



Planbureau voor de Leefomgeving

# STARTANALYSE AARDGASVRIJE BUURTEN

(eerste versie, 30 oktober 2019)

## **Achtergrondstudie**

**Planbureau voor de Leefomgeving**

**8 juni 2020**

Herziene versie

PBL

## **Colofon**

### **Startanalyse aardgasvrije buurten**

© PBL Planbureau voor de Leefomgeving

Den Haag, 2019

PBL-publicatienummer: 4049

## **Contact**

Voor vragen over dit rapport kunt u terecht bij de Helpdesk van het ECW. Gebruik het contactformulier op de website ([www.expertisecentrumwarmte.nl/contact](http://www.expertisecentrumwarmte.nl/contact)) of bel 088 – 042 49 00.

## **Auteurs**

Nico Hoogervorst, Tijs Langeveld, Bas van Bommel, Folckert van der Molen, Steven van Polen, Joana Tavares, en Ruud van den Wijngaart.

## **Met dank aan**

Rolf de Vos (Relevant TXT) voor redactionele adviezen, de deelnemers aan de validatiesessies voor uitgangspunten in april 2019, leden van de helpdesk ECW en de Adviesraad ECW voor het kritisch doorlezen en aanvullen van eerdere concepten.

## **Eindredactie en productie**

Uitgeverij PBL

In deze versie zijn enkele correcties doorgevoerd die aan het licht zijn gekomen na publicatie op 15 januari 2020. De correcties zijn beschreven op <https://www.pbl.nl/publicaties/achtergrondrapport-bij-de-startanalyse-aardgasvrije-buurten>

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Hoogervorst, N. et al., Startanalyse aardgasvrije wijken, Den Haag: PBL.

Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) is het nationale instituut voor strategische beleidsanalyses op het gebied van milieu, natuur en ruimte. Het PBL draagt bij aan de kwaliteit van de politiek-bestuurlijke afweging door het verrichten van verkenningen, analyses en evaluaties waarbij een integrale benadering vooropstaat. Het PBL is voor alles beleidsgericht. Het verricht zijn onderzoek gevraagd en ongevraagd, onafhankelijk en wetenschappelijk gefundeerd.

# Inhoud

<b>1.</b>	<b>Inleiding</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>Strategieën</b>	<b>5</b>
2.1	Algemene uitgangspunten	5
2.1.1	Temperatuurniveaus	5
2.1.2	Isolatieniveau: voorlopige inzet voor berekeningen startanalyse eerste versie	5
2.2	Onderdelen waaruit de strategieën zijn opgebouwd	8
2.2.1	Schillabel	8
2.2.2	Afgiftesysteem	8
2.2.3	Ruimtwarmtevoorziening	9
2.2.4	Warm tapwater	10
2.2.5	Buffers	10
2.2.6	Regeneratiebronnen WKO	10
2.3	Strategie 1 – All-electric	11
2.3.1	Variant 1a – combiwarmtepomp met buitenluchtcollector	12
2.3.2	Variant 1b – combiwarmtepomp met buitenluchtcollector	13
2.4	Strategie 2 – warmtenet met middentemperatuur (MT) bron	14
2.4.1	Variant 2a – Warmtenet met middentemperatuur restwarmtebron	16
2.4.2	Variant 2b en 2c – Warmtenet met MT/HT bron - Geothermie	17
2.4.3	Variant 2d - Warmtenet met middentemperatuurbron bio-WKK	19
2.5	Strategie 3 – Warmtenet met lagetemperatuurbronnen	20
2.5.1	Variant 3a – Warmtenet met lagetemperatuurbron – aflevering op 30°C	23
2.5.2	Variant 3b – Warmtenet met lagetemperatuurbron – aflevering op 70°C	24
2.5.3	Variant 3c – Warmtenet met LT bron – aflevering op 50 °C	25
2.5.4	Variant 3d – Warmtenet met lagetemperatuurbron – WKO met aflevering op 50 °C	26
2.5.5	WKO	26
2.6	Strategie 4 – Hernieuwbaar gas met hybride warmtepomp	27
2.7	Strategie 5 – Hernieuwbaar gas met hoogrendement-ketel	29
<b>3.</b>	<b>Methode</b>	<b>31</b>
3.1	Het Vesta MAIS-model	31
3.1.1	Technisch-economische verkenning	31
3.1.2	Ruimtelijk schaalniveau	32
3.1.3	Open Source	32
3.2	Toepassing Vesta MAIS voor de Startanalyse	32
3.2.1	Nationale kosten	32
3.2.2	Focus op bestaande bouw	33
3.3	Startsituatie in gebouwen	33
3.3.1	Warmte- en koudevraag van woningen	33
3.3.2	Energielabel woningen	34
3.3.3	Warmte- en koudevraag utiliteit	35
3.3.4	Energielabel utiliteit	37
3.4	Energiebesparende maatregelen	37
3.4.1	Energiebesparing in woningen	37
3.4.2	Energiebesparing bij utiliteitsgebouwen	41
3.5	Warmte-aanbodtechnieken in gebouwen	41
3.6	Energie-infrastructuur	41

3.6.1	Berekening kosten van verzwaren van het elektriciteitsnet	41
3.6.2	Berekening kosten van verwijdering en vervanging van het gasnet	41
3.6.3	Berekening van warmtenetten met midden-temperatuur warmtebronnen (S2)	42
3.6.4	Berekening van warmtenetten met (zeer) lage temperatuur warmtebronnen (S3)	44
<b>4.</b>	<b>Referentiebeelden (huidig en 2030)</b>	<b>46</b>
4.1	Referentiebeeld startsituatie	46
4.2	Referentiebeeld 2030	46
<b>5.</b>	<b>Ontwikkelingen tot 2030</b>	<b>48</b>
5.1	Kostendaling van technische maatregelen	48
5.2	Subsidies	49
5.3	Beschikbaarheid en CO <sub>2</sub> -emissiefactor van energiedragers	49
5.3.1	CO <sub>2</sub> -emissiefactoren van energiedragers	49
5.3.2	Beschikbaarheid van groengas	50
5.3.3	Beschikbaarheid van omgevingswarmte	53
5.3.4	Beschikbaarheid van restwarmte	54
5.3.5	Beschikbaarheid van hernieuwbare elektriciteit	54
5.4	Kosten van energiedragers in 2030	54
5.4.1	Kosten van elektriciteit	54
5.4.2	Kosten van omgevingswarmte	55
5.4.3	Kosten van restwarmte	55
5.4.4	Kosten van groengas	55
<b>6.</b>	<b>Gevoeligheidsanalyse</b>	<b>58</b>
6.1	Huidige kosten van technische maatregelen	58
6.2	Ontwikkeling in de kosten van technische maatregelen	58
6.3	Kosten van energiedragers	59
6.4	Energie-efficiëntie van apparaten	59
6.5	Schillabel gebouwen	59
<b>7.</b>	<b>Rapportage over de Startanalyse</b>	<b>61</b>
7.1	Viewer	61
7.2	Gemeenterapporten	61
7.3	Datapakket	62
<b>8.</b>	<b>Referenties</b>	<b>63</b>
<b>9.</b>	<b>Bijlage Parameters gevoeligheidsanalyse</b>	<b>64</b>
9.1	Huidige kosten van technische maatregelen	64
9.2	Ontwikkeling van de kosten van technische maatregelen	65
9.3	Kosten van energiedragers	66
9.4	Energie-efficiëntie van apparaten	66
9.5	Schillabel gebouwen	67

# 1. Inleiding

Dit Achtergronddocument bij de Startanalyse aardgasvrije buurten geeft informatie over de manier waarop de berekeningen voor de Startanalyse tot stand zijn gekomen. In het Klimaatakkoord<sup>1</sup> is afgesproken dat gemeenten een Transitievisie Warmte opstellen, met behulp van een Leidraad, bestaande uit een Startanalyse en een Handreiking voor lokale verdieping. De Startanalyse is een technisch-economische analyse van effecten en kosten van opties om gebouwen zonder aardgas te verwarmen. Die analyse is uitgevoerd door PBL met behulp van zijn rekenmodel Vesta MAIS<sup>2</sup>. Dit rapport bevat de methodische verantwoording van die analyse. De resultaten zijn beschreven in het Gemeenterapport<sup>3</sup> met tabellenbijlagen per gemeente en per buurt en in een kaartviewer, beschikbaar gesteld aan gemeenten en het Nederlandse publiek via een website van het Expertise Centrum Warmte: [www.expertisecentrumwarmte.nl](http://www.expertisecentrumwarmte.nl).

**Hoofdstuk 2** toont de onderzochte technische opties om zonder aardgas woningen en bedrijfsgebouwen te verwarmen. In de Startanalyse heten die opties strategieën. In totaal zijn vijf strategieën geanalyseerd, waarvan sommige met varianten. Dit hoofdstuk zet uiteen uit welke componenten de diverse strategieën zijn opgebouwd, geeft de belangrijkste aandachtspunten per strategie en geeft een overzicht van de belangrijkste kentallen die zijn gebruikt voor de energetische en financiële doorrekening van de strategieën.

**Hoofdstuk 3** bespreekt de gehanteerde rekenmethode waarmee de strategieën zijn geanalyseerd en de resultaten tot stand zijn gekomen. Dit hoofdstuk voorziet op hoofdlijnen in informatie voor een juiste interpretatie van de resultaten uit de startanalyse. Meer gedetailleerde informatie is te vinden in het rapport Functioneel ontwerp Vesta 4.0 (Schepers et al, 2019) en op de website van het Expertise Centrum Warmte.

**Hoofdstuk 4** beschrijft de referentiebeelden die zijn gemaakt om de uitkomsten van de strategieën in perspectief te kunnen plaatsen.

**Hoofdstuk 5** beschrijft een aantal belangrijke uitgangspunten voor 2030, zoals de beschikbaarheid van hernieuwbare energie en de gehanteerde veronderstellingen over veranderingen in kosten voor energie en technieken. Hierin wordt ook beschreven hoe is omgegaan met onzekerheden over de beschikbaarheid van groengas in 2030.

**Hoofdstuk 6** presenteert de factoren die zijn opgenomen in de gevoeligheidsanalyse.

**Hoofdstuk 7** geeft een overzicht van de beschikbare producten waarin de resultaten van de startanalyse worden gepresenteerd en geduid.

---

<sup>1</sup> Het Klimaatakkoord is te vinden op: <https://www.klimaatakkoord.nl/>

<sup>2</sup> Een uitgebreide beschrijving van het Vesta MAIS wordt gegeven door: Functioneel ontwerp Vesta 4.0, Schepers et al, 2019

<sup>3</sup> Het Gemeenterapport is te vinden op: <https://themasites.pbl.nl/leidraad-warmte/main.php#>

# 2.Strategieën

In dit hoofdstuk worden vijf strategieën en bijbehorende varianten besproken die voor de Startanalyse met het Vesta MAIS-model zijn doorgerekend. Per strategie wordt toegelicht uit welke onderdelen de warmtevoorziening op gebieds- en gebouwniveau is opgebouwd. In de eerste drie strategieën worden primair warmtepompen en warmtenetten toegepast, in de laatste twee strategieën wordt ook gebruik gemaakt van hernieuwbaar gas.

In paragraaf 1 worden enkele algemene uitgangspunten besproken welke van toepassing zijn op alle strategieën. Paragraaf 2 presenteert de componenten waar de strategieën uit zijn opgebouwd. Tabel 1 toont een overzicht van de vijf strategieën en bijbehorende varianten. Een nadere toelichting per strategie volgt in paragraaf 3 t/m 7.

## 2.1 Algemene uitgangspunten

Een strategie is een pakket technische maatregelen waarmee in de warmtevraag van een buurt kan worden voorzien. De maatregelen zijn ruwweg in te delen in enerzijds het isoleren van gebouwen waardoor de warmtevraag vermindert en anderzijds in warmte(aanbod)technieken die voorzien in de resterende warmtevraag. Binnen de strategieën zijn verschillende varianten mogelijk. Voor de Startanalyse zijn een aantal varianten doorgerekend. De strategieën zijn zo gekozen, dat zij overzicht geven in het brede spectrum aan de mogelijkheden die er nu zijn. Er is gekozen voor strategieën die zijn samengesteld uit onderdelen die op dit moment realistische combinaties zijn van technieken en bronnen.

### 2.1.1 Temperatuurniveaus

In de startanalyse worden de volgende temperatuurranges aangehouden voor zowel de temperaturen waarop warmte wordt geproduceerd als de aanvoertemperatuur waarop de warmte bij de afnemers wordt afgeleverd:

- Hogetemperatuurwarmte (HT): 80 tot 100 °C
- Middentemperatuurwarmte (MT): 60 tot 80 °C
- Laagtemperatuurwarmte (LT): 30 tot 60 °C
- Zeer-laagtemperatuurwarmte (ZLT): 5 – 30 °C

### 2.1.2 Isolatieniveau: voorlopige inzet voor berekeningen startanalyse eerste versie

In het Klimaatakkoord wordt een standaard voor de isolatie voorgesteld. Wat de standaard is, wordt in Klimaatakkoord als volgt verwoord (citaat Klimaatakkoord):

*"De standaard wordt gebaseerd op de bouwkundige/technische mogelijkheden in combinatie met de financiële haalbaarheid. Bijvoorbeeld: woningen zonder spouwmuur vergaand isoleren vraagt hogere investeringen. De standaard zal daarom voor vooroorlogse woningen minder strikt zijn dan voor woningen uit de jaren '90 van de vorige eeuw. Woningen die verregaand kunnen worden geïsoleerd tegen acceptabele kosten, kunnen ontstaan met een lage(re) temperatuur warmtebron. Voor andere woningen is een midden of hoge temperatuur warmtebron nodig. De standaard kan daarom gelden als één van de inputs voor de leidraad en daarmee voor het kiezen van de voor die wijk meest geschikte warmtebron.*

*De standaard kan gebruikt worden bij de financiering en subsidiëring van verduurzamingsmaatregelen. Een verbouwing tot aan de standaard kan de grondslag zijn voor aanspraak op subsidie. De differentiatie (korting) van de overdrachtsbelasting zal worden verkend. Hierbij wordt expliciet gekeken naar de effectiviteit, uitvoerbaarheid en effecten van een dergelijke maatregel op de toegankelijkheid van de woningmarkt. Het geeft banken en toezichthouders een standaard voor een woonlastenbenadering bij de financiering van een verbouwing.*

*Een standaard kan bovendien handelingsperspectief geven aan woningeigenaren die nu al maatregelen willen nemen, vooruitlopend op het alternatief voor aardgas dat wordt gekozen in de wijkgerichte aanpak. Een 'op weg naar aardgasvrij'-standaard voor woningen voorkomt dat gebouweigenaren en bewoners spijtmaatregelen treffen, zoals isolatie die later onvoldoende blijkt te zijn."*

Uit het voorgaande citaat blijkt dat er mogelijk geen minimumisolatiegraad (= schillabel) komt welke zal gelden voor alle woningen in alle situaties. De vaststelling van de standaard was gepland voor eind 2019 maar is inmiddels al verschoven naar 2020. Het was daardoor niet mogelijk de standaard te verwerken in oktoberversie van de startanalyse. Daarom is uitgegaan van de huidige inzichten in de minimale isolatiegraad (= schillabel) welke geschikt is om te voldoen aan het type van warmte(aanbod)techniek dat onderdeel is van de strategie. Hieronder lichten we dit verder toe.

**Tabel 1: Kenmerken van de onderzochte aardgasvrije strategieën en varianten.**

	Bronnen	Temperatuur warmtebron	Aanvoer temperatuur ruimteverwarming	Collectieve installaties	Individuele installaties	Paragraaf
<b>S1 - Individuele elektrische warmtepomp</b>						
S1a	Elektriciteit + warmte uit buitenlucht	15 °C	50 °C	-	Combiwarmtepomp + LT-radiatoren	4.3.1
S1b	Elektriciteit + bodemwarmte	15 °C	50 °C	-	Combiwarmtepomp + LT-radiatoren	4.3.2
<b>S2 - Warmtenet met midden- tot hogetemperatuurbron</b>						
S2a	Restwarmte + groengas voor piekvraag	> 70 °C	70 °C	Warmtecentrale, MT-restwarmtebron, groengasproductie, MT-warmtenet (70 °C)	Aansluiting op warmtenet + HT-radiatoren	4.4.1
S2b	Geothermie + groengas voor piekvraag			Warmtecentrale, geothermiebron, groengasproductie, MT-warmtenet (70 °C)		4.4.2
S2c						
S2d	Groengas			Bio-WKK warmtecentrale, groengasproductie, MT-warmtenet (70 °C)		4.4.3
<b>S3 - Warmtenet met lagetemperatuurbron</b>						
S3a	Restwarmte + elektriciteit	30 °C	30 °C	LT-warmtenet (30 °C)	Aansluiting op warmtenet + combiwarmtepomp + LT-radiatoren	4.5.1
S3b	Restwarmte + elektriciteit		70 °C	Collectieve warmtepomp, MT-warmtenet (70 °C)	Aansluiting op warmtenet + HT-radiatoren	4.5.2
S3c	Restwarmte + elektriciteit		50 °C	Collectieve warmtepomp, MT-warmtenet (50 °C)	Aansluiting op warmtenet + booster warmtepomp + LT-radiatoren	4.5.3
S3d	Warmte uit buitenlucht + elektriciteit	15 °C	50 °C	Collectieve warmtepomp, WKO + MT-warmtenet (50 °C)	Aansluiting op warmtenet + booster warmtepomp + LT-radiatoren	4.5.4
S3e	Warmte uit oppervlaktewater + elektriciteit		70 °C	Collectieve warmtepomp, WKO + MT-warmtenet (70 °C)	Aansluiting op warmtenet + HT-radiatoren	4.5.5
<b>S4 - Hernieuwbaar gas met hybride warmtepomp</b>						
	Groengas + elektriciteit	70 °C	70 °C	Groengasproductie, gasnet	Hybride lucht-warmtepomp + HT-radiatoren	4.6
<b>S5 - Hernieuwbaar gas met hoogrendement ketel</b>						
	Groengas	70 °C	70 °C	Groengasproductie, gasnet	HR-combiketel + HT-radiatoren	4.7

Uit de validatiesessies met (vertegenwoordigers van) bouw- en installatiebedrijven, adviseurs en onderzoekers volgt de verwachting dat woningen met een schillabel B voldoende zijn geïsoleerd voor de beschouwde warmte(aanbod)technieken in de startanalyse. Schillabel B is wat voor bestaande woningen haalbaar is met veel toegepaste isolatietechnieken. De verwachting is dat bestaande woningen met isolatie op schillabel B-niveau met de huidige radiatoren verwarmd kunnen worden als er warmte van circa 70 °C geleverd wordt. Bij



levering op lagere temperatuur zullen de radiatoren vervangen moeten worden door LT-radiatoren. Deze kosten worden dan meegenomen in de berekeningen.

