt voor deze warmteverdeling is het Warmte Overdracht Station (WOS), een station dat afhankelijk van de configuratie van het warmtenet direct bij de primaire bron kan staan of elders in het vraaggebied. In het geval van restwarmte wordt deze bijvoorbeeld fictief in het zwaartepunt gezet van het vraaggebied. Het kan ook voorkomen dat in de praktijk er meerdere stations worden neergezet in plaats van één groot station.

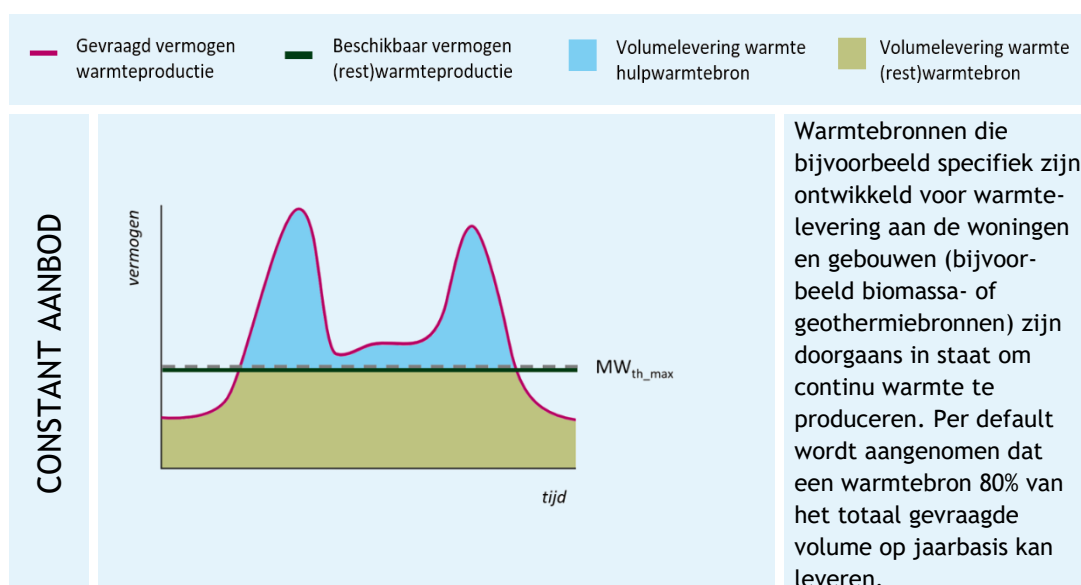
### WOS en hulpwarmte-installatie

In de modellering wordt ervan uitgegaan dat de WOS naast een verdeelstation ook een installatie bevat die de piekvraag op kan vangen en eventuele andere schommelingen in de warmtelevering op kan vangen. Deze installatie wordt ook wel aangeduid met de term hulpwarmte-installatie, waarbij deze installatie verschilt tussen HT/MT-warmtenetten en LT-warmtenetten. Voor de HT/MT-warmtenetten is dit een collectieve gasketel en voor de LT-warmtenetten is dit een collectie warmtepomp die warmte opwerkt van de aangeleverde temperatuurniveaus naar het gewenste temperatuurniveau. De verschillende typen installaties verschillen in investeringen en energiekosten, maar de dimensionering van de capaciteit gebeurt in beide gevallen op de benodigde omvang in KW.

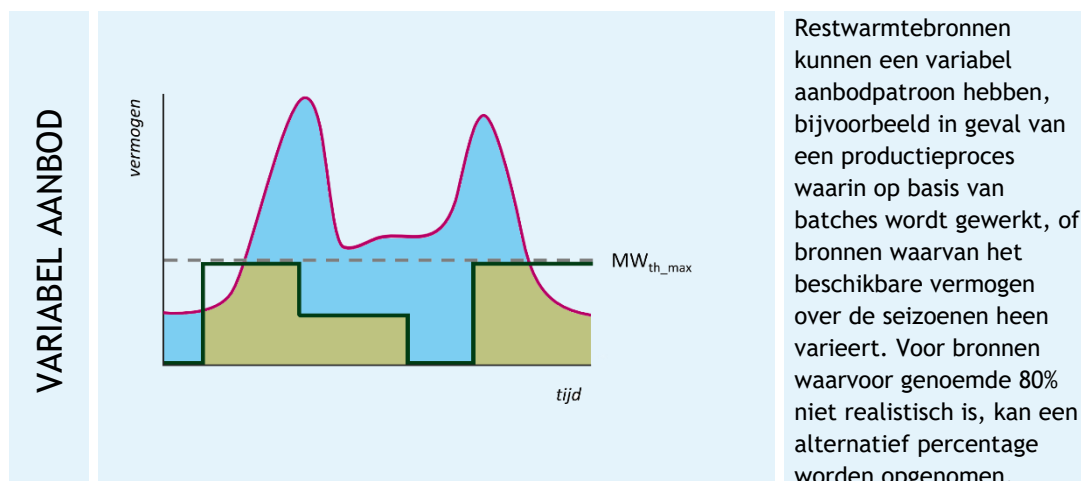
De benodigde omvang wordt vastgesteld door te berekenen wat de maximale capaciteit van de gebouwen is, waarbij rekening wordt gehouden met gelijktijdigheid. Vervolgens wordt een verdeling gemaakt tussen de primaire bron voor warmtelevering en de hulpwarmte-installatie, waarbij de verdeling in capaciteit niet altijd op 100% capaciteit. De reden hiervoor is dat de hulpwarmte-installatie genoeg vermogen moet hebben om de gebouwen van warmte te voorzien indien de primaire bron wegvalt. Om deze reden is er sprake van een overdimensionering van het benodigde vermogen. Standaard wordt er voor een warmtenet met restwarmte als bron vanuit gegaan dat 30% van het vermogen wordt ingevuld door de primaire bron en +/- 85% door de hulpwarmte-installatie. Dit geeft hiermee een overdimensionering van 15% op het totale benodigde vermogen.

Eenzelfde type verdeling wordt gemaakt voor het volume van warmte dat wordt geleverd door de primaire bron en de hulpwarmte-installatie. Dit volume komt wel op 100% uit, alleen de verdeling is tegenovergesteld aan dat van het vermogen. Dit komt namelijk uit, voor een warmtenet gevoed met restwarmte, op 80% door de primaire bron en 20% door de hulpwarmte-installatie. De reden voor deze verdeling is dat wordt aangenomen dat de primaire bron de basislast levert en daarom een groot volume, waarbij de hulpwarmte-installatie alleen levert op piekmomenten en als de primaire bron bijvoorbeeld in onderhoud is.

### Tekstbox 3 - Toelichting op verdeling primaire bron en hulpwarmte-installatie







De hierboven beschreven percentages zijn de standaard uitgangspunten binnen het Vesta MAIS-model. Als modelgebruiker is het mogelijk dit aan te passen. Wanneer een modelgebruiker dit op bronniveau weet dan is het mogelijk om dit aan te passen in het punt-bronnenbestand zelf. Als hier geen waarde in staat dan wordt teruggevallen op het uitgangspunt voor het type bron dat is opgegeven. Deze standaardwaarden kunnen ook worden aangepast door de modelgebruiker zodat deze kan zien wat het effect is op de uiteindelijke ingroei van warmtenetten.

## Onderstations en lengte distributienet

Naast het centrale punt voor verdeling van warmte zijn er ook kleinere verdeelpunten van warmte in een warmtenet, de zogeheten onderstations (OS). Deze onderstations kunnen ook uitgerust zijn met warmtewisselaars of pompinstallaties, maar het kunnen ook louter verdeelstations zijn. Afhankelijk van de vraag van het gebouw is het mogelijk om meerdere gebouwen (bijvoorbeeld meerdere woningen) aan te sluiten op één onderstation of is het mogelijk dat een onderstation alleen levert aan één gebouw (bijvoorbeeld een groot utiliteitsgebouw). Voor de vaststelling van het benodigde vermogen voor onderstations wordt rekening gehouden met de gelijktijdigheidsfactoren van woningen en utiliteit. Dit benodigde vermogen werkt vervolgens direct door op de kosten voor onderstations.

Om de warmte te verspreiden binnen een vraaggebied wordt gebruik gemaakt van twee typen leidingen, namelijk distributieleidingen en aansluitleidingen. De distributieleidingen verspreiden warmte door het vraaggebied en strekken van de WOS tot aan de uiteinden van het distributienet. De methode voor de vaststelling van de lengte voor dit distributienet is afhankelijk van het type warmtenet dat wordt overwogen. Een gedetailleerde toelichting van de methodieken per type warmtenet wordt verder toegelicht in Paragraaf 7.3.3. Hierbij kan het afhankelijk zijn van de oppervlakte van het vraaggebied dat moet worden aangesloten (voor LT-netten) of de lengte van het weggennet in een CBS-buurt voor de berekening van HT/MT-warmtenetten.

Het laatste gedeelte van het leidingnet is de aansluitleiding. Dit is de leiding van het distributienetwerk in de straat naar de gevel van een pand of tot aan de warmtemeter net binnen het pand. Er is een inschatting gemaakt van de afstand tussen de gevel van een gebouw en de straat, vervolgens wordt het gemiddelde aantal meters aansluitleiding per CBS-buurt vastgesteld. Deze gemiddelde lengte wordt vervolgens gebruikt om een

inschatting te maken van de kosten voor de aansluitleidingen door dit te vermenigvuldigen met de kosten per meter, afhankelijk van het benodigde vermogen.

## Primaire bron

De warmte wordt gedeeltelijk geleverd door de hulpwarmte-installatie, maar grotendeels door de primaire bron voor warmte. Binnen het model kunnen de volgende puntbronnen meegenomen worden:

- HT/MT-puntbronnen:
  - STEG (elektriciteitscentrale op aardgas);
  - kolen (elektriciteitscentrale op kolen);
  - gasmotor (kleinschalige gasturbine voor warmte- en elektriciteitsproductie);
  - industrie (industriële bedrijf dat restwarmte van processen kan leveren);
  - raffinaderij (raffinaderij die restwarmte van processen kan leveren);
  - AVI (afvalverwerkingsinstallatie die warmte levert uit afvalverbranding);
  - BMC (biomassacentrale waar warmte wordt gegenereerd uit biomassa);
  - geothermie (aardwarmtebron met potentieel voor MT-warmtelevering);
  - bio-WKK (kleinschalige biomassaketel voor warmte- en elektriciteitsproductie).
- LT-puntbronnen:
  - middelgrote industrie (bedrijventerrein);
  - rioolwaterzuivering;
  - koel- en vrieshuizen;
  - industriële bakkerijen;
  - industriële wasserijen;
  - diervoederbedrijven;
  - levensmiddelenindustrie;
  - slachthuizen;
  - datacenters;
  - Kunstijsbanen;
  - Supermarkt.
- Contouren:
  - geothermie;
  - aquathermie;
  - WKO.

Deze bronnen kunnen bijna allemaal ingezet worden als primaire bron voor een warmtenet, alleen aquathermie is altijd in combinatie met een WKO-systeem en is dus geen bron die zelfstandig een warmtenet kan voorzien. Voor al deze bronnen worden apart de investeringskosten in beeld gebracht om een bestaande bron uit te koppelen of voor een nieuwe installatie in het geval van de contouren. Daarnaast worden ook de variabele kosten in beeld gebracht om de warmte te produceren, deze verschilt ook per type bron.

**6.4.4.3 Overzicht van investeringskosten, O&M kosten, energiekosten en overige kosten**  
In Figuur 26 wordt een schematisch overzicht gegeven van de verschillende kostencomponenten van een warmtenet. Hieronder wordt per kostencomponent aangegeven of er investeringskosten, onderhoudskosten en/of kosten voor de inzet van energiedragers mee worden genomen in het model.

Investeringskosten:

- warmtemeter;
- in pandige distributie;
- primair net;

- distributienet;
- hulpwarmte-installatie;
- primaire bron.

Onderhoud en beheerkosten (inclusief eventuele administratiekosten):

- in pandige distributie;
- primair net;
- Distributienet;
- hulpwarmte-installatie;
- primaire bron.

Kosten voor de inzet van energiedragers:

- in pandige distributie (in het geval van LT-warmtenetten is dit de inzet van elektrische warmtepompen op gebouwniveau);
- Distributie;
- hulpwarmte-installatie;
- primaire bron (afhankelijk van het type bron).

Overige kosten:

- projectmanagement;
- vergoeding aan bewoners.

De onderhouds- en beheerkosten en de kosten voor de inzet van energiedragers zijn al jaarlijkse kosten. De investeringskosten zijn een eenmalig bedrag en deze worden vertaald naar jaarlijkse kosten door middel van een annualisatiefactor. Deze annualisatiefactor is een vertaling van de discontovoet, welke kan verschillen per actor. Zo kan een modelgebruiker verschillende discontovoeten opgeven voor de opwekker en voor de wijkdistributeur. De overige kosten zijn ook eenmalige kosten die moeten worden gemaakt en deze worden ook vertaald naar jaarlijkse kosten door middel van een annualisatiefactor.

#### 6.4.4.4 Bepalen haalbaarheid businesscase

De som van de opbrengsten (geannualiseerd met de discontovoet van de leverancier) wordt vergeleken met de som van de kosten (geannualiseerd met de discontovoet van de betreffende actoren). Hierbij wordt gekeken of de jaarlijkse baten voldoende zijn om de jaarlijkse lasten te dekken. Indien dit het geval is dan is warmtelevering in het vraaggebied rendabel. Indien dit niet het geval is wordt er geen gebiedsoptie ingezet en blijft de bestaande situatie gehandhaafd.

## 6.5 Infrastructuur gas en elektriciteit

De invulling voor de modellering van gas- en elektriciteitsinfrastructuur is tot stand gekomen met input van een aantal regionale netbeheerders (Stedin, Enexis en Alliander). Zij hebben hun kennis, ervaring en inschattingen gedeeld en waar mogelijk is dit aangevuld met de eigen kennis binnen PBL. Hierbij beperkt het Vesta MAIS zich tot de systeemgrens op buurniveau (Paragraaf 6.5.1) en enkele ingrepen (Paragraaf 6.5.2). Het is van belang te benadrukken dat de rekenmethodes geen inzicht geven in de gevolgen voor de regionale en nationale E- en G-structuur en de finale situatie dat de warmtetransitie volledig wordt bereikt.

### 6.5.1 Systeemgrens

De modellering van effecten van aanpassingen aan de warmtevoorziening op de E- en G-infrastructuur is in Vesta MAIS beperkt tot directe effecten op buurniveau<sup>14</sup>. De afbakening van buurniveau bevat binnen de conceptuele kaders die hier gehanteerd worden de volgende componenten:

<sup>14</sup> Met buurt wordt in deze notitie verwezen naar CBS-buurtindelingen.

- Gasnetten:
  - gasmeter in gebouw;
  - aansluitleiding van gasmeter naar lage druk gasnet;
  - lage druk gasnet in de buurt (verder G-net);
  - districtstation waar het lage druk gasnet overgaat op het hoge druk gasnet.
- Elektriciteitsnetten:
  - elektriciteitsmeter in gebouw;
  - aansluitkabel van elektriciteitsmeter naar het laagspanningsnet;
  - laagspanningsnet in de buurt (verder E-net);
  - middenspanningsruimte waar het laagspanningsnet overgaat op het midden-spanningsnet.

### 6.5.2 Mogelijke ingrepen

Als gevolg van technische maatregelen in de warmtevoorziening kan een aantal aanpassingen van de E- en G- infrastructuur nodig zijn. Op dit moment zijn kosteninschattingen voor de volgende mogelijke technische ingrepen op deze infrastructuur met Vesta MAIS te berekenen:

1. **Verwijderen van gasmeter en aansluitleiding:** zodra in een verblijfsobject<sup>15</sup> geen gas meer wordt gebruikt, wordt de aansluitleiding en de gasmeter verwijderd (verder: G-aansluiting).
2. **Verwijderen van G-net:** zodra een hele buurt geen gas meer gebruikt worden alle lagedruk gasleidingen uit de buurt verwijderd.
3. **Vervangen van grondroeringsgevoelige G-netten:** bij werkzaamheden in de bodem worden kwetsbare elementen van het lagedruk gasnet om veiligheidsredenen vervangen. Werkzaamheden in de bodem worden hier beperkt tot werkzaamheden ten behoeve van aanpassingen in de warmtevoorziening zoals bijvoorbeeld het aanleggen van een warmtenet.
4. **Verzwarend van elektriciteitsaansluiting:** wanneer in een verblijfsobject verwarming met een elektrische warmtepomp of elektrische tapwater bereiding wordt geïnstalleerd moet een zwaardere aansluiting worden aangelegd inclusief aanpassingen in de aansluitleiding en de meterkast (verder: E-aansluiting).
5. **Verzwarend van E-net:** als de relatieve belasting van de laagspanningskabels in een buurt stijgt door de inzet van elektrische verwarmingsmethoden kan het nodig zijn meer of dikkere kabels aan te leggen.
6. **Uitbreiding capaciteit middenspanningsruimte:** als de capaciteitsvraag van een buurt stijgt door de inzet van elektrische verwarmingsmethoden kan het zijn dat de huidige opgestelde capaciteit van middenspanningsruimtes (verder: MSR) onvoldoende blijkt waardoor meer capaciteit moet worden bijgebouwd.

Alle technische ingrepen leiden binnen de modellering van Vesta MAIS tot een inschatting van de totale investeringskosten voor aanpassingen aan de E- of G-infrastructuur op buurniveau. Deze kosten worden vanuit het perspectief van een potentiële investeerder niet meegenomen als onderdeel van de rentabiliteitsafweging bij de keuze voor de ene of de andere aanpassing aan de warmtevoorziening. De kosten worden apart gerapporteerd als kostenpost van de E- en G-netbeheerbedrijven. Bij de nationale kostenberekening vanuit het perspectief van geheel Nederland (Nederland B.V.) worden de kosten niet meegenomen bij de rentabiliteitsberekening maar wel opgenomen als aparte kostenpost in de rapportage.

<sup>15</sup> Een verblijfsobject is een verzamelnaam voor verschillende typen objecten. Objecten kunnen woningen zijn of utiliteitsbedrijven. Een gebouw kan meerdere verblijfsobjecten bevatten.

## 6.6 Maatschappelijke- en eindgebruikerskosten

Het perspectief met betrekking tot kosten is van essentieel belang wanneer een analyse wordt gemaakt. Wanneer een modelgebruiker geïnteresseerd is in de uitkomsten zonder dat er rekening wordt gehouden met de verdeling van kosten, dan is het nuttig om te rekenen op basis van nationale/maatschappelijke kosten. Met deze kosten is het mogelijk om sec een vergelijking te maken tussen verschillende scenario's en hoe deze uitpakt voor Nederland als geheel. De verdelingseffecten spelen wel een rol wanneer wordt gerekend met eindgebruikerskosten. Hier wordt namelijk het beeld gegeven van de doorwerking van beleid op het financiële plaatje van alle actoren in de warmtetransitie. Hierbij is het mogelijk om te zien wat het effect van bijvoorbeeld een beleidsinstrument, zoals belastingen of subsidies, op de businesscase van een bepaalde actor.

Het verschil tussen deze twee type kostenbenaderingen zit op de effecten van overheidsbeleid en de gehanteerde discontovoeten. Wanneer wordt gerekend met nationale kosten dan heeft een verdeling van gelden binnen Nederland geen effect, omdat naar het plaatje voor heel Nederland wordt gekeken. Belastingen en subsidies gaan van de ene naar de andere actor binnen Nederland maar op het totaalplaatje blijft dit in balans binnen Nederland. Om deze reden worden belastingen en subsidies niet meegenomen in de berekening van nationale kosten. Het tweede verschil zit in de discontovoeten. In de berekening van de nationale kosten wordt uitgegaan van een maatschappelijke discontovoet, ongeveer gelijk aan het gemiddelde inflatiepercentage. Met deze discontovoet wordt geen rekening gehouden met het feit dat actoren zelf een hogere discontovoet hebben omdat ze bijvoorbeeld aandeelhouders tevreden moeten houden als het een commercieel bedrijf betreft. In de eindgebruikersbenadering is het mogelijk om rekening te houden met deze hogere discontovoeten, waarbij het verschil tussen inflatie en de hogere discontovoet zich vertaalt in de baten voor het nemen van een risico door de actor die investeert in de warmtetransitie. Deze baten zijn een verdeling binnen Nederland en daarom worden deze niet meegenomen binnen de nationale kostenmethodiek, maar wel in de eindgebruikersmethodiek. In Tabel 12 wordt een overzicht gegeven van de manier waarop dit uitwerkt voor verschillende maatregelen en actoren binnen het model.

Tabel 12 - Berekening van maatschappelijke- en eindgebruikerskosten

Onderdeel	Maatschappelijk	Eindgebruikerskosten	Utiliteit en GTB (VET = gebouweigenaar)	Opwekking/Transport/ Distributie/levering	Opmerking
		Woningen (VET = gebouweigenaar)			
Gebouwen					
Elektriciteitsvraag	Meterverbruik*tarief (excl. belastingen en BTW).	Meterverbruik*tarief (incl. belastingen en BTW).	Meterverbruik*tarief (incl. belastingen, excl. BTW).	N.v.t.	
Gasvraag (alleen indien aangesloten op gas)	Meterverbruik*tarief (excl. belastingen en BTW). Vastrecht warmte (excl. BTW). Aansluitbijdrage warmte (excl. BTW), annuïtair 4% over 30 jr.	Meterverbruik*tarief (incl. belastingen en BTW). Vastrecht warmte (incl. BTW). <b>Aansluitbijdrage warmte (incl. BTW), annuïtair 5,5% over 15 of 30 jr. Incl. subsidies.</b>	Meterverbruik*tarief (incl. belastingen, excl. BTW). Vastrecht warmte (excl. BTW). <b>Aansluitbijdrage warmte (excl. BTW), annuïtair 8% over 15 of 30 jr. Incl. subsidies.</b>	N.v.t.	Vastrecht en aansluitbijdrage <i>warmte</i> in verband met NMDA, om te kunnen vergelijken met alternatief.
Warmtevraag (alleen indien aangesloten op warmte of WKO)	N.v.t. (maatsch. kosten worden hoger in de keten bepaald).	Meterverbruik*tarief (incl. belastingen en BTW).	Meterverbruik*tarief (incl. belastingen, excl. BTW).	N.v.t.	
Energiebesparing	Investeringen (excl. BTW).	Investeringen (incl. BTW; annuïtair 5,5% over 30 jr. bij gebouw, over 15 jr. bij verwarmingsinstallatie). Incl. subsidies.	Investeringen (excl. BTW; annuïtair 8% over 30 jr. bij gebouw, over 15 jr. bij verwarmingsinstallatie). Incl. subsidies.	N.v.t.	
Lokale energieproductie					
HR-ketel	Investeringen (excl. BTW; annuïtair 4% over 15 jaar), effect op metervraag gas is al bij gebouwen bepaald.	Investeringen (incl. BTW; annuïtair 5,5% over 15 jaar), effect op metervraag gas is al bij gebouwen bepaald. Incl. subsidies.	Investeringen (incl. BTW; annuïtair 8% over 15 jaar), effect op metervraag gas is al bij gebouwen bepaald. Incl. subsidies.		
Micro-WKK	Investeringen (excl. BTW; annuïtair 4% over 15 jaar), effect op metervraag gas en elektra is al bij gebouwen bepaald.	Investeringen (incl. BTW; annuïtair 5,5% over 15 jaar), effect op metervraag gas en elektra is al bij gebouwen bepaald. Incl. subsidies.	N.v.t.	N.v.t.	

Onderdeel	Maatschappelijk	Eindgebruikerskosten	Utiliteit en GTB (VET = gebouweigenaar)	Opwekking/Transport/ Distributie/levering	Opmerking
		Woningen (VET = gebouweigenaar)			
Zon-PV	Investerings (excl. BTW; annuïtair 4% over 15 jaar), effect op metervraag elektra is al bij gebouwen bepaald.	Investerings (incl. BTW; annuïtair 5,5% over 15 jaar), effect op metervraag elektra is al bij gebouwen bepaald. Incl. subsidies.	Investerings (excl. BTW; annuïtair 8% over 15 jaar), effect op metervraag elektra is al bij gebouwen bepaald. Incl. subsidies.	N.v.t.	
Zonneboiler	Investerings (excl. BTW; annuïtair 4% over 15 jaar), effect op metervraag gas is al bij gebouwen bepaald.	Investerings (incl. BTW; annuïtair 5,5% over 15 jaar), effect op metervraag gas is al bij gebouwen bepaald. Incl. subsidies.	Investerings (excl. BTW; annuïtair 8% over 15 jaar), effect op metervraag gas is al bij gebouwen bepaald. Incl. subsidies.		
Elektrische warmtepomp (eWP)	Investerings (en bijkomende gebouwverbeteringskosten i.g.v. toepassing in bestaande bouw) (excl. BTW; annuïtair 4% over 15 jaar voor eWP en over 30 jaar voor de gebouw- verbetering), effect op metervraag elektra is al bij gebouwen bepaald. NB: woning heeft géén gasaansluiting!	Investerings (en bijkomende gebouw- verbeteringskosten i.g.v. toepassing in bestaande bouw) (incl. BTW; annuïtair 5,5% over 15 jaar bij eWP en over 30 jaar bij gebouw- verbetering), effect op metervraag elektra is al bij gebouwen bepaald. Incl. subsidies. NB: woning heeft géén gasaansluiting!	Investerings (en bijkomende gebouw-verbeteringskosten i.g.v. toepassing in bestaande bouw) (excl. BTW; annuïtair 8% over 15 jaar bij eWP en over 30 jaar bij gebouw- verbetering), effect op metervraag elektra is al bij gebouwen bepaald. Incl. subsidies.	N.v.t.	
Hybridewarmtepomp (hWP)	Investerings (excl. BTW; annuïtair 4% over 15 jaar), effect op metervraag gas en elektra is al bij gebouwen bepaald.	Investerings (incl. BTW; annuïtair 5,5% over 15 jaar), effect op metervraag gas en elektra is al bij gebouwen bepaald. Incl. subsidies.	N.v.t.		
<b>Centrale warmtebronnen (LT-warmte moet nog worden toegevoegd)</b>					
Restwarmte, geothermie	Alle investeringen in bron, of uitkoppeling daarvan, en net	N.v.t.	N.v.t.	1. Alle investeringen in bron, of uitkoppeling daarvan, en net	

Onderdeel	Maatschappelijk	Eindgebruikerskosten	Utiliteit en GTB (VET = gebouweigenaar)	Opwekking/Transport/ Distributie/levering	Opmerking
		Woningen (VET = gebouweigenaar)			
	<p>met toebehoren (excl. BTW; annuïtair 4% over 30(*) jaar).</p> <p>Jaarlijkse onderhoudskosten op de investeringen (excl. BTW).</p> <p>Jaarlijkse exploitatiekosten (warmte-inkoop) excl. BTW en belastingen.</p>			<p>met toebehoren (excl. BTW; annuïtair 6% over 30(*) jaar); minus ontvangen eenmalige aansluitbijdragen en subsidies.</p> <p>2. Jaarlijkse onderhoudskosten op de investeringen (excl. BTW).</p> <p>3. Jaarlijkse exploitatiekosten (warmte-inkoop) excl. BTW en belastingen.</p> <p>4. Minus inkomsten uit vastrecht warmte en uit warmteverkoop en subsidies.</p>	
Wijk-WKK	<p>Alle investeringen in bron en net met toebehoren (excl. BTW; annuïtair 4% over 30(*) jaar).</p> <p>Jaarlijkse onderhoudskosten op de investeringen (excl. BTW).</p> <p>Jaarlijkse exploitatiekosten (warmtekostprijs) excl. BTW en belastingen.</p>	N.v.t.	N.v.t.	<p>1. Alle investeringen in bron en net met toebehoren (excl. BTW; annuïtair 6% over 30(*) jaar); minus ontvangen eenmalige aansluitbijdragen en subsidies.</p> <p>2. Jaarlijkse onderhoudskosten op de investeringen (excl. BTW).</p> <p>3. Jaarlijkse exploitatiekosten (warmtekostprijs) excl. BTW en belastingen.</p> <p>4. Minus inkomsten uit vastrecht warmte en uit warmteverkoop en subsidies.</p>	NB: In de warmtekostprijs in de modelinput zit de opbrengst van de elektriciteitsverkoop door de WKK al verdisconteerd.
WKO	Alle investeringen in bron en net met toebehoren (excl. BTW; annuïtair 4% over	Extra investeringen in gebouwverbetering bij toepassing in bestaande bouw	Extra investeringen in gebouwverbetering bij toepassing in bestaande bouw	1. Alle investeringen in bron en net met toebehoren (excl. BTW; annuïtair 6% over 30(*)	



Onderdeel	Maatschappelijk	Eindgebruikerskosten	Utiliteit en GTB (VET = gebouweigenaar)	Opwekking/Transport/ Distributie/levering	Opmerking
		Woningen (VET = gebouweigenaar)			
	30(*) jaar).  Extra investeringen in gebouwverbetering bij toepassing in bestaande bouw (excl. BTW; annuïtair 4% over 30 jr).  Jaarlijkse onderhoudskosten op de investeringen (excl. BTW).  Jaarlijkse exploitatiekosten (elektriciteit warmtepomp) excl. BTW en belastingen.	(incl. BTW; annuïtair 5,5% over 30 jr).	(excl. BTW; annuïtair 8% over 30 jr).	jaar); minus ontvangen eenmalige aansluitbijdragen en subsidies. 2. Jaarlijkse onderhoudskosten op de investeringen (excl. BTW). 3. Jaarlijkse exploitatiekosten (elektriciteit warmtepomp) excl. BTW en incl. belastingen. 4. Minus inkomsten uit vastrecht warmte en koude en uit warmteverkoop en subsidies.	
<b>Pieklast</b>					
Gasgestookte pieklasketel	Alle investeringen in piekkel (excl. BTW; annuïtair 4% over 30(*) jaar). Jaarlijkse onderhoudskosten op de investeringen (excl. BTW). Jaarlijkse exploitatiekosten (gasinkoop) excl. BTW en belastingen.	N.v.t.	N.v.t.	Alle investeringen in piekkel (excl. BTW; annuïtair 6% over 30(*) jaar). Incl. subsidies. Jaarlijkse onderhoudskosten op de investeringen (excl. BTW). Jaarlijkse exploitatiekosten (gasinkoop) excl. BTW en incl. belastingen en subsidies.	

(\*) Opmerking: omdat er in het model een tijdvertraging van 2 jaar zit tussen netinvestering en eerste warmtelevering aan bestaande bouw wordt de annuïteit hiervoor gecorrigeerd. Hierbij wordt dezelfde methode gebruikt als bij het contant maken: NCW van de kosten delen door de factor die gebruikt is om de 28 jaar opbrengsten te verdisconteren. Deze factor is de inverse van de  $NcwDuration$ :  $(p^S - p^E)/r$  met  $p = (1+r)^{-1}$ ; met  $S$  = aantal jaren voor start en  $E$  = aantal jaar voor einde. Aangezien  $r$  in  $[jaar^{-1}]$  is, is de eenheid van  $NcwDuration$  [jaar].

# DEEL 3

## Rekenregels

## 7 Energie en rentabiliteit

In dit deel van het functioneel ontwerp zijn een aantal belangrijke formules uit het model verzameld en voorzien van toelichting over hoe ze zijn opgebouwd. Niet alle formules zijn hier opgenomen, maar er is een selectie gemaakt op basis van wat de belangrijkste formules zijn om het model te begrijpen. De verschillende onderdelen worden eerst schematisch beschreven en vervolgens in detail uitgewerkt.

NB: In het model worden per zichtjaar (2018, 2020, etc.) berekeningen gedaan. Daarbij wordt de bebouwing in dat zichtjaar en de kosten en prijzen in dat zichtjaar genomen. Gedurende de looptijd van de rentabiliteitsberekeningen worden deze gegevens geacht vervolgens constant te zijn. Dat wil zeggen: er wordt bij een rentabiliteitsafweging geen rekening gehouden met verwachte kostenontwikkelingen in de toekomst. In deze afweging worden jaarlijkse kapitaallasten (CAPEX) en operationele lasten (OPEX) berekend. Kapitaallasten zijn hierin geannualiseerde investeringskosten over de looptijd van de investering. Deze kosten worden afgezet tegen jaarlijkse baten, inclusief geannualiseerde eenmalige baten. In volgende zichtjaren kunnen door externe invloeden de OPEX en jaarlijkse baten wijzigen. Dit wordt dan meegenomen in het resultaat voor de betrokken actoren in dat jaar maar er vindt dan geen heroverweging van de investeringsbeslissing plaats.

Voor het annualiseren van de investeringskosten (CAPEX) wordt de technische levensduur van de component aangehouden als periode waarover deze wordt afgeschreven. Voor gebiedsmaatregelen betekent dit meestal een periode voor 30 jaar. Een aantal componenten, met name in gebouwmaatregelen heeft een technische levensduur van 15 jaar en wordt ook daarover afgeschreven. Een uitzonderingspositie geldt voor een aantal eenmalige opbrengsten in gebiedsmaatregelen, zie hiervoor Paragraaf 5.5.2. De kosten worden omgerekend naar jaarlijkse kosten met de discontovoet per actor, zie Bijlage A.

In dit hoofdstuk worden variabele namen van instellingen in Defaultinstellingen en Specifiekeinstellingen gebruikt. Zie voor toelichting bij deze variabelen Paragraaf 5.4.

Veel van de genoemde parameters in dit hoofdstuk worden beïnvloed door:

- leercurves (zie Paragraaf 5.2.3);
- efficiencySchuif (zie Paragraaf 5.4.4.3);
- verbeterMinMaxSchuif (zie 5.4.4.4).

Deze schuiven stelt de gebruiker in om te variëren tussen de onderwaarde en bovenwaarde van de bandbreedte van onzekerheid die rond een kengetal heerst. In de rest van dit hoofdstuk worden deze instellingen niet verder expliciet genoemd. Er wordt in onderstaande formules indien van toepassing verwezen naar een kentallenbestand in de bijlage waar zowel de minimale als de maximale waarde van elke parameter in terug te vinden is. Default wordt de middenwaarde tussen de twee aangehouden.

De formules voor warmtenetten gelden voor de centrale warmtevoorzieningsopties (gebiedsmaatregelen). Zie Paragraaf 4.2.10 voor een overzicht van alle typen gebiedsmaatregelen en bijbehorende temperatuurniveaus. Zie Paragraaf 6.4.2 voor uitleg over hoe vraaggebieden en bronnen met elkaar worden verbonden, of hoe vraaggebieden worden samengesteld per type bron en gebiedsoptie.

## 7.1 Gebouwmaatregelen

### 7.1.1 Rentabiliteit Schilsprongen

Bij de rentabiliteitsafweging voor schilsprongen worden de opbrengsten  $Oj_{gv}$  verrekend met de geannualiseerde investeringskosten  $Kji_{gv}$  en de jaarlijkse kosten  $Kj_{gv}$ . De afweging is positief als  $Oj_{gv} > (Kj_{gv} + Kji_{gv})$ . Deze berekening wordt parallel gemaakt voor alle mogelijk schilsprongen. De naam van de parameters in het model variëren per soort sprong.

Hier worden alleen schilsprongen behandeld zonder dat ook een nieuwe opwekkingsinstallatie wordt aangelegd. Is dat wel het geval dan wordt de rentabiliteit van de desbetreffende installatie uitgedrukt als jaarlijkse verbruiks- en onderhoudskosten plus geannualiseerde investeringskosten, afgezet tegen de geraamde besparing op energie-verbruik. Deze wordt bij de rentabiliteit van de schilsprong opgeteld. Op dit moment is het alleen mogelijk om dit te doen voor individuele elektrische warmtepompen. Die kunnen volledig in dezelfde afweging worden meegenomen inclusief schilmaatregelen. Voor andere lokale opwekkingsinstallaties kan de gecombineerde afweging van schil en installatie niet worden gemaakt. Deze technieken worden in plaats daarvan door de gebruiker geheel of gedeeltelijk opgelegd via een invoerparameter (zie Hoofdstuk 5).

Bij labels vanaf B of beter worden gebouwen dusdanig goed geïsoleerd dat er actieve ventilatie nodig is om een gezond binnenklimaat te behouden. Daarom wordt er bij de jaarlijkse kosten ook een elektriciteitsvraag ingerekend. De investeringskosten van het aanbrengen van een ventilatie zijn onderdeel van de kosten van de schilsprong zelf.

De subsidiebedragen  $S_{oh}$  (subsidie op lopende kosten) en  $S_{gv}$  (subsidie op investeringskosten) worden berekend op basis van een invoerparameter in de basis-instellingen en respectievelijk de onderhoudskosten en het investeringsbedrag. Deze zijn in de invoer afzonderlijk op te geven per type verblijfsobject.  $S_{gv}$  wordt geannualiseerd tot jaarlijkse kosten met dezelfde discontovoet als de investering.

$$Oj_{gv} = (V_{voor} - V_{na} * KGJ_{gas\_eg}) * SplitIncentive + S_{oh} + S_{gv}$$

$$Kji_{gv} = (Ki_{gv\_vast} + Ki_{gv\_var} * bvo) * BTWfactor$$

$$Kj_{gv} = (Ki_{gv\_vast} + Ki_{gv\_vast} * bvo) * R_{gv\_Onderhoud} + V_{vent} * bvo * KGJ_{elek\_eg}$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
$K_{gv\_var}$	Kostenkengetal voor gebouwverbetering als variabel bedrag op basis van het oppervlak van het object	€/m <sup>2</sup>	Zie Bijlage A
$K_{gv\_vast}$	Kostenkengetal voor gebouwverbetering als vast bedrag per gebouw	€/gebouw	Zie Bijlage A
$R_{gv\_Onderhoud}$	Percentage van het initiele investeringsbedrag dat jaarlijks moet worden besteed aan onderhoud	Ratio 0 - 1	Zie Bijlage A
$V_{voor}$	Aardgasvraag voor toepassing van de schilsprong, berekend uit een vaste vraag en een vraag per m <sup>2</sup>	GJ/jaar	Zie Bijlage A
$V_{na}$	Aardgasvraag voor toepassing van de schilsprong, berekend uit een vaste vraag en een vraag per m <sup>2</sup>	GJ/jaar	Zie Bijlage A
SplitIncentive	Aandeel van de besparing door toepassing van de schilsprong dat toekomt aan de gebouweigenaar	Ratio 0 - 1	Instelbaar zie 5.4.2.4
$V_{vent} *$	Jaarlijkse ventilatievraag als gevolg van isolatie	GJ/m <sup>2</sup>	Zie Bijlage A

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
bvo	Binnenvloers oppervlak van het betreffende object	m <sup>2</sup>	Uit BAG
BTWfactor	Percentage BTW dat gebouweigenaren betalen voor investeringen in gebouwverbetering	Ratio 0 - 1	Invoerparameter zie 5.4.2.1
S_oh	Subsidie op lopende kosten, berekend uit het jaarlijkse bedrag aan onderhoudskosten vermenigvuldigd met een invoerparameter voor subsidie per soort actor	€/jaar	Berekend met invoerparameter 5.4.2.7
S_gv	Subsidie op de investering, berekend als jaarlijks percentage van het initiele investeringsbedrag en een invoerparameter voor subsidie per soort actor	€/jaar	Berekend met invoerparameter 5.4.2.8
KGJ_gas_eg	Gasprijs per gigajoule afhankelijk van het totale jaarlijkse volume dat een gebruiker afneemt	€/GJ	Invoerbestand energieprijzen
KGJ_elek_eg	Elektriciteitsprijs per gigajoule afhankelijk van het totale jaarlijkse volume dat een gebruiker afneemt	€/GJ	Invoerbestand energieprijzen

\* Binnen het model wordt de ventilatievraag bepaald uit een vraagkental per vierkante meter en een efficiencyfactor voor het rendement van de ventilatie-installatie. Omdat deze factor default op 1 is ingesteld is deze hier weggelaten. Het is wel mogelijk voor de gebruiker om hier een andere efficiencyfactor aan te geven.

### 7.1.2 Jaarlijkse kosten HR-ketel

Bij gebouwen die worden verwarmd met HR-ketels worden jaarlijkse kosten gerekend voor periodiek onderhoud  $Kj_{HR\_oh}$ . Ook wordt er voor de benodigde pompenergie een bedrag  $Kj_{HR\_pomp}$  ingerekend op basis van het elektriciteitsgebruik van de pompen van de HR-ketel. Het gasverbruik leidt tot kosten  $Kj_{HR\_gas}$  in euro per jaar voor de kosten van de inkoop van gas. Dit verbruik wordt eerst opgesplitst in ruimteverwarming en tapwaterbereiding omdat niet voor beiden hetzelfde rendement geldt.

$$Kj_{HR\_oh} = Ki_{HR} * R_{LO\_Onderhoud}$$

$$Kj_{HR\_gas} = KGJ_{gas\_eg} * (V_{WW} * E_{ww\_gas} + V_{RV} * E_{rv\_gas})$$

$$Kj_{HR\_pomp} = KGJ_{elek\_eg} * (V_{WW} + V_{RV}) * R_{pompennergie}$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
V_WW	Jaarlijkse vraag naar warmte voor tapwaterbereiding	GJ/jaar	Modelberekening
V_RV	Jaarlijkse vraag naar warmte voor ruimteverwarming	GJ/jaar	Modelberekening
R_LO_ouderhoud	Jaarlijks percentage onderhoudskosten als fractie van het investeringsbedrag	Ratio 0 - 1	Zie Bijlage A
Ki_HR	Initieel investeringsbedrag bij installatie van de HR ketel	€	Zie 7.1.3 <sup>16</sup>
R_pompennergie	Hoeveelheid energie voor het opereren van de pomp in een HR-ketel als percentage van de warmteproductie	Ratio 0 - 1	Zie Bijlage A
E_rv_gas	Efficiency van de HR-ketel bij warmteproductie voor ruimteverwarming	Factor	Zie Bijlage A
E_ww_gas	Efficiency van de HR-ketel bij warmteproductie voor tapwaterbereiding	Factor	Zie Bijlage A
KGJ_gas_eg *	Gasprijs per gigajoule afhankelijk van het totale jaarlijkse volume dat een gebruiker afneemt	€/GJ	Invoerbestand energieprijzen

<sup>16</sup> Op basis van 7.1.3 kan worden bepaald dat  $Ki_{HR} = K_{HR\_vast} + K_{HR\_var} * (ASW_{rv} + ASW_{ww})$ .

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
KGJ_elek_eg *	Elektriciteitsprijs per gigajoule afhankelijk van het totale jaarlijkse volume dat een gebruiker afneemt	€/GJ	Invoerbstand energieprijsen

\* Er wordt gewerkt met staffels voor verschillende gebruikersklassen met bijbehorende energieprijsen en belastingen.

### 7.1.3 Overstapkosten HR-ketel

Indien de gebouweigenaar overstapt op een alternatief is de HR-ketel niet meer nodig en kan deze worden verwijderd. Er wordt aangenomen dat er bij overstap nog een resterende waarde is die op dat moment wordt afgeschreven. Daartegenover worden er ook kosten vermeden doordat er geen HR-ketel vervangen hoeft te worden, gezamenlijk vormen deze twee kostenposten  $O_{ji\_HR}$  die wordt berekend als:

$$O_{ji\_HR} = (K_{HR\_vast} + K_{HR\_var} * (ASW_{rv} + ASW_{ww})) * (1 - Resterend) * Annualisatiefactor$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
K <sub>HR_vast</sub>	Kostenkental voor het installeren van een HR-ketel als vast bedrag per aansluiting	€/aansluiting	Zie Bijlage A
K <sub>HR_var</sub>	Kostenkental voor het installeren van een HR-ketel als variabel bedrag afhankelijk van de capaciteit	€/KW	Zie Bijlage A
Resterend	Aandeel van de oorspronkelijke waarde die nog resteert bij afschrijving	Ratio 0 - 1	Invoer 5.4.3.5
Annualisatiefactor	Omrekenfactor om investeringskosten om te zetten van eenmalige investering naar jaarlijkse kapitaallasten - over een periode van 15 jaar	Factor	NCW-methode
ASW <sub>rv</sub>	Benodigde capaciteit voor ruimteverwarming	KW	Zie Bijlage A
ASW <sub>ww</sub>	Benodigde capaciteit voor tapwaterbereiding	KW	Zie Bijlage A

### 7.1.4 Investeringskosten eWP

De elektrische warmtepomp (eWP) neemt in deze situatie de volledige warmtevraag voor zijn rekening, terwijl de HR-ketel wordt verwijderd. eWP kan alleen bij Label B of beter worden toegepast en kan ook niet worden toegepast bij glastuinbouw.

De investeringskosten  $K_{ji\_eWP}$  zijn voor zowel de warmtepomp zelf als de noodzakelijke aanpassingen aan de meterkast en de kosten voor verzwaring van de elektriciteitsaansluiting. Omdat warmtepompen op lagere temperaturen werken dan HR-ketels wordt er ook een investeringsbedrag ingerekend voor het aanpassen van de radiatoren (LTAS). Voor het berekenen van de kapitaallasten wordt uitgegaan van een levensduur van 15 jaar.

$$K_{ji\_eWP} = (K_{eWP\_vast} + K_{eWP\_var} * ASW_{eWP} + K_{LTAS} - S_{ISDE}) * Annualisatiefactor$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
K <sub>eWP_vast</sub>	Kostenkental voor het installeren van een elektrische warmtepomp als vast bedrag per aansluiting	€/aansluiting	Zie Bijlage A
K <sub>eWP_var</sub>	Kostenkental voor het installeren van een elektrische warmtepomp als variabel bedrag afhankelijk van de benodigde capaciteit	€/KW	Zie Bijlage A
S <sub>ISDE</sub>	Vast bedrag per warmtepomp als subsidie	€/aansluiting	Invoer 5.4.2.6
ASW <sub>eWP</sub>	Maximaal piekvermogen van warmteproductie voor ruimteverwarming of tapwaterbereiding - de hoogste van de twee is leidend	KW	Zie Bijlage A

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
K_LTAS *	Kostenkental voor het aanbrengen van een lagetemperatuur-afgiftesysteem.	€/aansluiting	Zie Bijlage A
Annualisatiefactor or	Omrekenfactor om investeringskosten om te zetten van eenmalige investering naar jaarlijkse kapitaallasten - over een periode van 15 jaar	Factor	NCW-methode

\* Voor woningen is K\_LTAS uitgedrukt in een vast bedrag per aansluiting. Voor utiliteit geldt echter dat er een kengetal is opgenomen in €/m<sup>2</sup>, wat eerst nog wordt vermenigvuldigd met het binnenvloers oppervlak van het utiliteitspand om K\_LTAS specifiek per utiliteitsobject te bepalen. Vervolgens gaat de rest van de berekening op dezelfde wijze.

### 7.1.5 Jaarlijkse kosten eWP

Voor de modellering van de jaarlijkse kosten van elektrische warmtepompen is de hulpenergie die nodig is om vloeistof rond te pompen in het rendement van de warmte-opwekking verwerkt. Gezamenlijk leidt dit tot  $Kj\_eWP\_elek$ , waarbij de pompenergie bij is inbegrepen. Daarnaast wordt er ook een bedrag aan onderhoudskosten  $Kj\_hWP\_oh$  ingerekend dat wordt berekend als percentage van het oorspronkelijke investeringsbedrag. De verschillende SPF's zijn afhankelijk van de isolatiegraad van het object.

$$Kj\_hWP\_oh = Ki\_eWP * R\_LO\_eWP\_Onderhoud$$

$$Kj\_eWP\_elek = KGJ\_elek\_eg * (V\_RV/SPF\_eWP\_rv + V\_WW/SPF\_eWP\_ww + V\_K/SPF\_eWP\_k)$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
V_WW	Jaarlijkse vraag naar warmte voor tapwaterbereiding	GJ/jaar	Modelberekening
V_RV	Jaarlijkse vraag naar warmte voor ruimteverwarming	GJ/jaar	Modelberekening
V_K	Jaarlijkse vraag naar koude - in hoeverre koude wordt ingevuld kan worden ingesteld via 5.4.3.1	GJ/jaar	Modelberekening
R_LO_eWP_onderhoud	Jaarlijks percentage onderhoudskosten als fractie van het investeringsbedrag specifiek voor eWP	Ratio 0 - 1	Zie Bijlage A
Ki_eWP	Initieel investeringsbedrag bij installatie van de elektrische warmtepomp	€	Zie 7.1.4
SPF_eWP_ww	Seasonal performance factor van de elektrische warmtepomp - efficiëntie van warmteproductie voor tapwaterbereiding	Factor	Zie Bijlage A
SPF_eWP_rv	Seasonal performance factor van de elektrische warmtepomp - efficiëntie van warmteproductie voor ruimteverwarming	Factor	Zie Bijlage A
SPF_eWP_k	Seasonal performance factor van de elektrische warmtepomp - efficiëntie van koudeproductie	Factor	Zie Bijlage A
KGJ_elek_eg	Elektriciteitsprijs per gigajoule afhankelijk van het totale jaarlijkse volume dat de gebruiker afneemt	€/GJ	Invoerbekend energieprijzen

### 7.1.6 Opbrengsten ZonB & ZonPV

De opbrengsten van ZonB (*Oj\_zonB*) en ZonPV (*Oj\_zonPV*) nemen de vorm aan van een besparing op de energierekening van de gebouwgebruiker. Bij ZonB wordt verondersteld dat dit wordt ingezet voor tapwaterbereiding, bij zonPV wordt de opbrengst van panelen in mindering gebracht op de kosten voor elektriciteit. Hiermee wordt aangenomen dat de gebouwgebruiker de eigen opwek ook gebruikt of dat via een salderingsregeling de opbrengsten van afzet aan het netwerk even hoog zijn als bij eigen gebruik. Bij een zonn boiler die een gasketel deels vervangt als tapwatervoorziening is de opbrengst afhankelijk van het rendement van de oorspronkelijke gasketel.

$$Oj\_zonB = Opp\_benut * Opbr\_zonB * KGJ\_gas\_eg / E\_ww\_gas$$

$$Oj\_zonPV = Opp\_benut * Opbr\_zonPV * KGJ\_elek\_eg$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
Opbr_zonB	Hoeveelheid energie die wordt geproduceerd op jaarbasis op een vierkante meter zonneboiler	GJ/m <sup>2</sup> /jaar	Zie Bijlage A
Opbr_zonPV	Hoeveelheid energie die wordt geproduceerd op jaarbasis op een vierkante meter zonnepanelen	GJ/m <sup>2</sup> /jaar	Zie Bijlage A
Opp_benut	Het aantal vierkante meters dak dat wordt gebruikt (wordt apart bepaald voor zonB en zonPV)	m <sup>2</sup>	Zie 7.1.7
KGJ_gas_eg	Gasprijs per gigajoule afhankelijk van het totale jaarlijkse volume dat een gebruiker afneemt	€/GJ	Invoerbestand energieprijzen
KGJ_elek_eg	Elektriciteitsprijs per gigajoule afhankelijk van het totale jaarlijkse volume dat een gebruiker afneemt	€/GJ	Invoerbestand energieprijzen
E_ww_gas	Efficiency van tapwaterbereiding met een gasgestookte ketel	Ratio 0 - 1	Zie Bijlage A

### 7.1.7 Investeringskosten ZonB & ZonPV

De gebruiker kan in invoerparameter 5.4.3.4 opgeven welk aandeel van de beschikbare dakoppervlakken wordt benut voor zonneboilers en zonPV-panelen. Het model rekent vervolgens investeringskosten (*Kji\_zonB* en *Kji\_zonPV*) en opbrengsten (zie 7.1.6) bij de gebouweigenaren en -gebruikers uit, zonder voor hen nog een rentabiliteitsafweging te maken. Het opgegeven aandeel wordt gelijkmatig over alle gebouwen gespreid. De kapitaallasten van deze investeringen worden berekend als:

$$Kji\_zonB = K\_zonB * R\_zonB * Annualisatiefactor * zonB\_opp * bvo$$

$$Kji\_zonPV = K\_zonPV * R\_zonPV * Annualisatiefactor * (R\_Dakopp / R\_Stapel) * bvo$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
R_Dakopp	Aandeel van het dakoppervlak dat kan worden belegd met zonnepanelen	Ratio 0 - 1	Invoerkentallen per objecttype
R_Stapel	Correctiefactor voor R_Dakopp voor gestapelde bouw waar meerder objecten een gezamenlijk dak hebben	Factor	Invoerkentallen per objecttype
zonB_opp	Kengetal voor de relatie tussen het vloeroppervlak en het bruikbare oppervlak voor zonneboilers	Ratio 0 - 1	Invoerkentallen per objecttype
bvo	Binnenvloers oppervlak van een object	m <sup>2</sup>	Uit BAG



Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
K_zonB	Kostenkengetal voor het aanleggen van een vierkante meter zonneboiler	€/m <sup>2</sup>	Zie Bijlage A
K_zonPV	Kostenkengetal voor het aanleggen van een vierkante meter zonnepanelen	€/m <sup>2</sup>	Zie Bijlage A
R_zonB	Aandeel van alle beschikbare dakoppervlakken dat wordt benut voor zonneboilers	Ratio 0 - 1	Invoer 5.4.3.4
R_zonPV	Aandeel van alle beschikbare dakoppervlakken dat wordt benut voor zonnepanelen	Ratio 0 - 1	Invoer 5.4.3.4
Annualisatiefactor	Omrekenfactor om investeringskosten om te zetten van eenmalige investering naar jaarlijkse kapitaallasten - over een periode van 15 jaar	Factor	NCW-methode

### 7.1.8 Jaarlijkse kosten ZonB & ZonPV

Voor zonneboilers (ZonB) en zonnepanelen (ZonPV) geldt een jaarlijks bedrag  $Kj\_zonB\_oh$  of  $Zj\_zonPV\_oh$  voor regulier onderhoud als percentage van het initiële investeringsbedrag.

$$Kj\_zonB\_oh = Ki\_zonB * R\_LO\_Onderhoud$$

$$Kj\_zonPV\_oh = Ki\_zonPV * R\_LO\_Onderhoud$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
R_LO_onderhoud	Jaarlijks percentage onderhoudskosten als fractie van het investeringsbedrag	Ratio 0 - 1	Zie Bijlage A
Ki_zonB	Initieel investeringsbedrag bij installatie van de zonneboiler	€	Zie 7.1.7
Ki_zonPV	Initieel investeringsbedrag bij installatie van de zonnepanelen	€	Zie 7.1.7

### 7.1.9 Investeringskosten hWP

De hybridewarmtepomp (hWP) combineert de standaard HR-ketel met de elektrische warmtepomp. De warmtepomp, met hoog rendement, neemt hierbij het grootste deel van de warmtevraag voor zijn rekening, terwijl de HR-ketel in de piekvraag en warm tapwater voorziet. hWP kan in tegenstelling tot de elektrische warmtepomp bij woningen met alle energielabels worden toegepast. De investeringskosten  $Kji\_hWP$  zijn voor een eenheid waarbij zowel de HR-ketel als warmtepomp zijn inbegrepen. Voor het berekenen van de kapitaalslasten wordt uitgegaan van een levensduur van 15 jaar.

$$Kji\_hWP = Aandeel\_hWP * (K\_hWP\_vast + K\_hWP\_var * ASW\_rv) * Annualisatiefactor$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
K_hWP_vast	Kostenkental voor het installeren van een hybride-warmtepomp als vast bedrag per aansluiting	€/aansluiting	Zie Bijlage A
K_hWP_var	Kostenkental voor het installeren van een hybride-warmtepomp als variabel bedrag afhankelijk van de benodigde capaciteit	€/KW	Zie Bijlage A
ASW_rv	Maximaal piekvermogen voor warmteproductie voor ruimteverwarming	KW	Zie Bijlage A

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
Aandeel_hWP	Invoerparameter voor in hoeverre hWP ingroeit, op te geven door gebruiker. Eventueel verschillend op te geven voor verschillende types gebouwen	Ratio 0 - 1	Invoer 5.4.3.5
Annualisatiefactor	Omrekenfactor om investeringskosten om te zetten van eenmalige investering naar jaarlijkse kapitaallasten - over een periode van 15 jaar	Factor	NCW-methode

### 7.1.10 Jaarlijkse kosten hWP

Voor het modelleren van de hWP is gekozen voor een vaste verhouding van de vraag die door de warmtepomp wordt voorzien en de vraag die door de HR-ketel wordt voorzien. De hWP gebruikt, net als de HR-ketel, hulpenergie voor het rondpompen van warm water in het CV-systeem en elektronica voor de aansturing. Voor de modellering is aangenomen dat de hulpenergie wordt toegerekend aan het HR-deel van de installatie. Omdat normaliter de hulpenergie van een warmtepomp in het rendement van de warmtepomp zit verwerkt, kan voor de hWP het rendement van de warmtepomp hoger worden genomen dan bij de standaard warmtepomp. Gezamenlijk leidt dit tot een  $Kj\_hWP\_gas$  en een  $Kj\_hWP\_elek$ , waarbij de pompenergie bij de laatste is inbegrepen. Daarnaast wordt er ook een bedrag aan onderhoudskosten  $Kj\_hWP\_oh$  ingerekend dat wordt berekend als percentage van het oorspronkelijke investeringsbedrag.

$$Kj\_hWP\_oh = Ki\_hWP * R\_LO\_Onderhoud$$

$$Kj\_hWP\_gas = KGJ\_gas\_eg * ( V\_WW * E\_ww\_gas + V\_RV * (1 - DekkingsGraad) * E\_rv\_gas )$$

$$Kj\_hWP\_elek = KGJ\_elek\_eg * (V\_RV * DekkingsGraad / SPF\_hWP)$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
V_WW	Jaarlijkse vraag naar warmte voor tapwaterbereiding	GJ/jaar	Modelberekening
V_RV	Jaarlijkse vraag naar warmte voor ruimteverwarming	GJ/jaar	Modelberekening
R_LO_onderhoud	Jaarlijks percentage onderhoudskosten als fractie van het investeringsbedrag	Ratio 0 - 1	Zie Bijlage A
DekkingsGraad	Aandeel van V_RV die met de warmtepomp wordt ingevuld op jaarbasis	Ratio 0 - 1	Zie Bijlage A
Ki_hWP	Initieel investeringsbedrag bij installatie van de hybridewarmtepomp	€	Zie 7.1.9
SPF_hWP	Seasonal performance factor van de hybride-warmtepomp (elektrische warmtepomp) efficiëntie van warmteproductie voor ruimteverwarming	Factor	Zie Bijlage A
E_rv_gas	Efficiency van de HR-ketel bij warmteproductie voor ruimteverwarming	Factor	Zie Bijlage A
E_ww_gas	Efficiency van de HR-ketel bij warmteproductie voor tapwaterbereiding	Factor	Zie Bijlage A
KGJ_gas_eg	Gasprijs per gigajoule afhankelijk van het totale jaarlijkse volume dat een gebruiker afneemt	€/GJ	Invoerbestand energieprijzen
KGJ_elek_eg	Elektriciteitsprijs per gigajoule afhankelijk van het totale jaarlijkse volume dat een gebruiker afneemt	€/GJ	Invoerbestand energieprijzen

### 7.1.11 Investeringskosten mWKK

Indien de gebruiker een aandeel microwarmte-krachtkoppeling opgeeft bij parameter 5.4.3.5 dan wordt voor alle objecten een vast aandeel aan mWKK ingepast. In dat geval wordt er een bedrag  $K_{ji\_mWKK}$  bij de gebouweigenaar gerekend als indicatie van de kapitaallasten van de aanschaf. De investeringskosten voor mWKK variëren tussen woningen en utiliteit.

$$K_{ji\_mWKK} = \text{Aandeel\_mWKK} * K\_mWKK * \text{Annualisatiefactor}$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
K_mWKK	Kostenkental voor het installeren van een micro warmtekracht-koppeling	€/aansluiting	Zie Bijlage A
Aandeel_mWKK	Invoerparameter voor in hoeverre mWKKs ingroeien, op te geven door gebruiker. Eventueel verschillend op te geven voor verschillende types gebouwen	Ratio 0 - 1	Invoer 5.4.3.5
Annualisatiefactor	Omrekenfactor om investeringskosten om te zetten van eenmalige investering naar jaarlijkse kapitaallasten - over een periode van 15 jaar	Factor	NCW-methode

### 7.1.12 Jaarlijkse kosten mWKK

Voor microwarmte-krachtkoppeling (mWKK) geldt een jaarlijks bedrag  $K_{j\_mWKK\_oh}$  voor regulier onderhoud als percentage van het initiële investeringsbedrag. Daar bovenop wordt een bedrag  $K_{j\_mWKK\_gas}$  gerekend voor het gas dat wordt verbruikt. Deze gaskosten worden slechts deels voor warmteproductie bestemd. De geproduceerde elektriciteit wordt als opbrengst  $O_{j\_mWKK\_elek}$  afgetrokken van het elektriciteitsverbruik van de gebouwgebruiker.

$$K_{j\_mWKK\_oh} = K_{i\_mWKK} * R\_LO\_Onderhoud$$

$$K_{j\_mWKK\_gas} = KGJ\_gas\_eg * (V\_warmte * \text{Aandeel\_mWKK} / \text{AandeelW} * \text{Rendement})$$

$$O_{j\_mWKK\_elek} = KGJ\_elek\_eg * (V\_warmte * \text{Aandeel\_mWKK} / (1 - \text{AandeelW}) * \text{Rendement})$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
R_LO_onderhoud	Jaarlijks percentage onderhoudskosten als fractie van het investeringsbedrag	Ratio 0 - 1	Zie Bijlage A
Ki_mWKK	Initieel investeringsbedrag bij installatie van de micro-WKK	€	Zie 7.1.11 <sup>17</sup>
KGJ_gas_eg	Gasprijs per gigajoule afhankelijk van het totale jaarlijkse volume dat een gebruiker afneemt	€/GJ	Invoerbestand energieprijzen
KGJ_elek_eg	Elektriciteitsprijs per gigajoule afhankelijk van het totale jaarlijkse volume dat een gebruiker afneemt	€/GJ	Invoerbestand energieprijzen
AandeelW	Aandeel van het verbruik dat voor warmteproductie wordt gerekend	Ratio 0 - 1	0.5
Rendement	Efficiency van opzetting van gas naar warmte en elektriciteit	Ratio 0 - 1	0.8

<sup>17</sup> Zoals in 7.1.11 is terug te vinden kan het investeringsbedrag worden berekend als  $K_{i\_mWKK} = \text{Aandeel\_mWKK} * K\_mWKK$ .

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
V_Warmte	Jaarlijkse vraag naar warmte voor tapwaterbereiding en ruimteverwarming	GJ/jaar	Modelberekening
Aandeel_mWKK	Invoerparameter voor in hoeverre mWKKs ingroeien, op te geven door gebruiker. Eventueel verschillend op te geven voor verschillende types gebouwen	Ratio 0 - 1	Invoer 5.4.3.5

## 7.2 Opbrengsten gebiedsmaatregelen

Opbrengsten in gebiedsmaatregelen bestaan uit bijdrages van afnemers aan de ene kant en eventuele subsidies aan de andere kant. Van afnemers kunnen opbrengsten worden verwacht in de vorm van een eenmalige aansluitbijdrage, en vervolgens jaarlijks vastrecht en opbrengsten uit warmtelevering. Subsidies kunnen worden gesplitst naar SDE (productie), EEA (exploitatie) en EIA (investering) - zie ook Paragraaf 5.4.2. Opbrengsten die afkomstig zijn van de afnemers worden in eerste instantie per verblijfsobject bepaald en vervolgens over het gehele vraaggebied gesommeerd voorafgaand aan de rentabiliteitsafweging. Subsidies worden bij restwarmte, bio-WKK, geothermie en wijk-WKK direct over de buurt-totalen berekend. Bij de overige gebiedsopties worden ook subsidies (excl. SDE) bepaald per verblijfsobject en vervolgens gesommeerd over het gehele vraaggebied.

Figuur 29 - Opbouw berekening opbrengsten in gebiedsmaatregelen



### 7.2.1 Geannualiseerde aansluitbijdrage

Dit is een eenmalig bedrag dat door de gebouweigenaar wordt betaald aan de warmte-distributeur bij aansluiting op een warmtenet. Deze wordt afzonderlijk bepaald voor verschillende typen bebouwingsobjecten afhankelijk van welke waarde voor elk type is opgegeven in de Defaultinstellingen.

$$Oji\_Aansl = \text{Aansluittarief} * \text{nrAansluitingen} * \text{wd28(start)} * \text{wd28(annualisatie)} * \text{deelname}$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
deelname	Indicatie voor of afnemers bereid zijn deel te nemen	Ratio 0 - 1	Instelbaar (5.4.3.2)
Aansluittarief	Bedrag dat gebouweigenaar betaalt voor aansluiting	€/aansluiting	Instelbaar (5.4.2.10)
nrAansluitingen	Aantal aansluitingen voor dit verblijfsobject (vbo)	Aantal	Default: 1 / vbo
wd28(annualisatie)	Annualisatiefactor wijdistributeur over 30 jaar	Ratio 0 - 1	Instelbaar (5.4.3.9)
wd28(start)	Correctie voor latere start van ontvangen bijdrages	Ratio 0 - 1	Instelbaar (5.4.3.9)

Het bedrag van het aansluittarief wordt voor bestaande woningen default afgeleid van de NMDA-prijzen zoals die door de ACM worden vastgesteld. Voor utiliteit en nieuwbouw wordt ook een defaultwaarde opgevoerd. In de praktijk zal dit een uitkomst zijn van onderhandelingen tussen afnemer en leverancier.

## 7.2.2 Jaarlijkse warmteopbrengsten

Warmteopbrengsten voor de leverancier is datgene dat de afnemer betaalt voor warmtelevering. Hiervoor worden warmtetarieven gerekend die volgens het NMDA-principe afhankelijk zijn van de op dat moment geldende gasprijs. Het tarief wordt vastgesteld op basis van de kosten die een afnemer gemiddeld zou maken om met aardgas verwarmd te worden. De totale kosten voor warmtelevering mogen binnen dit warmtebesluit niet hoger zijn dan dat. Modelgebruikers kunnen hiervoor andere systematieken opgeven indien gewenst.

$$Oj\_verbruik = deelname * Verbruik * Warmteprijs$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
deelname	Indicatie voor of afnemers bereid zijn deel te nemen aan een warmtenet indien het wordt aangeboden	Ratio 0 - 1	Instelbaar (5.4.3.2)
Verbruik	Hoeveelheid aardgas die deze afnemer op dit moment gebruikt	GJ/jaar	Variabel
Warmteprijs	Prijs van een eenheid warmte betaald door de afnemer	€/GJ	Zie formule 3

De warmteprijs kan ook door de gebruiker zelf worden opgegeven (zie Paragraaf 5.4.2.15). Indien dat het geval is wordt de berekening van de warmteprijs overgeslagen en wordt met de opgegeven waarde gewerkt. In het model wordt deze formule opgesplitst in meerdere stappen.

## 7.2.3 Warmteprijs

Dit is de prijs die een afnemer betaalt aan de leverancier voor een GJ warmte geleverd uit een warmtenet. Deze wordt afzonderlijk bepaald voor woningen, utiliteit en glastuinbouw en ook apart voor bestaande bouw en nieuwbouw.

$$Oj\_verbruik = (Gem.Gas / Gem.Warmte) * Gasprijs * NMDAfactor$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
Gem.Warmte	Gemiddelde vraag naar warmtelevering (gecorrigeerd voor verliezen) over alle verblijfsobjecten van dit type	GJ/vbo	Variabel
Gem.Gas	Gemiddelde vraag naar aardgas (gecorrigeerd voor verliezen) over alle verblijfsobjecten van dit type	GJ/vbo	Variabel
Gasprijs	Prijs die deze afnemer betaalt voor een GJ aardgas - inclusief energiebelasting en ODE, exclusief BTW	€/GJ	Zie Bijlage B
NMDAfactor	Invoer voor in hoeverre mag worden afgeweken van de gasreferentie	Percentage	Instelbaar (5.4.2.14)

Als er geen gemiddelde verhouding tussen vraag naar warmtelevering en aardgasvraag kan worden bepaald (bijvoorbeeld doordat binnen het studiegebied geen aardgas meer wordt gevraagd door een bepaalde groep verblijfsobjecten, wordt teruggevallen op een defaultratio van 1,25. Deze verhouding wordt in Vesta MAIS voor ieder zichtjaar opnieuw berekend aan de hand van de dan geldende algemene verhouding tussen de vraag naar ruimteverwarming en warm tapwater bij woningen op aardgas. Hierbij wordt dus rekening gehouden met voortschrijdende isolatiemaatregelen en dalende vraag naar ruimteverwarming.

## 7.2.4 Jaarlijks vastrecht

Het vastrecht is een vast jaarlijks bedrag dat afnemers van warmte betalen aan de leverancier voor het hebben van een aansluiting op het warmtenet. Dit bedrag is onafhankelijk van de afgenomen hoeveelheid warmte. De hoogte van dit bedrag kan variëren naar type verblijfsobject.

$$Oj\_vastrecht = deelname * nrAansluitingen * VastrechtTariefD$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
Deelname	Indicatie voor of afnemers bereid zijn deel te nemen aan een warmtenet indien het wordt aangeboden	Ratio 0 - 1	Instelbaar (5.4.3.2)
nrAansluitingen	Aantal aansluitingen voor dit verblijfsobject (vbo)	Aantal	Default: 1/vbo
VastrechtTariefD	jaarlijkse tarief voor warmtelevering gelijk aan de NMDA tariefregulering zoals bepaald door de ACM	€/jaar	Zie Bijlage A

## 7.2.5 Jaarlijkse exploitatiesubsidie

Via een exploitatiesubsidie wordt er vanuit de overheid een bijdrage geleverd aan de operationele kosten van een warmtenet. Deze kosten bestaan binnen de modellering uit productiekosten, onderhoudskosten en administratieve lasten. De modelgebruiker kan een percentage EEA opgeven in de instellingen. Indien een percentage wordt ingevoerd wordt dat percentage als extra opbrengsten voor de warmteleverancier meegenomen.

$$Oj\_eea = ( K_j\_productie + K_j\_adm\_totaal + K_j\_oh\_totaal ) * EEA$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
EEA	Opgegeven subsidiebedrag als percentage van de lopende kosten	Percentage	Instelbaar (5.4.2.7)
Kj_productie	Totale productie voor warmte bij de primaire bron, afhankelijk van het type bron geproduceerd volume	€/jaar	Afhankelijk van invoerwaardes
Kj_adm_totaal	Totale administratieve kosten voor in pandige distributie, wijkdistributie, transport en opwekking	€/jaar	Percentage van investering
Kj_oh_totaal	Totale onderhoudskosten voor in pandige distributie, wijkdistributie, transport en opwekking	€/jaar	Percentage van investering

## 7.2.6 Jaarlijkse productiesubsidie

De gebruiker kan een SDE-bedrag opgeven in de runinstellingen voor verschillende type bronnen. Dit bedrag wordt vervolgens als jaarlijkse opbrengsten meegerekend bij de rentabiliteitsafweging. In de resultaten is dit opgenomen als een overdracht van de overheid aan de warmteleverancier.

$$Oj\_sde = P\_vol * Vj\_WarmtePrimairD * SDE$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
P_vol	Aandeel van de jaarlijkse warmtevraag dat uit de primaire bron wordt geleverd	Ratio 0 - 1	Instelbaar per bron.
Vj_WarmtePrimairD	Jaarlijkse warmtevraag in het vraaggebied (gecorrigeerd voor deelname, incl. leidingverlies)	GJ/jaar	Variabel
SDE	Opgegeven subsidiebedrag per geproduceerde eenheid warmte	€/GJ	Instelbaar (5.4.2.8)

## 7.2.7 Geannualiseerde investeringssubsidie

De modelgebruiker kan EIA-investeringsubsidies opgeven die worden vormgegeven als een eenmalige bijdrage aan de investeringskosten van een warmtenet. Voordat de investeringsbedragen worden geannualiseerd worden zij verrekend met dit subsidiebedrag.

$$Oj\_eia = Ki\_totaal * EIA * xx28(annualisatie)$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
EIA	Opgegeven subsidiebedrag als percentage van de investeringskosten	Percentage	Instelbaar (5.4.2.5)
Ki_totaal	Totale investeringskosten voor in pandige distributie, wijkdistributie, transport of opwekking	€	Variabel
xx28(annualisatie)	Annualisatiefactor over 30 jaar van de desbetreffende actor, bijvoorbeeld wd28	Ratio 0 - 1	Instelbaar (5.4.3.9)

## 7.3 Investeringskosten gebiedsmaatregelen

Gebiedsmaatregelen vereisen investeringen vooraf om de benodigde infrastructuur en installaties te realiseren. Afhankelijk van het type gebiedsmaatregel gelden er andere netconfiguraties. Bij MT-opties zijn er bijvoorbeeld hulpketels ingerekend als hulpvoorziening en bij LT-opties zijn er collectieve warmtepompen om de juiste temperatuur te bereiken. Bij LT-opties kan er verder sprake zijn van opwekking op gebouwniveau als onderdeel van het warmtenet en is er ook altijd een buffersysteem of opslagsysteem in het netwerk.

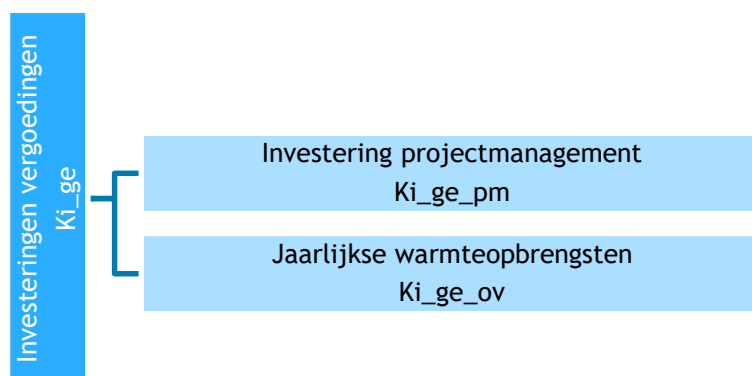
Op een aantal terreinen worden kosten anders berekend voor utiliteit, glastuinbouw en woningen, of voor nieuwbouw en bestaande bouw. Waar dat van toepassing is wordt dat vermeld bij de formule.