Het kan wenselijk zijn om de warmtevraag verder terug te brengen. Dit vraagt om hogere investeringen. Voor maximale isolatie op A+ niveau zijn ingrijpende maatregelen nodig, zoals buitengevelisolatie of zelfs een nieuw dak en nieuwe gevel. Omdat label B in principe voldoende is voor de in de startanalyse beschouwde warmte(aanbod)technieken, worden voor de oktoberversie alle strategieën doorgerekend met schillabel B. Gebouwen die al beter zijn geïsoleerd behouden het schillabel. In een gevoeligheidsanalyse zal ook gerekend worden met schillabel A+ om te laten zien wat het effect hiervan is op de nationale kosten en de energiebehoefte. Het is vervolgens aan de gemeente om samen met de buurt de gewenste isolatiegraad te bepalen, rekening houdend met de benodigde ingrepen en investeringen.

Bij de toegepaste isolatie zal er bij veel woningen ook een verbetering van het ventilatiesysteem nodig zijn. Deze kosten worden verwerkt in de kengetallen voor aanpassing van de woningen naar schillabel B of A+.

## 2.2 Onderdelen waaruit de strategieën zijn opgebouwd

In de strategieën wordt rekening gehouden met de kosten van de schilisolatie, aanpassingen en nieuwe installaties en collectieve systemen die in de warmtevraag voorzien. Het gaat daarbij om de volgende onderdelen waaruit de strategieën zijn opgebouwd.

### 2.2.1 Schillabel

Het schillabel betreft een indicatie van de kwaliteit van de gebouwschil. Het is gebaseerd op het energielabel van het gebouw, maar dan exclusief de warmtevoorziening en eventuele opwek. Voor de standaardberekening wordt uitgegaan van schillabel B en een gevoeligheidsberekening wordt uitgevoerd voor alle strategieën met label A+:

- *Schillabel B*: alle gebouwen worden verbeterd naar een niveau dat zij een schillabel van B hebben (ongeveer  $R_c$  van 2,5 voor woningen en  $R_c$  van 3,5 voor utiliteitsgebouwen). Indien een bestaand gebouw al een beter schillabel heeft wordt dit gehandhaafd. Tabel 2 geeft een nadere specificatie van schillabel B voor isolatiewaarden van bouwdelen, uitgewerkt naar woningen uit verschillende bouwperiodes.
- *Schillabel A+*: alle gebouwen worden verbeterd naar een niveau dat zij een schillabel van A+ hebben (ongeveer een  $R_c$  van 4,0 of hoger).

Voor beide niveaus geldt dat de berekende besparing voor de vraag naar ruimteverwarming afhankelijk is van de uitgangssituatie (de huidige isolatiegraad). Deze uitgangssituatie is een inputwaarde van Vesta MAIS en is gebaseerd op gemiddeld werkelijke waarden.

### 2.2.2 Afgiftesysteem

Het afgiftesysteem betreft de installaties waarmee de warmte in een gebouw wordt overgedragen aan de binnenlucht. Hierbij worden de volgende typen installaties onderscheiden:

- *HT-radiatoren (huidig)*: dit betreffen de huidige, gangbare radiatoren waar veruit het grootste deel van de Nederlandse gebouwen op dit moment mee wordt verwarmd. Wanneer een strategie gebruik maakt van deze optie, dan vindt er geen verandering van afgiftesysteem plaats;
- *Convectoren (LT-radiatoren)*: er zijn diverse mogelijkheden om een gebouw met lage temperatuur te verwarmen. Bijvoorbeeld vloerverwarming of LT-radiatoren. Voor de strategieën die met LT-afgifte werken, is deze laatste optie gekozen. Hoewel vloerverwarming over het algemeen betere overdracht van LT-warmte heeft, wordt in de Leidraad vooral gekeken naar bestaande bouw. In de bestaande bouw is het aanbrengen van vloerverwarming kostbaar en soms ook niet goed mogelijk (door technische of praktische belemmeringen). Convectoren lijken daarom de voorkeur te hebben.

**Tabel 2: Uitwerking van schillabel B voor een rijtussenwoning naar gebouwdelen en bouwperiode. In groen is aangegeven welke componenten verbeteren voor de betreffende bouwperiode. Voor andere woningtypes kunnen andere Rc waardes gelden – op hoofdlijnen zijn die vergelijkbaar.**

	Voor 1930	1930-1965	1965-1974	1975-1982	1983-1987	1988-1991	Na 1991
<b>Huidig</b>	SA huidig	SA huidig	SA huidig	SA huidig	SA huidig	SA huidig	SA huidig
Vloer	Rc = 0.15	Rc = 0.32	Rc = 0.17	Rc = 0.52	Rc = 1.30	Rc = 2.00	Rc = 2.53
Gevel	Rc = 0.19	Rc = 0.36	Rc = 0.86	Rc = 1.30	Rc = 1.30	Rc = 2.00	Rc = 2.53
Paneel	Rc = 0.04	Rc = 0.24	Rc = 0.43	Rc = 1.30	Rc = 1.30	Rc = 2.00	Rc = 2.53
Dak	Rc = 0.22	Rc = 0.39	Rc = 0.43	Rc = 1.30	Rc = 1.30	Rc = 2.00	Rc = 2.53
Ramen	enkel/dubb	enkel/dubb	enkel/dubb	enkel/dubb	enkel/dubb	enkel/dubb	enkel/dubb
Ventilatie	x	x	x	x	x	x	x
<b>Verbeterd</b>	SA label B	SA label B	SA label B	SA label B	SA label B	SA label B	SA label B
Vloer	Rc = 3.65	Rc = 3.65	Rc = 3.65	Rc = 3.65	Rc >= 1.30	Rc = 2.00	Rc = 2.53
Gevel	Rc = 1.61*	Rc = 1.36	Rc = 1.36**	Rc >= 1.30	Rc >= 1.30	Rc = 2.00	Rc = 2.53
Paneel	Rc = 3.41	Rc = 3.41	Rc = 3.41	Rc = 3.41	Rc >= 1.30	Rc = 2.00	Rc = 2.53
Dak	Rc = 3.47	Rc = 3.47	Rc = 3.47	Rc = 3.47	Rc = 3.47	Rc = 2.00	Rc = 2.53
Ramen	Uw = 1.20	Uw = 1.20	Uw = 1.20	Uw = 1.20	Uw = 1.20	Uw = 1.20	Uw = 1.20
Ventilatie	mechanisch	mechanisch	mechanisch	mechanisch	mechanisch	mechanisch	mechanisch

X = niet gespecificeerd. Rc in m<sup>2</sup>K/W. Ud/Uw in W/m<sup>2</sup>K.

### 2.2.3 Ruimtwarmtevoorziening

Voor het voorzien in de vraag naar ruimteverwarming van een gebouw worden verschillende technieken onderscheiden. Uitgebreide beschrijvingen van deze technieken zijn terug te vinden in het Functioneel Ontwerp van Vesta MAIS. Het betreft de volgende technieken:

#### 2.2.3.1 **Individueel per woning of gebouw toepasbaar (all-electric)**

- *Warmtepomp (lucht/water)*: een elektrische warmtepomp, bestaande uit een buiten- en binnenunit. De buitenunit is bevestigd aan het gebouw of staat nabij het gebouw; buitenlucht is de belangrijkste warmtebron;
- *Warmtepomp (bodem/water)*: een elektrische warmtepomp, bestaande uit een bodemwarmtewisselaar en een binnenunit. Een gebouw heeft over het algemeen buitenruimte nodig voor het plaatsen van de bodemwarmtewisselaar; de bodem is de belangrijkste warmtebron;

#### 2.2.3.2 **Individueel per woning of gebouw toepasbaar (in combinatie met bestaand gasnet)**

- *Hybride WP*: een combinatie van een elektrische warmtepomp en een HR-brander op gas; de warmtepomp maakt gebruik van een buitenunit. De buitenunit is bevestigd aan het gebouw of staat nabij het gebouw; buitenlucht en gas zijn de belangrijkste warmtebronnen; De gasbrander wordt ingezet als het vermogen van de warmtepomp onvoldoende is voor efficiënte ruimteverwarming. Dit kan ook een warmtepomp zijn die naast de bestaande HR-ketel geplaatst wordt. De warmtepomp verzorgt het grootste deel van de ruimteverwarming. Op piekvraagmomenten springt de HR-brander bij, gestookt op groengas;
- *HR-ketel*: een standaard hoogrendementsketel. Er wordt aangenomen dat groengas van aardgaskwaliteit is en dat geen aanpassing nodig is in de ketel.

#### 2.2.3.3 **Collectieve technieken in combinatie met ontwikkeling van warmtenetten**

- *Afgifte warmtedistributienet MT*: Een collectief warmtenet, dat wordt gevoed door ZLT-, LT-, MT- en eventueel (bestaande) HT-warmtebronnen, waarin warmte via het warmtedistributienet wordt afgeleverd aan gebouwen met een middentemperatuur

van 70 °C. Gezien de ambitie van duurzame warmtenetten in 2050 worden netten met hoge temperatuur aflevering aan gebouwen (ca. 90 °C) niet meegenomen in de berekeningen.

Bij de ZLT- en LT-warmtebronnen wordt de temperatuur van het warme water via een collectieve warmtepomp verhoogd naar de vereiste middentemperatuur alvorens het verder wordt vervoerd in het warmtedistributienet. De warmte wordt via een warmtewisselaar afgegeven aan de gebouwen, welke daar rechtstreeks mee worden verwarmd.

- *Afgifte warmtedistributienet LT*: Een collectief warmtenet, dat wordt gevoed door ZLT-, LT-warmtebronnen (30 °C), hiervan zijn vier varianten:
  1. *Distributienet op 30 °C* en per gebouw een *individuele, elektrische warmtepomp* om de gewenste temperatuur te krijgen voor ruimteverwarming
  2. *Distributienet op 70 °C* door collectief opwaarderen van de LT-warmte met een *collectieve warmtepomp*
  3. *Distributienet op 50 °C* door collectief opwaarderen van de LT-warmte met een *collectieve warmtepomp*

#### 2.2.4 Warm tapwater

Voor de productie van warm tapwater worden diverse mogelijkheden meegenomen in de strategieën. Er wordt van alle mogelijkheden aangenomen dat zij voldoen aan de criteria die er zijn voor de productie van warm tapwater.

- *Warmtepomp (lucht/water)*: een elektrische warmtepomp, bestaande uit een buiten- en binnenunit. De buitenunit is bevestigd aan het gebouw of staat nabij het gebouw; buitenlucht is de belangrijkste warmtebron; de warmtepomp is voorzien van een buffervat;
- *Warmtepomp (bodem/water)*: een elektrische warmtepomp, bestaande uit een bodemwarmtewisselaar en een binnenunit. Een gebouw heeft over het algemeen buitenruimte nodig voor het plaatsen van de bodemwarmtewisselaar; de bodem is de belangrijkste warmtebron; de warmtepomp is voorzien van een buffervat;
- *Warmtenet*: er zijn drie opties voor warm tapwater bij een warmtenet:
  - Bij warmtelevering op 70 °C wordt rechtstreeks van het warmtenet gebruik gemaakt voor warm tapwater. Rechtstreeks betekent hier via een *warmtewisselaar* maar zonder warmteopwekking;
  - Bij warmtelevering op 50 °C wordt door tussenkomst van een *booster-warmtepomp en buffervat* warm tapwater geproduceerd;
  - Bij warmtelevering op 30 °C wordt door tussenkomst van een *combi-warmtepomp en buffervat* warmte voor ruimteverwarming en warm tapwater geproduceerd.
- *Hybride warmtepomp*: het warm tapwater wordt bij een hybride warmtepomp geproduceerd door de HR-brander op gas.
- *HR-ketel*: zowel de ruimteverwarming als het warm tapwater worden bij een HR-ketel geproduceerd door de HR-brander op gas.

#### 2.2.5 Buffers

In een aantal varianten onder strategie 3 wordt gebruik gemaakt van warmtebuffers waarin rest- of omgevingswarmte wordt opgeslagen op momenten waarop er geen warmtevraag is, voor gebruik op latere momenten wanneer er wel vraag naar warmte is.

1. *WKO-doublet (open bodemenergiesysteem)*: een systeem waarmee warmte en koude op ZLT-niveau in aquifers in de bodem wordt opgeslagen. Dit type buffer kan worden ingezet voor zowel de warmte- als de koudevoorziening.
2. *LT-warmtebuffer (gesloten buffervat)*: een systeem waarmee warmte op LT-niveau in een groot vat wordt opgeslagen voor later gebruik. Dit type buffer kan uitsluitend worden ingezet voor de warmtevoorziening.

#### 2.2.6 Regeneratiebronnen WKO

In de strategieën waarin gebruik wordt gemaakt van een WKO-bron wordt een regeneratievoorziening opgenomen waarmee de bron in balans wordt gehouden. De warmte die gedurende de winter aan de bron onttrokken wordt dient gedurende de zomer weer aangevuld te

worden, zodat de bron in balans blijft. Hierin wordt binnen strategie 3D deels voorzien door de gebouwen te koelen met water uit de koudebron van de WKO-bron, zodat de restwarmte uit gebouwen gebufferd kan worden in de WKO-bron voor gebruik in de koudere seizoenen. In veel gevallen zal het beschikbare volume restwarmte uit gebouwen in strategie 3D onvoldoende van omvang zijn om de WKO-bron voldoende in balans te houden en in strategie 3E wordt geen gebruik gemaakt van restwarmte uit gebouwen voor regeneratie. In die gevallen wordt een regeneratievoorziening ingezet, waarmee additionele warmte aan de WKO-bron kan worden toegevoerd om de balans op peil te houden. In de startanalyse worden twee typen regeneratiebronnen toegepast:

- *Drogekoeler*: met buitenluchtcollectoren wordt gedurende de warmere seizoenen warmte uit de buitenlucht geoogst en ondergronds opgeslagen in de WKO-bron voor gebruik in de winter. De drogekoeler wordt aangedreven met elektriciteit. Dit is van toepassing op strategie 3D.
- *Oppervlaktewater*: gedurende de warmere seizoenen wordt warmte uit oppervlaktewater gewonnen en ondergronds opgeslagen in de WKO-bron voor gebruik in de winter (ook wel aangeduid als Aquathermie of Thermische Energie uit Oppervlaktewater (TEO)). Dit is van toepassing op strategie 3E.

## 2.3 Strategie 1 – All-electric

In strategie 1 worden individuele (combi)warmtepompen ingezet voor ruimte- en warmtapwaterverwarming in combinatie met een lokale, gebouwgebonden warmtebron. Er zijn twee varianten doorgerekend met een onderscheid tussen winning van warmte uit buitenlucht met een buitenluchtcollector of winning van warmte uit de bodem met een bodemcollector.

### **Isolatiemaatregelen**

Alle gebouwen worden verbeterd naar het isolatieniveau van schillabel van B (ongeveer Rc van 2,5 voor woningen en Rc van 3,5 voor utiliteitsgebouwen). Indien een bestaand gebouw al een beter schillabel heeft wordt dit gehandhaafd.

### **Afgiftesysteem in woningen en gebouwen**

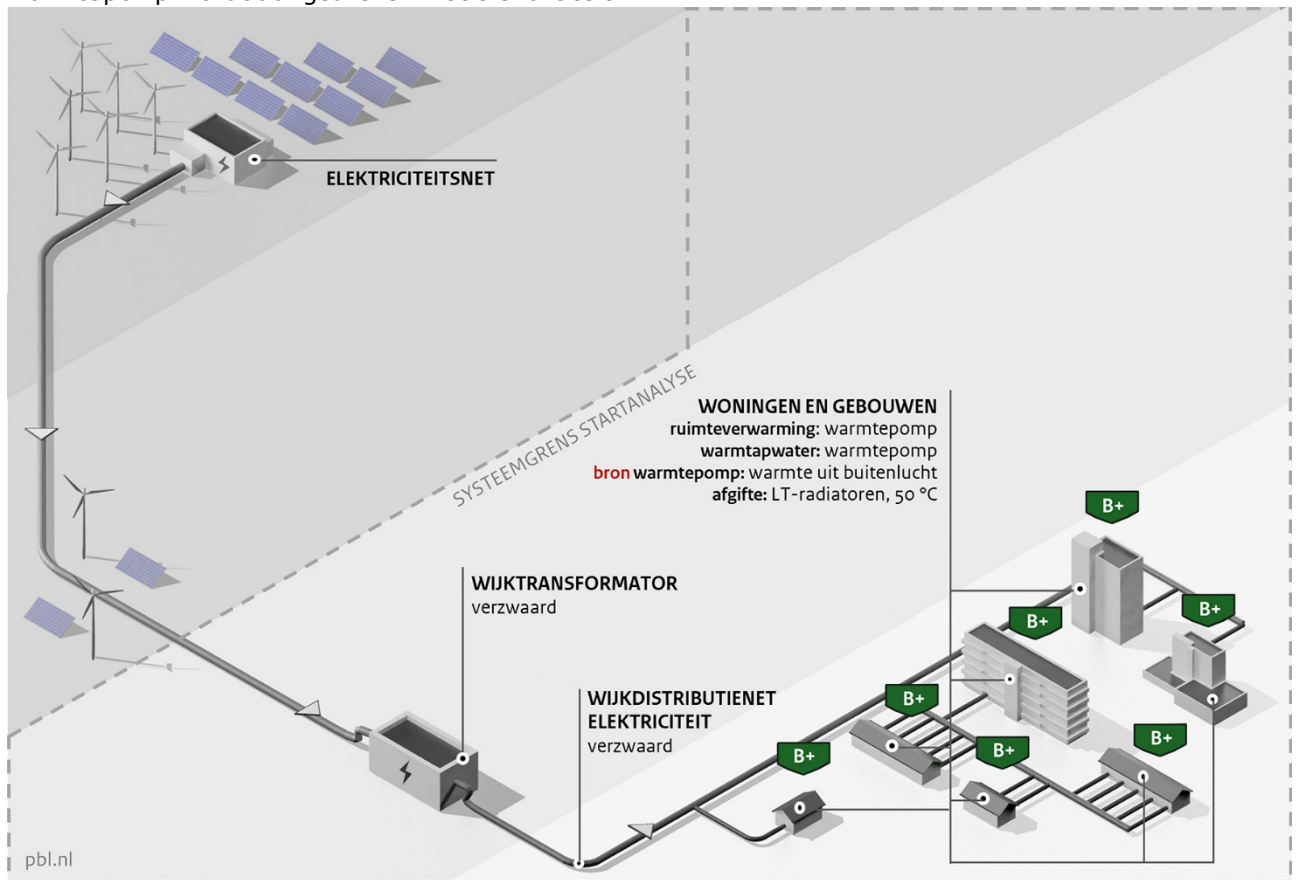
Voor de strategieën die met LT-afgifte werken, worden laagtemperatuurradiatoren toegepast. Hoewel vloerverwarming over het algemeen betere overdracht van LT-warmte heeft, wordt in de startanalyse (oktoberversie) alleen gekeken naar bestaande bouw. In de bestaande bouw is het aanbrengen van vloerverwarming kostbaar en soms ook niet goed mogelijk (door technische of praktische belemmeringen). Daarom is hier uitgegaan van toepassing van LT-radiatoren.