### 7.3.1 Vergoedingen

Het aanleggen van gebiedsopties kan voor overlast zorgen en ook proceskosten meebrengen. Deze kosten worden hier gerekend als vergoedingen die door de leverancier betaald moeten worden aan proceskosten of aan bewoners in een buurt. Er zijn twee type vergoedingen onderscheiden die vooraf betaald moeten worden:

1) Projectmanagement, en 2) Ongeriefsvergoedingen. Beiden gelden alleen voor woningen in de bestaande bouw. De kentallen voor vergoedingen worden beïnvloed door de leercurve voor administratieve kosten en beheerskosten.

Figuur 29 - Opbouw investeringskosten vergoedingen in gebiedsmaatregelen



#### 7.3.1.1 Projectmanagement

Projectmanagement wil zeggen de kosten die bij aanleg van een warmtenet worden gemaakt voor organisatorische activiteiten, en niet voor aanschaf en installatie van technische onderdelen van het netwerk. Voor nu worden deze alleen voor woningen gerekend omdat het daar grote groepen afnemers betreft waarvoor regelingen moeten worden getroffen. Projectmanagement wordt lager bij gestapelde woningen met blokverwarming omdat er dan minder ingrijpende verbouwingen nodig zijn.

$$Ki_{ge\_pm} = K_{PM} * nrGrondgebonden + K_{PM} * nrAppartement * VerketelingSchuif$$



Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
K_PM	Kostenkental voor projectmanagement	€/woning	Bijlage A
nrGrondgebonden	Aantal grondgebonden woningen in het vraaggebied, gecorrigeerd voor deelname	Aantal woningen	Uit invoerbestand BAG
nrAppartement	Aantal grondgebonden woningen in het vraaggebied, gecorrigeerd voor deelname	Aantal woningen	Uit invoerbestand BAG
VerketelingSchuif	Aandeel woningen dat geen blokverwarming heeft	Ratio 0 - 1	Zie 5.4.5.1

#### 7.3.1.2 Ongeriefsvergoeding

Ongeriefsvergoeding wil zeggen de kosten die bij aanleg van een warmtenet worden gemaakt voor compensatie van bewoners voor overlast, en niet voor aanschaf en installatie van technische onderdelen van het netwerk. Voor nu worden deze alleen voor woningen gerekend omdat het daar grote groepen afnemers betreft waarvoor regelingen moeten worden getroffen. Ongeriefsvergoeding wordt lager bij gestapelde woningen met blokverwarming omdat er dan minder ingrijpende verbouwingen nodig zijn.

$$Ki_{ge\_ov} = K_{OV} * nrGrondgebonden + K_{OV} * nrAppartement * VerketelingSchuif$$

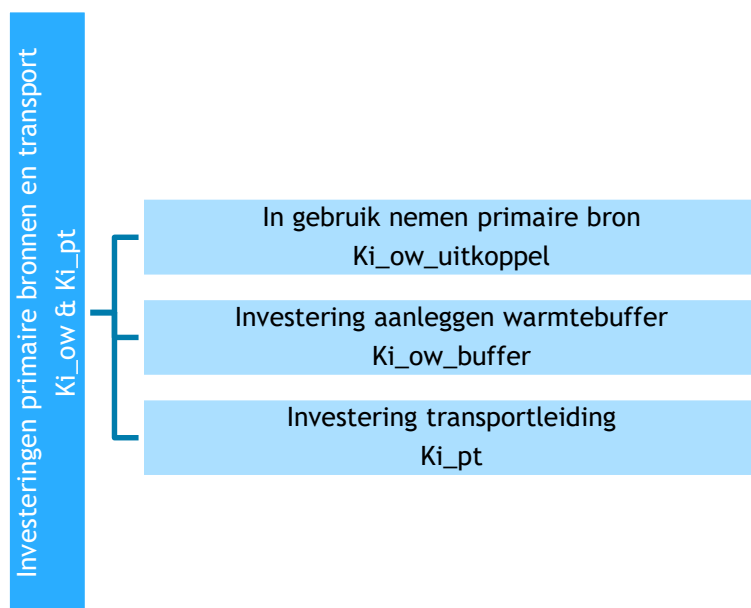
Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
K_OV	Kostenkental voor ongeriefsvergoeding	€/woning	Bijlage A
nrGrondgebonden	Aantal grondgebonden woningen in het vraaggebied, gecorrigeerd voor deelname	Aantal woningen	Uit invoerbestand BAG
nrAppartement	Aantal grondgebonden woningen in het vraaggebied, gecorrigeerd voor deelname	Aantal woningen	Uit invoerbestand BAG
VerketelingSchuif	Aandeel woningen dat geen blokverwarming heeft	Ratio 0 - 1	Zie 5.4.5.1

### 7.3.2 Primaire bronnen & transport

Primaire bronnen en transportleidingen betreffen hier alle onderdelen van het warmtenet die vanuit de afnemer bekeken achter het overdrachtstation liggen. Bij veel warmtenetten liggen deze componenten ook fysiek buiten de buurt, maar er kan ook een warmtebron binnen het vraaggebied liggen (in dat geval is er geen transportleiding nodig). Deze kosten  $Ki_{ow}$  bestaan uit investeringen voor het in gebruik nemen van de bron, eventueel het aanleggen van een buffer of seizoensopslag, en eventueel ook een regeneratiemechanisme. Het in gebruik nemen van de bron kan betekenen dat een bestaande warmtebron wordt uitgekoppeld, bijvoorbeeld voor restwarmte, maar het kan ook betekenen dat er een nieuwe bron wordt gerealiseerd, bijvoorbeeld een WKK.

Figuur 30 - Opbouw investeringskosten primaire bronnen en transport in gebiedsmaatregelen



#### 7.3.2.1 Capaciteitsvraag secundair

De capaciteitsvraag secundair is de totale capaciteit waarop het secundaire net moet worden gedimensioneerd. In het secundaire net zitten meerdere afnemers die elk een eigen piekvraag hebben, afhankelijk van de grootte van het gebouw en het type aansluiting. Ook de bronnen en transportleidingen worden hierop gedimensioneerd omdat ze die capaciteit moeten leveren. Er wordt ietwat overgedimensioneerd om te compenseren voor verliezen in de leidingen. Deze  $P_{sec}$  wordt voor elk object individueel bepaald en vervolgens gesommeerd tot het totaal van het vraaggebied. De gelijktijdigheidsfactoren zijn zo bepaald dat ze geldig zijn bij minimaal 50 woning-equivalenten. Het is aannemelijk dat bij lagere aantallen aansluitingen de gelijktijdigheidsfactoren in de praktijk hoger zijn.

$$P_{sec} = ASW * GTF * (1 + \text{CapaciteitsVerlies})$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
ASW	Aansluitwaarde: de maximale piekvraag van een aangesloten object	KW	Afhankelijk van type object, Zie Bijlage A
GTF	Gelijktijdigheidsfactor: welk deel van de totale piekvraag er daadwerkelijk aan netwerk moet worden aangelegd, er van uit gaande dat niet alle afnemers gelijktijdig hun piekvraag inzetten	Ratio 0 - 1	Instelbare percentages, zie Bijlage A
CapaciteitsVerlies	Aandeel aan capaciteit dat extra moet worden gerealiseerd om te compenseren voor verliezen. Dit is een percentage van de capaciteitsvraag	Ratio 0 - 1	Instelbare percentages, zie Bijlage A

#### 7.3.2.2 Primaire bron

De realisatie van de primaire warmtebron brengt kosten met zich mee die kunnen variëren van zeer laag bij benutting van bestaande restwarmte tot zeer hoog bij bijvoorbeeld geothermie. Deze heeft een variabel deel afhankelijk van de benodigde capaciteit en eventueel komt er nog een vast deel bovenop.

$$Ki_{ow\_uitkoppel} \text{ (evt. } \_var \text{ \& } \_vast) = P_{sec} * P_{cap} * Ki_{KW}$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
Ki_KW	Bedrag per kilowatt dat het kost om de primaire bron te realiseren / uit te koppelen	€/KW	Invoerbestand, zie bijlage TypeInfo
P_cap	Aandeel van de piekcapaciteit waarop de (aansluiting op) de primaire bron wordt gedimensioneerd. % van P_sec	Ratio 0 - 1	Bronnenbestand, TypeInfo of defaultwaarde
P_sec	Capaciteitsvraag secundair	KW	Zie 7.3.2.1

Variabele **P\_cap** geeft aan hoeveel capaciteit een bron moet hebben om aan een gebied te kunnen leveren. Doorgaans is de broncapaciteit lager dan de totale piekbelasting van het secundaire netwerk. Door middel van hulpinstallaties kunnen deze incidentele pieken worden opgevangen, bijvoorbeeld door een gasketel in de WOS. Hierdoor kan een groter aantal gebouwen op dezelfde primaire bron worden aangesloten en kan deze efficiënter worden ingezet doordat deze gelijkmatiger wordt benut als het alleen de basislast draagt en niet ook de pieklast.

Bij WKO wordt er bovenop het variabele deel een vast startbedrag gerekend voor het aanleggen van het WKO-systeem. Bij TEO komt daar weer bovenop nog een vast bedrag voor het aanleggen van de TEO-installatie bij naastgelegen oppervlaktewater. Ook wordt er in dat geval een leiding gerekend tussen het oppervlaktewater en het vraaggebied met variabele lengte afhankelijk van de locatie van het vraaggebied. Voor deze leiding wordt op dezelfde wijze de euro per meter bepaald als voor transportleidingen (zie 7.3.2.5). Bij WKO en TEO valt hier ook een regeneratiemechanisme onder. Bij TEO is dit een op zichzelf staande installatie, niet noodzakelijk op dezelfde locatie van de bron. Met een pomp wordt in de zomer warm oppervlaktewater in de grondlaag gepompt zodat die opwarmt en die warmte kan worden onttrokken in de winter. De kosten hiervoor volgen dezelfde systematiek, met een bedrag per KW en een vast startbedrag. Bij WKO wordt er rekening gehouden met een droge koeler als regeneratiemechanisme, waarvan de kosten worden bepaald als 10% van de totale investeringskosten (vast en variabel deel) van het realiseren van de WKO bron, opgeteld bij deze post.

Voor het aanleggen van TEO-bronnen geldt dat de kosten worden berekend op basis van een vast startbedrag en daar bovenop een variabel bedrag per kilowatt gerealiseerde capaciteit. De dimensionering van de TEO-installatie wordt afgeleid van het benodigde jaarlijkse volumes. Er wordt aangenomen dat het oppervlaktewater jaarlijks gemiddeld 2000 vollasturen kan worden gebruikt voor regeneratie, omdat in die periode de watertemperatuur voldoende hoog is. De installatie wordt zodanig ingeschaald dat binnen die vollasturen het benodigde volume aan warmte kan worden onttrokken. Voor de omrekenfactor zie Bijlage A.

#### 7.3.2.3 Warmtebuffer

Warmtebuffers worden alleen ingezet bij LT-gebiedsmaatregelen met bestaande warmtebronnen. Bij WKO-systemen (ook TEO) is de WKO zelf al een opvang en bij MT-gebiedsmaatregelen wordt de primaire bron geacht zo goed als doorlopend beschikbaar te zijn (of regelbaar) en kan de piekkel bijspringen als er gedurende een periode meer vraag is van aanbod. Bij bestaande LT-puntbronnen is wel een buffer nodig. Dit is hogetemperatuurwarmteopslag om discrepanties tussen vraag- en aanbodprofielen te kunnen overbruggen. In de volgorde van modelberekeningen wordt eerst een bedrag per aansluiting gerekend dat optelt tot een totaalbedrag voor het totale vraaggebied.

Er geldt een minimumbedrag  $Ki\_buffer\_min$  voor elk vraaggebied, ook als door een klein aantal aansluitingen dat bedrag in eerste instantie niet wordt bereikt.

$$Ki\_ow\_buffer = nrAansl * Ki\_buffer\_gebouw$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
nrAansl	Aantal aansluitingen in een vraaggebied, ieder object (wonen of utiliteit) telt hierbij als één	Aantal	Variabel
Ki_buffer_gebouw	Vast bedrag per aansluiting voor het realiseren van een warmtebuffer bij de primaire bron	€ / aansluiting	Zie Bijlage A

#### 7.3.2.4 Transportleiding

Transportleidingen worden alleen toegepast bij bestaande<sup>18</sup> MT (rest)warmtebronnen en bij geothermie in buurten die buiten de potentiecontour liggen. In geval van geothermie wordt de lengte van de leiding bepaald op basis van de afstand van het middelpunt (centroïde) van het vraaggebied tot de dichtstbijzijnde buitengrens van de geothermiecontour. Bij bestaande (rest)warmtebronnen is dit vanaf de centroïde van het vraaggebied tot aan de coördinaten van de bron in het invoerbestand voor puntbronnen.

$$Ki\_pt = owf * afstand * K\_buis$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
owf	Omwegfactor: correctie voor langere buisleiding om obstakels en landschapselementen te omzeilen	Ratio 1 - ∞	Default: 1.25
afstand	Hemelsbrede afstand tussen puntbron (of dichtstbijzijnde geothermiecontour) en vraaggebied	Meter	Geografisch bepaald
K_buis	Kosten van het aanleggen van een meter buisleiding inclusief graafwerkzaamheden en overige overheadkosten	€/meter	Zie 7.3.2.5

Kosten per meter  $K\_buis$  is afhankelijk van de benodigde capaciteit. Een grotere leiding is duurder dan een dunne leiding waar minder warmte tegelijk doorheen kan worden getransporteerd. Bij buurten die worden aangesloten op een puntbron via een door-koppeling uit een andere buurt moet de oorspronkelijke leiding die de eerste buurt voorziet groter zijn om voldoende capaciteit te kunnen bieden aan beide buurten. De meerkosten voor het aanleggen van een grotere leiding richting de oorspronkelijke buurt komen voor rekening van de buurt waarnaartoe wordt doorgekoppeld.

<sup>18</sup> Bestaande bronnen houdt in dat het een bestaande locatie is van een installatie of bedrijf. Dit in tegenstelling tot overige gebiedsmaatregelen waarbij een nieuwe bron gerealiseerd wordt op een nieuwe locatie. Voor bestaande bronnen betekent dit niet dat deze ook al in gebruik zijn als warmtebron en bij de meeste bronnen is dat in de huidige situatie ook niet het geval.

### 7.3.2.5 Buisleidingen per meter

Voor het aanleggen van buisleidingen - warmteleidingen in de grond - wordt in Vesta MAIS gerekend met een bedrag per meter welke een functie is van de benodigde capaciteit (de diameter van de buis). Een groot deel van de kosten bestaat uit een vaste post voor het feit dat de grond moet worden geopend en dat bestrating moet worden teruggeplaatst achteraf. Er wordt geen onderscheid gemaakt in temperatuur-niveaus bij het bepalen van de kosten van de aanleg. Uit gesprekken met de sector is geconcludeerd dat hoewel er voor verschillende temperaturen verschillende typen leidingen met bepaalde isolatieniveaus worden gebruikt, dit in de praktijk geen relevant verschil in de kosten meebrengt. De formule voor buisleidingen kent een bovengrens en een ondergrens. Deels is dit een indicatie van inherente onzekerheid over individuele projecten en mogelijke complicaties per situatie, maar met name wordt deze bandbreedte bepaald door het type bestrating dat moet worden geopend en teruggeplaatst. Hierbij zijn geasfalteerde wegen (gesloten bestrating) veruit het duurste type en zijn buizen langs weilanden, of onder open bestrating als klinkers relatief goedkoop. Deze kosten kunnen worden geschaald naar wens met de knop [VerbeterMinMaxSchuif](#), zie 5.4.4.4. Andere factoren kunnen van invloed zijn op de kosten maar worden niet meegenomen omdat openbare informatie over de lokale omstandigheden ontbreekt. Dit zijn bijvoorbeeld factoren zoals overvolle ondergronden met meerdere infrastructuren in oude steden, of mogelijke bodemverontreiniging waardoor meer veiligheidsmaatregelen nodig zijn. De formules voor de ondergrens en bovengrens zijn hier gegeven, default wordt de middenwaarde gehanteerd.

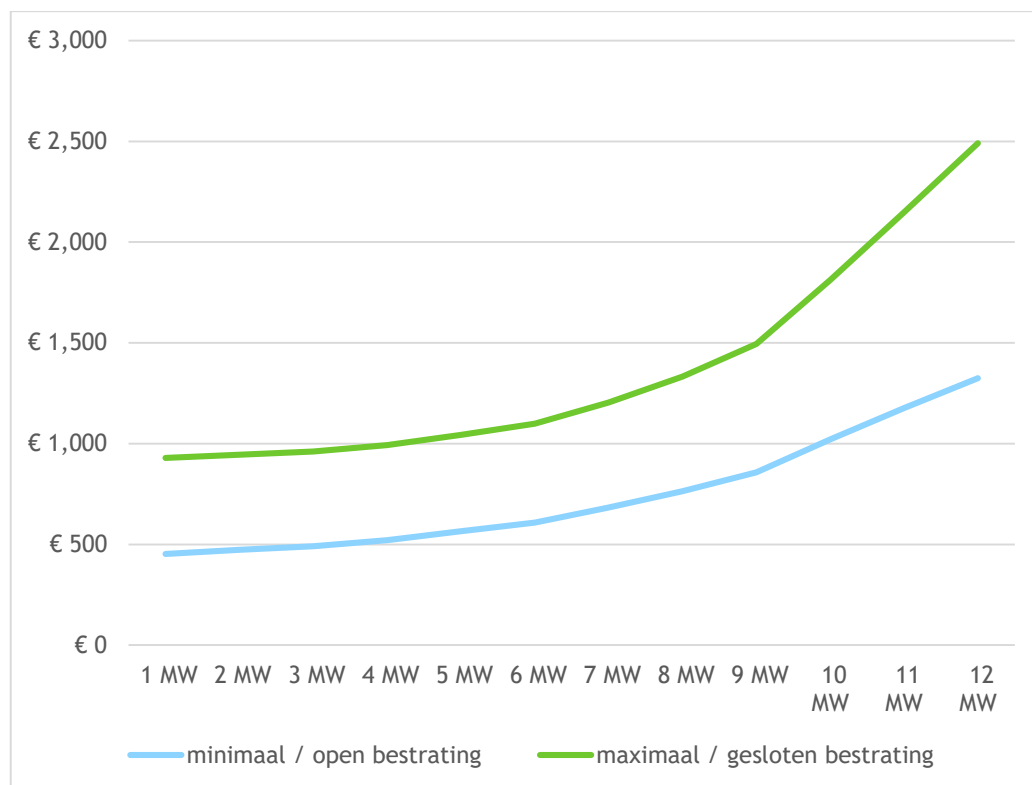
$$K_{buis} (min) = 400 + 210 * (P_{sec} * 0.001)^{0.5}$$

$$K_{buis} (max) = 800 + 200 * (P_{sec} * 0.001)^{0.6}$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
P_sec	Capaciteitsvraag van het secundaire net	KW	Zie 7.3.2.1

Figuur 29 - Kostencurve warmteleidingen (kosten per meter buisleiding)

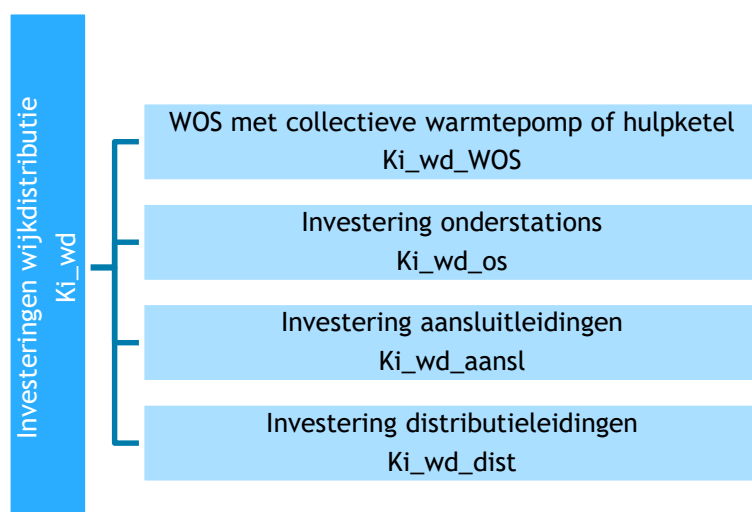


Bron: PBL.

### 7.3.3 Wijkdistributie

Wijkdistributie omvat alle componenten die zich bevinden tussen de primaire bron (eventueel via transportleiding) en de warmtemeter bij de afnemers. Hieronder vallen alle leidingen die in de bodem moeten worden gelegd alsmede alle pompen en warmte-wisselaars in energiestations die nodig zijn om de warmte te verdelen. Ook valt hieronder een overdrachtstation met mogelijk een opwekkingsinstallatie waarmee piekvraag wordt ondervangen of waarmee warmte naar hogere temperaturen kan worden gebracht voor aflevering. In de praktijk staan deze overdrachtstations vaak niet fysiek binnen de wijk waaraan geleverd wordt. Dit heeft echter geen invloed op de modellering en wordt daarom buiten beschouwing gelaten en hier ook onder wijkdistributie geschaard.

Figuur 31 - Opbouw investeringskosten wijkdistributie in gebiedsmaatregelen



#### 7.3.3.1 WOS met collectieve warmtepomp of hulpketel

WOS staat voor Warmte Overdracht Station. Dit is het beginpunt van het secundaire net. Afhankelijk van de netwerkconfiguratie kan deze direct bij de primaire bron staan, of elders in het vraaggebied. Het kan ook voorkomen dat in de praktijk meerdere kleine stations worden neergezet in plaats van één grote. Bij LT-gebiedsmaatregelen wordt in de modellering uitgegaan van een WOS waarbij ook de collectieve warmtepomp direct wordt geplaatst. Bij MT-gebiedsmaatregelen is er geen collectieve warmtepomp in het systeem en wordt er in plaats hiervan een gasgestookte hulpketel ingebouwd. Bij LT-gebiedsmaatregelen wordt deze als volgt berekend:

$$Ki\_wd\_WOS = P\_sec * AandeelHulp * (Ki\_WOS + Ki\_eWP\_coll)$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
P_sec	Capaciteitsvraag secundair	KW	Zie 7.3.2.1
AandeelHulp	Percentage van de capaciteitsvraag in het secundaire net dat de collectieve warmtepomp of hulpketel moet kunnen leveren	Ratio 0 - 1	Bijlage A (afhankelijk van type netwerk)
Ki_WOS	Kostenkental voor het aanleggen van een warmteoverdrachtstation	€/KW	Bijlage A
Ki_eWP_coll	Kostenkental voor het aanleggen van een collectieve warmtepomp bij de WOS	€/KW	Bijlage A

Indien brontemperatuur constant moet worden opgewerkt naar een hogere aflever-temperatuur wordt de collectieve warmtepomp op 100% van de capaciteitsvraag in het netwerk geschaald. Indien de brontemperatuur direct naar afnemers wordt gebracht is de warmtepomp in de WOS alleen nodig als backup en om pieken op te vangen en kan dus op een lager percentage worden geschaald.

Voor netwerkconfiguraties waarin geen collectieve warmtepomp wordt opgenomen maar een gasgestookte hulpketel (alle MT-gebiedsmaatregelen) wordt dezelfde rekenmethode gevolgd maar worden **Ki\_WOS** en **Ki\_eWP\_coll** vervangen door één

kengetal  $K_{WOS}$  (zie bijlage A). Dit is een kengetal in euro per kilowatt voor een WOS met gasketel erbij in.

### 7.3.3.2 Onderstations

Onderstations zijn verdeelpunten in het netwerk. Deze zijn in veel gevallen uitgerust met warmtewisselaars en soms ook met pompinstallaties. Onderstations kunnen in de praktijk onder de straat liggen en vanuit daar warmte verdelen naar meerdere woningen, maar kunnen met name bij utiliteit en glastuinbouw ook vaak binnen het pand worden aangelegd. Daarom wordt er bij deze functie onderscheid gemaakt naar type bebouwing. Bij glastuinbouw wordt verondersteld dat elke aansluiting een eigen onderstation in het pand krijgt. Daarom wordt bij glastuinbouw geen gelijktijdigheidsfactor ingerekend, wat betekent dat onderstations op de volledige piekvraag worden gedimensioneerd. Utiliteit en woningen worden verondersteld gezamenlijk een aantal onderstations te delen waardoor er wel sprake is van gelijktijdigheidsfactoren. Deze gelijktijdigheid speelt een rol omdat niet iedereen tegelijk de volledige piekvraag zal inzetten. Bij woningen wordt apart bepaald wat de kosten zijn van het verwijderen van de bestaande collectieve ketel<sup>19</sup> bij het aandeel van de woningen dat in de start-situatie blokverwarming heeft. Dit wordt binnen Vesta MAIS gezien als onderdeel van het installeren van een onderstation in dezelfde ruimte. Deze kosten worden in de rapportage verder niet meer expliciet gemaakt.

$$Ki\_wd\_os \text{ (glastuinbouw)} = K_{OS} * ASW$$

$$Ki\_wd\_os \text{ (utiliteit)} = K_{OS} * ASW * GTF$$

$$Ki\_wd\_os \text{ (woningen)} = K_{OS} * ASW * GTF + ASW * GTF * (1 - Verketelingschuif) * K_{ketel}$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
$K_{OS}$	Kostenkental voor de aanleg van onderstations	€/KW	Zie Bijlage A
ASW	Aansluitwaarde: de maximale piekvraag van een aangesloten object	KW	Afhankelijk van type object, Zie Bijlage A
GTF	Gelijktijdigheidsfactor: welk deel van de totale piekvraag er daarwerkelijk aan netwerk moet worden aangelegd, er van uit gaande dat niet alle afnemers gelijktijdig hun piekvraag inzetten	Ratio 0 - 1	Instelbare percentages, zie Bijlage A (gelijk aan 7.3.2.1)
VerketelingSchuif	Aandeel woningen dat geen blokverwarming heeft (dit geldt alleen voor gestapelde bouw)	Ratio 0 - 1	Zie 5.4.5.1
$K_{ketel}$	Kostenkental voor het bedrag dat moet worden betaald om de bestaande gasketel in hoogbouw met blokverwarming te verwijderen	€ / KW	Zie Bijlage A

Deze kosten worden eerst voor afzonderlijke objecten bepaald en vervolgens gesommeerd over alle objecten van dat type. Dit is omdat subcategorieën van woningen of utiliteit afwijkende aansluitwaardes of gelijktijdigheidsfactoren kunnen hebben. Achteraf worden de kosten voor de verschillende bebouwingstypen bij elkaar opgeteld en vormen dan samen de totale  $Ki\_wd\_OS$  van het vraaggebied.

<sup>19</sup> Uitzondering is woningen met blokverwarming die overgaan op LT-levering, hierbij wordt deze post niet meegenomen.



### 7.3.3.3 Aansluitleidingen

Deze leiding is de buis vanaf het distributienetwerk in de straat naar de gevel van een pand, en wellicht nog tot aan een warmtemeter net binnen het pand. Uit analyse door GreenVis geleverd aan PBL komt een inschatting van het aantal meter aansluitleiding dat nodig is om alle panden in een CBS-buurt aan te sluiten op het distributienet. Dit wordt afgeleid uit een GIS-analyse per buurt van de afstand van de gevel tot de straat. In Vesta MAIS wordt aanvullend op de aangeleverde resultaten een minimum-waarde gehanteerd van 1 meter aansluitleiding per pand. Vervolgens wordt gerekend met de gemiddelde lengte van de aansluitleiding in meters voor elk pand zoals die in die buurt geldt. In panden waarin zich meerdere verblijfsobjecten bevinden worden de kosten van de aansluitleiding gelijkmatig verdeeld over alle verblijfsobjecten.

$$Ki\_wd\_aansl = (1/nrVbo) * L\_aansl * ASW * K\_aansl\_m$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
nrVbo	Het aantal verblijfsobjecten totaal binnen het pand waarin dit object zich bevindt	Aantal	Variabel, afgeleid uit BAG
L_aansl	Gemiddelde afstand tussen gevel en straat in de CBS buurt waarin dit object zich bevindt	Meter	Invoerbestand GreenVis
ASW	Aansluitwaarde: de maximale piekvraag van een aangesloten object	KW	Afhankelijk van type object, Zie Bijlage A
K_aansl_m	Kosten van de aanleg van een meter aansluitleiding, berekend op basis van ASW	€/meter	Zie 7.3.2.5

Deze berekening wordt alleen gedaan voor woningen<sup>20</sup>. Bij utiliteit en glastuinbouw worden de onderstations doorgaans direct in of bij het pand geplaatst zodat er geen aansluitleiding meer nodig is.

### 7.3.3.4 Distributieleidingen

Distributieleidingen verspreiden warmte door het vraaggebied. Deze strekken vanaf de WOS tot aan de aansluitleidingen. De lengte van het distributienetwerk wordt verschillend bepaald voor verschillende typen gebiedsopties, daarom wordt daarvoor hier onderscheid in gemaakt. Dit onderscheid ontstaat door de verschillende technieken die worden gebruikt, en doordat er op een andere manier wordt omgegaan met het vormen van vraaggebieden.

De rekenmethode voor WKO en TEO is ontleend aan het WKO-gebied De Teuge in Zutphen. Hierin staan 187 grondgebonden woningen binnen een ellips met berekend oppervlak 15.762 m<sup>2</sup>. De kosten voor het leidingnet bedroegen per woning 6.000 euro. Hieruit ontstaat een bedrag per vierkante meter, wat vermenigvuldigd kan worden met het oppervlakte van het vraaggebied.

Bij overige LT-opties wordt (de wortel van) het oppervlak van het vraaggebied vermenigvuldigd met een factor die de relatie tussen oppervlak en leidinglengte beschrijft. Dit levert een indicatie van het benodigde aantal meter leiding. De kosten per meter worden bepaald op basis van de capaciteitsvraag, met de formule uit 7.3.2.5 waarmee vervolgens de totale kosten kunnen worden berekend.

<sup>20</sup> Uitzondering is utiliteit in LT-opties, waarvoor wel aansluitleidingen worden gerekend.

Bij alle MT-opties wordt de benodigde leidinglengte afgeleid van de lengte van het wegennet in een buurt, berekend door GreenVis en ingelezen in een invoerbestand. De lengte van het wegennet wordt vervolgens vermenigvuldigd met een kengetal dat aangeeft over welk deel van het wegennet leidingen moeten worden aangelegd. Voor de kosten wordt ook hier de formule uit 7.3.2.5 gebruikt

$$Ki\_wd\_dist \text{ (WKO \& TEO)} = ( 6000 * 187 / 15741 ) * AreaProxy$$

$$Ki\_wd\_dist \text{ (Overig LT)} = K\_dist\_m * Factor\_LT * \sqrt{AreaProxy}$$

$$Ki\_wd\_dist \text{ (Alle MT)} = K\_dist\_m * Factor\_MT * L\_weg$$

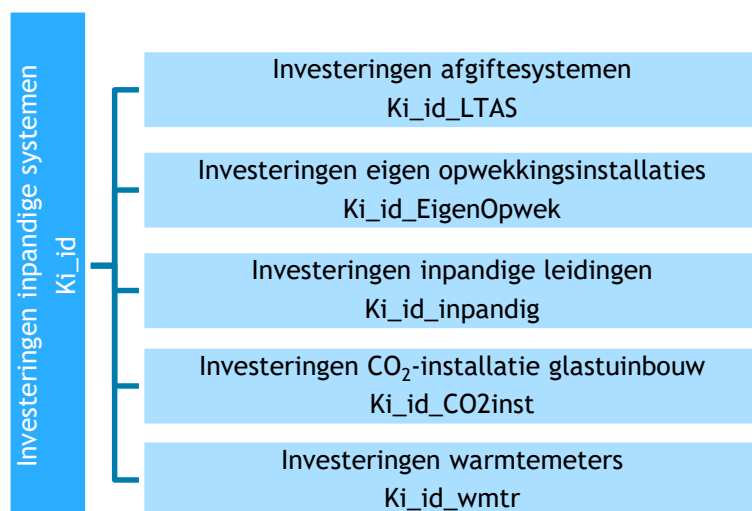
Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
Factor_MT	Kengetal voor de relatie tussen lengte van het wegennet en benodigde leidinglengte	Factor	0.34375
Factor_LT	Kengetal voor de relatie tussen oppervlak van een vraaggebied en benodigde leidinglengte <sup>21</sup>	Factor	1.59099
AreaProxy	Benadering van het grondoppervlak van het totale vraaggebied. Effectief het gebied waarover het netwerk moet worden aangelegd	m <sup>2</sup>	Geografisch bepaald
K_dist_m	Kosten van aanleg per meter leiding, berekend op basis van P_sec, zie 7.3.2.1	€/meter	Zie 7.3.2.5
L_weg	Lengte van het wegennet in een CBS-buurt, berekend door GreenVis	Meter	Invoerbestand

<sup>21</sup> In het model is dit kengetal geduid als  $\sqrt{2} * 1.125$ .

### 7.3.4 Inpandige systemen

Figuur 31 - Opbouw investeringskosten inpandige systemen in gebiedsmaatregelen



#### 7.3.4.1 Afgiftesysteem

Bij gebiedsopties waar temperaturen lager dan 55 graden worden geleverd wordt rekening gehouden met het feit dat de bestaande radiatoren in de meeste gevallen niet voldoende zijn om voldoende warmte af te geven. In dat geval wordt een bedrag in rekening gebracht als onderdeel van de investeringskosten van een warmtenet wat de kosten representeert van het aanpassen van de radiatoren.

$$Ki\_id\_LTAS = Ki\_LTAS\_wonen * nrWoningen + Ki\_LTAS\_util * Opp\_util$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
Ki_LTAS_wonen	Vast bedrag per woning voor het aanleggen van een lagetemperatuurafgiftesysteem	€/woning	Bijlage A
Ki_LTAS_util	Bedrag per vierkante meter utiliteit voor het aanleggen van een lagetemperatuurafgiftesysteem.	€/m <sup>2</sup>	Bijlage A
nrWoningen	Aantal woningen binnen het vraaggebied	Aantal	Uit BAG
Opp_util	Aantal vierkante meter utiliteit binnen het vraaggebied	m <sup>2</sup>	Uit BAG

#### 7.3.4.2 Eigen opwekkingsinstallatie

Bij gebiedsmaatregelen waar temperaturen worden geleverd die niet voldoende zijn om direct te gebruiken, moet op gebouw niveau de temperatuur nog worden verhoogd. In Vesta MAIS gebeurt dit met een elektrische warmtepomp. In sommige gevallen is het geleverde wel voldoende om in de ruimteverwarming te voorzien, maar onvoldoende voor warm tapwater. In dat laatste geval wordt alleen een kleine elektrische booster ingerekend. De booster is een vast bedrag *Ki\_boost* per aansluiting (zie Bijlage A). Voor een volledige combipomp geldt onderstaande formule. Volgend tabel geeft aan bij welke labels en temperatuurniveaus er een booster of een volledige warmtepomp nodig is.

Schillabel	Eigen installatie bij 30 °C aflevering	Eigen installatie bij 50 °C aflevering
Label A+	Alleen booster voor tapwater	Alleen booster voor tapwater
Label B	Alleen booster voor tapwater	Volledige combiwarmtepomp
Label C, D of E	Volledige combiwarmtepomp	Volledige combiwarmtepomp

$$Ki\_id\_EigenOpwek = Ki\_eWP\_xx * ASW\_eWP$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
ASW_eWP	Capaciteit waarop de warmtevraag moet worden gedimensioneerd, gebaseerd op de vermogensvraag naar warmte of koude (hoogste van de twee is leidend)	KW	Invoerbestand bebouwing - berekend per object.
Ki_eWP_xx	Kosten van de investering voor het installeren van een elektrische warmtepomp bij een gebouw als onderdeel van een LT-gebiedsoptie	€/KW	Bijlage A *

\* Binnen Vesta MAIS wordt in de kentallen verder nog onderscheid gemaakt naar [Ki\\_eWP\\_B](#) en [Ki\\_eWP\\_CDE](#), zodat er rekening wordt gehouden met een grotere en duurdere warmtepomp bij slechtere isolatieniveaus. Ook is er een apart kentel [Ki\\_eWP\\_util](#) voor utiliteit.

#### 7.3.4.3 Inpandige leidingen

In een aantal gevallen is het niet voldoende om leidingen tot aan de gevel te leggen, er moet ook binnen het pand een aantal leidingen worden aangelegd om warmte door het gebouw te vervoeren. Dit kan bijvoorbeeld bij gestapelde bouw het geval zijn, of in utiliteitsbouw.

Bij woningen<sup>22</sup> is dit een vast bedrag [Ki\\_inpandig](#) per woning (zie Bijlage A). Dit bedrag geldt niet voor grondgebonden woningen. Bij gestapelde bouw wordt het bedrag wel gecorrigeerd voor het aandeel dat al blokverwarming heeft en waar deze leidingen dus al aanwezig heeft.

Bij utiliteit in LT-gebiedsmaatregelen wordt alleen inpandig leidingwerk gerekend voor kleinere utiliteit (minder dan 7.500 m<sup>2</sup>). Er geldt een minimumgrootte van 100 m<sup>2</sup> waarvoor leidingwerk in rekening wordt gebracht per vierkante meter met kengetal [Ki\\_id\\_uklein](#). Voor utiliteitspanden groter dan 100 m<sup>2</sup> wordt het bedrag dat per vierkante meter wordt gerekend steeds kleiner totdat deze vanaf 7.500 m<sup>2</sup> tot nul is gedaald.

Bij utiliteit in MT-gebiedsmaatregelen wordt het bedrag niet bepaald aan de hand van het oppervlak, maar aan de hand van de capaciteitsvraag. Deze wordt gecorrigeerd voor gelijktijdigheid als representatie van het patroon dat binnen de utiliteitsbouw niet alle afnemers tegelijk de volledige piekvraag inzetten. Hierbij is utiliteit met een capaciteitsvraag groter dan 100 KW niet meegenomen. Voor deze groep worden geen inpandige leidingen ingerekend.

Voor de glastuinbouw wordt de berekening op een complexere manier gedaan. Hier wordt een investeringsbedrag voor dienstleidingen berekend en vervolgens wordt daarbij een investering voor zijleidingen opgeteld. Beiden zijn afhankelijk van het

<sup>22</sup> Bij LT-opties wordt dit bedrag niet geschaald voor bestaande blokverwarming, maar wel gecorrigeerd voor het aandeel in het pand dat dit object heeft.

totale oppervlak van het glastuinbouwcomplex, maar de zijleidingen zijn ook afhankelijk van de benodigde capaciteit.

$$Ki\_id (woningen) = Ki\_id\_metBlok * (1 - VerketelingSchuif) + Ki\_id\_geenBlok * VerketelingSchuif$$

$$Ki\_id (utiliteit LT) = Ki\_id\_uklein * Opp\_bvo * ((7.500 - Opp\_bvo)/7400)$$

$$Ki\_id (utiliteit MT) = Ki\_id\_util * ASW * GTF$$

$$Ki\_id (glastuinbouw) = K\_dienst * Opp\_bvo + K\_buis * (Factor\_GLTB + \sqrt{Opp\_bvo} * \sqrt{2})$$

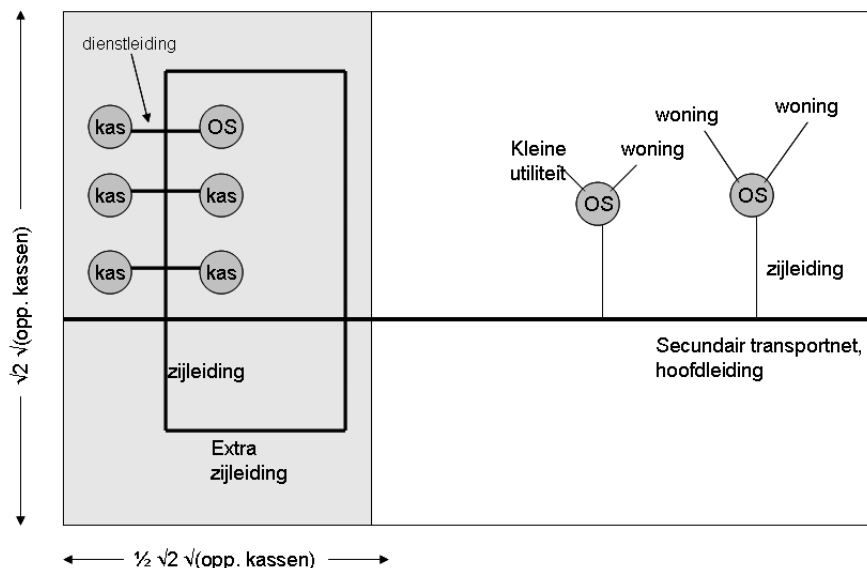
Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
Factor_GLTB	Kengetal voor de relatie tussen oppervlak van een glastuinbouwcomplex en benodigde leidinglengte	Factor	356.595 *
K_buis	Kosten van een meter buis in een glastuinbouwcomplex, bepaald op basis van de benodigde capaciteit	€/m	Zie 7.3.2.5
K_dienst	Kosten voor het aanleggen van in pandige dienstleidingen binnen glastuinbouwcomplexen	€/m <sup>2</sup>	Bijlage A **
GTF	Gelijktijdigheidsfactor: welk deel van de totale piekvraag er daarwerkelijk aan netwerk moet worden aangelegd	Ratio 0 - 1	Instelbare percentages, zie Bijlage A
ASW	Aansluitwaarde: de maximale piekvraag van een aangesloten object	KW	Afhankelijk van type, Zie Bijlage A
Ki_id_util	Kosten om bij utiliteitsbouw in pandige leidingen aan te leggen in MT-gebiedsopties	€/KW	Bijlage A
Ki_id_uklein	Kosten om bij utiliteitsbouw met oppervlakte < 7.500 m <sup>2</sup> in pandige leidingen aan te leggen in LT-gebiedsopties	€/m <sup>2</sup>	Bijlage A
Ki_id_metBlok	Kosten om in een woning in pandige leidingen aan te leggen, indien er al blokverwarming is	€/aansluiting	Bijlage A
Ki_id_geenBlok	Kosten om in een woning in pandige leidingen aan te leggen, indien er geen blokverwarming is	€/aansluiting	Bijlage A
Opp_bvo	Aantal vierkante meters binnenvloers oppervlak in een object utiliteit of glastuinbouw	m <sup>2</sup>	Invoerdata
VerketelingSchuif	Aandeel woningen dat geen blokverwarming heeft	Ratio 0 - 1	Zie 5.4.5.1

\* De factor voor de relatie tussen oppervlak en zijleidingen bij glastuinbouw wordt bepaald als  $1.7 * 2 * \sqrt{11.000}$ . Deze is hier versimpeld weergegeven.

\*\* **K\_dienst** is in het model opgesplitst **K\_dienst\_Gwarm** voor groenteteelt, **K\_dienst\_Bwarm** voor bloementeelt en **K\_dienst\_Owarm** voor glastuinbouw met onbekende invulling.

Figuur 30 - Schematische weergave van gebied met warmtelevering aan glastuinbouw



#### 7.3.4.4 CO<sub>2</sub>-installatie

Tuinders gebruiken veelal CO<sub>2</sub> welke in de referentiesituatie vrijkomt bij het stoken op aardgas. Bij aansluiting op een warmtedistributienet wordt in de CO<sub>2</sub> voorzien door een CO<sub>2</sub>-installatie.

Nb: het oppervlak  $L_t$  is in hectare (10.000 m<sup>2</sup>) in deze formules.

$$\text{Eenmalige installatiekosten (€)} = 1.000 \times L_t$$

$$\text{Jaarlijkse CO}_2 \text{ kosten (€)} = (V_{CO2} \times K_{CO2} \times L_t) + (K_{i\_huur\_CO2Inst} \times L_t)$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
$V_{CO2}$	Jaarlijkse vraag naar CO <sub>2</sub> in de glastuinbouw	ton/ha/jaar	Zie tabel Bijlage A
$K_{CO2}$	Prijs per ton CO <sub>2</sub> -inkoop in glastuinbouw	€/ton	Zie tabel Bijlage A
$L_t$	Oppervlakte verwarmde glastuinbouw	ha	Variabel
$K_{i\_huur\_CO2Inst}$	Huur CO <sub>2</sub> -installatie	€/ha/jaar	Zie tabel Bijlage A

#### 7.3.4.5 Warmtemeters

Bij MT-opties wordt voor utiliteit en glastuinbouw een aanvullend bedrag voor warmtemeters gerekend. Dit geldt niet bij woningen of bij LT-opties. Wel wordt er bij woningen in LT-gebiedsmaatregelen een afleverset in rekening gebracht. Deze afleverset wordt berekend als een vast bedrag per woning  $K_{i\_id\_aflever}$ , zie Bijlage A.

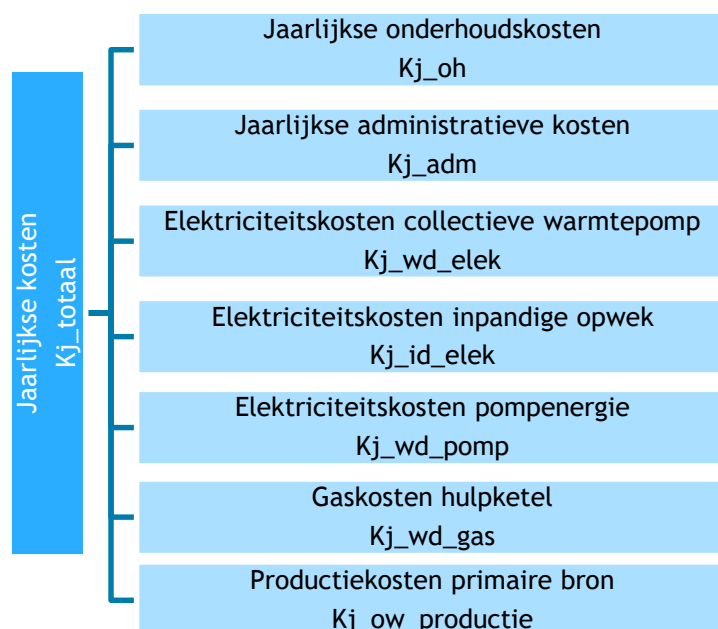
$$K_{i\_id\_wmtr} = K_{wmtr\_vast} + K_{wmtr\_var} \times ASW$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
K_wmtr_vast	Vast bedrag per aansluiting voor het aanbrengen van nieuwe warmtemeters bij utiliteit en glastuinbouw	€/aansluiting	Bijlage A
K_wmtr_var	Variabel bedrag voor het aanbrengen van warmtemeters bij utiliteit en glastuinbouw, afhankelijk van de benodigde capaciteit	€/KW	Bijlage A
ASW	Aansluitwaarde: de maximale piekvraag van een aangesloten object	KW	Afhankelijk van type object, Zie Bijlage A

## 7.4 Jaarlijkse kosten gebiedsmaatregelen

Figuur 32 - Opbouw jaarlijkse kosten in gebiedsmaatregelen



### 7.4.1 Onderhoudskosten

Onderhoudskosten zijn opgesplitst naar in pandig ( $K_{j\_id\_oh}$ ), distributie ( $K_{j\_wd\_oh}$ ), transport ( $K_{j\_pt\_oh}$ ) en bronnen ( $K_{j\_ow\_oh}$ ). Allen worden zij berekend als een vast percentage van het investeringsbedrag voor het betreffende component. Voor elk component is voor dit percentage een bijbehorend kengetal  $R_{xx\_Onderhoud}$  opgenomen. Hieronder een voorbeeld gegeven voor de onderhoudskosten van een transportleiding:

$$K_{j\_pt\_oh} = K_{i\_pt} * R_{pt\_Onderhoud}$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
R_pt_Onderhoud	Jaarlijkse onderhoudskosten als percentage van het investeringsbedrag	Ratio 0 - 1	Bijlage A
Ki_pt	Investeringsbedrag voor transportleiding	€	Zie 7.3.2.4

## 7.4.2 Administratieve kosten

Zijn opgesplitst naar in pandig ( $Kj_{id\_adm}$ ), distributie ( $Kj_{wd\_adm}$ ), transport ( $Kj_{pt\_adm}$ ), bronnen ( $Kj_{ow\_adm}$ ) en de leverancier ( $Kj_{lv\_adm}$ ). Allen worden zij berekend als een vast percentage van het investeringsbedrag voor het betreffende component, zoals in 7.3.1. Uitzondering hierop is de leverancier; hierbij gaat het niet om een percentage van het investeringsbedrag maar over een percentage van het jaarlijks inbare vastrecht (zie 7.1.4). Voor elk component is voor dit percentage een bijbehorend kengetal  $R_{xx\_Admin}$  opgenomen. Hieronder een voorbeeld gegeven voor de administratieve kosten van een leverancier:

$$Kj_{lv\_adm} = Oj\_vastrecht * R_{lv\_Admin}$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
$R_{lv\_Admin}$	Jaarlijkse onderhoudskosten als percentage van het jaarlijks inbare vastrecht.	Ratio 0 - 1	Bijlage A
$Oj\_vastrecht$	Jaarlijkse opbrengsten uit vastrecht	€/jaar	Zie 7.2.4

## 7.4.3 Elektriciteitskosten collectieve warmtepomp

In sommige varianten van gebiedsmaatregelen worden collectieve elektrische warmtepompen ingezet om hogere aflevertemperaturen dan de brontemperatuur te realiseren. De kosten van het elektriciteitsverbruik van collectieve warmtepompen  $Kj_{wd\_elek}$  wordt uitgedrukt in euro per jaar. Hierbij is de  $SPF_{collWP}$  een belangrijke factor. Deze hangt af van de verschillende temperatuurniveaus en het technische rendement van de installatie. Deze verschilt daarom per type gebiedsmaatregel. Er worden aparte berekeningen voor warmte ( $Kj_{wd\_elek\_w}$ ) en koude ( $Kj_{wd\_elek\_k}$ ) gedaan welke vervolgens bij elkaar worden opgeteld. Dit omdat er voor elk andere een SPF geldt.

$$Kj_{wd\_elek\_w} = (Vj\_Warmte / (1 - Leidingverlies) / SPF_{collWP\_w}) * KGJ_{elek\_GG}$$

$$Kj_{wd\_elek\_k} = (Vj\_Koude / (1 - Leidingverlies) / SPF_{collWP\_k}) * KGJ_{elek\_GG}$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
$Vj\_Warmte$	Totale jaarlijkse warmtevraag van alle afnemers in het vraaggebied	GJ/jaar	Modelresultaat
$Vj\_Koude$	Totale jaarlijkse koudevraag van alle afnemers in het vraaggebied	GJ/jaar	Modelresultaat
Leidingverlies	Aandeel van geproduceerde warme dat in het netwerk verloren gaat aan de omgeving	Ratio 0 - 1	Zie Bijlage A
$SPF_{collWP\_k}$	Seasonal performance factor van collectieve warmtepomp - efficiëntie van koudeopwekking	Factor	Zie Bijlage A
$SPF_{collWP\_w}$	Seasonal performance factor van collectieve warmtepomp - efficiëntie van opwaardering	Factor	Zie Bijlage A
$KGJ_{elek\_GG}$	Grootverbruikersprijs voor inkoop van elektriciteit inclusief belastingen, excl. BTW	€/GJ	Invoerbestand energieprijzen



Er zijn ook gebiedsopties waar de nettemperatuur en de brontemperatuur gelijk zijn, maar waar wel een collectieve elektrische warmtepomp in het netwerk wordt geïnstalleerd als backupsysteem en om pieken op te kunnen vangen. In dat geval hoeft de collectieve warmtepomp niet 100% van de warmte op te waarden (zoals in deze formules wel het geval is). In dat geval geldt er een percentage [AandeelHulpVolume](#), welke aangeeft welk deel van de warmte wel opgewaardeerd moet worden, zie ook Bijlage A.

#### 7.4.4 Elektriciteitskosten inpandige opwek

In sommige varianten van gebiedsmaatregelen worden individuele elektrische warmtepompen ingezet om hogere aflevertemperaturen dan de brontemperatuur te realiseren. De kosten van het elektriciteitsverbruik van inpandige warmtepompen [Kj\\_id\\_elek](#) wordt uitgedrukt in euro per jaar. Hierbij is de [SPF\\_indWP\\_xx](#) een belangrijke factor. Deze hangt af van de verschillende temperatuurniveaus en het technische rendement van de installatie. Deze verschilt daarom per type gebiedsmaatregel. Er worden aparte berekeningen voor ruimteverwarming ([Kj\\_id\\_elek\\_rv](#)), tapwaterbereiding ([Kj\\_id\\_elek\\_ww](#)) en koude ([Kj\\_id\\_elek\\_k](#)) gedaan welke vervolgens bij elkaar worden opgeteld. Dit omdat er voor elk een andere SPF geldt. Deze kosten worden gecorrigeerd voor het aandeel eigen opwekking (AEO) dat nodig is. Dit om ervoor te corrigeren dat de nettemperatuur gedurende warmere seizoenen voldoende kan zijn om direct te gebruiken voor ruimteverwarming, en dat niet alle tapwater altijd naar 60 graden of meer gebracht hoeft te worden.

$$Kj\_id\_elek\_rv = (Vj\_Warmte\_rv * AEO\_rv / SPF\_indWP\_rv) * KGJ\_elek\_eg$$

$$Kj\_id\_elek\_ww = (Vj\_Warmte\_ww * AEO\_ww / SPF\_indWP\_ww) * KGJ\_elek\_eg$$

$$Kj\_id\_elek\_k = (Vj\_Koude * AEO\_k / SPF\_indWP\_k) * KGJ\_elek\_eg$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
Vj_Warmte_rv	Totale jaarlijkse warmtevraag van een afnemer voor ruimteverwarming	GJ/jaar	Modelresultaat
Vj_Warmte_ww	Totale jaarlijkse warmtevraag van een afnemer voor tapwaterbereiding	GJ/jaar	Modelresultaat
Vj_Koude	Totale jaarlijkse koudevraag van een afnemer	GJ/jaar	Modelresultaat
SPF_indWP_rv	Seasonal performance factor van inpandige warmtepomp - efficiëntie van ruimteverwarming	Factor	Zie Bijlage A
SPF_indWP_ww	Seasonal performance factor van inpandige warmtepomp - efficiëntie van tapwaterbereiding	Factor	Zie Bijlage A
SPF_indWP_k	Seasonal performance factor van inpandige warmtepomp - efficiëntie van koudeopwekking	Factor	Zie Bijlage A
AEO_rv	Aandeel van de totale warmtevraag voor ruimteverwarming waarover eigen opwek nodig is	Ratio 0 - 1	Zie Bijlage A
AEO_ww	Aandeel van de totale warmtevraag voor tapwaterbereiding waarover eigen opwek nodig is	Ratio 0 - 1	Zie Bijlage A
AEO_k	Aandeel van de totale koudevraag voor waarover eigen opwek nodig is	Ratio 0 - 1	Zie Bijlage A
KGJ_elek_eg	Prijs voor inkoop van elektriciteit inclusief belastingen, ex BTW. Afhankelijk van het jaarlijkse verbruik van de gebouwgebruiker	€/GJ	Invoerbestand energieprijzen

### 7.4.5 Elektriciteitskosten pompenergie

In warmtenetten worden elektrisch aangedreven pompen ingezet om warmte door leidingen te verplaatsen. De kosten van het elektriciteitsverbruik van distributiepompen  $Kj\_wd\_pomp$  wordt uitgedrukt in euro per jaar.

$$Kj\_wd\_pomp = (Vj\_Warmte + Vj\_Koude) / (1 - Leidingverlies) * Pompenergie\_Wnet * KGJ\_elek\_GG$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
Vj_Warmte	Totale jaarlijkse warmtevraag van alle afnemers in het vraaggebied	GJ/jaar	Modelresultaat
Vj_Koude	Totale jaarlijkse koudevraag van alle afnemers in het vraaggebied	GJ/jaar	Modelresultaat
Leidingverlies	Aandeel van geproduceerde warme dat in het netwerk verloren gaat aan de omgeving	Ratio 0 - 1	Zie Bijlage A
Pompenergie_Wnet	Kengetal voor hoeveel elektriciteit er nodig is	GJ/GJ	Zie Bijlage A
KGJ_elek_GG	Grootverbruikersprijs voor inkoop van elektriciteit inclusief belastingen, excl. BTW	€/GJ	Invoerbestand energieprijzen

### 7.4.6 Gaskosten hulpketel

In sommige varianten van gebiedsmaatregelen worden gasgestookte hulpketels ingezet om piekvraag in koude seizoenen te kunnen opvangen. De kosten van het gasverbruik van hulpketels  $Kj\_wd\_gas$  wordt uitgedrukt in euro per jaar. Hierbij is de [AandeelHulp](#) een belangrijke factor. Deze geeft aan hoeveel van de warmtevraag er jaarlijks uit de hulpketel moet worden geproduceerd. Deze kan verschillen per type bron, en ook per individuele warmtebron worden opgegeven.

$$Kj\_wd\_gas = (Vj\_Warmte / (1 - Leidingverlies) * HulpEfficiency) * AandeelHulp * KGJ\_gas\_GG$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
Vj_Warmte	Totale jaarlijkse warmtevraag van alle afnemers in het vraaggebied	GJ/jaar	Modelresultaat
Leidingverlies	Aandeel van geproduceerde warme dat in het netwerk verloren gaat aan de omgeving	Ratio 0 - 1	Zie Bijlage A
HulpEfficiency	Efficiëntie van warmteopwekking - rendement van de hulpketel	Factor	Zie Bijlage A
AandeelHulp	Aandeel van de warmtevraag die uit de hulpketel moet worden geproduceerd	Ratio 0 - 1	Zie Bijlage A
KGJ_elek_GG	Grootverbruikersprijs voor inkoop van elektriciteit inclusief belastingen, excl. BTW	€/GJ	Invoerbestand energieprijzen

### 7.4.7 Productiekosten primaire bron

Complementair aan de kosten van de hulpinstallatie zijn er kosten  $Kj\_ow\_productie$  verbonden aan warmteproductie bij de primaire bron. Deze kunnen variëren per brontype van zeer laag (bij pure restwarmte van industriële processen) tot relatief hoog indien er voor de warmteproductie specifieke brandstof moet worden ingekocht. Bij WKK's waar ook elektriciteit wordt geproduceerd worden de elektriciteitsopbrengsten verrekend in de warmteprijs  $K\_GJ$ . Bij elektriciteitscentrales waar warmte

afgetapt wordt is er een percentage opgenomen (zie kentallenbestand Bijlage A) dat aangeeft in hoeverre de brandstofkosten voor rekening van warmteproductie komen.

$$Kj_{ow\_productie} = Vj\_Warmte / (1 - Leidingverlies) * P\_vol * K\_GJ$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
Vj_Warmte	Totale jaarlijkse warmtevraag van alle afnemers in het vraaggebied	GJ/jaar	Modelresultaat
Leidingverlies	Aandeel van geproduceerde warme dat in het netwerk verloren gaat aan de omgeving	Ratio 0 - 1	Zie Bijlage A
P_vol	Aandeel op volume dat de warmtebron zelf produceert	Ratio 0 - 1	Zie Bijlage A
K_GJ	Inkoop- of productieprijs van de betreffende warmtebron	€/GJ	Invoerbestand TypeInfo of Puntbronnen *

\* In Vesta MAIS is K\_GJ per individuele bron bepaald in het invoerbestand met puntbronnen. Bij gebiedsopties zonder bestaande puntbron (zoals bijv. geothermie) wordt K\_GJ per brontype bepaald in het invoerbestand TypeInfo. In gevallen dat de productiecosten afhankelijk zijn van de gas- of elektriciteitsprijs (zoals bijvoorbeeld bij Wijk-WKK) worden deze per zichtjaar herberekend op basis van het invoerbestand energieprijzen. In alle gevallen geldt dat K\_GJ per jaar kan veranderen, en dit wordt in de resultaten per jaar herberekend.

## 7.5 Jaarlijkse kosten G- en E-infra

De jaarlijkse kosten per strekkende meter van de E en G-infra worden berekend door de totale jaarlijkse kosten van de netbeheerders te delen door de lengte van de netten. Hierdoor wordt een kengetal verkregen voor de kapitaallasten en onderhoudskosten per meter. De lengte van de netten wordt ingelezen uit het infra-invoerbestand, zie Paragraaf 5.1.8. De jaarlijkse kosten voor deze netten worden bepaald aan de hand van de jaarlijkse kosten van de netbeheerders samen<sup>23</sup>. Deze worden geschaald zodat ze gelijk zijn aan de jaarlijkse opbrengsten. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen kapitaallasten en onderhoudskosten, en tussen transport en distributie. In Figuur 31 in Bijlage B is illustratief weergegeven welke onderdelen van het net worden meegenomen in het Vesta MAIS-model.

### 7.5.1 Kapitaallasten

De kapitaallasten van het gas- en elektriciteitsnet worden op dezelfde manier berekend. Deze worden uitgedrukt als *Kji\_g\_meter* (voor het gasnet) en *Kji\_e\_meter* (voor het elektriciteitsnet) in euro per meter per jaar. Dit is een representatie van de geschatte waarde van het huidige net. Als een net wordt verwijderd blijven deze kapitaallasten hetzelfde omdat de originele investering nog steeds moet worden afbetaald.

$$Kji\_e\_meter = ( Kji\_distr\_e + Kji\_trans\_e ) / L\_infra\_e\_NL$$

$$Kji\_g\_meter = ( Kji\_distr\_g + Kji\_trans\_g ) / L\_infra\_g\_NL$$

<sup>23</sup> Hierbij zijn de kosten van de drie grote netbeheerders (Alliander, Enexis en Stedin) genomen en verrekend met hun marktaandeel. Er is op basis van de diverse jaarverslagen van TSO en DSO's een schatting van deze waarden gemaakt.

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
Kji_distr_g	jaarlijkse totale landelijke kapitaallasten distributienet gas	€/jaar	Zie Bijlage A
Kji_distr_e	jaarlijkse totale landelijke kapitaallasten distributienet electriciteit	€/jaar	Zie Bijlage A
Kji_trans_g	jaarlijkse totale landelijke kapitaallasten transportnet gas	€/jaar	Zie Bijlage A
Kji_trans_e	jaarlijkse totale landelijke kapitaallasten transportnet electriciteit	€/jaar	Zie Bijlage A
L_infra_g_NL	Lengte van het totale landelijke lagedruk gasnet	Meter	Invoerbestand Infra
L_infra_e_NL	Lengte van het totale landelijke laagspanning elektriciteitsnet	Meter	Invoerbestand Infra

## 7.5.2 Onderhoudskosten

De jaarlijkse onderhoudskosten van het gas- en elektriciteitsnet worden op dezelfde manier berekend. Deze worden uitgedrukt als *Kj\_oh\_g\_meter* (voor het gasnet) en *Kj\_oh\_e\_meter* (voor het elektriciteitsnet) in euro per meter per jaar. Dit is een representatie van de geschatte jaarlijkse kosten van het instandhouden van het huidige net. Als een net wordt verwijderd worden er daarna geen onderhoudskosten meer gerekend. Als een net wordt verzwaaard worden er geen hogere onderhoudskosten gerekend.

$$Kj\_oh\_e\_meter = (Kj\_oh\_distr\_e + Kj\_oh\_trans\_e) / L\_infra\_e\_NL$$

$$Kj\_oh\_g\_meter = (Kj\_oh\_distr\_g + Kj\_oh\_trans\_g) / L\_infra\_g\_NL$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
Kj_oh_distr_g	jaarlijkse totale landelijke onderhoudskosten distributienet gas	€/jaar	Zie Bijlage A
Kj_oh_distr_e	jaarlijkse totale landelijke onderhoudskosten distributienet electriciteit	€/jaar	Zie Bijlage A
Kj_oh_trans_g	jaarlijkse totale landelijke onderhoudskosten transportnet gas	€/jaar	Zie Bijlage A
Kj_oh_trans_e	jaarlijkse totale landelijke onderhoudskosten transportnet electriciteit	€/jaar	Zie Bijlage A
L_infra_g_NL	Lengte van het totale landelijke lagedruk gasnet	Meter	Invoerbestand Infra
L_infra_e_NL	Lengte van het totale landelijke laagspanning elektriciteitsnet	Meter	Invoerbestand Infra

## 7.6 Investeringskosten G- en E-infra

Dit hoofdstuk beschrijft de verschillende mogelijke aanpassingen aan de gas- en elektriciteitsinfrastructuur die zijn opgenomen in het model, alsmede de rekenregels, kentallen en invoerdata die gebruikt worden in de berekeningen. De invulling van deze modelaanpassingen is tot stand gekomen met input van regionale netbeheerders. Zij hebben hun kennis, ervaring en inschattingen gedeeld en waar mogelijk is dit aangevuld met de eigen kennis binnen PBL.

De modellering van effecten van aanpassingen aan de warmtevoorziening op de E- en G- infrastructuur is in Vesta MAIS beperkt tot directe effecten op buurniveau. Zie voor een schematisch overzicht van de gehanteerde systeemgrenzen Bijlage A. De afbakening van buurniveau bevat binnen de conceptuele kaders die hier gehanteerd worden de volgende componenten:

- gasnetten:
  - aansluiting inclusief gasmeter in meterkast van gebouw;
  - aansluitleiding van meterkast naar lage druk gasnet;
  - lage druk gasnet in de straat (verder G-net);
  - districtstation waar het lage druk gasnet overgaat op het hoge druk gasnet.
- elektriciteitsnetten:
  - aansluiting inclusief elektriciteitsmeter in meterkast van gebouw;
  - aansluitkabel van meterkast naar het laagspanningsnet;
  - laagspanningsnet in de straat (verder E-net);
  - middenspanningsruimte waar het laagspanningsnet overgaat op het midden-spanningsnet.

### 7.6.1 Verwijderen G-aansluitingen

Indien een gebouw geen gas meer gebruikt moet de aansluiting worden verwijderd. Dit houdt in dat zowel de gasmeter als de aansluitleiding worden weggehaald. In de praktijk kan soms tijdelijk de leiding blijven liggen maar in de eindsituatie zal die wel moeten worden verwijderd. De kosten hiervoor worden aan de netbeheerder toegerekend, de vergoeding die hiervoor in de praktijk door de eigenaar wordt betaald is nog niet opgenomen in het model. Deze kosten zijn gespecificeerd naar hoogbouw, laagbouw en utiliteit. De geannualiseerde investeringskosten voor het verwijderen van gasaansluitingen  $K_{ji\_verw\_g\_xx\_aansl}$  worden bepaald als:

$$K_{ji\_verw\_g\_laagb\_aansl} = nr\_laagb\_gasloos * K\_verw\_g\_laagb\_asl * mr50$$

$$K_{ji\_verw\_g\_hoogb\_aansl} = nr\_hoogb\_gasloos * K\_verw\_g\_hoogb\_asl * mr50$$

$$K_{ji\_verw\_g\_util\_aansl} = nr\_util\_gasloos * K\_verw\_g\_util\_asl * mr50$$

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
$K\_verw\_g\_laagb\_asl$	kostenkengetal verwijderen gasaansluiting bij laagbouw woningen	€/aansluiting	Zie Bijlage A
$K\_verw\_g\_hoogb\_asl$	kostenkengetal verwijderen gasaansluiting bij hoogbouw woningen	€/aansluiting	Zie Bijlage A
$K\_verw\_g\_util\_asl$	kostenkengetal verwijderen gasaansluiting bij utiliteit	€/aansluiting	Zie Bijlage A
$nr\_laagb\_gasloos$	Aantal laagbouw woningen per buurt dat geen gasaansluiting meer nodig heeft	Aantal	Opgelegd of op basis van rentabiliteit
$nr\_hoogb\_gasloos$	Aantal hoogbouw woningen per buurt dat geen gasaansluiting meer nodig heeft	Aantal	Opgelegd of op basis van rentabiliteit
$nr\_util\_gasloos$	Aantal utiliteit dat geen gasaansluiting meer nodig heeft	Aantal	Opgelegd of op basis van rentabiliteit
$mr50$	Annualisatiefactor onder maatschappelijke rentevoet en afschrijftermijn van 50 jaar	Factor	NCW-methode

### 7.6.2 Verwijderen G-net

Als alle aansluitingen in een buurt een alternatief voor gas vinden heeft het gasnet geen functie meer en wordt het lagedruknet verwijderd. De geannualiseerde investeringskosten voor het verwijderen van gasleidingen  $K_{ji\_verw\_LD\_net}$  worden bepaald als:

$$K_{ji\_verw\_LD\_net} = L_{infra\_G} * K_{verw\_gasnet} * mr50$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
$L_{infra\_G}$	Aantal meter gasnet per buurt	Meter	Invoerbstand infra
$K_{verw\_gasnet}$	Kosten verwijderen gasnet per meter	€/meter	Bijlage A
$mr50$	Annualisatiefactor onder maatschappelijke rentevoet en afschrijftermijn van 50 jaar	Factor	NCW-methode

### 7.6.3 Vervangen kwetsbare G-netten

In een aantal buurten in Nederland liggen kwetsbare gasnetten, ookwel grondroerings-gevoelige leidingen genoemd. Bij werkzaamheden in de bodem worden kwetsbare elementen van het lage druk gasnet om veiligheidsredenen vervangen. Werkzaamheden in de bodem worden hier beperkt tot werkzaamheden ten behoeve van aanpassingen in de warmtevoorziening zoals bijvoorbeeld het aanleggen van een warmtenet. De geannualiseerde investeringskosten voor het vervangen van kwetsbare gasleidingen  $K_{ji\_verv\_grogel\_net}$  worden bepaald als:

$$K_{ji\_verv\_grogel\_net} = L_{grogel\_LD\_net} * K_{verv\_LD\_net} * mr50$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
$L_{grogel\_LD\_net}$	Lengte van de grondroeringsgevoelige LD-gasleidingen per buurt	Meter	Invoerbstand infra
$K_{verv\_LD\_net}$	Kostenkengetal vervangen LD-gasnet	€/meter	Zie Bijlage A
$mr50$	Annualisatiefactor onder maatschappelijke rentevoet en afschrijftermijn van 50 jaar	Factor	NCW-methode

### 7.6.4 Verzwaren E-aansluitingen

Wanneer in een verblijfsobject verwarming met een elektrische warmtepomp of elektrische tapwater bereiding wordt geïnstalleerd moet in de meeste gevallen een zwaardere aansluiting worden aangelegd inclusief aanpassingen in de aansluitleiding en de meterkast. Bij een deel van de bestaande aansluitingen is deze al van voldoende omvang zodat er geen verzwaring nodig is.

$$K_{ji\_verz\_e\_aansl} = nrAansl\_metWP * ( 1 - R_{3x25\_start} ) * K_{verz\_e\_aansl} * mr50$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
nrAansl_metWP	Aantal te verzwaren aansluitingen in een gegeven buurt	Aantal	Opgelegd of Op basis van rentabiliteit
R_3x25_start	Aandeel van aansluitingen per buurt dat momenteel al 3x25 of groter is	Ratio 0 - 1	Invoerbestand infra
K_verz_e aansl	Kostenkengetal verzwaren van aansluiting van standaard naar 3x25 ampère	€/aansluiting	Zie Bijlage A
mr50	Annualisatiefactor onder maatschappelijke rentevoet en afschrijftermijn van 50 jaar	Factor	NCW-methode

### 7.6.5 Capaciteitsvraag E-infra

Gevraagde piekvermogens worden berekend aan de hand van een set generieke kengetallen per verblijfsobject. Hierbij wordt op dit moment onderscheid gemaakt tussen woningen en utiliteitsgebouwen. Voor elke groep objecten is een aansluitwaarde (ASW) opgenomen die correspondeert met het individuele gevraagde piekvermogen. Om de benodigde dimensionering van het E-net te bepalen wordt deze ASW omlaag bijgesteld met een gelijktijdigheidsfactor (GTF) om te representeren dat doorgaans niet alle objecten gelijktijdig hun piekvraag benutten. De gelijktijdige aansluitwaarde wordt berekend als de  $ASW * GTF$  van een gegeven object. E-net en MSRs worden in de modellering gedimensioneerd op de som van de gelijktijdige aansluitwaarde van alle objecten in een buurt. Voor objecten die elektrisch verwarmd worden is een andere ASW en GTF opgenomen als indicator voor de andere piekvraag en verbruiksprofiel bij objecten die elektrisch warmte opwekken.

Het is mogelijk voor gebruikers om deze waarden aan te passen op basis van lokale inzichten en specifieke typen aansluitingen en installatie. Hierbij kan ook een gedragscomponent een rol spelen die op dit moment niet nationaal eenduidig te bepalen is. Deze waarden kennen ruime ranges van onzekerheid. Ter indicatie: inschattingen over de impact van een elektrische warmtepomp op de ASW lopen onder experts uiteen tussen een toename van 2 kilowatt tot 8 kilowatt. In het geval van gebrek aan overeenstemming is gekozen voor een midden-waarde tussen de uitersten.

### 7.6.6 Verzwaren E-netten

Ook de LS-netten (laagspanningsnetten) dienen verzwakt te worden bij overschrijding van hun capaciteit. De betreffende overbelasting dient in dat geval geacommodeerd te worden in het LS-net door extra kabels aan te leggen. Het berekenen van vereiste netverzwaring is echter een complexe aangelegenheid en is voor het doorrekenen met het Vesta MAIS-model vereenvoudigd.