### **Aanpassingen aan het elektriciteitsnet**

Bij grootschalige toepassing van warmtepompen is de beschikbare capaciteit van het elektriciteitsnet op de meeste plaatsen ontoereikend om in de verhoogde elektriciteitsvraag te voorzien. Elektriciteitsnetten worden in strategie 1 verzwaaard.

### 2.3.1 Variant 1a – combiwarmtepomp met buitenlichtcollector

In strategie 1a worden elektrische lucht-water warmtepompen ingezet, bestaande uit een buitenunit met lichtcollector en een binnenunit met warmtepomp. De buitenunit is bevestigd aan het gebouw of staat nabij het gebouw. Buitenlucht is de belangrijkste warmtebron, de warmtepomp wordt aangedreven met elektriciteit.



Onderstaande tabel toont een selectie van parameters die het meest bepalend zijn voor de resulterende berekende nationale kosten. De gerapporteerde kosten reflecteren de basisbedragen exclusief kostenreducties als gevolg van leereffecten, zie tabel 14. Raadpleeg het functioneel ontwerp Vesta 4.0 voor additionele informatie over de toegepaste kengetallen en rekenregels.

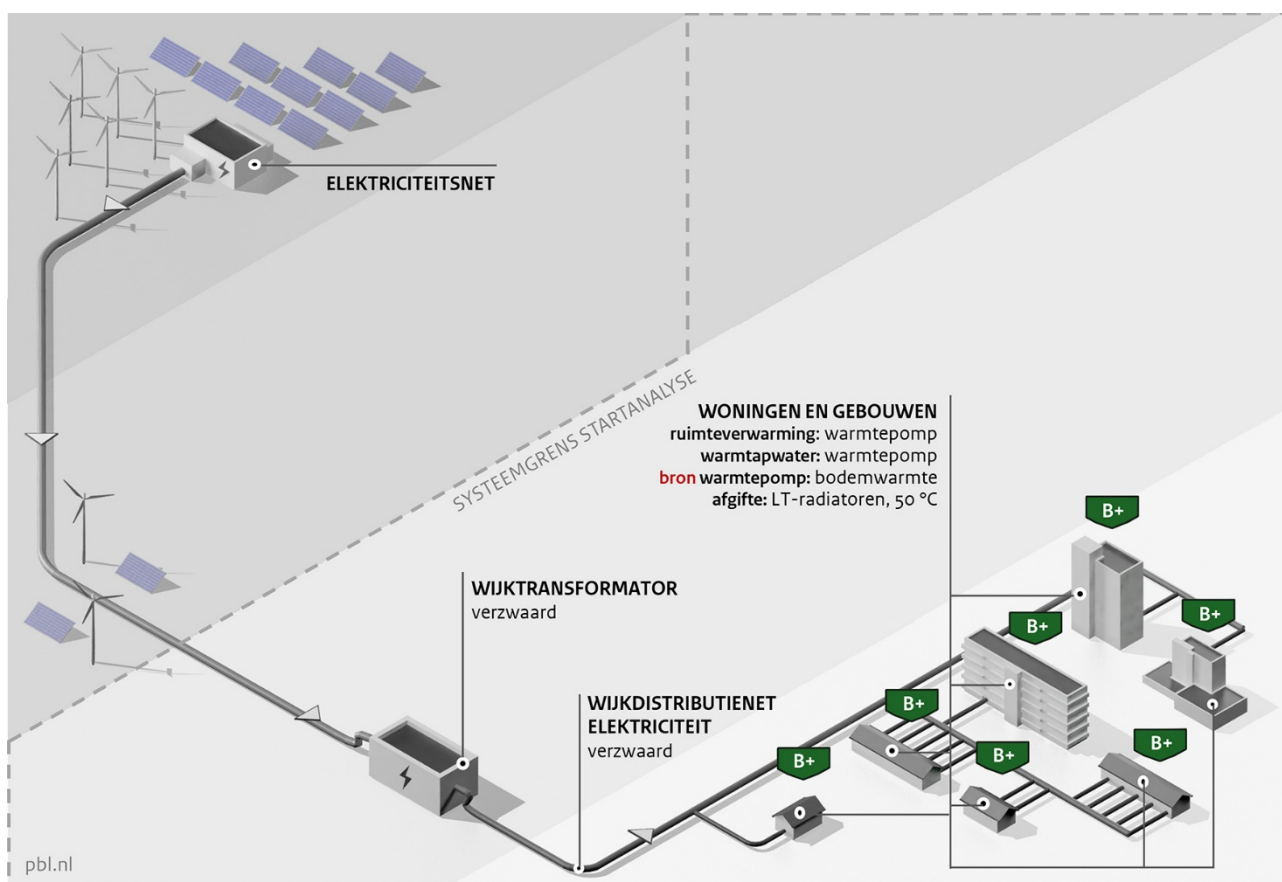
**Tabel 3: Technische en financiële parameters voor luchtwarmtepompen.**

Parameter (bedragen exclusief BTW)	Eenheid	Waarde*		
		Ondergrens	Bovengrens	Middewaarde
LTAS** (afhankelijk van woningtype – kental voor utiliteit is per m2 en afhankelijk van type en wijk af van waarden voor woningen hier genoemd)	€/woning	401 - 958	2015 - 3222	1208 - 2090
SPF*** lucht-water warmtepomp, schillabel A+	efficiency	3.28	5.93	4.61
SPF lucht-water warmtepomp, schillabel B	efficiency	3.12	4.49	3.81
SPF lucht-water warmtepomp, utiliteit	efficiency	3.17	3.66	3.42
Investeringskosten lucht-water warmtepomp woning	€/aansluiting, €/kW	4637 + 500	5359 + 320	4.998 + 410
Investeringskosten lucht-water warmtepomp utiliteit	€/aansluiting, €/kW	103.378 + 640	103.378 + 640	103.378 + 640

\* Vesta MAIS hanteert voor de meeste kengetallen een onder- en bovenwaarde, bij de doorrekening van de strategieën wordt de middenwaarde toegepast. Zie ook het hoofdstuk over de gevoeligheidsanalyse.  
 \*\* LTAS = Lagetemperatuurafgiftesysteem. Gegeven zijn de investeringskosten van aanpassingen ten behoeve van de lage temperatuur radiatoren van een woning.  
 \*\*\* SPF = Seasonal performance factor. Deze factor corrigeert de COP (Coefficient of performance) voor fluctuaties over de seizoenen.

### 2.3.2 Variant 1b – combiwarmtepomp met buitenluchtcollector

In strategie 1b worden elektrische water-water warmtepompen ingezet, bestaande uit een bodemcollector met warmtewisselaar en een binnenunit met warmtepomp. De bodemcollector wordt onder of nabij de woning aangebracht in de bodem. Bodemwarmte is de belangrijkste warmtebron, de warmtepomp wordt aangedreven met elektriciteit.



Onderstaande tabel toont een selectie van kengetallen die het meest bepalend zijn voor de resulterende berekende nationale kosten. De gerapporteerde kosten reflecteren de basisbedragen exclusief kostenreducties als gevolg van leereffecten, zie paragraaf 5.1. Raadpleeg het functioneel ontwerp Vesta MAIS 4.0 voor additionele informatie over de toegepaste kengetallen en rekenregels. De investeringskosten van het lagetemperatuurafgiftesysteem zijn hetzelfde als in variant met de luchtwarmtepomp.

**Tabel 4: Technische en financiële parameters voor bodemwarmtepompen**

Parameter (bedragen exclusief BTW)	Eenheid	Waarde*		
		Ondergrens	Bovengrens	Middenwaarde
SPF** water-water warmtepomp, schillabel A+	efficiency	4.53	6.35	5.44
SPF water-water warmtepomp, schillabel B	efficiency	3.45	4.68	4.07
SPF water-water warmtepomp, utiliteit	efficiency	3.24	3.76	3.50
Investeringskosten water-water warmtepomp woning	€/aansluiting, €/kW	4.628 + 899	8.460 + 573	6.544 + 736
Investeringskosten water-water warmtepomp utiliteit	€/aansluiting, €/kW	6.000 + 1.480	6.000 + 1.480	6.000 + 1.480

\* Vesta MAIS hanteert voor de meeste kengetallen een onder en bovenwaarde, bij de doorrekening van de strategieën wordt de middenwaarde toegepast.

\*\* SPF = Seasonal performance factor. Deze factor corrigeert de COP (Coefficient of performance) voor fluctuaties over de seizoenen.

## 2.4 Strategie 2 – warmtenet met middentemperatuur (MT) bron

In strategie 2 wordt in de warmtevraag van woningen en gebouwen voorzien via een aansluiting op een warmtenet waarmee warmte op MT-niveau (70°C) wordt aangeleverd vanuit een collectieve MT-warmtebron. Vesta MAIS berekent aan de hand van de marginale kosten voor de collectieve productie van warmte en de kosten voor aanleg van onder andere distributienetten of er vraagclusters in buurten gevormd kunnen worden die voldoende rendabel zijn voor ontwikkeling van een warmtenet. Hierbij wordt onder andere rekening gehouden met de concentratie van bebouwing en warmtevraag.

Er worden vier varianten doorgerekend waarin de vraagkant op identieke wijze wordt doorgerekend en aan de aanbodkant naar drie verschillende typen warmtebronnen wordt gekeken: geothermie, restwarmte en een met groengas gestookte WKK. Voor geothermie worden twee verschillende varianten doorgerekend waarin wel en geen rekening wordt gehouden met schattingen over bodemgeschiktheid.

De haalbaarheid van MT-warmtenetten wordt op buurtniveau doorgerekend. Een aandachtspunt in deze strategie is dat in verband met beperkte broncapaciteit niet elke buurt (tegelijk) dezelfde warmtebron kan gebruiken. Niet elke bron zal daardoor in elke buurt mogelijk blijken. Hiermee wordt rekening gehouden door de capaciteit van een bron toe te delen aan buurten op basis van de hoogste opbrengst (€/jaar/KW) die theoretisch haalbaar is. Dit begint in een eerste iteratieslag voor buurten die tegelijkertijd in aanmerking komen voor dezelfde bron terwijl niet aan beiden geleverd kan worden. In de volgende iteratie dingt een – nog niet aangesloten – buurt mee naar de dichtstbijzijnde bron (of doorkoppeling vanuit de nieuwe aangelegde buurt) waar nog voldoende capaciteit beschikbaar is. De iteratie wordt herhaald totdat de volledige capaciteit van de bron wordt benut. Op deze manier wordt warmte geleverd aan de buurten met de hoogste opbrengsten. Aan welke buurten de gemeente de voorkeur geeft om gebruik te gaan maken van welke bron is in de Leidraad echter niet bekend. Om toch inzicht te geven in de kosten en rekening te houden met verschillen tussen buurten worden de kosten van onderdelen van het warmtenet apart gepresenteerd.

Voor zowel de hoofdstrategie met MT-warmtebronnen als de onderliggende varianten worden daarom afzonderlijk de kosten gegeven voor:

- Distributie: kosten voor alle benodigde infrastructuur binnen de buurt, Onder distributie vallen ook in pandige kosten – zoals extra boosters voor warm tapwater in LT-opties < 70 graden.
- Transport: kosten van een eventuele transportleiding van de warmtebron naar de buurt
- Opwekking: kosten van warmteproductie en kosten die gemaakt worden om (in gebruik name van) de warmtebron te realiseren.

Met deze uitsplitsing wordt een indicatie gegeven van hoe geschikt een buurt is voor aansluiting op een warmtenet met middentemperatuur, onafhankelijk van de vraag of er een geschikte warmtebron aanwezig is. Een businesscase voor een warmtenet wordt namelijk voor een belangrijk deel bepaald in het onderdeel Distributie, waaronder ook de geraamde inkomsten worden geschaard.

Bij de doorrekening van de varianten met geothermie, restwarmte en groengas gelden een aantal specifieke aandachtspunten die in acht moeten worden genomen bij de interpretatie van de resultaten. Deze worden nader toegelicht in de volgende paragrafen. Zie hiervoor ook het gemeenterapport.

De tabel op de volgende pagina toont een selectie van kengetallen die het meest bepalend zijn voor de resulterende berekende nationale kosten. De gerapporteerde kosten zijn exclusief kostenreducties als gevolg van leereffecten (paragraaf 5.1). Raadpleeg het functioneel ontwerp Vesta MAIS 4.0 voor additionele informatie over de toegepaste kengetallen en rekenregels.

Alle gebouwen worden geacht deel te nemen in een buurt, ook met negatieve opbrengsten (of als een andere optie goedkoper zou zijn.) Dit in tegenstelling tot strategie S3 waarbij alleen gebouwen deelnemen met een positieve opbrengst, zie paragraaf 2.5. Er zijn gevallen waar s2a niet uitgerekend wordt omdat er onvoldoende capaciteit over is na meerdere iteraties, dan wordt de strategievariant altijd s2b.



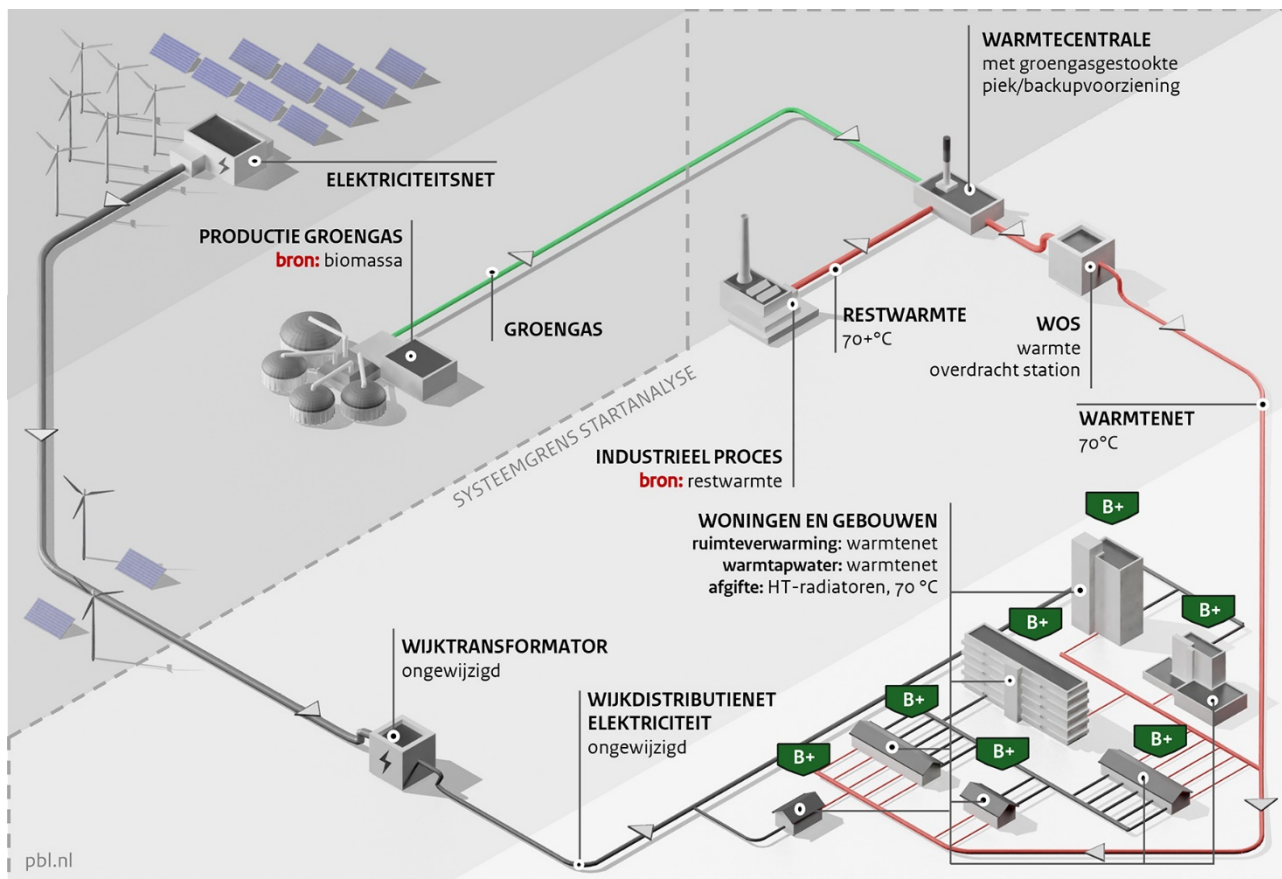
**Tabel 5: Technische en financiële parameters voor warmtenet met middentemperatuur**

Parameter (bedragen exclusief BTW, in euro's van 2018)	Eenheid	Waarde*		
		Ondergrens	Bovengrens	Middenwaarde
Kosten aanleg warmtenet (transport- of distributienet) (afhankelijk van capaciteitsvraag)	€/m	400 + 210 * MW <sup>0,5</sup>	800 + 200 * MW <sup>0,6</sup>	600 + 205 * MW <sup>0,55</sup>
Aansluitkosten woning op MT-warmtenet (ééngezins) – afhankelijk van de lengte van de aansluitleiding (L_aansl) en de kosten ervan (K_aansl_m zie hierboven)	€/woning	-	-	L_aansl * K_aansl_m
Aansluitkosten woning op MT-warmtenet (meergezins) - afhankelijk van de lengte van de aansluitleiding (L_aansl), de kosten ervan (K_aansl_m zie hierboven) en het pandaandeel	€/woning	-	-	L_aansl * K_aansl_m * (1/aantal woningen in pand)
Investeringskosten geothermie-installatie*	€/kW	1480	1909	1694.5
Investeringskosten bio-WKK*	€/kW	415	415	415
Investeringskosten restwarmte-uitkoppeling (afhankelijk van brontype)	€/kW	150 – 800	175 – 1800	162.5 - 1300
Kosten warmtemeters utiliteit (vast en variabel)	€/aansl + €/kW	898.69 + 1.24	926.78 + 1.46	912.74 + 1.35
Warmteverlies bij transport en distributie	%	36	20	28
Aandeel warmtecapaciteit hulpketel ten opzichte van het gevraagd vermogen	%	70	100	85
Aandeel warmtecapaciteit primaire bron ten opzichte van het gevraagd vermogen	%	30	30	30
Aandeel warmtelevering hulpketel in totaal jaarlijks volume	%	20	20	20
Aandeel warmtelevering primaire bron in totaal jaarlijks volume	%	80	80	80

\* Vesta MAIS hanteert voor de meeste kengetallen een onder- en bovenwaarde, bij de doorrekening van de strategieën wordt de middenwaarde toegepast.