De aanname die hier gehanteerd wordt is dat de momenteel aanwezige kabellengte per eenheid aan vermogensvraag gehandhaafd blijft, ofwel dat de relatieve belasting van de kabel in de toekomst hetzelfde blijft als nu. Door per buurt deze relatieve belasting te combineren met de overbelasting die zich voordoet bij een zekere strategie, kan steeds de hoeveelheid extra aan te leggen kabels bepaald worden. Daarbij wordt het totaal aan aanwezige LS-kabels op buurtniveau beschouwd. Als vertrekpunt voor de vermogensvraag en capaciteit van het LS-net is uitgegaan van dezelfde gegevens als voor de MS-ruimtes, onder de aanname dat de vermogensvraag en capaciteit evenredig verdeeld zijn over de kabels binnen de buurt. Geannualiseerde investeringskosten voor het verzwaren van het LS-net in een buurt  $K_{ji\_verz\_LS}$  worden berekend als:

$$Kji\_verz\_LS = ( L\_infra\_e / P\_oud ) * ( P\_nieuw - P\_opgesteld ) * K\_verz\_LS * mr50$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
L_infra_e	Totale lengte van het LS-net per buurt	Meter	Invoerbestand infra
P_oud	Het gevraagde piekvermogen voor aanpassingen in de warmtevoorziening	KW	Zie 7.6.5
P_nieuw	Het gevraagde piekvermogen na aanpassingen in de warmtevoorziening	KW	Zie 7.6.5
P_opgesteld	Het huidig opgestelde vermogen aan E-net	KW	Invoerbestand infra
K_verz_LS	Kostenkengetal voor het verzwaren van een meter LS-net	€/meter	Zie Bijlage A
mr50	Annualisatiefactor onder maatschappelijke rentevoet en afschrijftermijn van 50 jaar	Factor	NCW-methode

### 7.6.7 Verzwaren MSR

Als de capaciteitsvraag van een buurt stijgt door de inzet van elektrische verwarmingsmethoden kan het zijn dat de huidige opgestelde capaciteit van middenspanningsruimtes (verder: MSR) onvoldoende blijkt waardoor meer capaciteit moet worden bijgebouwd. Indien de capaciteit van bestaande MS-ruimtes overschreden wordt, dient uitbreiding plaats te vinden. De hier voorgestelde vorm is om bij overschrijding van de beschikbare capaciteit in een CBS-buurt, naargelang de mate van overschrijding nieuwe MS-ruimtes te plaatsen met elk een individuele capaciteit van 630 kVA. Het verzwaren van een bestaande MS-ruimte is niet als optie meegenomen in deze rekenmethode. De bijbehorende kosten [Kji\\_verz\\_MSR](#) worden beschreven door:

$$Kji\_verz\_MSR = (P\_nieuw - P\_opgesteld) * K\_MSR * mr50$$

Met daarin:

Naam variabele	Beschrijving	Eenheid	Waarde
P_nieuw	Het nieuw gevraagde piekvermogen na aanpassingen in de warmtevoorziening	KW	Zie 7.6.5
P_opgesteld	Het huidig opgestelde vermogen aan MSR	KW	Invoerbestand infra
K_MSR	Kostenkengetal voor het plaatsen van nieuwe MSRs	€/KW	Zie Bijlage A
mr50	Annualisatiefactor onder maatschappelijke rentevoet en afschrijftermijn van 50 jaar	Factor	NCW-methode

Op dit moment is geen specifieke data beschikbaar over opgestelde vermogens aan capaciteit voor MSRs. De aanname is daarom dat dit gelijk is aan het huidig gevraagde piekvermogen. Vermoedelijk is dit een onderschatting doordat er op sommige plaatsen nog overcapaciteit kan zijn in huidige MSRs. Dit zal worden aangevuld indien data over overcapaciteit openbaar beschikbaar komt.



# 8 Resultaten

## 8.1 TussenResultaten

GeoDmsGui:	/TussenResultaten
Wiki:	<a href="#">/wiki/C.6-TussenResultaten</a>

In de container TussenResultaten start het model met het rekenen aan verduurzaming van de gebouwde omgeving. Per zichtjaar worden de verschillende outputindicatoren zoals deze zijn opgesteld in de rekenschema's hier weergegeven. Het betreft tussen-resultaten, omdat de resultaten hier nog niet zijn geaggregeerd tot de niveau's van de standaardrapportages die men met een batch-run uit het model kan verkrijgen.

## 8.2 Resultaten

GeoDmsGui:	/Resultaten
Wiki:	<a href="#">/wiki/C.7-Resultaten</a>

In de container Resultaten rekent het model de outputindicatoren door voor de standaardrapportages zoals deze zijn gedefinieerd. Net zoals bij de TussenResultaten zijn alle Resultaten beschikbaar per zichtjaar.

### 8.2.1 Wegschrijven output

De functie van dit deel is om alle gegevens weg te schrijven ten behoeve van latere analyses, ook buiten het model.

Het model exporteert alle door de gebruiker gemaakte keuzes, en in principe per kleinste geografische eenheid, tenminste op CBS-buurtgebied<sup>24</sup>. Waar over kosten wordt gesproken worden de maatschappelijke en eindgebruikerskosten bedoeld zoals beschreven in Paragraaf 2.1.1.:

- de warmtevraag, elektriciteitsvraag en gasvraag per gebied;
- de toegewezen optie voor de warmtevoorziening en de toegewezen bron (ID);
- de kosten van warmtelevering per gebied;
- de rentabiliteit van warmtelevering per gebied, zowel voor als na de optionele extra vraagzijdereductie;
- de kosten van gebouwverbetering;
- de lokale productie van energie, per type;
- de CO<sub>2</sub>-emissie, per type gebouw, per energiedrager.

Daarnaast worden de totalen voor de planregio als geheel bepaald en getoond, zoals voor heel Nederland of gemeenten.

Rekenresultaten moeten als bestand kunnen worden opgeslagen onder een unieke naam. Aan het uitvoerbestand moet de gebruikers ook enkele commentaarregels kunnen toevoegen, bijvoorbeeld omdat er gebruik is gemaakt van de 'fluïde methodiek' om bepaalde selecties op de data te hanteren.

<sup>24</sup> Omdat kosten van warmtedistributie niet op PC6-niveau bekend zijn.

#### 8.2.1.1 Analyses buiten het model

Buiten het model kunnen GIS- en andere analyses worden gemaakt. Bijvoorbeeld door resultaten van verschillende runs met elkaar te vergelijken. Zo kunnen ook effecten van beleidskeuzes geanalyseerd worden door de outputfiles van een run met 'defaultwaardes' te vergelijken met die van een run waarin beleidskeuzes zijn ingevoerd.

### 8.3 Type resultaten

Het model genereert behoorlijk veel data en daarom is het als modelgebruiker goed om na te denken over het type resultaten waar hij/zij geïnteresseerd in is. Er zijn een aantal resultaten waar de basisfocus van Vesta MAIS op ligt. Dekn hierbij aan de effecten van het doorgerekende scenario op kosten, energievraag en CO<sub>2</sub>-uitstoot. Maar daarnaast zijn er ook diverse andere mogelijkheden waar de modelgebruiker in geïnteresseerd kan zijn, zoals bijvoorbeeld de uitputting en mogelijke toedeling van warmtebronnen. Deze resultaten worden wel gegenereerd, maar het is (nog) niet de standaarduitvoer van Vesta MAIS. Op de wiki wordt wel geprobeerd om de modelgebruikers te helpen die geïnteresseerd zijn in dergelijke resultaten (<https://github.com/RuudvandenWijngaart/VestaDV/wiki/C.8-Resultaten>).

# Bibliografie

- ACM, 2018. *Besluit maximumprijs levering warmte 2019*. [Online]  
Available at: <https://www.acm.nl/nl/publicaties/besluit-maximumprijs-levering-warmte-2019>  
[Geopend 2019].
- Arcadis, jaarlijks. *Kostenkentallen maatwerkadvies*, Arnhem: Arcadis.
- Belastingdienst, lopend. *Tabellen tarieven milieubelastingen*. [Online]  
Available at: [https://www.cbs.nl/-/media/\\_excel/2019/22/gemiddelde-aardgas-en-elektriciteitslevering-woningen-2018.xls](https://www.cbs.nl/-/media/_excel/2019/22/gemiddelde-aardgas-en-elektriciteitslevering-woningen-2018.xls)  
[Geopend 2019].
- Bemmel, B. v., 2019. *Werkwijze aanmaak correctiekaarten klimaat obv KNMI 2014-scenario's tbv Vesta 3.3, PBL-notitie*. , Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).
- CBS, 2019a. *Statline: Gemiddelde aardgas- en elektriciteitslevering woningen, 2018\**. [Online]  
Available at: [https://www.cbs.nl/-/media/\\_excel/2019/22/gemiddelde-aardgas-en-elektriciteitslevering-woningen-2018.xls](https://www.cbs.nl/-/media/_excel/2019/22/gemiddelde-aardgas-en-elektriciteitslevering-woningen-2018.xls)  
[Geopend 2019].
- CBS, 2019b. *Statline: Kerncijfers wijken en buurten 2004-2019*. [Online]  
Available at: <https://www.cbs.nl/nl-nl/dossier/nederland-regionaal/wijk-en-buurtstatistieken/kerncijfers-wijken-en-buurten-2004-2019>  
[Geopend 2019].
- CBS, 2019. *Statline : Aardgas en elektriciteit, gemiddelde prijzen van eindverbruikers*. [Online]  
Available at:  
<https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/81309NED/table?dl=21AA9>  
[Geopend 2019].
- CE Delft, 1993. *Grootschalige warmtelevering in de bestaande bouw*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 1994. *Grootschalige warmtelevering in de nieuwbouw en de glastuinbouw*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2010. *Rijden op gas*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2013. *Vesta 2.0 - Uitbreidingen en dataverificaties*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2015a. *Energiekentallen utiliteitsgebouwen Vesta 2.0, notitie*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2015b. *Nieuwe inputgegevens utiliteit voor Vesta*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2017. *Functioneel ontwerp Vesta 3.0*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2019a. *Functioneel ontwerp LT-warmtenetten gebouwde omgeving : Concept voor validatie Vesta*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2019b. *Overzicht aanpassingen Vesta Mais*, Delft: CE Delft.
- CPB; PBL, 2015. *PBL/CPB, 2015; WLO scenarios; Nederland in 2030-2050: twee referentiescenario's - Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving*, Den Haag: Centraal Planbureau (CPB) ; Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).



ECN, 2014. *Verbetering referentiebeeld utiliteitssector : - voorraadgegevens, - energieverbruik, - besparingspotentieel, - investeringskosten, - arbeidsinzet*, Petten: ECN.

ECN, 2016. *Ontwikkeling energiekentallen utiliteitsgebouwen : Een analyse van 24 gebouwtypen in de dienstensector*, Petten: ECN.

ECN, 2017. *Energielabels en het daadwerkelijk energieverbruik van kantoren*, Petten: ECN.

Ecofys & Greenvis, 2016. *Collectieve warmte naar lage temperatuur : Een verkenning van mogelijkheden en routes*, Utrecht: ECOFYS Netherlands B.V..

EPC Platform, 2015. *Verder verhogen van Rc-waarden rendabel?*. [Online] Available at: <https://epcplatform.nl/verder-verhogen-van-rc-waarden-rendabel/> [Geopend 2019].

Jina Bhagwandas, 2019. *Analyse investeringskosten warmtepompen voor utiliteitsgebouwen*, Middenmeer: ECW Netwerk BV.

KWA, 2016. *Het elektrisch energieverbruik en het warmteaanbod van koelinstallaties voor een veertigtal bedrijfssectoren*, Utrecht: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO).

Meijer E&M, 2009. *Energieverbruik per functie*, Den Haag: Meijer Energie & Milieumanagement B.V..

Molen, F. v. d., 2019a. *Metadata TEO-contour*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).

Molen, F. v. d., 2019b. *Notitie wijzigingen Vesta MAIS model : Functioneel Ontwerp: Technische aanpassingen elektriciteits- en gasinfrastructuur als gevolg van veranderingen in de warmtevoorziening*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).

PBL, 2012. *VESTA Ruimtelijk energiemodel voor de gebouwde omgeving: Data en methoden*, Bilthoven/Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).

PBL, 2017. *Het Vesta MAIS ruimtelijk energiemodel voor de gebouwde omgeving*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).

PBL, 2019. *Klimaat- en Energieverkenning 2019 (KEV)*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).

TNO, 2019a. *Notitie aanpassingen VESTA model schilmaatregelen utiliteitsgebouwen : Ten behoeve van functioneel ontwerp VESTA 4.0*, Amsterdam: TNO.

TNO, 2019b. *Validatie Vesta MAIS model schilisolatie Woningen*, Delft: TNO.

W/E adviseurs, 2018a. *Temperatuuroverschrijding in nieuwe woningen in relatie tot voorgenomen BENG eisen*, Roermond: RVO.

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

Wijngaard, R. v. d., lopend. *VestaDV : A) algemene Beschrijving*. [Online] Available at: <https://github.com/RuudvandenWijngaard/VestaDV/wiki/A%29-Algemene-Beschrijving> [Geopend 2019].



# DEEL 4

## Bijlagen

# A Invoerparameters

## A.1 Basis

Tabel 13 - Parameters basis

Naam	Waarde	Eenheid	Beschrijving
GasEnergie	31,65	MJ/m <sup>3</sup>	Energieinhoud laagcalorisch gas
GasEnergie_max	35,17	MJ/m <sup>3</sup>	Bovengrens hoogcalorisch rekening houdend met efficiëntere verbranding (o.a. condensatiewarmte van waterdamp)
L_max_bron_connectie	8.000	m	Afzonderlijke aantakkingen aan een bron-cluster LT-netten mogen niet langer dan dit zijn. Bij een T aansluiting op al gekozen telt alleen de lengte van de nieuwe poot
afschrijving_rusterend	1,0/3,0	Ratio	Rusterende afschrijving op te verwijderen gasketels
L_di_gem	15	m_Aansl	Gemiddelde aantal meter aansluiting leiding/kabel/buis voor inschattingen van ontbrekende data"
Efficiency_ketel_optimaal	1,07	Ratio	Efficiency van HR-ketels onder optimale toekomstige omstandigheden
HuurverlagingGebiedsOptie	160	Eur_yr_Aansl	Verlaging van de wettelijke maximale huur in geval van verlies van individuele gasaansluiting
aandeelEWVopp_min	0,1	Ratio	Minimaal aandeel vloeroppervlak dat door EWV moet worden belegd
aandeelEWVopp_max	0,75	Ratio	Maximaal aandeel vloeroppervlak dat door EWV moet worden belegd
SPF_EWV_min	1	Ratio	Minimale efficiency elektrische weerstandsverwarming
SPF_EWV_max	1	Ratio	Maximale efficiency elektrische weerstandsverwarming
SPF_LWP_A_min	3,28	Ratio	Minimale efficiency luchtwarmtepompen bij Schillabel A+
SPF_LWP_A_max	5,93	Ratio	Maximale efficiency luchtwarmtepompen bij Schillabel A+
SPF_LWP_B_min	3,12	Ratio	Minimale efficiency luchtwarmtepompen bij Schillabel B
SPF_LWP_B_max	4,49	Ratio	Maximale efficiency luchtwarmtepompen bij Schillabel B
SPF_LWP_C_min	2,2	Ratio	Minimale efficiency luchtwarmtepompen bij Schillabel C
SPF_LWP_C_max	2,2	Ratio	Maximale efficiency luchtwarmtepompen bij Schillabel C
SPF_LWP_U_min	3,17	Ratio	Minimale efficiency luchtwarmtepompen bij utiliteitsbouw
SPF_LWP_U_max	3,66	Ratio	Maximale efficiency luchtwarmtepompen bij utiliteitsbouw

Naam	Waarde	Eenheid	Beschrijving
SPF_LWP_Koude_min	4	Ratio	Minimale efficiency bodemwarmtepompen voor koudelevering
SPF_LWP_Koude_max	4	Ratio	Maximale efficiency bodemwarmtepompen voor koudelevering
SPF_BWP_A_min	4,53	Ratio	Minimale efficiency bodemwarmtepompen bij Schillabel A+
SPF_BWP_A_max	6,35	Ratio	Maximale efficiency bodemwarmtepompen bij Schillabel A+
SPF_BWP_B_min	3,45	Ratio	Minimale efficiency bodemwarmtepompen bij Schillabel B
SPF_BWP_B_max	4,68	Ratio	Maximale efficiency bodemwarmtepompen bij Schillabel B
SPF_BWP_C_min	2,2	Ratio	Minimale efficiency bodemwarmtepompen bij Schillabel C
SPF_BWP_C_max	2,2	Ratio	Maximale efficiency bodemwarmtepompen bij Schillabel C
SPF_BWP_U_min	3,24	Ratio	Minimale efficiency bodemwarmtepompen bij utiliteitsbouw
SPF_BWP_U_max	3,76	Ratio	Maximale efficiency bodemwarmtepompen bij utiliteitsbouw
SPF_BWP_Koude_min	8	Ratio	Minimale efficiency bodemwarmtepompen voor koudelevering
SPF_BWP_Koude_max	8	Ratio	Maximale efficiency bodemwarmtepompen voor koudelevering
Ki_w_LWP_vast_min	4.637	Eur_Aansl	Minimale vaste investering luchtwarmtepomp door projectmatige collectieve aanpak
Ki_w_LWP_vast_max	5.359	Eur_Aansl	Maximale vaste investering luchtwarmtepomp door niet-projectmatige niet-collectieve aanpak
Ki_w_LWP_var_min	500	Eur_kw	Minimale variabele investering luchtwarmtepomp door projectmatige collectieve aanpak
Ki_w_LWP_var_max	320	Eur_kw	Maximale variabele investering luchtwarmtepomp door niet-projectmatige aanpak
Ki_u_LWP_vast_min	4.300	Eur_aansl	Minimale vaste investering luchtwarmtepomp door projectmatige collectieve aanpak
Ki_u_LWP_vast_max	4.300	Eur_aansl	Maximale vaste investering luchtwarmtepomp door niet-projectmatige niet-collectieve aanpak
Ki_u_LWP_var_min	1.100	Eur_kw	Minimale variabele investering luchtwarmtepomp door projectmatige collectieve aanpak
Ki_u_LWP_var_max	1.100	Eur_kw	Maximale variabele investering luchtwarmtepomp door niet-projectmatige aanpak
Ki_w_BWP_vast_min	4.628	Eur_Aansl	Minimale vaste investering bodemwarmtepompen door projectmatige collectieve aanpak
Ki_w_BWP_vast_max	8.460	Eur_Aansl	Maximale vaste investering bodemwarmtepompen door niet-projectmatige niet-collectieve aanpak
Ki_w_BWP_var_min	899	Eur_kw	Minimale variabele investering bodemwarmtepompen door projectmatige collectieve aanpak
Ki_w_BWP_var_max	573	Eur_kw	Maximale variabele investering bodemwarmtepompen door niet-projectmatige aanpak
Ki_u_BWP_vast_min	8.500	Eur_aansl	Minimale vaste investering bodemwarmtepompen door projectmatige collectieve aanpak
Ki_u_BWP_vast_max	8.500	Eur_aansl	Maximale vaste investering bodemwarmtepompen door niet-projectmatige niet-collectieve aanpak
Ki_u_BWP_var_min	420	Eur_kw	Minimale variabele investering bodemwarmtepompen door projectmatige collectieve aanpak
Ki_u_BWP_var_max	420	Eur_kw	Maximale variabele investering bodemwarmtepompen door niet-projectmatige aanpak
R_BWP_afschrijf_30	0,4	Ratio	Aandeel van de investering in bodemwarmtepompen dat wordt afgeschreven over 30 jaar
R_BWP_afschrijf_15	0,6	Ratio	Aandeel van de investering in bodemwarmtepompen dat wordt afgeschreven over 15 jaar

Naam	Waarde	Eenheid	Beschrijving
R_LWP_afschrijf_30	0	Ratio	Aandeel van de investering in luchtwarmtepompen dat wordt afgeschreven over 30 jaar
R_LWP_afschrijf_15	1	Ratio	Aandeel van de investering in luchtwarmtepompen dat wordt afgeschreven over 15 jaar
SPF_hWP_min	3,6	Ratio	Minimale efficiency van een hybridewarmtepomp incl pompenergie
SPF_hWP_max	5,2	Ratio	Maximale efficiency van een hybridewarmtepomp incl pompenergie
Dekking_hWP_A_min	0,52	Ratio	Minimale aandeel van de vraag naar ruimteverwarming dat de hybridewarmtepomp elektrisch opwekt bij woningen met Schillabel A
Dekking_hWP_A_max	0,58	Ratio	Maximale aandeel van de vraag naar ruimteverwarming dat de hybridewarmtepomp elektrisch opwekt bij woningen met Schillabel A
Dekking_hWP_B_min	0,49	Ratio	Minimale aandeel van de vraag naar ruimteverwarming dat de hybridewarmtepomp elektrisch opwekt bij woningen met Schillabel B
Dekking_hWP_B_max	0,56	Ratio	Maximale aandeel van de vraag naar ruimteverwarming dat de hybridewarmtepomp elektrisch opwekt bij woningen met Schillabel B
Dekking_hWP_C_min	0,47	Ratio	Maximale aandeel van de vraag naar ruimteverwarming dat de hybridewarmtepomp elektrisch opwekt bij woningen met Schillabel C of lager
Dekking_hWP_C_max	0,49	Ratio	Maximale aandeel van de vraag naar ruimteverwarming dat de hybridewarmtepomp elektrisch opwekt bij woningen met Schillabel A
Ki_hWP_Min	2.808	Eur_Aansl	Minimale investeringskosten hybridewarmtepomp
Ki_hWP_Max	4.830	Eur_Aansl	Maximale investeringskosten hybridewarmtepomp
Ki_ZonPV_min	298	units/Eur_m <sup>2</sup>	Minimale investeringskosten zonnepanelen
Ki_ZonPV_max	668	units/Eur_m <sup>2</sup>	Maximale investeringskosten zonnepanelen
Ki_ZonB_min	1.067	units/Eur_m <sup>2</sup>	Minimale investeringskosten zonneboiler
Ki_ZonB_max	1.180	units/Eur_m <sup>2</sup>	Maximale investeringskosten zonneboiler
Ki_w_mWKK_Min	6.179	Eur_Aansl	Minimale investeringskosten micro-WKK woningen, inclusief 2.000 euro alternatieve ketelkosten
Ki_w_mWKK_Max	9.886	Eur_Aansl	Maximale investeringskosten micro-WKK woningen, inclusief 1.200 euro alternatieve ketelkosten
Ki_u_mWKK_Min	134.802	Eur_Aansl	Minimale investeringskosten micro-WKK utiliteit, inclusief 2.000 euro alternatieve ketelkosten
Ki_u_mWKK_Max	134.802	Eur_Aansl	Maximale investeringskosten micro-WKK utiliteit, inclusief 1.200 euro alternatieve ketelkosten
Opbr_zonPV_KWh	150	Kwh_yr_m <sup>2</sup>	Opbrengst zonnepanelen per m <sup>2</sup> in kwh
Opbr_zonPV_GJ	Opbr_zonPV_KWh * 0.0036 [GJ/kwh]	GJ_yr_m <sup>2</sup>	Opbrengst zonnepanelen per m <sup>2</sup> in gj
Opbr_zonB_GJ	1,5	GJ_yr_m <sup>2</sup>	Opbrengst zonneboiler per m <sup>2</sup> in gj



Tabel 14 - Parameters daken bestaande woningen

Naam	Eenheid	Geen woonpand	Vrijstaand	2 onder 1 kap	Rijwoning hoek	Rijwoning tussen	Meergezins: laag en midden	Meergezins: hoog
R_Dakopp (m <sup>2</sup> dak/m <sup>2</sup> bvo voor zonPV)	Ratio	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
R_Stapel (stapelfactor)	Ratio	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	6,0
ZonB_opp (m <sup>2</sup> dak/m <sup>2</sup> bvo voor zonB)	Ratio	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,015	0,005

Tabel 15 - Parameters daken nieuwbouwwoningen Deel 1

Naam	Eenheid	Onbekend	Vrijstaand/ bungalows	2 onder 1 kap	Rijtjeshuizen/ eengezins	Flats ≤ 4 verdiepingen	Flats > 4 verdiepingen	Etagewoning/ maisonnette	Etage/flats grachtenpand
R_Dakopp (m <sup>2</sup> dak/m <sup>2</sup> bvo voor zonPV)	Ratio	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
R_Stapel (stapelfactor)	Ratio	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	6,0	3,0	3,0
ZonB_opp (m <sup>2</sup> dak/m <sup>2</sup> bvo voor zonB)	Ratio	0,030	0,030	0,030	0,030	0,015	0,005	0,010	0,010

Tabel 16 - Parameters daken nieuwbouwwoningen Deel 2

Naam	Eenheid	Herenhuis/ grachtenpand	Zelfstandige bejaardenwoning	Boerderij/ tuinderij	Studenten-Woning/flat	Woonboot	Woonwagen	Divers
R_Dakopp (m <sup>2</sup> dak/m <sup>2</sup> bvo voor zonPV)	Ratio	0,3	0,3	0,3	0,3	-	-	0,3
R_Stapel (stapelfactor)	Ratio	3,0	2,0	1,0	6,0	1,0	1,0	1,0
ZonB_opp (m <sup>2</sup> dak/m <sup>2</sup> bvo voor zonB)	Ratio	0,010	0,015	0,030	0,005	-	-	0,030

Tabel 17 - Parameters daken bestaande utiliteit

Naam	Eenheid	Kantoor	Winkel	Gezondheids-zorg	logies	Onderwijs	Industrie	Bijeenkomst	Sport	Overig	Cel
R_Dakopp (m <sup>2</sup> dak/m <sup>2</sup> bvo voor zonPV)	Ratio	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
R_Stapel (stapelfactor)	Ratio	4,1	2,5	4,1	3,3	2,5	1,0	3,3	3,3	3,3	3,3
ZonB_opp (m <sup>2</sup> dak/m <sup>2</sup> bvo voor zonB)	Ratio	0,0014	0,0014	0,0144	0,00141	0,0017	0,0014	0,0126	0,0014	0,0014	0,0014

Tabel 18 - Parameters daken nieuwbouw utiliteit

Naam	Eenheid	Kantoor	Winkel	Groothandel	Autohandel reparatie	Verzorging verpleging	Ziekenhuis	Onderwijs	Horeca	Overig
R_Dakopp (m <sup>2</sup> dak/m <sup>2</sup> bvo voor zonPV)	Ratio	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
R_Stapel (stapelfactor)	Ratio	4,1	2,5	1,7	1,7	4,1	4,1	2,5	3,3	3,3
ZonB_opp (m <sup>2</sup> dak/m <sup>2</sup> bvo voor zonB)	Ratio	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0094	0,0353	0,0017	0,0153	0,0014

Tabel 19 - Opbrengst zonne-energie

Naam	Waarde	Eenheid	Beschrijving
Opbr_zonPV_KWh	150,0	Kwh_yr_m <sup>2</sup>	Opbrengst zonnepanelen per m <sup>2</sup> in kwh
Opbr_zonPV_GJ	Opbr_zonPV_KWh * 0,0036 [GJ/kwh]	GJ_yr_m <sup>2</sup>	Opbrengst zonnepanelen per m <sup>2</sup> in gj
Opbr_zonB_GJ	1,5	GJ_yr_m <sup>2</sup>	Opbrengst zonneboiler per m <sup>2</sup> in gj

## A.2 Leercurves

Tabel 20 - Pessimistische leercurves

Component	Startjaar	2020	2030	2040	2050	Eenheid	Beschrijving
mWKK	100	100	100	100	100	Percentage	Pessimistische kostendaling micro warmte-kracht-koppeling installaties
ZonB	100	100	100	100	100	Percentage	Pessimistische kostendaling zonneboilers
ZonPV	100	100	100	100	100	Percentage	Pessimistische kostendaling zon-PV installaties
eWPlw	100	100	100	100	100	Percentage	Pessimistische kostendaling lucht-water warmtepompen
eWPww	100	100	100	100	100	Percentage	Pessimistische kostendaling water-water warmtepompen
hWP	100	100	100	100	100	Percentage	Pessimistische kostendaling hybride warmtepompen
EWV	100	100	100	100	100	Percentage	Pessimistische kostendaling elektrische weerstandsverwarming
LTAS	100	100	100	100	100	Percentage	Pessimistische kostendaling lagetemperatuuragiftesysteem
Cmin	100	100	100	100	100	Percentage	Pessimistische kostendaling sprongen tot en met Schillabel C
Bpls	100	100	100	100	100	Percentage	Pessimistische kostendaling sprongen naar Schillabel B
Verder	100	100	100	100	100	Percentage	Pessimistische kostendaling sprongen naar Schillabel A en verder
MTnet	100	100	100	100	100	Percentage	Pessimistische kostendaling middentemperatuurbronnen

Component	Startjaar	2020	2030	2040	2050	Eenheid	Beschrijving
Inpand	100	100	100	100	100	Percentage	Pessimistische kostendaling inpandige systemen
Aansl	100	100	100	100	100	Percentage	Pessimistische kostendaling aansluitleidingen
Verl	100	100	100	100	100	Percentage	Pessimistische efficiencyverbetering warmteverlies
OenM	100	100	100	100	100	Percentage	Pessimistische kostendaling onderhoud en administratie
LTnet	100	100	100	100	100	Percentage	Pessimistische kostendaling lagetemperatuu bronnen
Infra	100	100	100	100	100	Percentage	Pessimistische kostendaling infrastructuur E en G

Tabel 21 - Optimistische leercurves

Component	Startjaar	2020	2030	2040	2050	Eenheid	Beschrijving
mWKK	100	100	58	49	43	Percentage	Optimistische kostendaling micro warmte-kracht-koppeling installaties
ZonB	100	100	75	67	62	Percentage	Optimistische kostendaling zonneboilers
ZonPV	100	100	28	25	21	Percentage	Optimistische kostendaling zon-PV installaties
eWPlw	100	100	62	50	42	Percentage	Optimistische kostendaling lucht-water warmtepompen
eWPww	100	100	62	50	42	Percentage	Optimistische kostendaling water-water warmtepompen
hWP	100	100	55	44	37	Percentage	Optimistische kostendaling hybridewarmtepompen
EWV	100	100	77	70	64	Percentage	Optimistische kostendaling elektrische weerstandsverwarming
LTAS	100	100	88	71	60	Percentage	Optimistische kostendaling lagetemperatuurafgiftesysteem
Cmin	100	100	82	69	59	Percentage	Optimistische kostendaling sprongen tot en met Schillabel C
Bpls	100	100	82	69	59	Percentage	Optimistische kostendaling sprongen naar Schillabel B
Verder	100	100	59	48	40	Percentage	Optimistische kostendaling sprongen naar Schillabel A en verder
MTnet	100	100	79	69	63	Percentage	Optimistische kostendaling middentemperatuurbronnen
Inpand	100	100	75	66	60	Percentage	Optimistische kostendaling inpandige systemen
Aansl	100	100	80	70	64	Percentage	Optimistische kostendaling aansluitleidingen
Verl	100	100	72	63	58	Percentage	Optimistische efficiencyverbetering warmteverlies
OenM	100	100	83	73	66	Percentage	Optimistische kostendaling onderhoud en administratie
LTnet	100	100	55	48	44	Percentage	Optimistische kostendaling lagetemperatuurbronnen
Infra	100	100	100	100	100	Percentage	Optimistische kostendaling infrastructuur E en G

## A.3 Kosten HT/MT warmtenetten

Tabel 22 - Parameters HT/MT-warmtenetten

Naam	Waarde	Eenheid	Beschrijving
Ki_id_geenBlok	CurveMTnet * 5953,83	Eur_Aansl	Inpandig leidingwerk meergezins zonder blokverwarming
Ki_id_metBlok	CurveMTnet * 2022,06	Eur_Aansl	Inpandig leidingwerk meergezins met blokverwarming
K_os_min	CurveMTnet * 120,00	Eur_kW	Minimumkosten van een onderstation per KW"
K_os_Max	CurveMTnet * 150,00	Eur_kW	Maximumkosten van een onderstation per KW"
K_WOS_min	CurveMTnet * 125,00	Eur_kW	Minimale investeringskosten warmteoverdrachtstation"
K_WOS_max	CurveMTnet * 140,00	Eur_kW	Maximale investeringskosten warmteoverdrachtstation"
Ki_HR_ketel_W	CurveMTnet * 2134,39	Eur_Aansl	Bespaarde investering voor gasketels woningen"
Ki_HR_ketel_U	CurveMTnet * 876,24	Eur	Bespaarde investering voor gasketels utiliteit"
Ki_blokverw	CurveMTnet * 164,05	Eur_kw	Te vergoeden afschrijving voor gasketels blokverwarming"
K_Ov	CurveOenM * 140,42	Eur_Aansl	Tarief ongeriefsvergoeding"
K_Pm_min	CurveOenM * 56,17	Eur_Aansl	Tarief projectmanagement minimaal"
K_Pm_max	CurveOenM * 280,84	Eur_Aansl	Tarief projectmanagement maximaal"
K_Wmtr_min_var	CurveMTnet * 1,24	Eur_kW	Variabele kosten warmtemeters glastuinbouw en utiliteit minimum"
K_Wmtr_max_var	CurveMTnet * 1,46	Eur_kW	Variabele kosten warmtemeters glastuinbouw en utiliteit maximum"
K_Wmtr_min_vast	CurveMTnet * 898,69	Eur_Aansl	Vaste kosten warmtemeters glastuinbouw en utiliteit minimum"
K_Wmtr_max_vast	CurveMTnet * 926,78	Eur_Aansl	Vaste kosten warmtemeters glastuinbouw en utiliteit maximum"
Ki_id_Dist_min	CurveInpand * 112,34	Eur_kw	Investerings inpandige leidingen utiliteit maximum"
Ki_id_Dist_max	CurveInpand * 189,29	Eur_kw	Investerings inpandige leidingen utiliteit minimum"
Ki_huur_CO2Inst	CurveMTnet * 1797,38	Eur_ha_yr	Jaarlijkse huur CO <sub>2</sub> -installatie glastuinbouw
K_CO2	89,8	Eur_ton	Prijs per ton voor CO <sub>2</sub> -inkoop in GLTB
K_Dienst_Gwarm	CurveMTnet *11233,65	Eur	Dienstleidingen bij verwarmde groenteGLTB
K_Dienst_Bwarm	CurveMTnet *6740,19	Eur	Dienstleidingen bij verwarmde bloemenGLTB
K_Dienst_Owarm	CurveMTnet *6740,19	Eur	Dienstleidingen bij verwarmde overigeGLTB
P_HR_ketel	11	Kw	Vermogen van individuele gasketels
V_CO2	340	ton_ha_yr	Jaarlijkse vraag naar CO <sub>2</sub> in glastuinbouw
P_OS	615790	Kw	Vermogen van een onderstation (uitgaande van een typisch onderstation met 150 woningen)

## A.4 Kosten LT-warmtenet

Tabel 23 - Parameters LT-warmtenet

Ki_afleverset	CurveInpandig * 2.000	Eur_Woning	Investeringskosten afleverset (warmtewisselaar + meter)
Ki_inpandig	CurveInpandig * 2.000	Eur_Woning	Investeringskosten extra inpandige buizen (alleen bij meergezinswoningen)
Ki_id_ugroot	CurveInpandig * 0	Eur_m2	Investeringskosten extra inpandige buizen bij utiliteit groter dan 7.500 m <sup>2</sup>
Ki_id_uklein	CurveInpandig * 20	Eur_m2	Investeringskosten extra inpandige buizen bij utiliteit kleiner dan 100 m <sup>2</sup>
Ki_uitkoppel	CurveLTnet * 250	EUR_KW	Investeringskosten uitkoppeling bron bij bestaande bron
Ki_Buffer	CurveLTnet * 1.000	EUR	Voorlopige investeringskosten per gebouw voor aanleg buffervat voor seizoensopslag en dagopslag
Ki_Buffer_min	CurveLTnet * 100.000	EUR	Minimale investering voor warmtebuffer bij de bron
Ki_WOS_min	CurveLTnet * 113,85	EUR_KW	Minimale Investeringskosten warmteoverdrachtstation
Ki_WOS_max	CurveLTnet * 139,45	EUR_KW	Maximale Investeringskosten warmteoverdrachtstation
Ki_eWP_coll_min	CurveLTnet * 547,5	EUR_KW	Minimale Investeringskosten warmtepomp collectief als hulpvoorziening
Ki_eWP_coll_max	CurveLTnet * 547,5	EUR_KW	Maximale Investeringskosten warmtepomp collectief als hulpvoorziening
Ki_WKO_vast_min	135.000	Eur	Minimale investeringskosten bron zonder distributiekosten
Ki_WKO_vast_max	165.000	Eur	Maximale investeringskosten bron zonder distributiekosten
Ki_WKO_var_min	103,5	Eur_kW	Minimale investeringskosten bron zonder distributiekosten
Ki_WKO_var_max	126,5	Eur_kW	Maximale investeringskosten bron zonder distributiekosten
Ki_TEO_vast_min	90.000	Eur	Minimale investeringskosten bron oppervlaktewater warmtewisselaar
Ki_TEO_vast_max	110.000	Eur	Maximale investeringskosten bron oppervlaktewater warmtewisselaar
Ki_TEO_var_min	198	Eur_kW	Minimale investeringskosten bron oppervlaktewater warmtewisselaar
Ki_TEO_var_max	242	Eur_kW	Maximale investeringskosten bron oppervlaktewater warmtewisselaar
R_Regeneratie	1,1	Ratio	Extra investeringskosten voor regeneratiemechanisme bij WKO zonder TEO
Ki_wijkdist	6.000 * 187/15.741	Eur_m <sup>2</sup>	
Ki_booster	CurveEWPww * 3.500	EUR	Investeringskosten booster-warmtepomp voor warm tapwater inclusief buffervat en verzwaarde elektriciteitsaansluiting en installatie en montagekosten
Ki_eWP_B	CurveEWPww * 4.500	Eur	Investeringskosten elektrische warmtepomp bij woningen Schillabel B inclusief buffervat en verzwaarde elektriciteitsaansluiting en installatie en montagekosten
Ki_eWP_CDE	CurveEWPww * 7.000	Eur	Investeringskosten elektrische warmtepomp bij woningen Schillabel C, D of E inclusief buffervat en verzwaarde elektriciteitsaansluiting en installatie en montagekosten
Ki_eWP_util	CurveEWPww * 700	Eur_kW	Investeringskosten elektrische warmtepomp bij utiliteit