#### 2.4.1 Variant 2a – Warmtenet met middentemperatuur restwarmtebron

Voor buurten met een nabijgelegen bestaande (of geplande) warmtebron - bijvoorbeeld een industriële restwarmtebron - wordt in variant 2a berekend wat de kosten zouden zijn van het voeden van het warmtenet vanuit deze bron. De gemeente wordt geacht zelf na te gaan of dit een bron is die op lange termijn (verduurzaamd) warmte kan blijven leveren. Om de kosten te kunnen berekenen wordt een aanname gedaan over waar deze warmtebron wel en niet wordt ingezet. Deze aanname wordt onderbouwd met een rentabiliteitsafweging waarbij wordt gestreefd naar zo laag mogelijke nationale kosten.



## Algemeen

Woningen en gebouwen worden via plaatsing van warmte-afgiftesets op een nieuw te ontwikkelen warmtenet aangesloten. Dankzij de aanvoer van MT-warmte op 70 °C kunnen bestaande afgiftesystemen met radiatoren worden gehandhaafd. De afgifteset voorziet in zowel ruimteverwarming als warmtapwater.

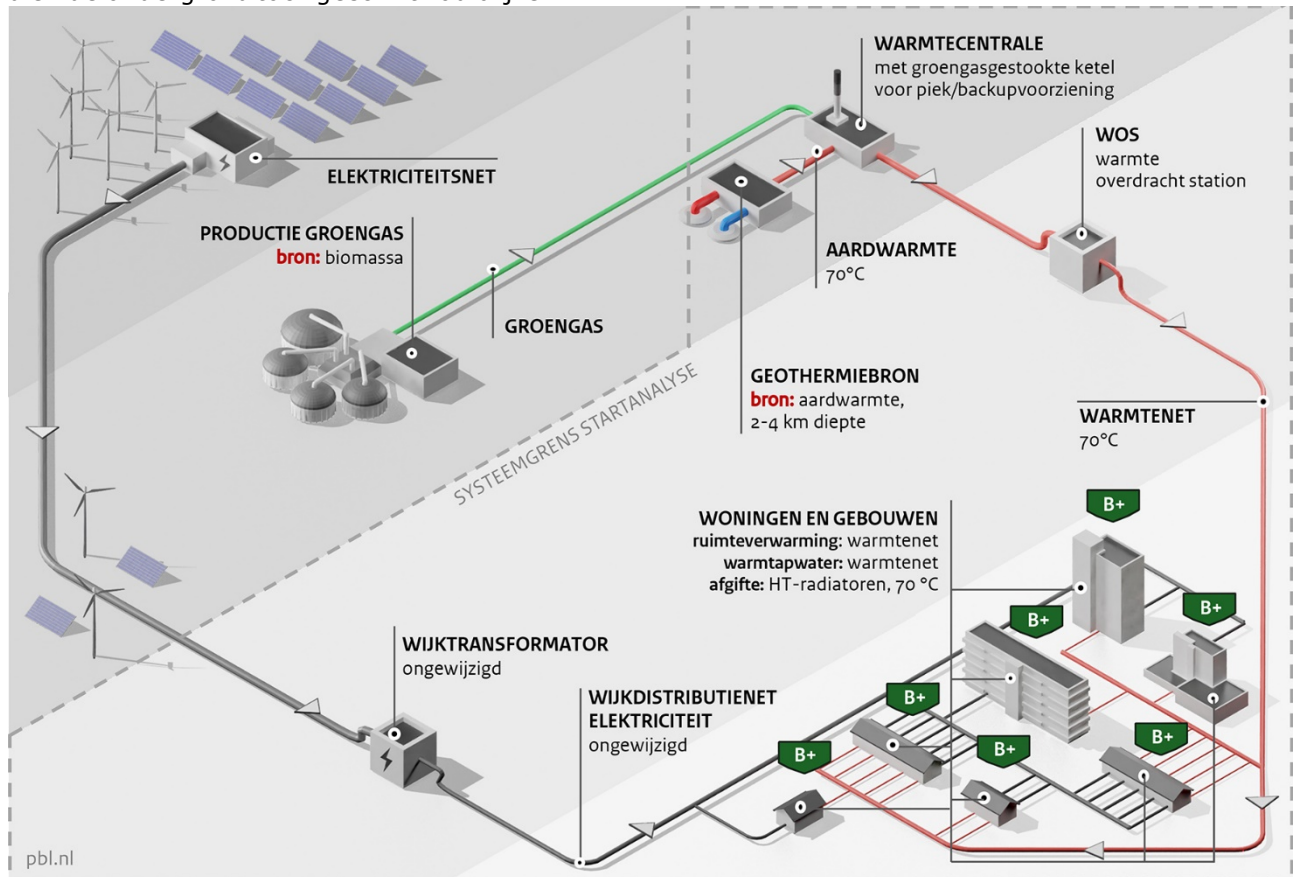
## Broncapaciteit

De capaciteit van de warmtebronnen is afkomstig uit informatie van nationale databestanden, eventueel aangevuld met informatie verzameld in het kader van de Regionale energiestrategie alsmede verstrekt door gemeenten middels een uitvraag van het Expertise Centrum Warmte in het kader van de Leidraad. Het Vesta MAIS-model maakt gebruik van de data over restwarmtebronnen uit de Warmte Atlas van RVO. Hierin is echter momenteel slechts voor een beperkt aantal bronnen een inschatting beschikbaar van het thermisch vermogen. Het is denkbaar dat een aantal potentieel interessante restwarmtebronnen momenteel nog buiten het zicht van het model vallen. Bij gemeenten is er mogelijk meer bekend over potentiële restwarmtebronnen. De uitkomsten uit variant S2d en de gerapporteerde kosten voor de verschillende componenten van het warmtenet kunnen in dat geval als indicatie worden gebruikt voor de haalbaarheid van het ontwikkelen van een warmtenet rond een specifieke bron.

### 2.4.2 Variant 2b en 2c – Warmtenet met MT/HT-bron - Geothermie

In strategie 2b en 2c wordt berekend wat de kosten zouden zijn van het voeden van een warmtenet met een nieuw te realiseren geothermie-installatie. Hierbij wordt in variant 2b gebruik gemaakt van een kanskaart waarbij buurten in minder kansrijke gebieden voor geothermie transportkosten maken om vanuit kansrijke gebieden warmte te halen. In variant 2c worden de transportkosten en het gebruik van de kanskaart buiten beschouwing gelaten. Ongeacht de positie van een gebied op de kanskaart van bodemgeschiktheid voor geothermie, vereist een definitief oordeel over de werkelijke bodemgeschiktheid altijd nader

onderzoek. Er is op landelijk niveau momenteel onvoldoende informatie beschikbaar over bodemgeschiktheid om zonder meer op basis van bureaustudie vast te kunnen stellen in hoeverre geothermie op een bepaalde locatie haalbaar is. Om deze reden is ervoor gekozen een extra strategie met geothermie door te rekenen waarbij de huidige beschikbare inschattingen over bodemgeschiktheid buiten beschouwing zijn gelaten. Dit geeft een indicatie van het potentieel van geothermie in buurten die in variant 2 niet als kansrijk worden aangemerkt, indien de ondergrond toch geschikt zou blijken.



### Algemeen

Woningen en gebouwen worden via plaatsing van warmte-afgiftesets op een nieuw te ontwikkelen warmtenet aangesloten. Dankzij de aanvoer van MT-warmte op 70 °C kunnen bestaande afgiftesysteem met radiatoren worden gehandhaafd. De afgifteset voorziet in zowel ruimteverwarming als warmtapwater.

### Broncapaciteit

Afhankelijk van locatie en het type installaties van afnemers bedraagt de capaciteit van een geothermiedoublet in de praktijk 15 – 25 MWth. In de praktijk is er dan voldoende warmtevraag om de warmtebron kostenefficiënt uit te baten. In de kostenberekening van de geothermiestrategie van een enkele buurt wordt er steeds vanuit gegaan dat meerdere buurten worden aangesloten waardoor er gezamenlijk zo'n grote warmtevraag is dat dit voldoende is om het geothermiedoublet te slaan. Hiermee wordt voorkomen dat de potentie van geothermie onterecht negatief wordt beoordeeld in gebieden met meerdere geschikte kleine aangrenzende buurten, waar mogelijk voldoende vraag georganiseerd kan worden om geothermie haalbaar te maken. Dit is een aandachtspunt bij de interpretatie van de resultaten – de berekende potentie van geothermie op het niveau van individuele buurten zal in vrijwel alle gevallen slechts een deel van de benodigde afzet voor een rendabele businesscase vertegenwoordigen. Om op basis van de startanalyse voor een buurt vast te stellen of nader onderzoek naar de haalbaarheid van geothermie de moeite waard is, dienen er binnen of in de nabijheid van de buurt in totaal circa 2.500 - 5.000 weq aan aansluitingen met een voldoende geconcentreerde warmtevraag gerealiseerd te kunnen worden. Het minimale

aantal woningen wat aangesloten moet worden om tot een rendabele case te komen is sterk afhankelijk van de lokale omstandigheden zoals de temperatuur van de geothermiebron en de afgifte-installaties in woningen en gebouwen. Het aantal afnemers wat op een geothermiebron kan worden aangesloten stijgt naarmate afnemers in staat zijn de retourtemperatuur naar de geothermiebron omlaag te brengen. De retourtemperatuur wordt beïnvloed door het isolatieniveau en de toegepaste afgiftesystemen binnen woningen en gebouwen.

### Geothermie voor de basislast

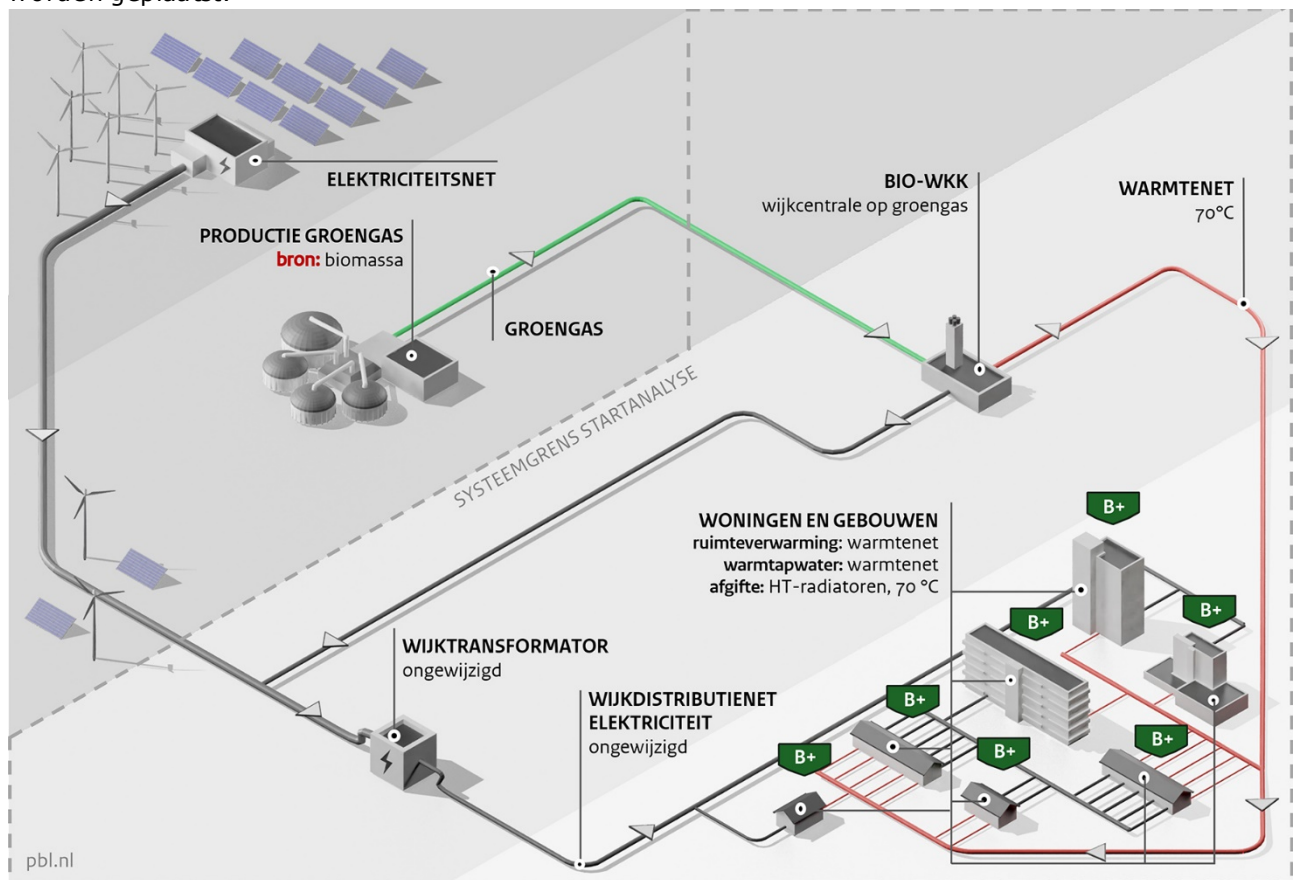
Vanuit technisch en bedrijfseconomisch perspectief is het vooralsnog noodzakelijk aardwarmte in te zetten in de zogenaamde basislast van een warmtenet. Dat wil zeggen dat aardwarmte de basis kan vormen voor de continue warmtevraag die gedurende het hele jaar geleverd moet worden. Aardwarmte is hiervoor geschikt omdat het een warmtebron is die continue aan kan blijven staan en vrij constant een hoog vermogen warmte kan produceren. Aardwarmte is niet zo flexibel in het gebruik als andere warmtebronnen (zoals gasketels of biomassa) en is daarom ook niet geschikt voor pieklast of een warmtevraag op een (tijdelijk) te laag vermogen.

### Groengas

De geothermiebron wordt gecombineerd met een piek- en backup-voorziening op groengas. De beschikbaarheid en kosten van groengas worden behandeld in paragraaf 5.3.2 respectievelijk 5.4.4.

### 2.4.3 Variant 2d - Warmtenet met middentemperatuurbron bio-WKK

In strategie 2d wordt berekend wat de kosten zouden zijn van het voeden van een warmtenet met een nieuw te realiseren bio-WKK-installatie. Hierbij worden voor warmte geen transportkosten gerekend omdat wordt aangenomen dat de installatie in of bij de buurt kan worden geplaatst.



### **Algemeen**

Woningen en gebouwen worden via plaatsing van warmte-afgiftesets op een nieuw te ontwikkelen warmtenet aangesloten. Met de aanvoer van MT-warmte op 70 °C kunnen bestaande afgiftesystemen met radiatoren worden gehandhaafd. De afgifteset voorziet in zowel ruimteverwarming als warmtapwater.

### **Groengas**

De WKK wordt gevoed met groengas. De beschikbaarheid en kosten van groengas worden behandeld in paragraaf 5.3.2 respectievelijk 5.4.4.

### **Broncapaciteit**

De capaciteit van de bio-WKK eenheid wordt afgestemd op de warmtevraag van de buurt. De kosten van een te ontwikkelen warmtenet met groengas WKK wordt daarmee op buurtniveau doorgerekend.

## **2.5 Strategie 3 – Warmtenet met lagetemperatuurbronnen**

In strategie 3 staat verwarming met warmtenetten die worden gevoed met lage temperatuur (LT) warmtebronnen centraal. Deze temperatuur is te laag om direct warmtapwater te maken en ook voor ruimteverwarming zijn vaak nog bewerkingen nodig om de temperatuur naar een niveau te brengen wat geschikt is voor ruimteverwarming. De ontwerper van het systeem heeft de mogelijkheid om de warmte op collectief niveau op een voldoende hoge temperatuur te brengen of dit individueel per woning te doen. De beste oplossing zal afhangen van de lokale situatie. Het collectief opwaarderen naar MT-niveau (70°C) kost veel elektriciteit, maar de aanpassingen in de woningen kunnen dan tot een minimum worden beperkt. Bij levering op LT-niveau vanuit het warmtenet aan de afnemers zijn de distributieverliezen lager, maar wordt er in elk aan te sluiten gebouw of woning een individuele warmtepomp geplaatst. Wanneer de aanvoertemperatuur vanuit het warmtenet voldoende hoog is voor ruimteverwarming (ca. 50 °C) is alleen een boosterwarmtepomp nodig voor de warmtapwatervoorziening. Dan is het elektriciteitsverbruik lager, maar zijn er meer aanpassingen nodig in de gebouwen.