Ki_afleverset	CurveInpandig * 2.000	Eur_Woning	Investeringskosten afleverset (warmtewisselaar + meter)
K_os_p_min	CurveMTnet * 120	Eur_kW	Minimale Investeringskosten onderstations in wijkdistributie
K_os_p_max	CurveMTnet * 150	Eur_kW	Maximale Investeringskosten onderstations in wijkdistributie

## A.5 Infrastructuur

Tabel 24 - Parameters infrastructuur

Naam	Waarde	Eenheid	Beschrijving
gem_Aansl_area	100	m2_Aansl	Gemiddelde oppervlakte van een aangesloten object
AF	0,75	Ratio	Aansluitbijdragefactor voor verhouding aansluitbijdrage utiliteit ten opzichte van woningbouw
L_g_HD_MD	68.332.528	m	Lengte middendruk en hogedruk gasnetwerk
L_e_HS_MS	5.515.556	m	Lengte middenspanning en hooogspanning electriciteitnetwerk
AansluitTarief_bw_g	0	Eur_Aansl	Aansluittarief bestaande woningen gas
AansluitTarief_bw_e	0	Eur_Aansl	Aansluittarief bestaande woningen electriciteit
AansluitTarief_nw_g	893,08	Eur_Aansl	Aansluittarief nieuwe woningen gas
AansluitTarief_nw_e	623,47	Eur_Aansl	Aansluittarief nieuwe woningen electriciteit
AansluitTarief_bu_g	0	Eur_m2	Aansluittarief nieuwe utiliteit gas
AansluitTarief_bu_e	0	Eur_m2	Aansluittarief nieuwe utiliteit electriciteit
AansluitTarief_nu_g	AF*AansluitTarief_nw_g		Aansluittarief bestaande utiliteit gas
AansluitTarief_nu_e	AF*AansluitTarief_nw_e		Aansluittarief bestaande utiliteit electriciteit
Vastrecht_g	20,22	Eur_yr_Aansl	Vastrecht gas
Vastrecht_e	20,22	Eur_yr_Aansl	Vastrecht electriciteit
PA_g	23,59	Eur_yr_Aansl	Periodieke aansluitvergoeding gas
PA_e	20,22	Eur_yr_Aansl	Periodieke aansluitvergoeding electriciteit
meterhuur_g	22,47	Eur_yr_Aansl	Meterhuur gas
meterhuur_e	31,45	Eur_yr_Aansl	Meterhuur electriciteit
capaciteitstarief_g	73,02	Eur_yr_Aansl	Capaciteitstarief gas
capaciteitstarief_e	148,28	Eur_yr_Aansl	Capaciteitstarief electriciteit
administratiekosten_g	49,43	Eur_yr_Aansl	Administratiekosten leverancier gas
administratiekosten_e	49,43	Eur_yr_Aansl	Administratiekosten leverancier electriciteit

Naam	Waarde	Eenheid	Beschrijving
Kji_trans_g	337,01	MEur_yr	Jaarlijkse kapitaallasten transportnet gas
Kji_trans_e	168,51	MEur_yr	Jaarlijkse kapitaallasten transportnet elektriciteit
Kj_distr_g	617,85	MEur_yr	Jaarlijkse kapitaallasten distributienet gas
Kj_distr_e	617,85	MEur_yr	Jaarlijkse kapitaallasten distributienet elektriciteit
Kj_oh_trans_g	730,19	MEur_yr	Jaarlijkse onderhoudskosten transportnet gas
Kj_oh_trans_e	449,35	MEur_yr	Jaarlijkse onderhoudskosten transportnet elektriciteit
Kj_oh_distr_g	1.291.869	MEur_yr	Jaarlijkse onderhoudskosten distributienet gas
Kj_oh_distr_e	3.201.589	MEur_yr	Jaarlijkse onderhoudskosten distributienet elektriciteit
Kj_oh_g_totaal	Kj_oh_trans_g + Kj_oh_distr_g	MEur_yr	Onderhoudskosten gasnet jaarlijks (totaal)
Kj_oh_e_totaal	Kj_oh_trans_e + Kj_oh_distr_e	MEur_yr	Onderhoudskosten elektriciteitsnet jaarlijks (totaal)
Ki_verv_LD_len	InfraCurve * 270	Eur_m	Kostenkengetal vervangen LD-gasnet
Ki_verw_g_laagb_asl	InfraCurve * 550	Eur_Aansl	Kostenkengetal verwijderen gasaansluiting bij laagbouw
Ki_verw_g_hoogb_asl	InfraCurve * 182	Eur_Aansl	Kostenkengetal verwijderen gasaansluiting bij hoogbouw
Ki_verw_g_util_asl	InfraCurve * 1932	Eur_Aansl	Kostenkengetal verwijderen gasaansluiting bij utiliteit
Ki_verw_LD_len	InfraCurve * 100	Eur_m	Kostenkengetal verwijderen LD-gasnet
Ki_verzw_e_asl	InfraCurve * 227	Eur_Aansl	Kostenkengetal verzwaren aansluiting naar 3x25
Ki_MSR	InfraCurve * 70000	Eur_MSR	Kostenkengetal plaatsen nieuwe MS-ruimte
Ki_verzw_LS_len	InfraCurve * 110	Eur_m	Kostenkengetal verzwaren LS-net
P_MSR	InfraCurve * 630	kW_MSR	Individuele capaciteit van nieuw te plaatsen MS-ruimtes
Ki_verv_LD_min	243	Eur_m	Minimaal kostenkengetal vervangen LD-gasnet
Ki_verv_LD_max	297	Eur_m	Maximaal kostenkengetal vervangen LD-gasnet
Ki_verw_g_laagb_min	495	Eur_Aansl	Minimaal kostenkengetal verwijderen gasaansluiting bij laagbouw
Ki_verw_g_laagb_max	605	Eur_Aansl	Maximaal kostenkengetal verwijderen gasaansluiting bij laagbouw
Ki_verw_g_hoogb_min	163,8	Eur_Aansl	Minimaal kostenkengetal verwijderen gasaansluiting bij hoogbouw
Ki_verw_g_hoogb_max	200,2	Eur_Aansl	Maximaal kostenkengetal verwijderen gasaansluiting bij hoogbouw
Ki_verw_g_util_min	1738,8	Eur_Aansl	Minimaal kostenkengetal verwijderen gasaansluiting bij utiliteit
Ki_verw_g_util_max	2125,2	Eur_Aansl	Maximaal kostenkengetal verwijderen gasaansluiting bij utiliteit
Ki_verw_LD_min	90	Eur_m	Minimaal kostenkengetal verwijderen LD-gasnet

Naam	Waarde	Eenheid	Beschrijving
Ki_verw_LD_max	110	Eur_m	Maximaal kostenkengetal verwijderen LD-gasnet
Ki_verzw_e_min	204,3	Eur_Aansl	Minimaal kostenkengetal verzwaren aansluiting naar 3x25
Ki_verzw_e_max	249,7	Eur_Aansl	Maximaal kostenkengetal verzwaren aansluiting naar 3x25
Ki_MSR_min	63000	Eur_MSR	Minimaal kostenkengetal plaatsen nieuwe MS-ruimte
Ki_MSR_max	77000	Eur_MSR	Maximaal kostenkengetal plaatsen nieuwe MS-ruimte
Ki_verzw_LS_min	99	Eur_m	Minimaal kostenkengetal verzwaren LS-net
Ki_verzw_LS_max	121	Eur_m	Maximaal kostenkengetal verzwaren LS-net
P_MSR_kw	630	Eur_MSR	Individuele capaciteit van nieuw te plaatsen MS-ruimtes

## A.6 Efficiëntie

Tabel 25 - Efficiëntie algemeen

Naam	Waarde	Eenheid	Beschrijving
V_elek_WKO_min	0,025	Gje_Gjth	Elektriciteitsgebruik in WKO-installatie
V_elek_WKO_max	0,025	Gje_Gjth	Elektriciteitsgebruik in WKO-installatie
V_elek_TEO_min	0,017	Gje_Gjth	Elektriciteitsgebruik in TEO-installatie
V_elek_TEO_max	0,017	Gje_Gjth	Elektriciteitsgebruik in TEO-installatie
W_zonder_bijstook_min	0,7	Ratio	Percentage grootschalige warmte dat niet wordt bijgestookt
W_zonder_bijstook_max	0,9	Ratio	Percentage grootschalige warmte dat niet wordt bijgestookt
Vermogenverlies_LT_min	0	Ratio	Aandeel op capaciteit dat verloren gaat tussen bron en afnemer
Vermogenverlies_LT_max	0,1	Ratio	Aandeel op capaciteit dat verloren gaat tussen bron en afnemer
Vermogenverlies_MT_min	0	Ratio	Aandeel op capaciteit dat verloren gaat tussen bron en afnemer
Vermogenverlies_MT_max	0,1	Ratio	Aandeel op capaciteit dat verloren gaat tussen bron en afnemer
Leidingverlies_LT_min	0,2	Ratio	Aandeel op volume dat verloren gaat tussen bron en afnemer
Leidingverlies_LT_max	0,36	Ratio	Aandeel op volume dat verloren gaat tussen bron en afnemer
Leidingverlies_MT_min	0,2	Ratio	Aandeel op volume dat verloren gaat tussen bron en afnemer
Leidingverlies_MT_max	0,36	Ratio	Aandeel op volume dat verloren gaat tussen bron en afnemer
Pompenenergie_Wnet_min	0,0072	Ratio	Elektriciteitsverbruik distributiepompen warmtenetten
Pompenenergie_Wnet_max	0,0072	Ratio	Elektriciteitsverbruik distributiepompen warmtenetten



Naam	Waarde	Eenheid	Beschrijving
Efficiency_piekketel_min	0,78	Ratio	Kengetal voor de efficiëntie van energieomzetting in aardgasgestookte hulpketels
Efficiency_piekketel_max	1,07	Ratio	Kengetal voor de efficiëntie van energieomzetting in aardgasgestookte hulpketels
HulpketelVermogens_min	0,7	float64	Capaciteit hulpketels per eenheid piekvraag
HulpketelVermogens_max	1	float64	Capaciteit hulpketels per eenheid piekvraag
HoofdbronVermogens_min	0,3	float64	Capaciteit hoofdbron per eenheid piekvraag
HoofdbronVermogens_max	0,3	float64	Capaciteit hoofdbron per eenheid piekvraag
Leidingverlies_WW_aardgas	0	Ratio	Extra op te wekken warm water door verlies in leidingen binnen gebouw met aardgas
Leidingverlies_WW_ewp	0	Ratio	Extra op te wekken warm water door verlies in leidingen binnen gebouw met ewp
Leidingverlies_RV_aardgas	0	Ratio	Extra op te wekken ruimteverwarming door verlies in leidingen binnen gebouw met aardgas
Leidingverlies_RV_ewp	0	Ratio	Extra op te wekken ruimteverwarming door verlies in leidingen binnen gebouw met ewp

**Tabel 26 - Efficiëntie LT-warmtenet**

Naam	Waarde	Eenheid	Beschrijving
AandeelPrimairVermogen	0,3	Ratio	Aandeel van het gevraagde vermogen dat door de primaire bron wordt geleverd
AandeelHulpVermogen	0,7	Ratio	Aandeel van het gevraagde vermogen dat door de hulpvoorziening wordt geleverd. 0,7 wanneer T <sub>ow</sub> gelijk is aan T <sub>sec</sub> , anders 1,0.
AandeelHulpVermogen	1	Ratio	Aandeel van het gevraagde vermogen dat door de hulpvoorziening wordt geleverd
AandeelPrimairVolume	1	Ratio	
AandeelHulpVolume	0,3	Ratio	Aandeel van het gevraagde volume dat door de primaire bron wordt geleverd
AandeelHulpVolume	1	Ratio	Aandeel van het gevraagde volume dat door de primaire bron wordt geleverd
AandeelTEOVermogen	0,14	KW_GJ_yr	Capaciteit waarop TEO wordt geschaald bepaald op 2000 vollasturen
SPF_coll_W	7,9	Ratio	Efficiency collectieve warmtepomp per temperatuurniveau
SPF_coll_W	3,2	Ratio	Efficiency collectieve warmtepomp per temperatuurniveau
SPF_coll_W	3	Ratio	Efficiency collectieve warmtepomp per temperatuurniveau
SPF_coll_W	7,9	Ratio	Efficiency collectieve warmtepomp per temperatuurniveau
SPF_coll_W	4,2	Ratio	Efficiency collectieve warmtepomp per temperatuurniveau
SPF_coll_W	3,2	Ratio	Efficiency collectieve warmtepomp per temperatuurniveau
SPF_coll_K	30	Ratio	Efficiëntie van de collectieve warmtepomp bij koudelevering
SPF_ind_A_rv	8	Ratio	Efficiëntie van de individuele warmtepomp voor ruimteverwarming label A+

Naam	Waarde	Eenheid	Beschrijving
SPF_ind_B_rv	4,2	Ratio	Efficientie van de individuele warmtepomp voor ruimteverwarming Label B
SPF_ind_B_rv	8	Ratio	Efficientie van de individuele warmtepomp voor ruimteverwarming Label B
SPF_ind_CE_rv	2,5	Ratio	Efficientie van de individuele warmtepomp voor ruimteverwarming Label C D E
SPF_ind_CE_rv	3,2	Ratio	Efficientie van de individuele warmtepomp voor ruimteverwarming Label C D E
SPF_ind_ww	2,5	Ratio	Efficientie van de individuele warmtepomp voor tapwaterverwarming
SPF_ind_K	1	Ratio	Efficientie van een individuele warmtepomp bij koudelevering
AEO_ind_A_rv	0,6	Ratio	Aandeel eigen opwekking ruimteverwarming Label A+
AEO_ind_A_rv	0,3	Ratio	Aandeel eigen opwekking ruimteverwarming Label A+
AEO_ind_B_rv	0,9	Ratio	Aandeel eigen opwekking ruimteverwarming Label B
AEO_ind_B_rv	0,6	Ratio	Aandeel eigen opwekking ruimteverwarming Label B
AEO_ind_CE_rv	1	Ratio	Aandeel eigen opwekking ruimteverwarming Label C D E
AEO_ind_CE_rv	0,9	Ratio	Aandeel eigen opwekking ruimteverwarming Label C D E
AEO_ind_ww (aangeleverd 30)	AEO_ind_ww	0,6	Ratio
AEO_ind_ww (aangeleverd 50)	AEO_ind_ww	0,3	Ratio
AEO_ind_K	AEO_ind_K	0	Ratio

## A.7 Aansluitwaarden

Tabel 27 - Parameters aansluitwaarden en gelijktijdigheidsfactoren MT/HT-net

Naam	Waarde	Eenheid	Beschrijving
ASW_woning_WW	7,0	kW_Woning	Aansluitwaarde woning voor warm water
ASW_woning_RV	4,0	kW_Woning	Aansluitwaarde woning voor ruimteverwarming
GTF_woning_WW	0,5	Ratio	Gelijktijdigheidsfactor warm water
GTF_woning_RV	0,1	Ratio	Gelijktijdigheidsfactor ruimteverwarming



**Tabel 28 - Parameters aansluitwaarden en gelijktijdigheidsfactoren LT-net**

Naam	Waarde	Eenheid	Beschrijving
ASW_wc_LT	6	kW_Woning	Aansluitwaarde warmte eengezinswoning (gevraagde capaciteit)
ASW_kc_LT	2	kW_Woning	Aansluitwaarde koude eengezinswoning (gevraagde capaciteit)
ASW_wa_LT	5	kW_Woning	Aansluitwaarde warmte meergezinswoning (gevraagde capaciteit)
ASW_ka_LT	2	kW_Woning	Aansluitwaarde koude meergezinswoning (gevraagde capaciteit)
ASW_wu_LT	0,05	kW_m2	Aansluitwaarde warmte utiliteit per m <sup>2</sup> (gevraagde capaciteit)
ASW_ku_LT	0,06	kW_m2	Aansluitwaarde koude utiliteit per m <sup>2</sup> (gevraagde capaciteit)
GTF_woning_w	0,55	Ratio	Gelijktijdigheidsfactor capaciteitsvraag warmte woningen
GTF_woning_k	0,55	Ratio	Gelijktijdigheidsfactor capaciteitsvraag koude woningen
GTF_util_w	0,95	Ratio	Gelijktijdigheidsfactor capaciteitsvraag warmte utiliteit
GTF_util_k	0,95	Ratio	Gelijktijdigheidsfactor capaciteitsvraag koude utiliteit

**Tabel 29 - Parameters aansluitwaarden en gelijktijdigheidsfactoren warmtepomp**

Naam	Waarde	Eenheid	Beschrijving
ASW_w_zonderWP_min	2,4	kW_Woning	Kengetal aansluitwaarde woningen zonder warmtepomp
ASW_w_zonderWP_max	3,6	kW_Woning	Kengetal aansluitwaarde woningen zonder warmtepomp
ASW_w_metWP_min	7	kW_Woning	Kengetal aansluitwaarde woningen met warmtepomp
ASW_w_metWP_max	7	kW_Woning	Kengetal aansluitwaarde woningen met warmtepomp
GTF_w_zonderWP	0,5	ratio	Kengetal gelijktijdigheidsfactor woningen zonder warmtepomp
GTF_w_metWP	0,5	ratio	Kengetal gelijktijdigheidsfactor woningen met warmtepomp
ASW_u_zonderWP_min	0,02	kW_m <sup>2</sup>	Kengetal aansluitwaarde utiliteit zonder warmtepomp
ASW_u_zonderWP_max	0,04	kW_m <sup>2</sup>	Kengetal aansluitwaarde utiliteit zonder warmtepomp
ASW_u_metWP_min	0,07	kW_m <sup>2</sup>	Kengetal aansluitwaarde utiliteit met warmtepomp
ASW_u_metWP_max	0,07	kW_m <sup>2</sup>	Kengetal aansluitwaarde utiliteit met warmtepomp
ASW_glbtb_zonderWP	ASW_u_zonderWP	kW_m <sup>2</sup>	-
ASW_glbtb_metWP	ASW_u_metWP	kW_m <sup>2</sup>	-
GTF_u_zonderWP	0,95	ratio	Kengetal gelijktijdigheidsfactor utiliteit zonder warmtepomp
GTF_u_metWP	0,95	ratio	Kengetal gelijktijdigheidsfactor utiliteit met warmtepomp

## A.8 Onderhoud

Tabel 30 - Overzicht onderhoudskosten

Naam	Waarde	Eenheid	Beschrijving
R_WOS_onderhoud	3,00%	percentage/jaar	Jaarlijkse onderhoudskosten warmteoverdrachtstations in warmtenetten
R_WOS_admin	3,00%	percentage/jaar	Jaarlijkse administratiekosten warmteoverdrachtstations in warmtenetten
R_OS_onderhoud	3,00%	percentage/jaar	Jaarlijkse onderhoudskosten onderstations in warmtenetten
R_OS_admin	3,00%	percentage/jaar	Jaarlijkse administratiekosten onderstations in warmtenetten
R_Sec_onderhoud	3,00%	percentage/jaar	Jaarlijkse onderhoudskosten secundaire leidingen GLTB in warmtenetten
R_Sec_admin	3,00%	percentage/jaar	Jaarlijkse administratiekosten secundaire leidingen GLTB in warmtenetten
R_pt_onderhoud	3,00%	percentage/jaar	Jaarlijkse onderhoudskosten primaire transportleidingen in warmtenetten
R_pt_admin	3,00%	percentage/jaar	Jaarlijkse administratiekosten primaire transportleidingen in warmtenetten
R_Inst_onderhoud	3,00%	percentage/jaar	Jaarlijkse onderhoudskosten installaties in warmtenetten
R_Inst_admin	3,00%	percentage/jaar	Jaarlijkse administratiekosten installaties in warmtenetten
R_GV_onderhoud	0,00%	percentage/jaar	Jaarlijkse onderhoudskosten gebouwverbetering
R_GV_admin	0,00%	percentage/jaar	Jaarlijkse administratiekosten gebouwverbetering
R_LO_onderhoud	2,50%	percentage/jaar	Jaarlijkse onderhoudskosten Lokale Opwekking excl. warmtepompen
R_LO_admin	0,00%	percentage/jaar	Jaarlijkse administratiekosten Lokale Opwekking excl. warmtepompen
R_LO_EWP_onderhoud	2,00%	percentage/jaar	Jaarlijkse onderhoudskosten warmtepompen in Lokale Opwekking
R_LO_EWP_admin	0,00%	percentage/jaar	Jaarlijkse administratiekosten warmtepompen in Lokale Opwekking
R_lv_Admin	1,00%	percentage/jaar	Fractie van vastrecht dat de leaseancier aan administratiekosten besteedt
R_id_onderhoud	2,50%	percentage/jaar	Jaarlijkse onderhoudskosten in pandige distributie als percentage van de initiele investering
R_id_admin	0,00%	percentage/jaar	Jaarlijkse administratiekosten in pandige distributie als percentage van de initiele investering
R_ow_onderhoud	5,00%	percentage/jaar	Jaarlijkse onderhoudskosten opwekking aan de bron als percentage van de initiele investering
R_ow_admin	2,50%	percentage/jaar	Jaarlijkse administratiekosten opwekking aan de bron als percentage van de initiele investering
R_wd_onderhoud	2,50%	percentage/jaar	Jaarlijkse onderhoudskosten wijkdistributie als percentage van de initiele investering
R_wd_admin	2,50%	percentage/jaar	Jaarlijkse administratiekosten wijkdistributie als percentage van de initiele investering
R_wpColl_onderhoud	3,50%	percentage/jaar	Jaarlijkse onderhoudskosten collectieve warmtepomp als percentage van de initiele investering
R_wpColl_admin	2,50%	percentage/jaar	Jaarlijkse administratiekosten collectieve warmtepomp als percentage van de initiele investering
R_buffer_onderhoud	2,50%	percentage/jaar	Jaarlijkse onderhoudskosten seizoensbuffer als percentage van de initiele investering
R_buffer_admin	2,50%	percentage/jaar	Jaarlijkse administratiekosten seizoensbuffer als percentage van de initiele investering

Naam	Waarde	Eenheid	Beschrijving
R_WKO_onderhoud	2,00%	percentage/jaar	Jaarlijkse onderhoudskosten WKO-systemen als percentage van de initiele investering
R_WKO_admin	0,00%	percentage/jaar	Jaarlijkse administratiekosten WKO-systemen als percentage van de initiele investering
R_TEO_onderhoud	3,00%	percentage/jaar	Jaarlijkse onderhoudskosten TEO-systemen als percentage van de initiele investering
R_TEO_admin	0,00%	percentage/jaar	Jaarlijkse administratiekosten TEO-systemen als percentage van de initiele investering

## A.9 Defaultinstellingen

Tabel 31 - Discontovoeten

Naam	Waarde	Eenheid	Beschrijving
mr	4,0%	Percentage/jaar	Maatschappelijke discontovoet
ow	6,0%	Percentage/jaar	Discontovoet voor opwekking door energieproducenten; kan per aanbod-technologie worden overruled
wd	6,0%	Percentage/jaar	Discontovoet voor wijkdistributeurs
pt	6,0%	Percentage/jaar	Discontovoet voor primaire transporteurs
id	6,0%	Percentage/jaar	Discontovoet voor in pandige distributeurs
E_bw	5,5%	Percentage/jaar	Discontovoet voor eigenaars van bestaande woningen
E_nw	5,5%	Percentage/jaar	Discontovoet voor eigenaars van nieuwe woningen
E_bu	8,0%	Percentage/jaar	Discontovoet voor eigenaars van bestaande utiliteiten
E_nu	8,0%	Percentage/jaar	Discontovoet voor eigenaars van nieuwe utiliteiten
E_bt	8,0%	Percentage/jaar	Discontovoet voor eigenaars van bestaande gtb
E_nt	8,0%	Percentage/jaar	Discontovoet voor eigenaars van nieuwe gtb

**Tabel 32 - Algemene defaultwaarden**

Naam	Waarde	Eenheid	Beschrijving
VAT	21	Percentage	BTW percentage
VAT_gv	$0,5 * (21,0 + 9,0)$	Percentage	BTW percentate op gebouverbetering
R_SplitIncentiveFactor	0,8	Ratio	Aandeel van vermeden kosten die de gebouweigenaar ontvangt in plaats van de gebruiker
AansluitTarief_Min (Classifications/WoningtypeNieuwbouw)	Const (NMDA_Prijzen/Aansluitbijdrage/Maximum2019, Classifications/WoningtypeBestaand)	Eur_Aansl	Aansluitbijdrage op warmtenetten
AansluitTarief_Max (Classifications/WoningtypeNieuwbouw)	Const (NMDA_Prijzen/Aansluitbijdrage/Maximum2019, Classifications/WoningtypeBestaand)	Eur_Aansl	Aansluitbijdrage op warmtenetten
AansluitTarief_Min (Classifications/WoningtypeNieuwbouw)	4.500	Eur_Aansl	Aansluitbijdrage op warmtenetten
AansluitTarief_Max (Classifications/WoningtypeNieuwbouw)	5.500	Eur_Aansl	Aansluitbijdrage op warmtenetten
AansluitTarief_Min (Classifications/UtilTypeBestaand)	56,17	Eur_kW	Aansluitbijdrage op warmtenetten
AansluitTarief_Max (Classifications/UtilTypeBestaand)	112,34	Eur_kW	Aansluitbijdrage op warmtenetten
AansluitTarief_Min (Classifications/UtilTypeNieuwbouw)	56,17	Eur_kW	Aansluitbijdrage op warmtenetten
AansluitTarief_Max (Classifications/UtilTypeNieuwbouw)	112,34	Eur_kW	Aansluitbijdrage op warmtenetten
AansluitTarief_Min (Classifications/Gltb)	0	Eur_Aansl	Aansluitbijdrage op warmtenetten
AansluitTarief_Max (Classifications/Gltb)	0	Eur_Aansl	Aansluitbijdrage op warmtenetten
BeginOpbrengstJaar	2	Jaar	Jaar na start van aanleg dat inkomsten voor warmtenetten gemiddeld beginnen binnen te komen
EindOpbrengstJaar	30	Jaar	Afschrijftermijn voor warmtenetten
Maximum2019	805,8	Eur_Aansl	Maximale aansluitbijdrage voor nieuwe warmtenetten(ACM Warmtebesluit 2019)
Maximum2019	267,47	Eur_yr_Aansl	Maximaal vastrecht voor warmtelevering(ACM Warmtebesluit 2019)

**Tabel 33 - Instellingen met behulp van een schuif**

Naam	Waarde	Eenheid	Beschrijving
LuchtBodemSchuif	0,5	Ratio	Schuif tussen lucht en bodem warmtepompen (1 = alles lucht warmtepomp)
EfficiencySchuif	0,5	Ratio	Schuif tussen minimale en maximale efficiency in installaties (1 = maximale efficiency)
VerbeterMinMaxSchuif	0,5	Ratio	Schuif tussen minimale en maximale kosten (1 = maximale kosten)
LeercurveMinMaxSchuif	0,5	Ratio	Schuif tussen optimistische en pessimistische leercurve (1 = pessimistisch)
LeercurveGebruikSchuif	1	Ratio	In hoeverre een leercurve in effect treedt (1 = 100%)
IndividueleVerwarmingSchuif	0,85	Ratio	Aandeel meergezinswoningen dat individuele verwarming heeft (geen blokverwarming)
HuurVerlagingBijGebiedsOptieSchuif	0,5	Ratio	Geen of gedeeltelijke huurverlaging bij aansluiting op een MT warmtenet (1 = volledige huurverlaging)
MinderDanAndersFactor	1	Ratio	Niet minder dan anders: zet op bijvoorbeeld 0.9 voor 10% korting op de volgens de WarmteWet berekende prijs
IsVasteWarmtePrijs	False	True/false	Indien true: er geldt een vaste warmteprijs
VasteWarmtePrijs	25	Eur_GJ	Wordt alleen gebruikt indien IsVasteWarmtePrijs
GroenGasFactor	0,1	Ratio	Aandeel van de aardgasvraag die door groengas wordt ingevuld (zonder CO <sub>2</sub> -uitstoot)
RuimteVerwarming	1	Ratio	Schuif om functionele vraag naar ruimteverwarming hoger of lager te schalen (1 = geen schalingsfactor)
Koude	1	Ratio	Schuif om functionele vraag naar koude hoger of lager te schalen (1 = geen schalingsfactor)
WarmWater	1	Ratio	Schuif om functionele vraag naar warm water hoger of lager te schalen (1 = geen schalingsfactor)
ElektrischeApparatuur	1	Ratio	Schuif om functionele vraag naar elektriciteit voor apparatuur meet hoger of lager te schalen (1 = geen schalingsfactor)
Zon_PV	0	Ratio	Aandeel van alle mogelijke dakoppervlakken die voor Zon-PV worden benut
ZonneBoiler	0	Ratio	Aandeel van alle mogelijke dakoppervlakken die voor Zonneboilers worden benut
mWKK	0	Ratio	Aandeel van alle gebruikers dat een micro-WKK heeft
hWP	0	Ratio	Aandeel van alle gebruikers dat een Hybridewarmtepomp heeft
RuimteVerwarmingsJaar	2020	Jaar	Jaar vanaf wanneer schilsprongen gemaakt kunnen worden
SpringMeestRendabel	False	True/false	Maak rentabiliteitsafweging tbv bebouwingobject eigenaren indien true
SpringMaatschappelijk	False	True/false	Maak maatschappelijke rentabiliteitsafweging indien true en SpringMeestRendabel = false
IndustrieDoetMee	1	0/1/2	0: geen industrie meenemen, ook niet bij gemengde functies. 1: alleen bij vbo met gemengde functies, 2; industrie meenemen
BuitenContour (WKO)	False	True/false	Mag WKO buiten de potentiecontour worden toegepast?
BuitenContour (TEO)	False	True/false	Mag TEO buiten de potentiecontour worden toegepast?
Deelname (bestaande woningen)	1	Ratio	Aandeel van de afnemers dat zich laat aansluiten op een warmtenet indien aangeboden

Naam	Waarde	Eenheid	Beschrijving
Deelname (nieuwbouwwoningen)	1	Ratio	Aandeel van de afnemers dat zich laat aansluiten op een warmtenet indien aangeboden
Deelname (bestaande utiliteit)	1	Ratio	Aandeel van de afnemers dat zich laat aansluiten op een warmtenet indien aangeboden
Deelname (nieuwbouwutiliteit)	1	Ratio	Aandeel van de afnemers dat zich laat aansluiten op een warmtenet indien aangeboden
Deelname (bestaande glastuinbouw)	1	Ratio	Aandeel van de afnemers dat zich laat aansluiten op een warmtenet indien aangeboden
Deelname (nieuwbouw glastuinbouw)	1	Ratio	Aandeel van de afnemers dat zich laat aansluiten op een warmtenet indien aangeboden

Tabel 34 - Subsidies

Naam	Waarde	Eenheid	Beschrijving
Rs_LokaleOpwekking	0	Ratio	Investeringssubsidie op hwp, zon-PV, zonneboiler en mwkk
Rs_GebouwVerbetering	0	Ratio	Investeringssubsidie op gebouwverbetering
Rs_OngeriefsVergoeding	0	Ratio	Investeringssubsidie op ongeriefsvergoeding
Rs_ProjectManagement	0	Ratio	Investeringssubsidie op projectmanagement
ISDE_eWP	1.750	Eur	Eenmalige ISDE aanschafsubsidie op elektrische warmtepompen (spreiding van 1.000 tot 2.500)
Heffingskorting	257,54	Eur_yr_Aansl	Belastingvermindering per elektriciteitsaansluiting (2019)
id	0	Ratio	Investeringssubsidie in pandige distributie als fractie van de investering
wd	0	Ratio	Investeringssubsidie wijkdistributie als fractie van de investering
pt	0	Ratio	Investeringssubsidie primair transport als fractie van de investering
WKO	0	Ratio	Investeringssubsidie opwekking met WKO als fractie van de investering
LT	0	Ratio	Investeringssubsidie opwekking voor lage temperatuur warmtenetten met puntbron
ow	const (0,0 TypeInfoList)	Ratio	Investeringssubsidie opwekking met MT-bronnen als fractie van de investering
Rs_LokaleOpwekking	0	Ratio	Percentage op totale OenM kosten voor lokale opwekking
Rs_GebouwVerbetering	0	Ratio	Percentage op totale OenM kosten voor gebouwverbetering
S_Leverancier	0	Ratio	Percentage op totale OenM kosten voor warmteleveranciers
S_OenM	0	Ratio	Percentage op totale OenM kosten voor individuele gebouwen
ge	0	Ratio	Exploitatiesubsidie O&M tbv gebouw eigenaren
id	0	Ratio	Exploitatiesubsidie O&M in pandige distributie
wd	0	Ratio	Exploitatiesubsidie O&M wijkdistributie 0.20 = 20% subsidie op wijkdistributie investeringen
pt	0	Ratio	Exploitatiesubsidie O&M primaire transportleidingen



Naam	Waarde	Eenheid	Beschrijving
wko	0	Ratio	Exploitatiesubsidie O&M WKO- en TEO-systemen
lt	0	Ratio	Exploitatiesubsidie O&M kosten lagetemperatuurwarmtenetten
ow(TypeInfoList)	0	Ratio	Exploitatiesubsidie O&M voor MT-warmteopwekking
SDE_LT	0	Eur_GJ	Productiesubsidie lagetemperatuurwarmtenetten met puntbron
SDE_WKO	0	Eur_GJ	Productiesubsidie lagetemperatuurwarmtenetten met WKO en evt. TEO
SDE (TypeInfoList)	0	Eur_GJ	Productiesubsidie SDE voor MT-warmteopwekking
SDE (TypeInfoList)	0,053	Eur_GJ	Productiesubsidie SDE voor MT-warmteopwekking
SDE (TypeInfoList)	0,052 & 0,098	Eur_GJ	Productiesubsidie SDE voor MT-warmteopwekking

## A.10 Warmtebronnen

Tabel 35 - Investeringskosten restwarmtebronnen

Naam	Waarde	Eenheid	Beschrijving
k_kW_min (STEG)	150	Eur_kW	Minimale investeringskosten voor restwarmte uit STEG
k_kW_max (STEG)	175	Eur_kW	Maximale investeringskosten voor restwarmte uit STEG
k_kW_min (Kolen)	150	Eur_kW	Minimale investeringskosten voor restwarmte uit Kolen
k_kW_max (Kolen)	175	Eur_kW	Maximale investeringskosten voor restwarmte uit Kolen
k_kW_min (Gasmotor)	800	Eur_kW	Minimale investeringskosten voor restwarmte uit Gasmotor
k_kW_max (Gasmotor)	1.800	Eur_kW	Maximale investeringskosten voor restwarmte uit Gasmotor
k_kW_min (Gasturbine)	175	Eur_kW	Minimale investeringskosten voor restwarmte uit Gasturbine
k_kW_max (Gasturbine)	185	Eur_kW	Maximale investeringskosten voor restwarmte uit Gasturbine
k_kW_min (Conventioneel)	175	Eur_kW	Minimale investeringskosten voor restwarmte uit Conventioneel
k_kW_max (Conventioneel)	185	Eur_kW	Maximale investeringskosten voor restwarmte uit Conventioneel
k_kW_min (Industrie)	225	Eur_kW	Minimale investeringskosten voor restwarmte uit Industrie
k_kW_max (Industrie)	275	Eur_kW	Maximale investeringskosten voor restwarmte uit Industrie
k_kW_min (Raffinaderij)	225	Eur_kW	Minimale investeringskosten voor restwarmte uit Raffinaderij
k_kW_max (Raffinaderij)	275	Eur_kW	Maximale investeringskosten voor restwarmte uit Raffinaderij
k_kW_min (KVSTEG)	150	Eur_kW	Minimale investeringskosten voor restwarmte uit KVSTEG
k_kW_max (KVSTEG)	175	Eur_kW	Maximale investeringskosten voor restwarmte uit KVSTEG