Om de bandbreedte aan mogelijke configuraties te dekken worden in de leidraad onder strategie 3 in totaal vijf varianten doorgerekend. In de varianten worden verschillende typen laagtemperatuurbronnen en toegepast en worden de laagtemperatuurniveaus via verschillende (combinaties van) individuele en collectieve maatregelen opgewaardeerd naar hogere temperatuurniveaus.

1. De warmte wordt bij woningen en gebouwen afgeleverd op LT-niveau (30°C) en binnen woning en gebouw met een individuele combiwarmtepomp opgewaardeerd naar bruikbare temperatuurniveaus voor ruimteverwarming en warmtapwater.
2. De warmte wordt bij woningen en gebouwen afgeleverd op MT-niveau (70°C) en is daarmee binnen woningen en gebouwen direct geschikt voor gebruik voor ruimteverwarming en warmtapwater.
3. De warmte wordt bij woningen en gebouwen afgeleverd op LT-niveau (50°C), is daarmee direct geschikt voor toepassing voor ruimteverwarming binnen woningen en gebouwen, voor warmtapwater wordt een boosterwarmtepomp ingezet om de temperatuur naar een niveau op te waarden geschikt voor warmtapwater
4. De warmte wordt bij woningen en gebouwen afgeleverd op MT-niveau (70°C), als warmtebron wordt een WKO gecombineerd met een drogekoeler voor regeneratie toegepast. De onttrokken warmte uit de WKO wordt op collectief niveau opgewaardeerd naar MT-niveau (70°C) en aangeleverd aan woningen en gebouwen.
5. De warmte wordt bij woningen en gebouwen afgeleverd op MT-niveau (70°C), als warmtebron wordt een WKO toegepast, voor regeneratie wordt omgevingswarmte uit oppervlaktewater gebruikt. Dit concept wordt ook wel aangeduid als 'aquathermie' of TEO (Thermische Energie uit Oppervlaktewater). De onttrokken warmte uit de WKO wordt op collectief niveau opgewaardeerd naar MT-niveau (70°C) en aangeleverd aan woningen en gebouwen.

### **Lokale potentie**

Varianten 1 t/m 3 zijn alleen haalbaar bij beschikbaarheid van een nabijgelegen laagtemperatuur-restwarmtebron, voor toepassing van variant 5 dient er nabijgelegen oppervlaktewater aanwezig te zijn. Verder dient voor varianten 4 en 5 de ondergrond geschikt te zijn voor toepassing van WKO. In gebieden met ongeschikte ondergrond voor WKO worden woningen en gebouwen in variant 4 en 5 uitgerust met individuele luchtwarmtepompen.

### **Beperking in scope warmtenet**

Binnen strategie 3 worden niet per definitie alle woningen en gebouwen op het warmtenet aangesloten. Per woning of gebouw wordt aan de hand van een rentabiliteitsafweging bepaald of het zinvol is om een woning of gebouw op het warmtenet aan te sluiten. Als dit niet goed haalbaar blijkt, wordt een woning of gebouw van een individuele combiwarmtepomp met buitenluchtcollector voorzien, vergelijkbaar met strategie 1A. Naarmate de haalbaarheid van een laagtemperatuurnet in een buurt verslechtert, komen de berekende nationale kosten daardoor dichterbij het resultaat van strategie 1A te liggen.

Onderstaande tabel toont een selectie van kengetallen die het meest bepalend zijn voor de resulterende berekende nationale kosten in strategie 3. De gerapporteerde kosten reflecteren de basisbedragen exclusief kostendaling als gevolg van leereffecten (paragraaf 5.1). Raadpleeg het functioneel ontwerp Vesta MAIS 4.0 voor additionele informatie over de toegepaste kengetallen en rekenregels.

**Tabel 6: Technische en financiële parameters voor warmtenet met laagtemperatuurbronnen**

Parameter (bedragen exclusief BTW)	Eenheid	Waarde*		
		Ondergrens	Bovengrens	Middenwaarde
SPF** individuele warmtepomp, ruimteverwarming schillabel A+	efficiency	ongeschat	ongeschat	8
SPF individuele warmtepomp, ruimteverwarming schillabel B	efficiency	4,2	8	6,1
SPF individuele warmtepomp, warm tapwater	efficiency	ongeschat	ongeschat	2,5
Investeringskosten individuele warmtepomp woning inclusief buffervat en verzwaarde elektriciteitsaansluiting	€/aansluiting	ongeschat	ongeschat	4500
Investeringskosten individuele booster warmtepomp voor warm water inclusief buffervat en verzwaarde elektriciteitsaansluiting	€/aansluiting	ongeschat	ongeschat	3500
Investeringskosten individuele warmtepomp utiliteit inclusief buffervat en verzwaarde elektriciteitsaansluiting	€/kW	ongeschat	ongeschat	700
Aandeel eigen opwekking ruimteverwarming Label A+	factor	0,3	0,6	0,45
Aandeel eigen opwekking ruimteverwarming Label B	factor	0,6	0,9	0,75
Aandeel eigen opwekking warm tapwater bij aflevering op 30 graden	factor	ongeschat	ongeschat	0,6
Aandeel eigen opwekking warm tapwater bij aflevering op 50 graden	factor	ongeschat	ongeschat	0,3
Investeringskosten uitkoppeling bron bij bestaande bron	€/kW	ongeschat	ongeschat	250
Investeringskosten aanleg buffervat voor seizoenopslag en dagopslag***	€/gebouw	ongeschat	ongeschat	1000
Investeringskosten WKO-bron ****	€/kW	103,5	126,5	115
Investeringskosten TEO-warmtewisselaar*****	€/kW	198	242	220
Extra investeringskosten voor regeneratie bij WKO zonder TEO	Ratio t.o.v. WKO investering	ongeschat	ongeschat	1,1
Investeringskosten warmtepomp collectief als hulpvoorziening	€/kW	ongeschat	ongeschat	547,5
Investeringskosten warmteoverdrachtstation	€/kW	113,85	139,45	126,65
Aandeel van het gevraagde vermogen dat door de primaire bron wordt geleverd	factor	ongeschat	ongeschat	0,3
Aandeel van het gevraagde volume dat door de primaire bron wordt geleverd	factor	0,3	1,0	0,65

\* Vesta MAIS hanteert voor de meeste kengetallen een onder en bovenwaarde, bij de doorrekening van de strategieën wordt de middenwaarde toegepast.

\*\* SPF = Seasonal performance factor. Deze factor corrigeert de COP (Coefficient of performance) voor fluctuaties over de seizoenen.

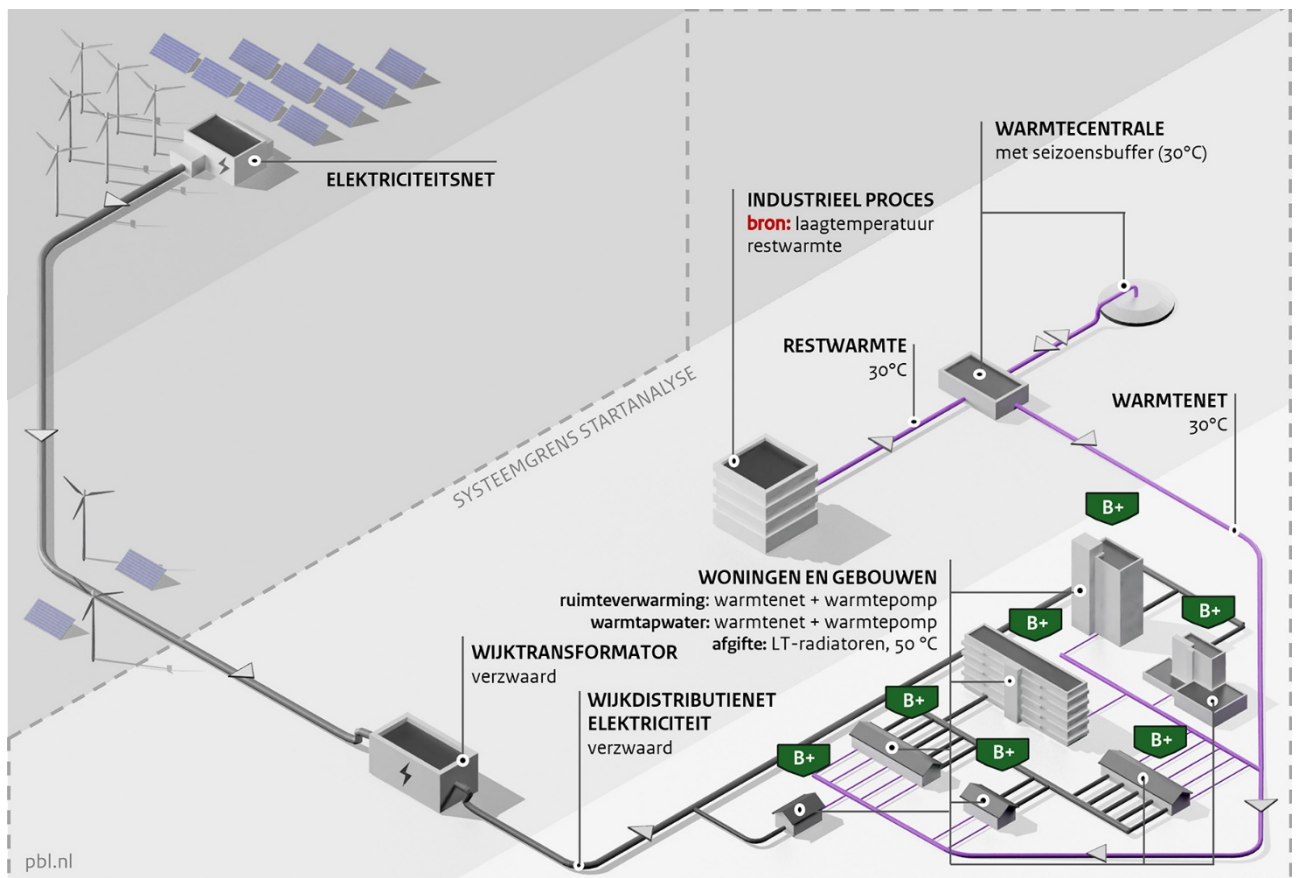
\*\*\* Minimale investering voor een buffervat bedraagt 100.000 euro.

\*\*\*\* Minimale investering WKO-bron bedraagt 135.000 à 165.000 euro met middenwaarde 150.000 euro.

\*\*\*\*\* Minimale investering TEO-warmtewisselaar bedraagt 90.000 à 110.000 euro met middenwaarde 100.000 euro  
Het vijftal varianten wordt nader toegelicht in de volgende paragrafen.

### 2.5.1 Variant 3a – Warmtenet met lagetemperatuurbron – aflevering op 30°C

Laagtemperatuurwarmte afkomstig van een (industriële) restwarmtebron wordt via een nieuw te ontwikkelen laagtemperatuur warmtenet bij woningen en gebouwen afgeleverd op LT-niveau (30°C) en binnen woning en gebouw met een individuele combiwarmtepomp opgewaardeerd naar de juiste temperatuurniveaus voor ruimteverwarming (50°C) en warmtapwater. Plaatsing van individuele warmtepompen in alle woningen en gebouwen vereist een verzwaring van het elektriciteitsnet in de buurt.



#### Algemeen

Woningen en gebouwen worden op een nieuw te ontwikkelen warmtenet aangesloten en van een combiwarmtepomp voorzien waarmee het temperatuurniveau van 30 °C wordt verhoogd naar 50 °C voor afgifte aan de ruimte via nieuw te plaatsen LT-radiatoren. De combiwarmtepomp voorziet in zowel ruimteverwarming als warmtapwater. De warmte is afkomstig van een nabijgelegen industriële restwarmtebron.

#### Broncapaciteit

De berekende capaciteit van de lagetemperatuurbron wordt afgestemd op de warmtevraag van de gebouwen. Daarbij gelden twee beperkingen: 1. voor ieder gebouw moet de aansluiting op het warmtenet rendabeler zijn dan het alternatief van een individuele warmtepomp; en 2. de berekende capaciteit mag niet groter zijn dan de maximale capaciteit op basis van de beschikbare informatie over de warmtebron. Het Vesta MAIS-model maakt gebruik van de data over restwarmtebronnen uit de Warmte Atlas van RVO, eventueel aangevuld met informatie geleverd door gemeenten in het kader van de uitvraag door het Expertise Centrum



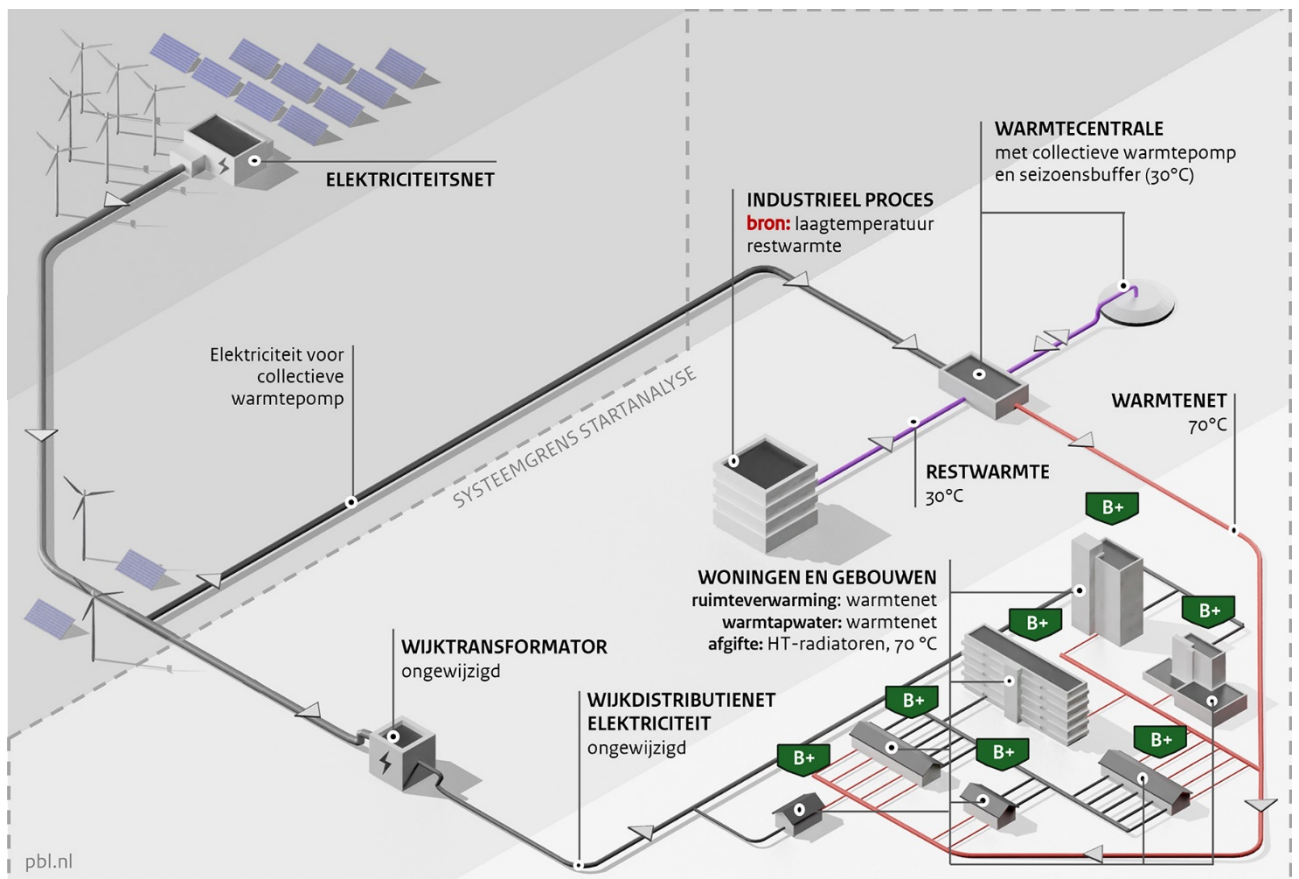
Warmte voor de Leidraad. Op dit moment is echter slechts voor een beperkt aantal bronnen een inschatting beschikbaar van het thermisch vermogen. Het is denkbaar dat een aantal potentieel interessante restwarmtebronnen momenteel nog buiten het zicht van het model vallen.

### Buffer

Om gedurende de koudere winterdagen voldoende warmte te kunnen leveren en ook op momenten te kunnen leveren waarop er vanuit de restwarmtebron tijdelijk geen warmte beschikbaar is wordt het warmtenet gecombineerd met een buffervat met seizoensopslag.

## 2.5.2 Variant 3b – Warmtenet met laagtemperatuurbron – aflevering op 70°C

Laagtemperatuurwarmte afkomstig van een (industriële) restwarmtebron wordt met een collectieve warmtepomp in temperaturniveau verhoogd naar (70°C) en via een nieuw te ontwikkelen laagtemperatuur warmtenet bij woningen en gebouwen afgeleverd. Hiermee kan direct worden voorzien in ruimteverwarming en warmtapwater. Dankzij toepassing van de collectieve warmtepomp vereist deze variant geen verzwaring van het elektriciteitsnet in de buurt.



### Broncapaciteit

De berekende capaciteit van de laagtemperatuurbron wordt afgestemd op de warmtevraag van de gebouwen. Daarbij gelden twee beperkingen: 1. voor ieder gebouw moet de aansluiting op het warmtenet rendabeler zijn dan het alternatief van een individuele warmtepomp; en 2. de berekende capaciteit mag niet groter zijn dan de maximale capaciteit op basis van de beschikbare informatie over de warmtebron. Het Vesta MAIS-model maakt gebruik van de data over restwarmtebronnen uit de Warmte Atlas van RVO, eventueel aangevuld met informatie geleverd door gemeenten in het kader van de uitvraag door het Expertise Centrum Warmte voor de Leidraad. Op dit moment is echter slechts voor een beperkt aantal bronnen een inschatting beschikbaar van het thermisch vermogen. Het is denkbaar dat een aantal

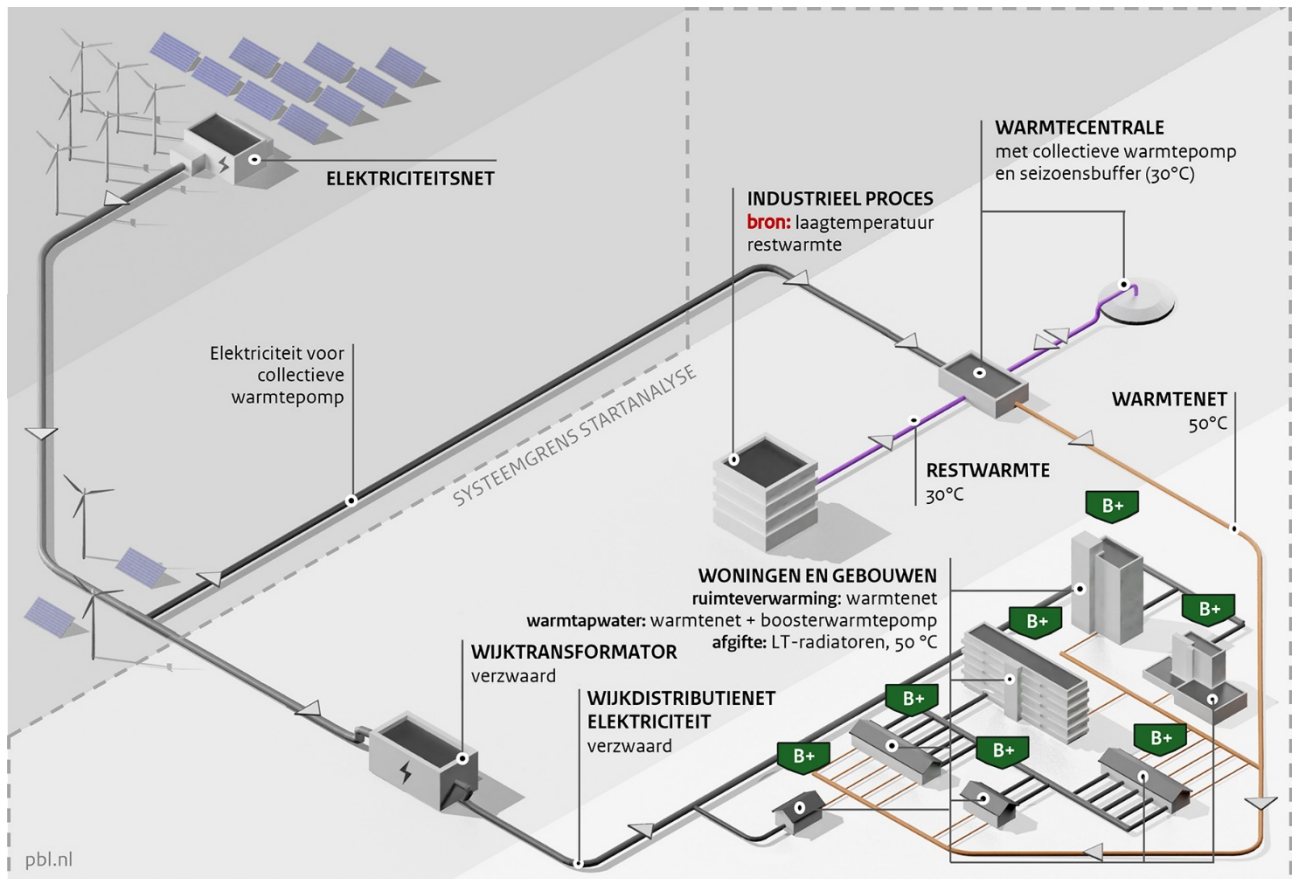
potentieel interessante restwarmtebronnen momenteel nog buiten het zicht van het model vallen.

### Buffer

Om gedurende de koudere winterdagen voldoende warmte te kunnen leveren en ook op momenten te kunnen leveren waarop er vanuit de restwarmtebron tijdelijk geen warmte beschikbaar is wordt het warmtenet gecombineerd met een buffervat met seizoensopslag.

### 2.5.3 Variant 3c – Warmtenet met LT-bron – aflevering op 50 °C

Laagtemperatuurwarmte afkomstig van een (industriële) restwarmtebron wordt met een collectieve warmtepomp verhoogd en bij woningen en gebouwen afgeleverd op LT-niveau (50°C). De aanvoer van warmte is daarmee direct geschikt voor toepassing voor ruimteverwarming binnen woningen en gebouwen. Bestaande radiatoren worden vervangen met LT-radiatoren. Voor warmtapwater wordt een boosterwarmtepomp ingezet. Omdat het merendeel van de warmte op gecentraliseerd niveau in temperatuurniveau wordt verhoogd met een collectieve warmtepomp vereist deze variant geen verzwaring van het elektriciteitsnet in de buurt.



### Broncapaciteit

De berekende capaciteit van de laagtemperatuurbron wordt afgestemd op de warmtevraag van de gebouwen. Daarbij gelden twee beperkingen: 1. voor ieder gebouw moet de aansluiting op het warmtenet rendabeler zijn dan het alternatief van een individuele warmtepomp; en 2. de berekende capaciteit mag niet groter zijn dan de maximale capaciteit op basis van de beschikbare informatie over de warmtebron. Het Vesta MAIS-model maakt gebruik van de data over restwarmtebronnen uit de Warmte Atlas van RVO, eventueel aangevuld met informatie geleverd door gemeenten in het kader van de uitvraag door het Expertise Centrum Warmte voor de Leidraad. Op dit moment is echter slechts voor een beperkt aantal bronnen een inschatting beschikbaar van het thermisch vermogen. Het is denkbaar dat een aantal

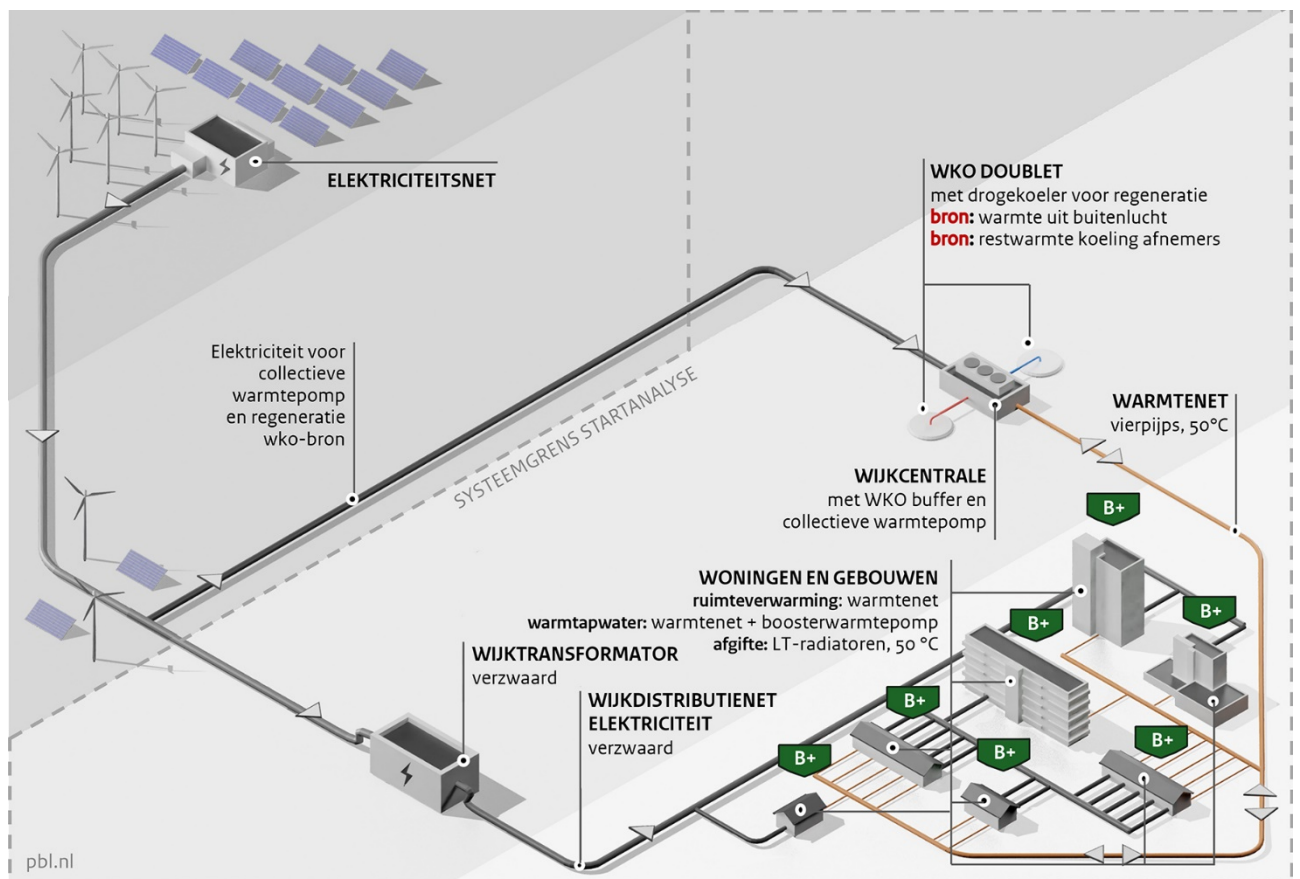
potentieel interessante restwarmtebronnen momenteel nog buiten het zicht van het model vallen.

### Buffer

Om gedurende de koudere winterdagen voldoende warmte te kunnen leveren en ook op momenten te kunnen leveren waarop er vanuit de restwarmtebron tijdelijk geen warmte beschikbaar is wordt het warmtenet gecombineerd met een buffervat met seizoensopslag.

## 2.5.4 Variant 3d – Warmtenet met laagtemperatuurbron – WKO met aflevering op 50 °C

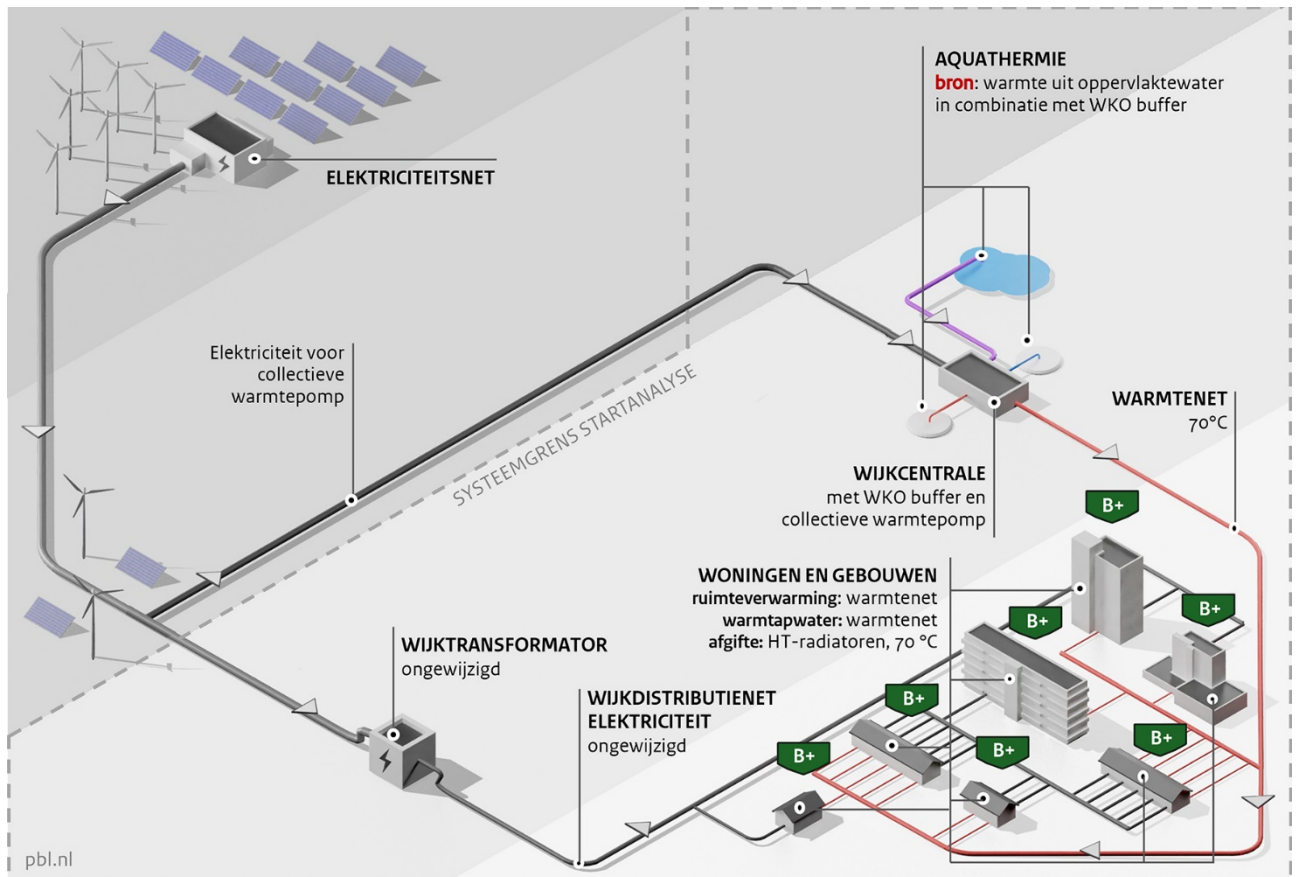
Laagtemperatuurwarmte afkomstig uit een WKO-bron wordt met een collectieve warmtepomp opgewaardeerd naar een temperatuurniveau geschikt voor ruimteverwarming bij aflevering op 50°C en wordt via een nieuw te ontwikkelen warmtenet bij woningen en gebouwen afgeleverd. Bestaande radiatoren worden vervangen voor LT-radiatoren. Voor warmtapwater maken afnemers gebruik van individuele boosterwarmtepompen. Op collectief niveau wordt een drogekoeler toegepast voor regeneratie van de WKO. Dankzij toepassing van de collectieve warmtepomp vereist deze variant geen verzwaring van het elektriciteitsnet in de buurt.



## 2.5.5 WKO

Om de WKO in balans te houden moet de warmte welke gedurende de winter uit de WKO wordt onttrokken gedurende de zomer weer worden aangevuld. De balans wordt deels hersteld door in de zomer de woningen en gebouwen te koelen met koud water uit de WKO-bron en het opgewarmde water wat terugkomt uit de woningen en gebouwen op te slaan in de WKO. Het resterend benodigd volume warmte om de WKO in balans te brengen wordt geproduceerd met een drogekoeler. De drogekoeler wordt aangedreven met elektriciteit en onttrekt gedurende de warmere seizoenen omgevingswarmte uit de buitenlucht voor opslag in de WKO. De koeling wordt als baat berekend. Bij woningen wordt deze als comfortwinst

gewaardeerd en bij utiliteitsgebouwen vervangt het de reguliere airconditioning. Variant 3e – Warmtenet met laagtemperatuurbron, WKO en aflevering op 70 °C. Laagtemperatuurwarmte afkomstig uit een WKO-bron wordt met een collectieve warmtepomp opgewaardeerd naar MT-niveau (70°C) en wordt via een nieuw te ontwikkelen warmtenet bij woningen en gebouwen afgeleverd. Hierdoor kunnen de bestaande radiatoren in gebruik blijven en kan direct in de vraag naar warmtapwater worden voorzien. Voor regeneratie van de WKO wordt omgevingswarmte uit oppervlaktewater gewonnen. Dankzij toepassing van de collectieve warmtepomp vereist deze variant geen verzwaring van het elektriciteitsnet in de buurt.

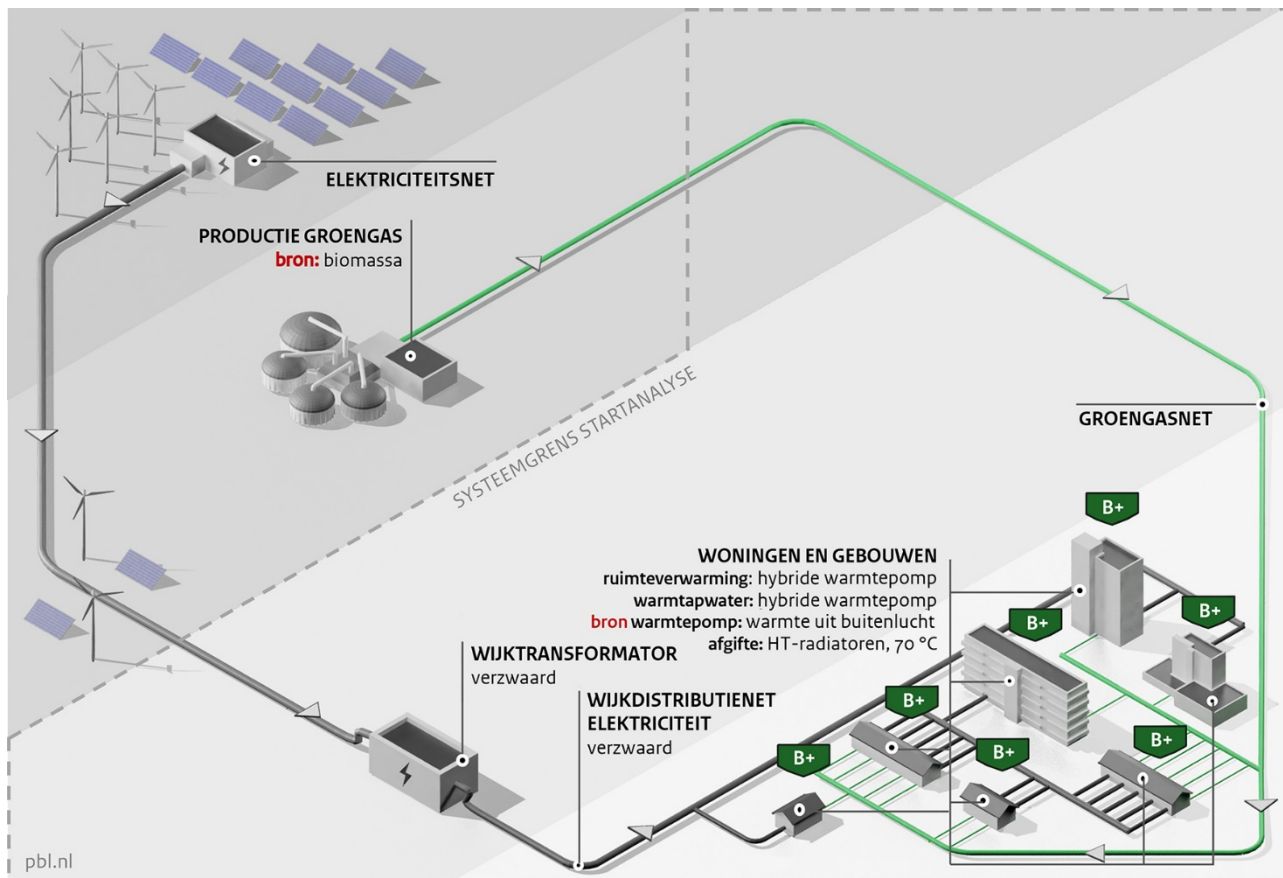


## WKO

Om de WKO in balans te houden moet de warmte welke gedurende de winter uit de WKO wordt onttrokken gedurende de zomer weer worden aangevuld. In deze variant wordt de WKO alleen ingezet voor koeling van utiliteitsgebouwen en niet voor woningen. De WKO wordt in balans gehouden door in de zomer warmte te onttrekken uit oppervlaktewater.