Naam	Waarde	Eenheid	Beschrijving
k_kW_min (AVI)	150	Eur_kW	Minimale investeringskosten voor restwarmte uit AVI
k_kW_max (AVI)	175	Eur_kW	Maximale investeringskosten voor restwarmte uit AVI
k_kW_min (BMC)	150	Eur_kW	Minimale investeringskosten voor restwarmte uit BMC
k_kW_max (BMC)	175	Eur_kW	Maximale investeringskosten voor restwarmte uit BMC
k_kW_min (Kern)	-	Eur_kW	Minimale investeringskosten voor restwarmte uit Kern
k_kW_max (Kern)	-	Eur_kW	Maximale investeringskosten voor restwarmte uit Kern
k_kW_min (WijkWKK)	800	Eur_kW	Minimale investeringskosten voor restwarmte uit WijkWKK
k_kW_max (WijkWKK)	1.800	Eur_kW	Maximale investeringskosten voor restwarmte uit WijkWKK
k_kW_min (Geothermie)	1.750	Eur_kW	Minimale investeringskosten voor restwarmte uit Geothermie
k_kW_max (Geothermie)	2.000	Eur_kW	Maximale investeringskosten voor restwarmte uit Geothermie
k_kW_min (BioWKK)	750	Eur_kW	Minimale investeringskosten voor restwarmte uit BioWKK
k_kW_max (BioWKK)	1.000	Eur_kW	Maximale investeringskosten voor restwarmte uit BioWKK
Naam	Waarde	Eenheid	Beschrijving
k_kW_min (STEG)	150	Eur_kW	Minimale investeringskosten voor restwarmte uit STEG
k_kW_max (STEG)	175	Eur_kW	Maximale investeringskosten voor restwarmte uit STEG
k_kW_min (Kolen)	150	Eur_kW	Minimale investeringskosten voor restwarmte uit Kolen
k_kW_max (Kolen)	175	Eur_kW	Maximale investeringskosten voor restwarmte uit Kolen
k_kW_min (Gasmotor)	800	Eur_kW	Minimale investeringskosten voor restwarmte uit Gasmotor
k_kW_max (Gasmotor)	1.800	Eur_kW	Maximale investeringskosten voor restwarmte uit Gasmotor
k_kW_min (Gasturbine)	175	Eur_kW	Minimale investeringskosten voor restwarmte uit Gasturbine
k_kW_max (Gasturbine)	185	Eur_kW	Maximale investeringskosten voor restwarmte uit Gasturbine
k_kW_min (Conventioneel)	175	Eur_kW	Minimale investeringskosten voor restwarmte uit Conventioneel
k_kW_max (Conventioneel)	185	Eur_kW	Maximale investeringskosten voor restwarmte uit Conventioneel
k_kW_min (Industrie)	225	Eur_kW	Minimale investeringskosten voor restwarmte uit Industrie
k_kW_max (Industrie)	275	Eur_kW	Maximale investeringskosten voor restwarmte uit Industrie
k_kW_min (Raffinaderij)	225	Eur_kW	Minimale investeringskosten voor restwarmte uit Raffinaderij
k_kW_max (Raffinaderij)	275	Eur_kW	Maximale investeringskosten voor restwarmte uit Raffinaderij
k_kW_min (KVSTEG)	150	Eur_kW	Minimale investeringskosten voor restwarmte uit KVSTEG
k_kW_max (KVSTEG)	175	Eur_kW	Maximale investeringskosten voor restwarmte uit KVSTEG
k_kW_min (AVI)	150	Eur_kW	Minimale investeringskosten voor restwarmte uit AVI

Naam	Waarde	Eenheid	Beschrijving
k_kW_max (AVI)	175	Eur_kW	Maximale investeringskosten voor restwarmte uit AVI
k_kW_min (BMC)	150	Eur_kW	Minimale investeringskosten voor restwarmte uit BMC
k_kW_max (BMC)	175	Eur_kW	Maximale investeringskosten voor restwarmte uit BMC
k_kW_min (Kern)	-	Eur_kW	Minimale investeringskosten voor restwarmte uit Kern
k_kW_max (Kern)	-	Eur_kW	Maximale investeringskosten voor restwarmte uit Kern
k_kW_min (WijkWKK)	800	Eur_kW	Minimale investeringskosten voor restwarmte uit WijkWKK
k_kW_max (WijkWKK)	1.800	Eur_kW	Maximale investeringskosten voor restwarmte uit WijkWKK
k_kW_min (Geothermie)	1.750	Eur_kW	Minimale investeringskosten voor restwarmte uit Geothermie
k_kW_max (Geothermie)	2.000	Eur_kW	Maximale investeringskosten voor restwarmte uit Geothermie
k_kW_min (BioWKK)	750	Eur_kW	Minimale investeringskosten voor restwarmte uit BioWKK
k_kW_max (BioWKK)	1.000	Eur_kW	Maximale investeringskosten voor restwarmte uit BioWKK

Tabel 36 - Uitstoot per warmtebron

Naam	Waarde	Eenheid	Beschrijving
CO2_20xx (Warmtebron Restwarmte)	0	kg_GJ	CO <sub>2</sub> -uitstoot per zichtjaar per Restwarmtebron
NOx_20xx (Warmtebron Restwarmte)	0	g_GJ	NO <sub>x</sub> -uitstoot per zichtjaar per Restwarmtebron
SO2_20xx (Warmtebron Restwarmte)	0	g_GJ	SO <sub>2</sub> -uitstoot per zichtjaar per Restwarmtebron
VOS_20xx (Warmtebron Restwarmte)	0	g_GJ	VOS-uitstoot per zichtjaar per Restwarmtebron
TS_20xx (Warmtebron Restwarmte)	0	g_GJ	TS-uitstoot per zichtjaar per Restwarmtebron
CO2_20xx (WijkWKK)	0	kg_GJ	CO <sub>2</sub> -uitstoot per zichtjaar per WijkWKK
NOx_20xx (WijkWKK)	28	g_GJ	NO <sub>x</sub> -uitstoot per zichtjaar per WijkWKK
SO2_20xx (WijkWKK)	0	g_GJ	SO <sub>2</sub> -uitstoot per zichtjaar per WijkWKK
VOS_2010 (WijkWKK)	420	g_GJ	VOS-uitstoot in 2010 per WijkWKK
VOS_2020 (WijkWKK)	0,42	g_GJ	VOS-uitstoot in 2020 per WijkWKK
VOS_2030 (WijkWKK)	0,42	g_GJ	VOS-uitstoot in 2030 per WijkWKK
VOS_2040 (WijkWKK)	0,42	g_GJ	VOS-uitstoot in 2040 per WijkWKK
VOS_2050 (WijkWKK)	420	g_GJ	VOS-uitstoot in 2050 per WijkWKK
TS_20xx (WijkWKK)	0	g_GJ	TS-uitstoot per zichtjaar per WijkWKK
CO2_20xx (Geothermie)	0	kg_GJ	CO <sub>2</sub> -uitstoot per zichtjaar bij Geothermie

Naam	Waarde	Eenheid	Beschrijving
NOx_20xx (Geothermie)	0	g_GJ	NO <sub>x</sub> -uitstoot per zichtjaar bij Geothermie
SO2_20xx (Geothermie)	0	g_GJ	SO <sub>2</sub> -uitstoot per zichtjaar bij Geothermie
VOS_20xx (Geothermie)	0	g_GJ	VOS-uitstoot per zichtjaar bij Geothermie
TS_20xx (Geothermie)	0	g_GJ	TS-uitstoot per zichtjaar bij Geothermie
CO2_20xx (BioWKK)	0	kg_GJ	CO <sub>2</sub> -uitstoot per zichtjaar bij BioWKK
Nox_20xx (BioWKK)	49	g_GJ	NO <sub>x</sub> -uitstoot per zichtjaar bij BioWKK
SO2_20xx (BioWKK)	0,1	g_GJ	SO <sub>2</sub> -uitstoot per zichtjaar bij BioWKK
VOS_20xx (BioWKK)	0	g_GJ	VOS-uitstoot per zichtjaar bij BioWKK
TS_20xx (BioWKK)	2	g_GJ	TS-uitstoot per zichtjaar bij BioWKK
CO2_20xx (HulpKetel)	0	kg_GJ	CO <sub>2</sub> -uitstoot per zichtjaar bij HulpKetel
Nox_20xx (HulpKetel)	20	g_GJ	NO <sub>x</sub> -uitstoot per zichtjaar bij HulpKetel
SO2_20xx (HulpKetel)	0	g_GJ	SO <sub>2</sub> -uitstoot per zichtjaar bij HulpKetel
VOS_20xx (HulpKetel)	0	g_GJ	VOS-uitstoot per zichtjaar bij HulpKetel
TS_20xx (HulpKetel)	0	g_GJ	TS-uitstoot per zichtjaar bij HulpKetel
CO2_20xx (HR)	0	kg_GJ	CO <sub>2</sub> -uitstoot per zichtjaar bij HR
Nox_20xx (HR)	20	g_GJ	NO <sub>x</sub> -uitstoot per zichtjaar bij HR
SO2_20xx (HR)	0	g_GJ	SO <sub>2</sub> -uitstoot per zichtjaar bij HR
VOS_20xx (HR)	0	g_GJ	VOS-uitstoot per zichtjaar bij HR
TS_20xx (HR)	0	g_GJ	TS-uitstoot per zichtjaar bij HR
CO2_20xx (hWP)	0	kg_GJ	CO <sub>2</sub> -uitstoot per zichtjaar bij hWP
Nox_20xx (hWP)	20	g_GJ	NO <sub>x</sub> -uitstoot per zichtjaar bij hWP
SO2_20xx (hWP)	0	g_GJ	SO <sub>2</sub> -uitstoot per zichtjaar bij hWP
VOS_20xx (hWP)	0	g_GJ	VOS-uitstoot per zichtjaar bij hWP
TS_20xx (hWP)	0	g_GJ	TS-uitstoot per zichtjaar bij hWP
CO2_20xx (mWKK)	0	kg_GJ	CO <sub>2</sub> -uitstoot per zichtjaar bij mWKK
Nox_20xx (mWKK)	20	g_GJ	CO <sub>2</sub> -uitstoot per zichtjaar bij mWKK
SO2_20xx (mWKK)	0	g_GJ	CO <sub>2</sub> -uitstoot per zichtjaar bij mWKK
VOS_20xx (mWKK)	0	g_GJ	CO <sub>2</sub> -uitstoot per zichtjaar bij mWKK

## A.11 Overige parameters

Naam	Waarde	Eenheid	Beschrijving
EG	1	dmnl	Gebouwefficiency voor ruimteverwarming
Efficiency_piekketel_min	0,78	Ratio	Efficiency van de piekketel (op o.w.)
Efficiency_piekketel_max	1,07	Ratio	Efficiency van de piekketel (op o.w.)
E_WW_GAS	0,72		Rendement tapwaterverwarming op o.w.
A	1,25		Omwegfactor tuinbouwgebied
AF	0,75	Ratio	Aansluitbijdragefactor voor verhouding aansluitbijdrage utiliteit ten opzichte van woningbouw
C	135		Constante; waarde k_os_p_min & max
ASW_wc_LT	6	kW_Woning	
ASW_wu_LT	0,06	kW_m2	
ASW_kc_LT	2	kW_Woning	
K_CO2	89,8	Eur_ton	Prijs per ton CO <sub>2</sub> -inkoop in GLTB
V_CO2	340	ton_ha_yr	Jaarlijkse vraag naar CO <sub>2</sub> in glastuinbouw
capaciteitstarief_g	88,48/142,06	Eur_yr_Aansl	Capaciteitstarief
L_di_gem	15 m	m_Aansl	Gemiddelde lengte distributienet per aansluiting
GTF_util_w	0,95	Factor	Gelijktijdigheidsfactor utiliteit warmte
GTF_woning_WW	0,5	Factor	Gelijktijdigheidsfactor woning warmwater
GemOppbloemen_overig	9.000	m <sup>2</sup>	Gemiddelde oppervlakte van een verwarmde bloemenkas
GemOppGroente	11.000	m <sup>2</sup>	Gemiddelde oppervlakte van een verwarmde groentekas
GemOppbloemen_overig	9.000	m <sup>2</sup>	Gemiddelde oppervlakte van een verwarmde kas (overig)
HulpketelVermogens_min	1	Factor	Hulpenergie HR-ketel
HulpketelVermogens_max	0,7	Factor	Hulpenergie HR-ketel
Ki_huur_CO2Inst	1.797,38	Eur_ha_yr	
Ki_HR_ketel_W	2.134,39	Eur_Aansl	Investeringskosten HR-ketel
Ki_hWP_Min	2.808,41	Eur_Aansl	Investeringskosten hWP
Ki_hWP_Max	4.830,47	Eur_Aansl	Investeringskosten hWP
Kji_distr_g	617,85	Meur_yr	Jaarlijkse kapitaallasten
Kji_distr_e	617,85	Meur_yr	

Naam	Waarde	Eenheid	Beschrijving
Kji_trans_g	337,01	Meur_yr	Jaarlijkse kapitaallasten transportnet
Kji_trans_e	168,51	Meur_yr	Jaarlijkse kapitaallasten transportnet
Kj_oh_distr_g	1.291,869	Meur_yr	Jaarlijkse onderhoudskosten distributienet
Kj_oh_distr_e	3.201,589	Meur_yr	Jaarlijkse onderhoudskosten distributienet
Kj_oh_trans_g	730,19	Meur_yr	Jaarlijkse onderhoudskosten transportnet
Kj_oh_trans_e	449,35	Meur_yr	Jaarlijkse onderhoudskosten transportnet
Ki_MSR	InfraCurve * 70.000	€/stuk	kostenkengetal plaatsen nieuwe MS-ruimte (RNB's)
Ki_verv_LD_len	InfraCurve * 270	€/stuk	Kostenkengetal vervangen LD-gasnet (RNB's)
Ki_verw_g_hoogb_asl	InfraCurve * 182	€/stuk	Kostenkengetal verwijderen gasaansluiting bij hoogbouw (RNB's)
Ki_verw_g_laagb_asl	InfraCurve * 550	€/stuk	Kostenkengetal verwijderen gasaansluiting bij laagbouw (RNB's)
Ki_verw_g_util_asl	InfraCurve * 1932	€/stuk	
Ki_verw_LD_len	InfraCurve * 100	€/m	Kostenkengetal verwijderen LD-gasnet (RNB's)
Ki_verzw_e_max	249,7	€/stuk	Kostenkengetal verzwaren aansluiting naar 3x25 (RNB's)
Ki_verzw_e_min	204,3	€/stuk	Kostenkengetal verzwaren aansluiting naar 3x25 (RNB's)
Ki_verzw_LS_min	99	€/m	Kostenkengetal verzwaren LS-net (RNB's)
Ki_verzw_LS_max	121	€/m	Kostenkengetal verzwaren LS-net (RNB's)
L_hoofdleiding(BronCluster)	$\sqrt{2,0} * \sqrt{\text{AreaProxy}}$	€ (eenmalig)	Kosten van de hoofdleiding (secundair net)
K_os_min	CurveMTnet * 120,00	€	Kosten OS per kilowatt (inclusief behuizing)
K_os_Max	CurveMTnet * 150,00	€	Kosten OS per kilowatt (inclusief behuizing)
Ki_verw_LD_len	InfraCurve * 100	Eur_aansl	Kostenkengetal verwijderen LD-gasnet (RNB's)
Ki_verw_g_laagb_min	495	Eur_aansl	Kosten verwijderen gasaansluiting laagbouw
Ki_verw_g_hoogb_min	163,8	Eur_aansl	Kosten verwijderen gasaansluiting hoogbouw
Ki_verw_g_util_min	1.738,8	Eur_aansl	Kosten verwijderen gasaansluiting utiliteit
Ki_verw_e_min	204,3	Eur_aansl	Kosten verzwaren elektriciteitsaansluitingen
Ki_verz_LS_min	99	Eur_m2	Kosten verzwaren LS-net
Ki_huur_CO2Inst	1.797,38	Eur_ha_yr	
Ki_HR_ketel_W	2.134,39	Eur_Aansl	Investeringskosten HR-ketel
Ki_hWP_Min	2.808,41 [Eur_aansl]	Eur_Aansl	Investeringskosten hWP
Ki_hWP_Max	4.830,47 [Eur_aansl]	Eur_Aansl	Investeringskosten hWP
Kji_distr_g	617,85	Meur_yr	Jaarlijkse kapitaallasten

Naam	Waarde	Eenheid	Beschrijving
Kji_distr_e	617,85	Meur_yr	
Kji_trans_g	337,01	Meur_yr	Jaarlijkse kapitaallasten transportnet
Kji_trans_e	168,51	Meur_yr	Jaarlijkse kapitaallasten transportnet
Kj_oh_distr_g	1.291,869	Meur_yr	Jaarlijkse onderhoudskosten distributienet
Kj_oh_distr_e	3.201,589	Meur_yr	Jaarlijkse onderhoudskosten distributienet
Kj_oh_trans_g	730,19	Meur_yr	Jaarlijkse onderhoudskosten transportnet
Kj_oh_trans_e	449,35	Meur_yr	Jaarlijkse onderhoudskosten transportnet
Ki_MSR	InfraCurve * 70.000	€/stuk	Kostenkengetal plaatsen nieuwe MS-ruimte (RNB's)
Ki_verv_LD_len	InfraCurve * 270	€/stuk	Kostenkengetal vervangen LD-gasnet (RNB's)
Ki_verw_g_hoogb_asl	InfraCurve * 182	€/stuk	Kostenkengetal verwijderen gasaansluiting bij hoogbouw (RNB's)
Ki_verw_g_laagb_asl	InfraCurve * 550	€/stuk	Kostenkengetal verwijderen gasaansluiting bij laagbouw (RNB's)
Ki_verw_g_util_asl	InfraCurve * 1932	€/stuk	
Ki_verw_LD_len	InfraCurve * 100	€/m	Kostenkengetal verwijderen LD-gasnet (RNB's)
Ki_verzw_e_max	249,7	€/stuk	Kostenkengetal verzwaren aansluiting naar 3x25 (RNB's)
Ki_verzw_e_min	204,3	€/stuk	Kostenkengetal verzwaren aansluiting naar 3x25 (RNB's)
Ki_verzw_LS_min	99	€/m	Kostenkengetal verzwaren LS-net (RNB's)
Ki_verzw_LS_max	121	€/m	Kostenkengetal verzwaren LS-net (RNB's)
K_os_min	CurveMTnet * 120,00	€	Kosten OS per kilowatt (inclusief behuizing)
K_os_Max	CurveMTnet * 150,00	€	Kosten OS per kilowatt (inclusief behuizing)
Ki_verw_LD_len	InfraCurve * 100	Eur_aansl	Kostenkengetal verwijderen LD-gasnet (RNB's)
Ki_verw_g_laagb_min	495	Eur_aansl	Kosten verwijderen gasaansluiting laagbouw
Ki_verw_g_hoogb_min	163,8	Eur_aansl	Kosten verwijderen gasaansluiting hoogbouw
Ki_verw_g_util_min	1.738,8	Eur_aansl	Kosten verwijderen gasaansluiting utiliteit
Ki_verw_e_min	204,3	Eur_aansl	Kosten verzwaren elektriciteitsaansluitingen
Ki_verz_LS_min	99	Eur_m2	Kosten verzwaren LS-net
Ki_id_geenBlok	5.953,83	Eur_aansl	Inpandigleidingwerk meergezins zonder blokverwarming
Ki_WKO_var_min	106,5	Eur_kw	Minimale investeringskosten zonder distributionkosten
Ki_id_Dist_min	CurveInpad * 112,34	Eur_kw	Investeringskosten inpandige leiding utiliteit minimum
Ki_inpandig	2.000		Investeringskosten extra inpandige buizen
V_koude	WkoDataComponent/V_Koude	GJ/jaar	Jaarlijkse volume vraag koude (per bebouwingsobject)

Naam	Waarde	Eenheid	Beschrijving
K_WOS_min	$\text{CurveMTnet} * 125,00 \text{ [Eur / kW]}$	Eur	Kosten warmteoverdrachtstation met hulpwarmteketel (WOS + HWK)
K_WOS_max	$\text{CurveMTnet} * 140,00 \text{ [Eur / kW]}$	Eur	Kosten warmteoverdrachtstation met hulpwarmteketel (WOS + HWK)
Ki_distr	$\text{CurveLTnet} * \text{Ki\_wijkdist}$	Eur_m <sup>2</sup>	Distributiekosten per woning en per m <sup>2</sup> bvo utiliteitsbouw
Ki_wijkdist	$6000[\text{Eur\_Woning}] * 187 [\text{NrWoningen}] / 15741 [\text{m}^2]$	Eur_m <sup>2</sup>	Distributiekosten per woning en per m <sup>2</sup> bvo utiliteitsbouw
L_hoofdleiding (PlanRegio)	$0,75 * \text{/Invoer/RuimtelijkeData/buislengte/per\_buurt/L\_dist}$	m	
L_hoofdleiding(BronCluster)	$\text{sqrt}(2,0) * \text{sqrt}(\text{AreaProxy})$	m	
L_zijleiding (PlanRegio)	$0,25 * 0,5 * \text{sqrt}(2,0) * \text{sqrt}(\text{AreaProxy})$	m	Totale lengte zijleidingen
L_hoofdleiding(BronCluster)	$\text{sqrt}(2,0) * \text{sqrt}(\text{AreaProxy})$	m	Berekende lengte van de hoofdleidingen warmtenet voor heel Nederland
Leidingverlies_RV_aardgas	0	Ratio	Leidingverlies ruimteverwarming
Leidingverlies_WW_aardgas	0	Ratio	Leidingverlies warm tapwater
L_zijleiding (PlanRegio)	$0,25 * 0,5 * \text{sqrt}(2,0) * \text{sqrt}(\text{AreaProxy})$	m	Berekende lengte van de zijleidingen warmtenet voor heel Nederland
meterhuur_g	21,39		Meterhuur
meterhuur_e	29,24		Meterhuur
W_zonder_bijstook_min	0,7	%	Percentage grootschalige warmte
W_zonder_bijstook_max	0,9	%	Percentage grootschalige warmte
AansluitTarief_nw_g	893,08 (g) en 623,47 €	€/woning	Aansluitbijdrage nieuwbouw woningen gas
Leidingverlies_LT_max	0,2	GJ/jaar, uitgedruk als %	Warmteverliespercentage
Leidingverlies_MT_max	0,2	GJ/jaar, uitgedruk als %	Warmteverliespercentage
Vastrecht_g	17,99	€/jaar	Vastrecht
Vastrecht_e	17,99	€/jaar	Vastrecht
AansluitTarief_nw_g	893,08	€/jaar	Aansluitbijdrage (nieuwbouwwoning)
AansluitTarief_nw_e	623,47	€/jaar	Aansluitbijdrage (nieuwbouwwoning)
AansluitTarief_bw_g	0	€/jaar	Aansluitbijdrage (bestaande woning)
AansluitTarief_bw_e	0	€/jaar	Aansluitbijdrage (bestaande woning)



Naam	Waarde	Eenheid	Beschrijving
AansluitTarief_max (Classifications/WoningtypeNieuw bouw)	[4500, 4500, 4500, 4500, 4500, 4500, 4500, 4500, 4500, 4500, 4500, 4500, 4500, 4500, 4500]	€/woning	Aansluitbijdrage
AansluitTarief_min (Classifications/WoningtypeNieuw bouw)	[5500, 5500, 5500, 5500, 5500, 5500, 5500, 5500, 5500, 5500, 5500, 5500, 5500, 5500, 5500]	€/woning	Aansluitbijdrage
AansluitTarief_bu_g	0	€/kW	Eenmalige aansluitbijdrage utiliteit
AansluitTarief_bu_e	0	€/kW	Eenmalige aansluitbijdrage utiliteit
AansluitTarief_min (Classifications/WoningtypeNieuw bouw) en AansluitTarief_max (Classifications/WoningtypeNieuw bouw)	4.500-5.500	€/woning	Eenmalige aansluitbijdrage niet-collectief verwarmde woning (eengezinswoning)
Maximum2019	805,8	€/woning	Eenmalige aansluitbijdrage niet-collectief verwarmde woning (meergezinswoning)
AansluitTarief_min en AansluitTarief_max	const(0[Eur_Aansl],Classifications /GLTB)	€/kW	Eenmalige aansluitbijdrage (GTB nieuwbouw)
K_os_min	CurveMTnet * 120,00	€/kW	Kosten OS per kilowatt (inclusief behuizing)
K_os_Max	CurveMTnet * 150,00	€/kW	Kosten OS per kilowatt (inclusief behuizing)
k_wd_w (WoonObject)	L_aansl * K_aansl_m * pand_aandeel	€/woning	Aanleg distributienet meergezinswoningen
E_bt	8	€/kW	Eenmalige aansluitbijdrage (GTB bestaand)
netwerk (table)	lange formule: PC_NET wordt omgerekend		Variabele prijs van het netwerk per verbruiksschrijf
GLAST_P	hangt af van het jaartal	€/m³	Gasprijs voor glastuinbouw
Oj_totaal	Oj_netwerkbijdrage + Oj_vastrecht + Oji_aansluitbijdrage	Eur_yr	Totale jaarlijkse opbrengsten energie-infrastructuur
Opp_M2	bestaand/Opp_M2[nr_OrgEntity]	m²	Oppervlakte van de CBS-buurt (bij zijleidingen secundair net)
Opp_M2	bestaand/Opp_M2[nr_OrgEntity]	m²	Oppervlakte van het PC4-gebied (bij hoofdleiding secundair net)
P_Zijleiding (PlanRegio)	Descr "F 49	kW	Vermogen zijleiding

Naam	Waarde	Eenheid	Beschrijving
P_Zijleiding (PlanRegio)	CapaciteitsVraag/n_Zijleiding/ 1.000[kW / MW]	kW	Vermogen zijleiding
PA_e	19,31		Periodieke aansluitvergoeding
PA_g	30,15		Periodieke aansluitvergoeding
P_OS	615,79	kW	Thermisch vermogen van een standaard onderstation (OS)
P_OS	615,79	kW	Maximaal op OS-niveau benodigd vermogen voor collectief verwarmde woningen
P_OS	615,79	kW	Maximaal op OS-niveau benodigd vermogen voor niet-collectief verwarmde woningen
AandeelPrimairVolume	1		Vermogen van de buis (primair transportnet)
bron_vol	0.7	Ratio	
AandeelHulpVermogen	0,7-1,0	Float64	Variabele voor koppelen hulpenergie aan verwarmingsvraag uit HR-ketel
Maximum2019	267,47	Eur_yr_Aansl	Vastrecht
GTF_woning_WW	0,5	Factor	Gelijktijdigheidsfactor
E_RV_GAS	0,82 t/m 1,05	Ratio	Rendement ruimteverwarming op onderwaarde
E_WW_GAS	0,72	Ratio	Rendement warm tapwater op onderwaarde
SPF_LWP_A_min	3,28	Ratio	Rendement warmtepomp ruimteverwarming
a	1,25	ratio	Omwegfactor
V_WW	4,95 t/m 10,6	GJ/jr	Functionele vraag warm water (gas, warmte, elek.)
V_KOU	0,01296	GJ/jr	Functionele vraag koude
V_APP_ELEK	8,18 t/m 10,13	GJ/jr	Functionele vraag elektriciteit apparatuur
V_RV_vast + V_RV_var	Vast: 4,99 t/m 35,34, Var: 0,06 t/m 0,21	GJ/jr	Functionele vraag ruimteverwarming (gas, warmte, elek.)
EG	1	Ratio	Efficiency gebouw koude en ruimteverwarming (gas, warmte, elek.)
E_WW_GAS	0,72	Ratio	Efficiency apparatuur c.q. installatie warm water (gas)
E_WW_WARM	1	Ratio	Efficiency apparatuur c.q. installatie warm water (warmte)
E_APP_ELEK	1	Ratio	Efficiency apparatuur c.q. installatie elektriciteit apparatuur
E_RV_GAS	0,82 t/m 1,05	Ratio	Efficiency apparatuur c.q. installatie ruimteverwarming (gas)
E_RV_WARM	1	Ratio	Efficiency apparatuur c.q. installatie ruimteverwarming (warmte)

Naam	Waarde	Eenheid	Beschrijving
K_min (type)	Capaciteit > 0[MW] ? 400 + 210[Eur / m] * (Capaciteit * 1,0[1 / MW])^ 0,5	mln €	Ondergrens investeringskosten per type warmtebron
V_RV_vast + V_RV_var	Vast: 4,99 t/m 35,34, Var: 0,06 t/m 0,21	Ratio	Functionele vraag ruimteverwarming (gas, warmte, elek.)
V_KOU	0,01296	Ratio	Functionele vraag koude
V_WW	4,95 t/m 10,6	Ratio	Functionele vraag warm water (gas, warmte, elek.)
V_APP_ELEK	8,18 t/m 10,13	Ratio	Functionele vraag elektriciteit apparatuur
VAT	21	%	BTW percentage
K_WOS_min	125 - 140	Eur_kW	Minimale/maximale investeringskosten warmteoverdrachtstation
K_Wmtr_min_vast	898,69-926,78	Eur_Aansl	Kosten per warmtemeter (utiliteit en GTB) (constante 1)
K_Wmtr_min_var	1,24-1,46	Eur_kW	Kosten per warmtemeter (utiliteit en GTB) (constante 2)
K_os_min	120-150	Eur_kW	Kosten onderstation grote utiliteitsbouw
Ki_huur_CO2Inst	1797,38	Eur_ha_yr	Kosten CO <sub>2</sub> -installatie (volgens model huur?)
K_os_min	120-150	€/kW	Kosten onderstation glastuinbouw
K_Dienst_Gwarm	CurveMTnet * 11.233,65	€	Kosten dienstleidingen verwarmde kassen groente (constante 1)
K_Dienst_Bwarm	CurveMTnet * 6.740,19	€	Kosten dienstleidingen verwarmde kassen bloemen
K_Dienst_Owarm	CurveMTnet * 6.740,19	€	Kosten dienstleidingen verwarmde kassen overig
k_kW_min (STEG), k_kW_max (STEG)	150-175	Eur_kW	Uitkoppelingskosten warmtebron STEG
k_kW_min (Kolen), k_kW_max (Kolen)	150-175	Eur_kW	Uitkoppelingskosten warmtebron Kolen
k_kW_min (Gasmotor), k_kW_max (Gasmotor)	800-1.800	Eur_kW	Uitkoppelingskosten warmtebron Gasmotor
k_kW_min (Gasturbine), k_kW_max (Gasturbine)	175-185	Eur_kW	Uitkoppelingskosten warmtebron Gasturbine
k_kW_min (Conventioneel), k_kW_max (Conventioneel)	175-185	Eur_kW	Uitkoppelingskosten warmtebron Conventioneel

## B Invoerbestanden

**Tabel 37 - Kosten kengetallen labelstappen**

	woningtype_str	bouwjaar_str	MVA_EG_EUR_MIN_vast	MVA_EG_EUR_MIN_var	MVA_EG_EUR_MAX_vast	MVA_EG_EUR_MAX_var	MVB_EG_EUR_MIN_vast	MVB_EG_EUR_MIN_var	MVB_EG_EUR_MAX_vast	MVB_EG_EUR_MAX_var	MVC_EG_EUR_MIN_vast	MVC_EG_EUR_MIN_var	MVC_EG_EUR_MAX_vast	MVC_EG_EUR_MAX_var	MVD_EG_EUR_MIN_vast	MVD_EG_EUR_MIN_var	MVD_EG_EUR_MAX_vast	MVD_EG_EUR_MAX_var	MVE_EG_EUR_MIN_vast	MVE_EG_EUR_MIN_var	MVE_EG_EUR_MAX_vast	MVE_EG_EUR_MAX_var	MVF_EG_EUR_MIN_vast	MVF_EG_EUR_MIN_var	MVF_EG_EUR_MAX_vast	MVF_EG_EUR_MAX_var
vrijstaand	voor 1946	1,187	41	4,771	30	14,049	73	14,904	92	21,203	101	45,140	242	11,867	32	13,306	62	18,979	60	40,287	211	6,914	27	26,758	298	
vrijstaand	1946 - 1964	-1,858	59	-3,980	87	5,717	96	7,569	132	10,994	180	20,632	430	7,692	38	11,665	45	12,885	120	24,680	342	5,180	82	12,934	146	
vrijstaand	1965 - 1974					9,689	39	8,478	89	21,528	93	26,511	345									11,673	53	17,889	255	
vrijstaand	1975 - 1991					7,388	9	9,297	25	28,248	49	51,159	185									20,733	40	41,702	160	
vrijstaand	1992 - 2005									22,035	49	44,946	185									22,035	49	44,946	185	
vrijstaand	2006 - 2014																									
2 onder 1 kap	voor 1946	1,877	29	2,106	40	7,081	98	9,435	128	11,482	135	21,331	314	5,199	68	7,325	89	9,572	105	19,190	274	4,280	36	11,735	184	
2 onder 1 kap	1946 - 1964	-2,645	53	-3,234	67	7,689	53	11,420	67	14,857	104	32,345	214	10,338	0	14,658	0	17,547	50	35,635	146	7,037	50	20,730	146	
2 onder 1 kap	1965 - 1974	1,877	22	1,877	22	9,430	26	14,428	25	19,889	57	46,464	90	7,528	3	9,808	10	17,979	34	44,555	67	10,297	31	31,790	165	
2 onder 1 kap	1975 - 1991					5,799	9	7,205	22	20,436	52	36,471	171									14,538	43	29,143	148	
2 onder 1 kap	1992 - 2005									14,224	52	30,259	171									14,224	52	30,259	171	
2 onder 1 kap	2006 - 2014									15,340	52	32,117	171									15,340	52	32,117	171	
rijwoning hoek	voor 1946	-1,848	68	-2,403	86	6,627	94	8,520	131	9,691	97	15,830	239	8,479	26	10,926	45	11,571	28	18,274	152	2,951	1	7,164	106	
rijwoning hoek	1946 - 1964	2,846	0	5,053	0	10,588	0	14,848	0	18,278	0	37,196	0	7,726	0	9,778	0	15,384	0	32,056	0	7,508	0	22,094	0	
rijwoning hoek	1965 - 1974					7,563	20	7,050	59	14,240	40	17,660	193									6,547	20	10,490	133	
rijwoning hoek	1975 - 1991					4,098	27	5,396	39	9,040	89	17,180	198									4,871	62	11,691	158	
rijwoning hoek	1992 - 2005					2,682	14	1,212	47	-7,413	179	-20,432	471									-6,833	165	-18,357	423	
rijwoning hoek	2006 - 2014																									
rijwoning tussen	voor 1946	583	16	732	18	5,758	59	7,557	88	10,115	93	17,135	224	5,170	44	6,819	71	9,523	77	16,390	206	4,258	32	9,449	134	
rijwoning tussen	1946 - 1964	3,089	4	5,105	5	10,269	4	14,961	5	17,578	7	35,492	123	7,185	0	9,861	0	14,437	2	30,299	8	7,134	2	20,276	8	
rijwoning tussen	1965 - 1974					10,051	0	13,301	0	18,526	0	38,137	0									8,303	0	24,608	0	
rijwoning tussen	1975 - 1991					4,269	23	4,832	40	9,862	82	14,908	219									5,521	58	9,993	178	
rijwoning tussen	1992 - 2005									3,691	82	8,312	219									3,691	82	8,312	219	
rijwoning tussen	2006 - 2014																									
meergezins: laag en midden	voor 1946	2,328	0	2,146	5	6,074	37	5,832	75	10,426	63	12,071	189	3,728	38	3,669	70	8,057	63	9,889	184	4,248	26	6,139	113	
meergezins: laag en midden	1946 - 1964	-799	32	-3,761	81	2,619	55	1,007	115	3,818	163	-2,248	406	3,386	23	4,736	34	4,630	130	1,577	324	1,154	106	-3,272	290	
meergezins: laag en midden	1965 - 1974					3,772	32	2,595	82	7,232	95	3,449	282									3,396	62	810	198	
meergezins: laag en midden	1975 - 1991					4,012	10	5,062	25	10,011	55	19,311	122									5,931	45	14,162	97	
meergezins: laag en midden	1992 - 2005					3,181	12	2,976	39	-443	125	-1,737	276									-400	113	-1,485	236	
meergezins: laag en midden	2006 - 2014																									
meergezins: hoog	voor 1946	2,328	0	2,146	5	6,074	37	5,832	75	9,939	56	11,196	164	3,728	38	3,669	70	7,570	56	9,013	159	3,761	19	5,264	87	
meergezins: hoog	1946 - 1964	-799	32	-3,761	81	2,619	55	1,007	115	3,995	146	-1,192	351	3,386	23	4,736	34	4,807	114	2,633	269	1,331	90	-2,216	235	
meergezins: hoog	1965 - 1974					3,772	32	2,595	82	7,038	84	3,786	237									3,201	51	1,146	153	
meergezins: hoog	1975 - 1991					4,012	10	5,062	25	9,489	49	13,168	103									5,409	39	8,020	78	
meergezins: hoog	1992 - 2005					3,142	12	2,854	40	-763	115	-2,237	244									-681	103	-1,863	203	
meergezins: hoog	2006 - 2014																									

Tabel 38 - Koelvraag per type utiliteitsbouw

Type gebouw VESTA	Gewogen gem. % ruimtekoeling van totaal elektriciteitsgebruik	Bron(nen) voor % ruimtekoeling van elektriciteitsgebruik per bouwtype
Kantoor	17%	(KWA, 2016)
Winkel	5%	(Meijer E&M, 2009)
Gezondheidszorg	3%	(KWA, 2016) en (Meijer E&M, 2009)
Logies <sup>1</sup>	15%	Zie opmerking
Onderwijs <sup>2</sup>	9%	(KWA, 2016)
Industrie	2%	(KWA, 2016) en (Meijer E&M, 2009)
Bijeenkomst <sup>4</sup>	15%	(KWA, 2016)
Sport <sup>3</sup>	2%	Zie opmerking
Overig <sup>3</sup>	2%	Zie opmerking
Cel <sup>1</sup>	15%	Zie opmerking

<sup>1</sup> voor logies en cellen hetzelfde % aangehouden als voor bijeenkomst.