## 2.6 Strategie 4 – Hernieuwbaar gas met hybride warmtepomp

In strategie 4 worden hybride warmtepompen toegepast. Een hybride warmtepomp combineert een (kleine) elektrische warmtepomp met een HR-combiketel op groengas. Het merendeel van de warmtevraag voor ruimteverwarming wordt ingevuld met de warmtepomp, op koude dagen waarop de warmtepomp onvoldoende vermogen kan leveren springt de gasketel bij. Het vermogen van de warmtepomp in hybride warmtepompsystemen ligt lager in verhouding tot combiwarmtepompen waardoor het elektriciteitsnet in de meeste gevallen niet verzwakt hoeft te worden.



## Groengas

In deze strategie wordt naast elektriciteit ook groengas toegepast voor de warmteopwekking. De beschikbaarheid en kosten van groengas worden behandeld in paragraaf 5.3.2 respectievelijk 5.4.4.

Onderstaande tabel toont een selectie van kengetallen die het meest bepalend zijn voor de resulterende berekende nationale kosten in strategie 4. De gerapporteerde kosten zijn exclusief kostendaling als gevolg van leereffecten (paragraaf 5.1). Raadpleeg het functioneel ontwerp Vesta MAIS 4.0 voor additionele informatie over de toegepaste kengetallen en rekenregels.

**Tabel 7: Technische en financiële parameters voor hybride warmtepompen.**

Parameter (bedragen exclusief BTW)	Eenheid	Waarde*		
		Ondergrens	Bovengrens	Middenwaarde
LTAS (afhankelijk van woningtype – kental voor utiliteit is per m2 en afhankelijk van type en wijkt af van waardes voor woningen hier genoemd)	€/woning	401-958	2015-3222	1208-2090
SPF** hybride warmtepomp	efficiency	3.6	5.2	4.4
Aandeel elektrisch opgewekt door hWP, schillabel A+	%	52	58	55
Aandeel elektrisch opgewekt door hWP, schillabel B	%	49	56	52.5
Investeringskosten hybride warmtepomp	€/aansluiting, €/kW	2808.41 + 624.09	4830.47 + 1073.44	3819.44 + 848.76
Investeringskosten lucht-water warmtepomp utiliteit	€/aansluiting, €/kW	103.378 + 640	103.378 + 640	103.378 + 640

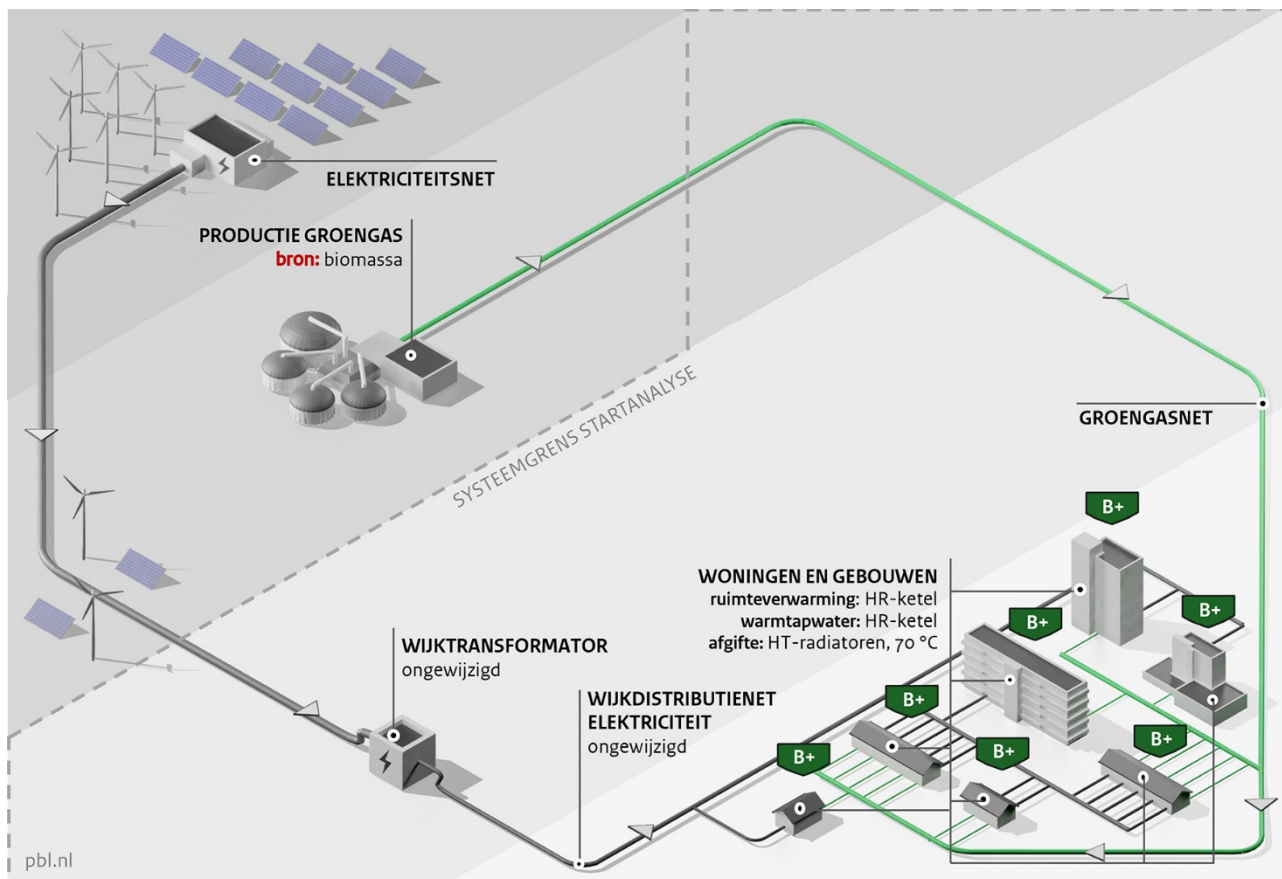
\* Vesta MAIS hanteert voor de meeste kengetallen een onder- en bovenwaarde, bij de doorrekening van de strategieën wordt de middenwaarde toegepast. Zie ook het hoofdstuk over de gevoeligheidsanalyse.

\* LTAS = Lagetemperatuurafgiftesysteem. Gegeven zijn de investeringskosten van aanpassingen ten behoeve van de lage temperatuur radiatoren van een woning.

\*\* SPF = Seasonal performance factor. Deze factor corrigeert de COP (Coefficient of performance) voor fluctuaties over de seizoenen.

## 2.7 Strategie 5 – Hernieuwbaar gas met hoogrendementketel

In strategie 5 worden groengas gestookte combiketels toegepast. Zowel ruimteverwarming als het warmtapwater worden met een HR-ketel geproduceerd door een HR-brander op gas. De aanvoertemperatuur voor ruimteverwarming ligt in deze variant op 50°C, bestaande radiatoren worden vervangen door LT-radiatoren.



## Groengas

In deze strategie wordt naast elektriciteit ook groengas toegepast voor de warmteopwekking. De beschikbaarheid en kosten van groengas worden behandeld in paragraaf 5.3.2 respectievelijk 5.4.4.

Onderstaande tabel toont een selectie van kengetallen die het meest bepalend zijn voor de resulterende berekende nationale kosten in strategie 5. De gerapporteerde kosten zijn exclusief kostendaling als gevolg van leereffecten (paragraaf 5.1). Raadpleeg het functioneel ontwerp Vesta MAIS 4.0 voor additionele informatie over de toegepaste kengetallen en rekenregels.

**Tabel 8: Technische en financiële parameters voor HR-ketels.**

Parameter (bedragen exclusief BTW)	Eenheid	Waarde*		
		Ondergrens	Bovengrens	Middenwaarde
Efficiency van HR-ketels	efficiency	1.07	1.04	1.055
Investeringskosten HR-ketel woning	€/aansluiting	1859.50	1692.19	1775.80
Investeringskosten HR-ketel utiliteit	€/kW	79.6581	79.6581	79.6581

\* Vesta MAIS hanteert voor de meeste kengetallen een onder- en bovenwaarde, bij de doorrekening van de strategieën wordt de middenwaarde toegepast. Zie ook het hoofdstuk over de gevoeligheidsanalyse.

# 3. Methode

In dit hoofdstuk wordt toegelicht hoe de warmtevoorziening van de gebouwde omgeving met het Vesta MAIS-rekenmodel is doorgerekend ten behoeve van de startanalyse. Hiertoe wordt de modellering van de belangrijkste onderdelen die ten grondslag liggen aan de doorrekening van de startanalyse op hoofdlijnen toegelicht, voor zover dit nodig is voor een juiste interpretatie van de resultaten van de startanalyse. Voor een gedetailleerde omschrijving van rekenregels en uitgangspunten kan het functioneel ontwerp 4.0 (Schepers, 2019) van Vesta MAIS worden geraadpleegd. Voor een uitleg van de berekening van nationale kosten wordt verwezen naar het Gemeenterapport.

Dit hoofdstuk is als volgt ingedeeld:

- |   |  |
|---|--|
| <b>3.1 en 3.2</b><br>Vesta MAIS               | Paragraaf 1 presenteert een korte algemene omschrijving van Vesta MAIS, het rekenmodel waarmee de startanalyse is doorgerekend. Paragraaf 2 beschrijft de instellingen van het model die speciaal zijn voor de startanalyse. |
| <b>3.3</b> Startsituatie                      | In paragraaf 3 is uiteengezet hoe de huidige inrichting van de gebouwde omgeving is gekarakteriseerd in de startsituatie die ten grondslag ligt aan de doorrekening van alle strategieën en het referentiebeeld.             |
| <b>3.4</b> Energiebesparende maatregelen      | Paragraaf 4 geeft toelichting bij de gehanteerde methode voor bepaling van investeringskosten in schilmaatregelen en de resulterende besparingen op de warmtevraag.  |
| <b>3.5</b> Warmteaanbodtechnieken in gebouwen | Paragraaf 5 beschrijft hoe het model rekent met warmteproductie in gebouwen (zoals warmtepompen) en warmteafgiftesystemen zoals radiatoren.  |
| <b>3.6</b> Energie-infrastructuur             | In paragraaf 6 wordt toegelicht op welke wijze de productie, distributie en eindgebruik van warmte wordt doorgerekend in de analyse en welke uitgangspunten en aandachtspunten hierop van toepassing zijn.                   |

## 3.1 Het Vesta MAIS-model

Het Vesta MAIS-model is een ruimtelijk energiemodel van de gebouwde omgeving (woningen, utiliteit en glastuinbouw). Het doel van Vesta MAIS is het verkennen van mogelijkheden om energiegebruik en CO<sub>2</sub>-uitstoot te verminderen en alternatieven voor het gebruik van aardgas te verkennen. Vesta MAIS brengt het technisch-economisch potentieel van gebouwen gebiedsmaatregelen in kaart; rekent de effecten van beleidsinstrumenten door op de nationale kosten, het energiegebruik en (onder andere) CO<sub>2</sub>-emissies; brengt de business case van warmtebedrijven en gebouweigenaren in beeld alsmede de financiële gevolgen voor de gebruikers van energie. Tenslotte schetst het model de gevolgen voor de infrastructuur van het warmte-, gas- en elektriciteitsnet. Het model kan zowel op nationaal als regionaal niveau rekenen. Daarbij wordt rekening gehouden met lokale omstandigheden onder andere door het gebruik van ruimtelijke gegevensbestand op gebouwniveau zoals de Basisregistratie Adressen en Gebouwen en het gecertificeerde energielabel van gebouwen van RVO en op gebiedsniveau over de lokale aanwezigheid van warmtebronnen.

Vesta kan output genereren voor verschillende zichtjaren.

### 3.1.1 Technisch-economische verkenning

Vesta MAIS brengt de kosteneffectiviteit van gebouw- en gebiedsmaatregelen voor de warmtetransitie in beeld. Het is echter geen optimalisatiemodel dat 'automatisch' de meest kosteneffectieve route naar een aardgasvrije gebouwde omgeving berekent. Ook is het geen simulatiemodel waarmee een meest waarschijnlijke toekomst kan worden bepaald. Het model is primair ingericht op het verkennen van het technisch-economisch potentieel van



maatregelen betreffende energiebesparing, hernieuwbare energie en collectieve energiesystemen en de impact van beleidsmaatregelen daaromtrent. Daartoe kunnen voor specifieke oplossingen de nationale kosten worden berekend en is het mogelijk de CO<sub>2</sub>-reductie, kosten en baten voor betrokken actoren te berekenen. Belangrijke actoren die worden onderscheiden zijn energieproducenten, transporteurs, distributeurs, leveranciers, financiers alsmede eigenaren en gebruikers van de gebouwen en de overheid.

### 3.1.2 Ruimtelijk schaalniveau

Zowel gebouw- als gebiedsmaatregelen kunnen worden doorgerekend waarbij zoveel mogelijk rekening wordt gehouden met lokale omstandigheden in heel Nederland. Met het model kunnen simulaties worden uitgevoerd om na te gaan welke mix en volgorden van gebouw- en gebiedsmaatregelen het meest kosteneffectief is.

Het model berekent per individueel gebouw of woning de kosten van maatregelen om energie te besparen en de resterende energievraag aardgasvrij op te wekken. Voor het opwekken van warmte kijkt het model naar zowel gebouwgebonden maatregelen zoals individueel per woning te plaatsen warmtepompen als collectieve maatregelen zoals een collectieve WKO-bron of de ontwikkeling van een warmtenet. Omdat collectieve energiesystemen alleen kansrijk zijn als de afstand tussen warmteaanbod en warmtevraag beperkt is, bevat het model een ruimtelijke verdeling van potentiële warmtebronnen en -afnemers. Voor de aanbodkant is daartoe vastgelegd waar zich in Nederland bedrijven bevinden die restwarmte kunnen leveren, en waar de ondergrond meer of minder geschikt is voor geothermie en WKO. Voor de vraagkant is vastgelegd waar woningen en utiliteitsgebouwen zijn gelokaliseerd.

De resultaten worden gerapporteerd per CBS-buurt.

### 3.1.3 Open Source

Mede dankzij een financiële bijdrage van Netbeheer Nederland is in 2016 aandacht besteed aan het toegankelijk maken van het model voor externe energiedeskundigen met enige IT-kennis. Dit heeft geleid tot het vrijgeven van het model als open source code in januari 2017<sup>4</sup>. Het Vesta MAIS-model is eigendom van het Planbureau voor de Leefomgeving. Iedereen kan vrijelijk beschikken over het open source model met inachtneming van de GNU General Public License Version 3.

## 3.2 Toepassing Vesta MAIS voor de Startanalyse

Ten behoeve van de startanalyse is Vesta MAIS toegepast voor de doorrekening van dertien varianten, verdeeld over vijf strategieën (zie hoofdstuk 2), te realiseren in 2030. Om de extra kosten t.o.v. nu te kunnen bepalen, zijn ook berekeningen gemaakt voor de startsituatie in 2018.

Voor rapportage van de resultaten hanteren we de buurtindeling van CBS voor 2019. In dat jaar waren er ruim 13.400 buurten in Nederland.

Bij de doorrekening van het merendeel van de varianten worden vooraf een aantal keuzes aan het model opgelegd, bijvoorbeeld over de toe te passen energiebesparende maatregelen en warmte-opwekkers. Op basis daarvan berekent het model vervolgens de techno-economische prestaties van de varianten. Bij uitzondering selecteert het model in een aantal varianten het type oplossing op basis van kosteneffectiviteit, zie de beschrijving in hoofdstuk 2.

### 3.2.1 Nationale kosten

In de oktoberversie van de Startanalyse worden de kosten uitsluitend op het niveau van nationale kosten gerapporteerd en wordt nog geen gebruik gemaakt van de mogelijkheid in het model de berekende kosten op actor-niveau te presenteren. Rapportage van

---

<sup>4</sup> Modelcode en bijbehorende wiki zijn te raadplegen op <https://github.com/RuudvandenWijn-gaart/VestaDV/wiki>

eindgebruikerskosten op actor-niveau volgt in een volgende versie, gepland voor publicatie in 2020. Om eindgebruikerskosten te kunnen berekenen, is eerst meer inzicht nodig in de uitwerking van een aantal afspraken in het Klimaatakkoord over energiebelastingen, subsidies en de vaststelling van warmtetarieven.

Nationale kosten zijn de totale kosten in Nederland van alle maatregelen die nodig zijn om ergens (bijvoorbeeld in een buurt) een strategie uit te voeren, ongeacht wie die kosten betaalt, inclusief de baten van energiebesparing, maar exclusief belastingen, heffingen en subsidies. Nationale kosten zijn dus niet de kosten die de rijksoverheid voor zijn rekening neemt. Paragraaf 4.5.1 van het Gemeenterapport<sup>5</sup> geeft meer uitleg over dit begrip nationale kosten.

### 3.2.2 Focus op bestaande bouw

De startanalyse kijkt alleen naar bestaande bouw. Toekomstige ruimtelijke ontwikkelingen zoals de bouw van nieuwe woningen en utiliteitsgebouwen zijn buiten beschouwing gelaten. Aardgasvrije warmtevoorziening voor nieuwbouw is vanaf juni 2018 een logischerwijs integraal onderdeel van de nieuwbouwontwikkelingen. Vanaf dat moment is de aansluitplicht van gebouwen op aardgas vervallen. Dit betekent niet dat er in de praktijk geen sprake is van potentiële synergievoordelen tussen de ontwikkeling van de warmtevoorziening voor nieuwbouw en het uitfaseren van aardgas binnen bestaande bouw. Voor de ontwikkeling van collectieve energiesystemen kan daar sprake van zijn. Het identificeren van dergelijke aanknopingspunten valt buiten de scope van de startanalyse, maar het strekt wel tot aanbeveling deze mogelijkheid bij nieuwbouwontwikkelingen te verkennen.