<sup>2</sup> % voor hoger onderwijs.

<sup>3</sup> Hetzelfde % als voor industrie (bedrijfshal/groothandel).

<sup>4</sup> % voor horeca (alleen airco).

Tabel 39 - Invoerbestand met defaultwaardes voor de kosten per restwarmtebron<sup>25</sup> waarmee in het model rekening wordt gehouden. Onderstaande waardes zijn in 2012 geverifieerd in een marktconsultatie

Typebenaming (Sleutelveld)	Investering <sup>26</sup> (€/kW <sub>th,output</sub> )	Ondergrens (MW <sub>th</sub> )	Ondergrens mln€	Vaste kosten (% van inv.)	Variabele kosten <sup>27</sup> Euro_per_GJwarmte_2010
Type	K_kW	MWth_min	K_min	JaarKosten	K_GJ10
STEG	150-175	10,0	1,50-1,75	5%	4,94
Kolen	150-175	20,0	3,00-3,50	5%	2,38
Gasmotor	800-1.800	0,5	0,40-0,90	1%	3,71
Gasturbine	175-185	6,0	1,05-1,11	5%	4,94
Conventioneel	175-185	6,0	1,05-1,11	5%	4,94
Industrie	100-275	6,0	0,60-1,65	5%	0,000237
Raffinaderij	225-275	6,0	1,35-1,65	5%	0,000237
AVI	150-175	3,0	0,45-0,53	5%	2,67
BMC <sup>28</sup>	175-185	3,0	0,53-0,56	5%	6,94
Kern (kerncentrale)	-	-	-	5%	0,000237
Wijk-WKK	800-1.800	0,5	0,40-0,90	1%	3,71
Bio-WKK	750-1.000	0,5	0,38-0,50	5%	
Geothermie	1.750-2.000	3,0	5,25-6,00	1%	0,000237

<sup>25</sup> NB: voor investeringen in 'actieve' bronnen (In plaats van Investeringen in uitkoppeling van een restwarmtebron) is de gehele investering in de bron bepaald. In geval daarmee ook elektriciteit wordt opgewekt met de bron, zoals bij wijk-WKK, is de opbrengst daarvan verrekend in de warmteprijs, en wordt de jaarlijkse omvang van die elektriciteitsproductie berekend in verband met het effect daarvan op de landelijke productie (die wordt immers minder, en daardoor ook de CO<sub>2</sub>-emissie van het 'landelijk centralepark').

<sup>26</sup> In de genoemde marktconsultatie is ook een range voor deze parameter vastgesteld, en een leercurve. Waarden zijn aangepast naar aanleiding van deze consultatie en een recentere consultatie in het kader van het MAIS-traject.

<sup>27</sup> De variabele kosten zoals getoond in deze kolom worden in het model berekend op basis van de energie- en CO<sub>2</sub>-prijzen, het betreft dus geen harde invoerwaardes.

<sup>28</sup> De BMC wordt gezien als een puntbron waar restwarmte wordt uitgekoppeld. Hierbij komen dus alleen de uitkoppelkosten kijken. Deze zijn aangenomen van dezelfde hoogte als bij conventioneel.

Tabel 40 - Kosten lagetemperatuurafgiftesysteem (in €/m<sup>2</sup>)

Maatregel	Niet-natuurlijk moment				Natuurlijk moment			
	Eengezins-woning		Meergezins-woningen		Eengezins-woning		Meergezins-woning	
	Ind.	Proj.	Ind.	Proj.	Ind.	Proj.	Ind.	Proj.
Radiatoren T<35	€ 36	€ 32	€ 36	€ 32	€ 18	€ 14	€ 14	€ 12
Vloerverwarming T<35	€ 108	€ 93	€ 115	€ 99	€ 89	€ 72	€ 91	€ 73

Tabel 41 - Investeringskosten LT-radiatoren per Geomarkt-woning

Maximaal	Voor 1800	1800 < =1900	1900 < =1920	1920 < =1940	1940 < =1960	1960 < =1970	1970 < =1980	1980 < =1990	1990 < =1995	1995 < =2000	2000 < =2010
Herenhuis grachtenpand	€ 3.983	€ 3.983	€ 3.983	€ 3.983	€ 3.983	€ 4.453	€ 4.453	€ 4.453	€ 4.779	€ 4.779	€ 4.779
Boerderij/tuinderij	€ 4.707	€ 4.707	€ 4.707	€ 4.707	€ 4.707	€ 5.214	€ 5.576	€ 5.576	€ 6.228	€ 6.228	€ 6.228
Vrijstaand/ bungalows	€ 4.707	€ 4.707	€ 4.707	€ 4.707	€ 4.707	€ 5.214	€ 5.576	€ 5.576	€ 6.228	€ 6.228	€ 6.228
Twee onder een kap	€ 3.983	€ 3.983	€ 3.983	€ 3.983	€ 3.983	€ 4.453	€ 4.453	€ 4.453	€ 4.779	€ 4.779	€ 4.779
Rijtjeshuizen/ eengezins	€ 3.693	€ 3.693	€ 3.693	€ 3.693	€ 3.150	€ 3.838	€ 3.838	€ 3.838	€ 4.128	€ 4.128	€ 4.128
Flats 4 of minder verdiepingen	€ 2.141	€ 2.141	€ 2.141	€ 2.141	€ 2.395	€ 2.577	€ 2.540	€ 2.540	€ 2.685	€ 2.685	€ 2.685
Flats meer dan 4 verdiepingen	€ 2.613	€ 2.613	€ 2.613	€ 2.613	€ 2.613	€ 2.976	€ 2.468	€ 2.468	€ 2.867	€ 2.867	€ 2.867
Zelfstandige bejaardenwoning	€ 2.431	€ 2.431	€ 2.431	€ 2.431	€ 2.431	€ 2.794	€ 2.540	€ 2.540	€ 2.976	€ 2.976	€ 2.976
Etagewoning/ maisonnette	€ 3.193	€ 3.193	€ 3.193	€ 3.193	€ 3.193	€ 3.193	€ 2.903	€ 2.903	€ 3.048	€ 3.048	€ 3.048
Etage/flats grachtenpand	€ 2.141	€ 2.141	€ 2.141	€ 2.141	€ 2.395	€ 2.577	€ 2.540	€ 2.540	€ 2.685	€ 2.685	€ 2.685
Studentenwoning/ flat	€ 2.141	€ 2.141	€ 2.141	€ 2.141	€ 2.395	€ 2.577	€ 2.540	€ 2.540	€ 2.685	€ 2.685	€ 2.685
Divers	€ 3.693	€ 3.693	€ 3.693	€ 3.693	€ 3.150	€ 3.838	€ 3.838	€ 3.838	€ 4.128	€ 4.128	€ 4.128
Onbekend	€ 3.693	€ 3.693	€ 3.693	€ 3.693	€ 3.150	€ 3.838	€ 3.838	€ 3.838	€ 4.128	€ 4.128	€ 4.128

Maximaal	Voor 1800	1800 < =1900	1900 < =1920	1920 < =1940	1940 < =1960	1960 < =1970	1970 < =1980	1980 < =1990	1990 < =1995	1995 < =2000	2000 < =2010
Minimaal	Voor 1800	1800 <=1900	1900 <=1920	1920 <=1940	1940 <=1960	1960 <=1970	1970 <=1980	1980 <=1990	1990 <=1995	1995 <=2000	2000 <=2010
Herenhuis grachtenpand	€ 1.563	€ 1.563	€ 1.563	€ 1.563	€ 1.563	€ 1.747	€ 1.747	€ 1.747	€ 1.875	€ 1.875	€ 1.875
Boerderij/tuinderij	€ 1.847	€ 1.847	€ 1.847	€ 1.847	€ 1.847	€ 2.046	€ 2.188	€ 2.188	€ 2.444	€ 2.444	€ 2.444
Vrijstaand/ bungalows	€ 1.847	€ 1.847	€ 1.847	€ 1.847	€ 1.847	€ 2.046	€ 2.188	€ 2.188	€ 2.444	€ 2.444	€ 2.444
Twee onder een kap	€ 1.563	€ 1.563	€ 1.563	€ 1.563	€ 1.563	€ 1.747	€ 1.747	€ 1.747	€ 1.875	€ 1.875	€ 1.875
Rijtjeshuizen/ eengezins	€ 1.449	€ 1.449	€ 1.449	€ 1.449	€ 1.236	€ 1.506	€ 1.506	€ 1.506	€ 1.620	€ 1.620	€ 1.620
Flats 4 of minder verdiepingen	€ 680	€ 680	€ 680	€ 680	€ 760	€ 818	€ 806	€ 806	€ 852	€ 852	€ 852
Flats meer dan 4 verdiepingen	€ 829	€ 829	€ 829	€ 829	€ 829	€ 945	€ 783	€ 783	€ 910	€ 910	€ 910
Zelfstandige bejaardenwoning	€ 772	€ 772	€ 772	€ 772	€ 772	€ 887	€ 806	€ 806	€ 945	€ 945	€ 945
Etagewoning/ maisonnette	€ 1.014	€ 1.014	€ 1.014	€ 1.014	€ 1.014	€ 1.014	€ 922	€ 922	€ 968	€ 968	€ 968
Etage/flats grachtenpand	€ 680	€ 680	€ 680	€ 680	€ 760	€ 818	€ 806	€ 806	€ 852	€ 852	€ 852
Studentenwoning/ flat	€ 680	€ 680	€ 680	€ 680	€ 760	€ 818	€ 806	€ 806	€ 852	€ 852	€ 852
Divers	€ 1.449	€ 1.449	€ 1.449	€ 1.449	€ 1.236	€ 1.506	€ 1.506	€ 1.506	€ 1.620	€ 1.620	€ 1.620
Onbekend	€ 1.449	€ 1.449	€ 1.449	€ 1.449	€ 1.236	€ 1.506	€ 1.506	€ 1.506	€ 1.620	€ 1.620	€ 1.620

Tabel 42 - SPF van de individuele warmtepomp bij verschillende energielabels van de woning of het utiliteitsgebouw

Label	Temperatuurvraag ruimteverwarming	Type afgiftesysteem	SPF RV	SPF WTW (70°C)
A/A+	40°C (delta T = 10°C)	LT-radiator	6,6	2,5
B	55°C (delta T = 25°C)	Convectorradiator	4,2	2,5
C	70°C (delta T = 40°C)	Convectorradiator	3,2	2,5
D	70°C (delta T = 40°C)	Convectorradiator	3,2	2,5

WTW = warm tapwater.

RV = ruimteverwarming.



Tabel 43 - Kosten van de individuele warmtepomp bij verschillende aansluitwaarden van de woning

Aansluitcapaciteit	Gecorrigeerde aansluitcapaciteit (= Afgiftevermogen warmtepomp)	Kostprijs WP	Kostprijs totaal
7 kW	3,5 kW	€ 2.000 <sup>29</sup>	€ 8.000
7,5 kW	3,75 kW	€ 3.500 <sup>30</sup>	€ 7.000
10 kW	5 kW	€ 6.000	€ 9.500
12,5 kW	6,25 kW	€ 6.500	€ 10.200
Utiliteit (kW varieert)	50% van aansluitcapaciteit	€ 700 per kW <sup>31</sup>	€ 1.000 per kW

De kosten in de laatste kolom in bovenstaande tabel zijn inclusief afgiftesysteem, verzwaarde elektriciteitsaansluiting, installatie en boiler. Bij warmtepompen is vaak ook een verzwaarde elektriciteitsaansluiting nodig. De extra kosten van € 200 zijn deel van de vaste kosten. Naast een individuele warmtepomp is er ook een individueel warmtebuffervat in elke woning om de ochtend/avondpiek op te vangen. Deze is ca. 200 L met kosten van € 1.500. Dit wordt gemodelleerd als vaste kosten van de woningopstelling.

Tabel 44 - Kosten van warmtepomp - en verwarmingscomponenten

Component	Kosten	Informatiebron
Verzwaarde elektriciteitsaansluiting (vanaf 6 kW)	€ 200	Milieu Centraal <sup>32</sup>
LT-radiator (bij T < 50°C)	€ 2.500	
Buffervat	€ 1.500	Commerciële partijen <sup>33</sup>
Installatie/montage	€ 2.000	Commerciële partijen

<sup>29</sup> Kosten boosterwarmtepomp uit [Collectieve warmte naar lage temperatuur](#) (Ecofys & Greenvis, 2016)

<sup>30</sup> Uit [Itho Daalderop : types](#)

<sup>31</sup> Uit [RVO : Factsheet: WKO en warmtepompen](#)

<sup>32</sup> Zie [Milieucentraal : Volledige warmtepomp](#)

<sup>33</sup> Zie [Samman Groep : Warmtepomp](#) en [Warmtepomp-info.nl : Warmtepomp buitenunit kosten](#)

## B.1 Energieprijzen

Tabel 45 - Invoerbestand met defaultwaarden voor componenten van elektriciteitsprijzen van klein-, midden- en grootgebruik en glastuinbouw voor de periode 2010 t/m 2050

	CO <sub>2</sub> /kWh	Elektriciteit (euro/kWh)						Elektriciteit (euro/kWh)					
	kg/kWh	Kleingebruik (<10.000 kWh/jr; LS)						(Klein) Middelgrote verbruikers					
Jaar		Commodity excl. CO <sub>2</sub>		Distributie	Transport en capaciteit	SDE-heffing	Energie-belasting	Commodity excl. CO <sub>2</sub>		Distributie	Transport en capaciteit	SDE-heffing	Energie-belasting
Jaar	RAT CO <sub>2</sub> KWH	KG COM_EXCL_CO <sub>2</sub>	KG CO <sub>2</sub>	KG DIS	KG TRANS	KG SDE	KG BEL_EL	KMG COM_EXCL_CO <sub>2</sub>	KMG CO <sub>2</sub>	KMG DIS	KMG TRANS	KMG SDE	KMG BEL_EL
2010	0,561	0,091	0,008	0,000	0,000	0,000	0,111	0,058	0,008	0,000	0,000	0,000	0,041
2020	0,561	0,096	0,016	0,000	0,000	0,028	0,111	0,075	0,016	0,000	0,000	0,010	0,041
2030	0,561	0,101	0,023	0,000	0,000	0,028	0,111	0,093	0,023	0,000	0,000	0,010	0,041
2040	0,561	0,101	0,023	0,000	0,000	0,028	0,111	0,093	0,023	0,000	0,000	0,010	0,041
2050	0,561	0,101	0,023	0,000	0,000	0,028	0,111	0,093	0,023	0,000	0,000	0,010	0,041

	CO <sub>2</sub> /kWh	Elektriciteit (euro/kWh)						Elektriciteit (euro/kWh)					
	kg/kWh	Grootverbruik						Glastuinders					
Jaar-tal		Commodity excl. CO <sub>2</sub>		Distributie	Transport en capaciteit	SDE-heffing	Energie-belasting	Commodity excl. CO <sub>2</sub>		Distributie	Transport en capaciteit	SDE-heffing	Energie-belasting
Jaar	RAT_CO <sub>2</sub> _KWH	GG COM_EXCL_CO <sub>2</sub>	GG CO <sub>2</sub>	GG DIS	GG TRANS	GG SDE	GG BEL_EL	GLAST COM_EXCL_CO <sub>2</sub>	GLAST CO <sub>2</sub>	GLAST DIS	GLAST TRANS	GLAST SDE	GLAST BEL_EL
2010	0,561	0,058	0,008	0,000	0,000	0,000	0,011	0,058	0,008	0,000	0,000	0,000	0,041
2020	0,561	0,075	0,016	0,000	0,000	0,010	0,011	0,075	0,016	0,000	0,000	0,010	0,041
2030	0,561	0,093	0,023	0,000	0,000	0,010	0,011	0,093	0,023	0,000	0,000	0,010	0,041
2040	0,561	0,093	0,023	0,000	0,000	0,010	0,011	0,093	0,023	0,000	0,000	0,010	0,041
2050	0,561	0,093	0,023	0,000	0,000	0,010	0,011	0,093	0,023	0,000	0,000	0,010	0,041

Tabel 46 - Invoerbestand met defaultwaarden voor componenten van gasprijzen van klein-, midden- en grootgebruik en glastuinbouw voor de periode 2010 t/m 2050

	CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	Gas (euro/m <sup>3</sup> )						Gas (euro/m <sup>3</sup> )					
	kg/m <sup>3</sup>	Kleingebruik (< 5.000 m <sup>3</sup> /jr; LD)						(Klein) Middelgrote verbruikers					
Jaar-tal		Commodity excl. CO <sub>2</sub>		Distributie	Transport en capaciteit	SDE-heffing	Energie-belasting	Commodity excl. CO <sub>2</sub>		Distributie	Transport en capaciteit	SDE-heffing	Energie-belasting
Jaar	RAT_CO <sub>2</sub> _KWH	KG COM_EXCL_CO <sub>2</sub>	KG CO <sub>2</sub>	KG DIS	KG TRANS	KG SDE	KG BEL_EL	KMG COM_EXCL_CO <sub>2</sub>	KMG CO <sub>2</sub>	KMG DIS	KMG TRANS	KMG SDE	KMG BEL_EL
2010	1,78	0,375	0,000	0,000	0,000	0,000	0,163	0,184	0,000	0,000	0,000	0,000	0,141
2020	1,78	0,425	0,000	0,000	0,000	0,053	0,163	0,280	0,000	0,000	0,000	0,043	0,141
2030	1,78	0,456	0,000	0,000	0,000	0,053	0,163	0,351	0,000	0,000	0,000	0,043	0,141
2040	1,78	0,456	0,000	0,000	0,000	0,053	0,163	0,351	0,000	0,000	0,000	0,043	0,141
2050	1,78	0,456	0,000	0,000	0,000	0,053	0,163	0,351	0,000	0,000	0,000	0,043	0,141

	CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	Gas (euro/m <sup>3</sup> )						Gas (euro/m <sup>3</sup> )					
	kg/m <sup>3</sup>	Grootverbruik						Glastuinders					
Jaar-tal		Commodity excl. CO <sub>2</sub>		Distributie	Transport en capaciteit	SDE-heffing	Energie-belasting	Commodity excl. CO <sub>2</sub>		Distributie	Transport en capaciteit	SDE-heffing	Energie-belasting
Jaar	RAT_CO <sub>2</sub> _KWH	GG COM_EXCL_CO <sub>2</sub>	GG CO <sub>2</sub>	GG DIS	GG TRANS	GG SDE	GG BEL_EL	GLAST COM_EXCL_CO <sub>2</sub>	GLAST CO <sub>2</sub>	GLAST DIS	GLAST TRANS	GLAST SDE	GLAST BEL_EL
2010	1,78	0,184	0,000	0,000	0,000	0,000	0,012	0,184	0,000	0,000	0,000	0,000	0,024
2020	1,78	0,280	0,000	0,000	0,000	0,043	0,012	0,280	0,000	0,000	0,000	0,043	0,024
2030	1,78	0,351	0,000	0,000	0,000	0,043	0,012	0,351	0,000	0,000	0,000	0,043	0,024
2040	1,78	0,351	0,000	0,000	0,000	0,043	0,012	0,351	0,000	0,000	0,000	0,043	0,024
2050	1,78	0,351	0,000	0,000	0,000	0,043	0,012	0,351	0,000	0,000	0,000	0,043	0,024

Tabel 47 - Invoerbestand met defaultwaarden voor biomassaprijs en componenten voor de periode 2010 t/m 2050

	Biomassa	Kolen	CO <sub>2</sub> -heffing kolen
Jaartal	(euro/GJ)	(euro/GJ)	(euro/GJ)
Jaar	KGJ_BIOMASSA	KGJ_KOLEN_EXCL	KGJ_KOLEN_CO <sub>2</sub>
2010	7,65	2,20	1,46
2020	7,65	2,20	2,92
2030	7,65	2,20	4,37
2040	7,65	2,20	4,37
2050	7,65	2,20	4,37

## Formules berekening warmtekostprijzen (i.e. variabele kostprijs per GJ)

In Vesta 1.0 werden de warmtekostprijzen per productietechniek ingelezen vanuit een invoerbestand. In Vesta 2.0 worden de warmtekostprijzen in het model zelf berekend op basis van de prijzen van gas, elektriciteit, biomassa, kolen en CO<sub>2</sub> zoals in deze Bijlage gegeven. De gebruikte formules en redenatiewijzen staan in Tabel 48.

Tabel 48 - Warmtekostprijsformules en bijbehorende redenatie per type warmtebron ('engros' is grootverbruik, energieprijzen zijn incl. CO<sub>2</sub>-emissiekosten)

Typebenaming	Warmtekostprijsformule en redenatietype
STEG	= (engrosgasprijs*0,2)/0,3 (aftapwarmte bij elektriciteitcentrale met bijstook)
Kolen	= (kolenprijs*0,2)/0,3 (aftapwarmte bij elektriciteitcentrale met bijstook)
Gasmotor	= (engrosgasprijs/0,8)/0,5 - engroselektraprijs (WKK met elektriciteit als bijproduct)
Gasturbine	= (engrosgasprijs*0,2)/0,3 (aftapwarmte bij elektriciteitcentrale met bijstook)
Conventioneel	= (engrosgasprijs*0,2)/0,3 (aftapwarmte bij elektriciteitcentrale met bijstook)
Industrie	Pure restwarmte, geen aftap. Alleen kosten voor de elektrische pompenergie. = 2,5 * (elektraprijs kleinstmiddelgrote verbruikers) 2,5 kWh per verpompte GJ warmte
Raffinaderij	Pure restwarmte, geen aftap. Alleen kosten voor de elektrische pompenergie. = 2,5 * (elektraprijs kleinstmiddelgrote verbruikers) 2,5 kWh per verpompte GJ warmte
KVSTEG (kolen-vergasser-STEG)	= (kolenprijs*0,2)/0,3 (aftapwarmte bij elektriciteitcentrale met bijstook) NB: KV-STEG met warmte-aftap geo komt in de praktijk in Nederland niet voor
AVI	= 0,18*engroselektraprijs (aftapwarmte met dervingsfactor elektriciteitsproductie)
BMC	= biomassaprijs/0,9
Kern (kerncentrale)	N.v.t. NB: er zijn geen praktijkgegevens bekend voor restwarmtebenutting
Wijk-WKK	= (engrosgasprijs/0,8)/0,5 - engroselektraprijs (WKK met elektriciteit als bijproduct)
Bio-WKK	= (engrosgroengasprijs/0,8)/0,5 - engroselektraprijs (WKK met elektriciteit als bijproduct) , In Vesta MAIS wordt vaste biomassa

Typebenaming	Warmtekostprijsformule en redenatietype
	Ingezet. In de Startanalyse wordt wel groengas gebruikt en wordt Het prijzenbestand van aardgas gebruikt voor de prijs van groengas.
Geothermie	= 2,5 * (elektraprijs kleinmiddelgrote verbruikers) Alleen kosten voor de elektrische pompenergie, 2,5 kWh per verpompte GJ warmte

## Uitgeschreven redenatieschema's:

### *Indien elektriciteit een bijproduct is van een warmtevraaggestuurde WKK:*

De grondslag is dat het apparaat gelijktijdig warmte en elektriciteit maakt, waarbij elektriciteit feitelijk het bijproduct is (het apparaat is ingeregeld op warmteproductie). Het redenatieschema luidt als volgt:

1. Het overall conversierendement van de WKK is 80%. De prijs van energie-output per GJ is dus de prijs van de brandstof gedeeld door 80%. Dat levert de eerste term van de formule. Het is immers een prijsformule, met uitkomst in euro/GJ.
2. Vervolgens is gesteld dat (kosten van) de WKK-energieproductie voor 50/50 over warmte en elektriciteit worden verdeeld. Dat levert de Factor 0,5 op.
3. En dan is tot slot gesteld dat de baten van de elektriciteitsverkoop afgetrokken worden van de kostprijs van de overall energieproductie, zodat de kostprijs van warmte overblijft. Het is mogelijk dat die negatief is, als de opbrengst van de elektriciteitsproductie hoog is.

### *Indien warmte wordt afgetapt van een elektriciteitscentrale met bijstookfactor:*

De grondslag daarbij is dat er sprake is van een bijstookfactor. De aftap van warmte op hogetemperatuur zorgt er voor dat het totale energetisch rendement van de centrale omhooggaat, maar de elektriciteitsproductie zakt iets in. Omdat het apparaat primair elektriciteit produceert, wordt die elektriciteitsproductie weer op peil gebracht door wat meer brandstof te verstoken (bijstookfactor). Die extra brandstofkosten worden in rekening gebracht bij de geproduceerde warmte. Om het tot een hanteerbare formule te maken wordt gewerkt met vaste percentages voor bijstookfactor en voor extra productie warmte (in plaats van percentages die gerelateerd zijn aan het afgenomen warmtevermogen).

Het redenatieschema luidt als volgt:

1. De genoemde bijstookfactor is 20%.
2. Er wordt 30% extra energie aan de centrale onttrokken, in de vorm van warmte. Oftewel (bij aftap van een gasgestookte centrale):
  - Situatie 1 (zonder warmteproductie): 100 GJ gas in levert x GJ elektra.
  - Situatie 2 (met warmteproductie): 100+y GJ gas in, levert x GJ elektra plus z GJ warmte.

De kostprijs per GJ warmte is dan:  $(y \cdot \text{gasprijs})/z$ , in eenheid [euro/GJwarmte]

Met:  $y=0,2$  (bijstookfactor van 20%, de extra energie-input in de vorm van gas om weer op gelijk elektriciteitsproductieniveau te komen).  $z$  is de hoeveelheid warmte die afgetapt wordt, en die is 30%.

### Indien warmte wordt afgetapt van een AVI

De grondslag daarbij is dat de AVI op vol vermogen afval verbrandt, zodat er geen sprake kan zijn van een bijstookfactor. De aftap van warmte op hogetemperatuur zorgt er voor dat het totale energetisch rendement van de AVI omhooggaat, maar de elektriciteitsproductie zakt iets in. Die derving van inkomsten uit elektriciteitsproductie wordt in rekening gebracht voor de geproduceerde warmte. De dervingsfactor is default gesteld op 0,18. Dit betekent dat per geproduceerde GJ warmte er 0,18 GJ elektriciteit minder wordt geproduceerd dan zonder de aftap van warmte.

## B.2 CO<sub>2</sub>- en overige luchtmissies

### CO<sub>2</sub>-emissies

De berekeningen van de CO<sub>2</sub>-emissies staan opgesomd in Tabel 49. Het doel van Tabel 49 is om overzicht te geven van alle onderdelen in het model waar sprake is van effecten op CO<sub>2</sub>-emissies.

Tabel 49 - Berekening CO<sub>2</sub>-emissies

Onderdeel	CO <sub>2</sub> -emissies	Formulenummer
<b>Gebouwen</b>		
Metervraag elektriciteit	(Totale metervraag elektriciteit in het CBS-buurt)*CO <sub>2</sub> -kengetal elektriciteit.	
Metervraag gas	(Totale metervraag gas in het CBS-buurt) * CO <sub>2</sub> -kengetal gas.	
Metervraag warmte	Emissies worden bepaald bij warmtebron plus piekkel, niet bij eindgebruiker van de warmtelevering.	
Energiebesparing	Levert een lagere metervraag. NB: De efficiency-optie 'elektrische warmtepomp' bij nieuwbouw is als lokale energieproductie gemodelleerd.	
<b>Lokale energieproductie</b>	<i>NB: De omvang van de lokale energieproductie wordt ook in de output weggeschreven, per type.</i>	
Micro-WKK	Gemodelleerd als lagere metervraag elektriciteit, plus hogere metervraag gas. Voor emissies op basis van metervraag zie verder bij 'gebouwen'.	
Zon-PV	Gemodelleerd als lagere metervraag elektriciteit. Voor emissies zie verder bij 'gebouwen'.	
Zonneboiler	Gemodelleerd als lagere metervraag voor tapwaterverwarming. Voor emissies zie verder bij 'gebouwen'.	
Elektrische warmtepomp (eWP)	Keuze-optie bij nieuwbouw vanaf zichtjaar 2020. Het gebouw wordt dan 'all electric'. De extra elektriciteitsvraag van de eWP wordt opgeteld bij de metervraag elektriciteit. Voor emissies zie verder bij 'gebouwen'.	
<b>Centrale warmtebronnen</b>	<i>NB: Bij alle opties een aandeel vanuit de centrale bron, en een aandeel pieklast (voor emissies pieklast: zie daar).</i>	

Onderdeel	CO <sub>2</sub> -emissies	Formulenummer
Restwarmte en geothermie	Warmte-afname bij de bron * CO <sub>2</sub> -emissie per GJ van de betreffende bron.	
Wijk-WKK en BMC_nieuw	Warmte-afname bij de bron * CO <sub>2</sub> -emissie per GJ van de wijk-WKK (i.e. gasmotor), respectievelijk van de BMC_nieuw (de default emissiefactor BMC_nieuw is nul, uitgaand van duurzame biomassa) NB: In het defaultkengetal voor de gasmotor is alle CO <sub>2</sub> -emissie van de gasmotor toegerekend aan de warmte. De door de wijk-WKK geproduceerde elektriciteit is in het model dus emissieloos. De elektriciteits-productie van de wijk-WKK wordt apart in de output weggeschreven. Voor analyses kan dit, <i>buiten het model</i> , verwerkt worden als emissieverlaging van de totale elektriciteits-productie in Nederland. Het volume van de elektriciteitsproductie is (in GJ) gelijk aan dat van de warmteproductie van de wijk-WKK-gasmotor (in GJ) <sup>34</sup> .	
WKO	CO <sub>2</sub> -emissie volgt uit (elektriciteitsgebruik van de centrale <sup>35</sup> warmtepomp)* CO <sub>2</sub> -kengetal elektriciteit. NB: WKO is als enige centrale warmteoptie op PC6-niveau gemodelleerd.	
<b>Pieklast</b>		
Gasgestookte pieklastketel	Bij alle centrale warmteopties wordt een centrale pieklastketel verondersteld, die gasgestookt is. De CO <sub>2</sub> -emissies volgen uit: (warmte-productie van de piekketel/efficiency van de piekketel)*CO <sub>2</sub> -kengetal gas.	

Opmerking: Bij warmtelevering aan glastuinbouwbedrijven wordt er in het model rekening mee gehouden dat het glastuinbouwbedrijf additionele kosten moet maken voor een CO<sub>2</sub>-installatie. Dit is alleen in de financiële analyses meegenomen, het effect ervan op de CO<sub>2</sub>-emissies is niet gemodelleerd

## Overige luchtmissies

Een toevoeging binnen Vesta 3.2 is de modellering van luchtmissies. Hierbij gaat het om de luchtmissies gerelateerd aan het gasverbruik binnen woningen, utiliteit en glastuinbouw. Daarnaast worden de luchtmissies in beeld gebracht van de verschillende gebiedsopties, waarbij dit kan verschillen tussen restwarmte of een bio-WKK bijvoorbeeld. Als laatste wordt gekeken naar de luchtmissies gerelateerd aan elektriciteitsopwekking, hierbij gaat het om de emissies gerelateerd aan de elektriciteitsvraag binnen woningen, utiliteit en glastuinbouw. Daarnaast zijn er enkele gebiedsopties die elektriciteit als inzet gebruiken voor warmte-opwekking, deze luchtmissies worden ook meegenomen. Voor elektriciteit

<sup>34</sup> Het energetisch totaalrendement van de gasmotor is 80%, 50/50-verdeeld over warmte- en elektriciteits-productie.

<sup>35</sup> Bij collectieve WKO met decentrale warmtepompen in de woningen, in plaats van een centrale warmtepomp, is de bepaling anders, deze optie is nog niet uitgewerkt in deze fase. Voor de CO<sub>2</sub>-emissies van deze optie moet het elektriciteitsgebruik van de decentrale warmtepompen worden opgeteld en worden vermenigvuldigd met het CO<sub>2</sub>-kengetal elektriciteit.

wordt een uitstoot **aangenomen** op basis van het integrale park voor elektriciteitsopwekking.

Belangrijk om te vermelden hierbij is dat de luchtemissies gerelateerd aan houtkachels in de gebouwde omgeving niet meegenomen worden. Deze zouden meegenomen kunnen worden in een exogeen model, maar deze worden niet gemodelleerd binnen Vesta.

### *Waar komen luchtemissies terug binnen Vesta?*

De emissiefactoren voor luchtemissies komen terug op drie verschillende plekken:

1. Elektriciteitsopwekking:
  - a EnergyData.dms (cfg/stam...);  
Hier wordt per actor aangegeven wat de emissiefactoren zijn voor de verschillende emissies van CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, VOS (Vluchtige Organische Stoffen) en TotaalStof (TS). Hierbij is het mogelijk om ook de ontwikkeling te geven over de tijd van deze verschillende emissies.  
Hierbij wordt voor het startjaar nu uitgegaan van de uitstoot binnen de NEV2015 voor 2010. Voor de toekomstige jaren wordt de ontwikkeling van de verschillende typen luchtemissies gekoppeld aan de ontwikkeling in CO<sub>2</sub>-intensiteit (zoals in WLO Hoog).
2. Puntbronnen:
  - b BronData.dms (cfg/stam...);  
Per puntbron wordt aangegeven wat de gemiddelde uitstoot is van deze puntbron over de tijd. Hierbij worden wederom de verschillende typen emissies meegenomen, dus zowel CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, VOS en TS waarbij het wederom mogelijk is om de ontwikkeling over de tijd op te geven.  
Hierbij wordt bij de elektriciteitscentrales ervan uitgegaan dat de minder geproduceerde elektriciteit door deze centrale (omdat deze warmte gaat leveren) moet worden opgevangen door het centrale park. Om deze reden wordt voor de elektriciteitscentrales de ontwikkeling van de emissiefactor van het centrale elektriciteitspark meegenomen.
  - c Binnen het dms-bestand Brondata.dms worden de verschillende emissiefactoren ingelezen vanaf regel 496.
3. Overige technologieën:
  - d Naast de puntbronnen en de elektriciteitsopwekking zijn er nog diverse andere technologieën die een uitstoot van emissies hebben, zoals:
    - Gebiedsopties;
      1. Wijk-WKK.
      2. Bio-WKK.
      3. Hulpwarmteketel (HWK).
    - Gebouwgebonden installaties;
      4. CV-ketel.
      5. Hybridwarmtepomp.
      6. Micro-WKK.
  - e TypeInfo-bestand (PD/data...)  
De luchtemissies van deze verschillende technologieën zijn opgenomen in het TypeInfo bestand. Wederom is het mogelijk om de ontwikkeling van de verschillende typen luchtemissies te bepalen over de tijd. Hierbij wordt voor nu aangenomen dat de uitstoot van deze specifieke gelijk blijft over de tijd.
  - f Binnen de code wordt het TypeInfo bestand aangeroepen op regel 323 van het Brondata.dms. De luchtemissies voor de technologieën worden op verschillende plekken binnen de code berekend. Mocht de gebruiker op zoek zijn naar een bepaalde technologie is de makkelijkste methode om te zoeken naar een bepaald type luchtemissies ('NO<sub>x</sub>' bijvoorbeeld).



Figuur 31 - Illustratie mee te nemen infrastructuur (Molen, 2019b) (Het lichtblauwe deel van wordt meegenomen in de Vesta MAIS-analyse)