Toekomstige sloop van bestaande gebouwen is ook buiten beschouwing gelaten. Dat komt omdat geen landsdekkend beeld bestaat voor sloopplannen tot 2030, het zichtjaar waar de Startanalyse voor rekt. Dit betekent mogelijk een overschatting van de kosten. Het is aannemelijk dat bouwkundig slechte gebouwen op termijn niet worden geïsoleerd tot schillabel B, zoals in de oktoberversie van de Startanalyse is verondersteld, maar worden gesloopt en eventueel worden vervangen door nieuwe, goed geïsoleerde gebouwen.

Glastuinbouw vormt binnen het kader van het Klimaatakkoord onderdeel van de sector Landbouw en landgebruik. De startanalyse heeft uitsluitend betrekking op de sector Gebouwde Omgeving. De functionaliteit van Vesta MAIS betreffende glastuinbouw is daarom buiten beschouwing gelaten in de startanalyse.

## 3.3 Startsituatie in gebouwen

De startsituatie vormt het uitgangspunt bij de doorrekening van de strategieën en de referentiebeelden. De startsituatie reflecteert de huidige, actuele inrichting van de gebouwde omgeving. In de startsituatie wordt onder andere aan de hand van gebouw- en buurtkarakteristieken de energievraag van de gebouwde omgeving in kaart gebracht, wordt voor woningen en gebouwen bepaald welke besparingsmaatregelen mogelijk zijn en wordt vastgesteld hoeveel woningen en gebouwen reeds zijn aangesloten op warmtenetten.

### 3.3.1 Warmte- en koudevraag van woningen

Binnen Vesta MAIS worden in totaal verschillende 5 woningtypen en 6 bouwperiodes onderscheiden. Dit levert in totaal 30 combinaties van woningtype-bouwperiode op, aan de hand waarvan de gehele Nederlandse woningvoorraad van circa 7,7 miljoen woningen is gecategoriseerd. Voor elke woning wordt op basis van de volgende parameters de huidige warmtevraag berekend:

- Categorie woningtype/bouwjaar
- Aantal m<sup>2</sup> vloeroppervlak
- Energielabel

---

<sup>5</sup> Het Gemeenterapport is te vinden op: <https://themasites.pbl.nl/leidraad-warmte/main.php#>.

- Voor woningen met een afgemeld label: de gemiddelde warmtevraag van woningen met het betreffende label binnen de betreffende categorie woningtype/bouwjaar
- Voor woningen zonder een afgemeld label: de gemiddelde warmtevraag onder woningen zonder label binnen de betreffende categorie woningtype/bouwjaar

De warmtevraag voor ruimteverwarming wordt berekend op basis van gegevens uit de Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG), de energielabeldatabase van RVO en CBS-statistieken over het statistisch werkelijk gemiddelde gasverbruik van woningen over het jaar 2018 per combinatie van woningtype, bouwperiode, vloeroppervlakteklasse en energielabel<sup>6</sup>. 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. Voor de warmtapwatervraag en de koudevraag wordt per combinatie van woningtype-bouwperiode een vast kengetal aangehouden, zie hiervoor het functioneel ontwerp van het Vesta MAIS-model (Schepers et al, 2019). De meeste bestaande woningen maken in de praktijk geen gebruik van koeling of hebben apparatuur zoals ventilatoren waarvan het energiegebruik beperkt is. In de Startanalyse wordt het elektriciteitsverbruik van koeling in het startjaar niet apart in de berekeningen meegenomen en is onderdeel van het totale elektriciteitsverbruik van apparaten en verlichting. In de indicator 'H02 koudevraag' van tabel 2 in de bijlage Buurttabellen van het gemeenterapport is de functionele koudevraag van bestaande woningen wel opgenomen.

### 3.3.2 Energielabel woningen

Alle woningen krijgen in Vesta MAIS in de startsituatie een schillabel toegewezen. Het huidige schillabel is bepalend voor de besparingsmogelijkheden. De schillabelklassen lopen van A t/m G, oftewel van weinig naar veel besparingsmogelijkheden. Voor de 3.5 miljoen woningen waarvoor een gecertificeerd energielabel beschikbaar is binnen de database van RVO wordt het schillabel bepaald op basis van de energielabeldatabase van RVO. Het label van woningen waarvoor geen gecertificeerd label bekend is wordt ingeschat op basis van het woning/gebouwtype en de bouwjaarklasse. De onderstaande tabel toont per combinatie van woningtype en bouwjaarklasse welk 'default label' wordt toegepast voor de woningen waar geen energielabel voor is afgemeld. Het schillabel van een woning is in de berekeningen bepalend voor de mogelijkheden en bijbehorende kosten van isolatiemaatregelen.

---

<sup>6</sup> <https://www.cbs.nl/nl-nl/maatwerk/2019/22/gemiddelde-aardgas-en-elektriciteitslevering-woningen>

**Tabel 7: Kentallen voor de warmtevraag in de bestaande woningbouw**

Woningtype	Bouwjaar-klasse	Aantal woningen in NL per 1-1-2019	Default label	Functionele vraag warm tapwater (GJ/jaar)	Gasverbruik bij afgemeld label, hier voor het default label (m <sup>3</sup> /jaar)* <i>Voorbeeld berekening</i>	Gasverbruik bij geen afgemeld label (m <sup>3</sup> /jaar)* <i>Voorbeeld berekening</i>	Rendement warm tapwater (gasketel)	Rendement ruimteverwarming (gasketel)
vrijstaand	voor 1946	273.544	G	8.5	2.130	2.178	0.72	0.99
vrijstaand	1946 - 1964	137.136	F	8.5	2.103	2.207	0.72	0.99
vrijstaand	1965 - 1974	122.723	D	9.2	2.033	2.160	0.72	0.97
vrijstaand	1975 - 1991	178.223	C	9.7	1.875	1.991	0.72	1.00
vrijstaand	1992 - 2005	115.645	B	10.6	1.562	1.785	0.72	1.01
vrijstaand	2006 - 2014	153.547	A	10.6	1.318	1.594	0.72	1.01
2 onder 1 kap	voor 1946	174.341	G	10.6	1.776	1.859	0.72	1.05
2 onder 1 kap	1946 - 1964	138.942	F	10.6	1.738	1.839	0.72	1.05
2 onder 1 kap	1965 - 1974	98.030	E	7.5	1.629	1.844	0.72	0.98
2 onder 1 kap	1975 - 1991	120.115	C	7.5	1.468	1.643	0.72	0.98
2 onder 1 kap	1992 - 2005	65.135	B	8.2	1.265	1.456	0.72	0.98
2 onder 1 kap	2006 - 2014	88.705	B	8.2	1.076	1.237	0.72	0.99
rijwoning hoek	voor 1946	126.313	G	8.6	1.642	1.721	0.72	1.00
rijwoning hoek	1946 - 1964	159.321	E	8.6	1.609	1.759	0.72	1.00
rijwoning hoek	1965 - 1974	208.691	D	8.6	1.457	1.660	0.72	1.05
rijwoning hoek	1975 - 1991	307.817	C	8.6	1.249	1.462	0.72	1.05
rijwoning hoek	1992 - 2005	81.840	C	7.1	1.257	1.373	0.72	0.95
rijwoning hoek	2006 - 2014	123.678	A	6.4	973	1.029	0.72	0.95
rijwoning tussen	voor 1946	335.821	F	7.3	1.332	1.427	0.72	0.96
rijwoning tussen	1946 - 1964	310.354	E	7.3	1.305	1.467	0.72	0.97
rijwoning tussen	1965 - 1974	438.888	D	7.7	1.277	1.440	0.72	1.00
rijwoning tussen	1975 - 1991	703.152	C	7.7	1.067	1.246	0.72	1.00
rijwoning tussen	1992 - 2005	226.408	B	7.7	906	1.049	0.72	1.05
rijwoning tussen	2006 - 2014	324.912	A	7.7	839	901	0.72	1.05
appartement	voor 1946	285.621	F	7.1	1.110	1.291	0.72	0.95
appartement	1946 - 1964	199.572	E	6.4	937	1.176	0.72	0.95
appartement	1965 - 1974	115.695	D	7.3	993	1.190	0.72	0.96
appartement	1975 - 1991	367.601	C	7.3	941	1.056	0.72	0.97
appartement	1992 - 2005	133.600	C	7.7	807	864	0.72	1.00
appartement	2006 - 2014	285.279	A	7.7	729	774	0.72	1.00

\* De warmtevraag voor ruimteverwarming wordt in Vesta MAIS individueel per woning berekend op basis van het vloeroppervlak van de woning. De getoonde functionele vraag voor ruimteverwarming is hier berekend op basis van respectievelijk 130, 120, 110, 100 en 70 m<sup>2</sup> voor vrijstaande woningen, 2-onder-1-kap woningen, rijwoningen hoek, rijwoningen tussen en appartementen. De zesde kolom toont de berekende warmtevraag bij beschikbaarheid van een gecertificeerd energielabel. De zevende kolom toont de berekende warmtevraag bij afwezigheid van een gecertificeerd energielabel.

### 3.3.3 Warmte- en koudevraag utiliteit

Utiliteit wordt op een vergelijkbare manier gekarakteriseerd als bij woningen. Voor utiliteit maakt Vesta MAIS onderscheid tussen 10 verschillende gebruiksfuncties en 6 bouwjaarclassen. Dit resulteert in een totaal van 60 combinaties van gebruiksfunctie-bouwjaarklasse. De tabel op de volgende pagina toont per combinatie van gebruiksfunctie en bouwjaarklasse welk 'default label' wordt toegepast voor utiliteitspanden waar geen energielabel voor is afgemeld en welke kentallen van toepassing zijn bij de berekening van de warmtevraag. Voor de kentallen van de koudevraag wordt verwezen naar het functioneel ontwerp van het Vesta MAIS-model (Schepers et al, 2019). In de Startanalyse wordt in tegenstelling tot de

bestaande woningen het elektriciteitsverbruik van de koudevraag wel apart in de berekeningen meegenomen. De koudevraag van utiliteit is namelijk substantieel groter dan woningen en hiervoor zijn in de praktijk ook voorzieningen getroffen.

**Tabel 8: Kentallen voor de warmtevraag in de bestaande utiliteitsbouw**

Utiliteitsgebruiks-functie	Bouwjaar-klasse	Default label	Functionele vraag warm tapwater (GJ/m <sup>2</sup> /j)	Functionele vraag ruimteverwarming (GJ/m <sup>2</sup> /jaar)	Rendement warm tapwater (gasketel)	Rendement ruimteverwarming (gasketel)
Kantoor	0 <= 1920	G	0.00378	0.981	0.72	0.83
Kantoor	1920 <= 1975	E	0.00378	0.771	0.72	0.94
Kantoor	1975 <= 1990	C	0.00378	0.393	0.72	1.00
Kantoor	1990 <= 1995	B	0.00378	0.361	0.72	1.02
Kantoor	1995 <= 2015	B	0.00378	0.296	0.72	1.07
Kantoor	onbekend	D	0.00378	0.493	0.72	1.01
Winkel	0 <= 1920	G	0.00378	0.495	0.72	0.83
Winkel	1920 <= 1975	E	0.00378	0.392	0.72	0.93
Winkel	1975 <= 1990	C	0.00378	0.202	0.72	1.01
Winkel	1990 <= 1995	B	0.00378	0.191	0.72	1.05
Winkel	1995 <= 2015	B	0.00378	0.149	0.72	1.07
Winkel	onbekend	D	0.00378	0.290	0.72	0.99
Gezondheidszorg	0 <= 1920	G	0.03833	1.117	0.72	0.83
Gezondheidszorg	1920 <= 1975	E	0.03833	0.819	0.72	0.87
Gezondheidszorg	1975 <= 1990	C	0.03833	0.461	0.72	0.97
Gezondheidszorg	1990 <= 1995	B	0.03833	0.453	0.72	1.04
Gezondheidszorg	1995 <= 2015	B	0.03833	0.377	0.72	1.07
Gezondheidszorg	onbekend	D	0.03833	0.620	0.72	0.97
Logies	0 <= 1920	G	0.03745	0.724	0.72	0.83
Logies	1920 <= 1975	E	0.03745	0.583	0.72	0.94
Logies	1975 <= 1990	C	0.03745	0.324	0.72	1.00
Logies	1990 <= 1995	B	0.03745	0.302	0.72	1.02
Logies	1995 <= 2015	B	0.03745	0.260	0.72	1.07
Logies	onbekend	D	0.03745	0.401	0.72	1.00
Onderwijs	0 <= 1920	G	0.00462	0.517	0.72	0.83
Onderwijs	1920 <= 1975	E	0.00462	0.390	0.72	0.91
Onderwijs	1975 <= 1990	C	0.00462	0.209	0.72	1.00
Onderwijs	1990 <= 1995	B	0.00462	0.202	0.72	1.07
Onderwijs	1995 <= 2015	B	0.00462	0.158	0.72	1.07
Onderwijs	onbekend	D	0.00462	0.281	0.72	0.98
Industrie	0 <= 1920	G	0.00378	0.415	0.72	0.83
Industrie	1920 <= 1975	E	0.00378	0.323	0.72	0.94
Industrie	1975 <= 1990	C	0.00378	0.168	0.72	1.00
Industrie	1990 <= 1995	B	0.00378	0.154	0.72	1.02
Industrie	1995 <= 2015	B	0.00378	0.127	0.72	1.07
Industrie	onbekend	D	0.00378	0.213	0.72	1.00
Bijeenkomst	0 <= 1920	G	0.03349	0.561	0.72	0.83
Bijeenkomst	1920 <= 1975	E	0.03349	0.806	0.72	0.91
Bijeenkomst	1975 <= 1990	C	0.03349	0.610	0.72	1.01
Bijeenkomst	1990 <= 1995	B	0.03349	0.619	0.72	1.06
Bijeenkomst	1995 <= 2015	B	0.03349	0.436	0.72	1.07
Bijeenkomst	onbekend	D	0.03349	0.632	0.72	0.96
Sport	0 <= 1920	G	0.00378	0.725	0.72	0.83
Sport	1920 <= 1975	E	0.00378	0.544	0.72	0.85

Sport	1975<=1990	C	0.00378	0.329	0.72	0.97
Sport	1990<=1995	B	0.00378	0.325	0.72	1.04
Sport	1995<=2015	B	0.00378	0.276	0.72	1.07
Sport	onbekend	D	0.00378	0.390	0.72	0.97
Overig	0<=1920	G	0.00378	0.228	0.72	0.83
Overig	1920<=1975	E	0.00378	0.166	0.72	0.85
Overig	1975<=1990	C	0.00378	0.089	0.72	0.97
Overig	1990<=1995	B	0.00378	0.086	0.72	1.04
Overig	1995<=2015	B	0.00378	0.069	0.72	1.07
Overig	onbekend	D	0.00378	0.112	0.72	0.99
Cel	0<=1920	G	0.00378	1.175	0.72	0.83
Cel	1920<=1975	E	0.00378	0.797	0.72	0.83
Cel	1975<=1990	C	0.00378	0.472	0.72	0.96
Cel	1990<=1995	B	0.00378	0.470	0.72	1.05
Cel	1995<=2015	B	0.00378	0.380	0.72	1.07
Cel	onbekend	D	0.00378	0.637	0.72	0.97

### 3.3.4 Energielabel utiliteit

Alle utiliteitsgebouwen krijgen in Vesta MAIS in de startsituatie een schillabel toegewezen. Het huidige schillabel is bepalend voor de besparingsmogelijkheden. De schillabelklassen lopen van A t/m G, oftewel van weinig naar veel besparingsmogelijkheden. Voor de 100.000 utiliteitsobjecten waarvoor een gecertificeerd energielabel beschikbaar is binnen de database van RVO wordt het schillabel bepaald op basis van de energielabeldatabase van RVO. Het label van gebouwen waarvoor geen gecertificeerd label bekend is wordt ingeschat op basis van gebruiksfunctie en bouwjaarklasse. De tabel op de vorige pagina toont per combinatie van gebruiksfunctie en bouwjaarklasse welk 'default label' wordt toegepast voor utiliteitsbouw waar geen energielabel voor is afgemeld. Het schillabel van een gebouw is in de berekeningen bepalend voor de mogelijkheden en bijbehorende kosten van isolatiemaatregelen.

## 3.4 Energiebesparende maatregelen

In de startanalyse worden in alle strategieën besparingen en investeringskosten voortvloeiend uit verbeteringen van de schilisolatie van woningen en gebouwen doorgerekend. Het toegepaste pakket schilmaatregelen is identiek over alle strategieën. De strategieën onderscheiden zich van elkaar in het type installaties waarmee in de resterende warmtevraag wordt voorzien.

### 3.4.1 Energiebesparing in woningen

Uit de validatiesessies met (vertegenwoordigers van) bouw- en installatiebedrijven, adviseurs en onderzoekers volgt de verwachting dat woningen met een schillabel B voldoende zijn geïsoleerd voor de beschouwde warmte(aanbod)technieken in de startanalyse. Ten behoeve van de startanalyse is per combinatie van woningtype en bouwjaarklasse een set kentallen bepaald voor de investeringskosten om van het huidige gemiddelde label van een woning naar label B te springen.

#### 3.4.1.1 Investeringskosten schilsprong naar label B

De datapunten waarop de investeringskosten voor een schilsprong naar label B zijn gebaseerd zijn afkomstig uit de Variatietool van TNO, waarbij gebruik is gemaakt van kostenkentallen schilmaatregelen van Arcadis voor 2018<sup>7</sup>. De Variatietool rekent met de werkelijke isolatiekenmerken en geometrie van woningen uit de energiemodule van WoON 2012. In een

<sup>7</sup> Arcadis, Investeringskosten EPA woningbouw 2018.

volgende versie van de startanalyse worden – naar verwachting - de kentallen geüpdatet met nieuwe resultaten uit het WoON 2018 onderzoek.

Op basis van circa 4.800 datapunten uit de Variatietool is per combinatie van woningtype en bouwjaarklasse ingeschat welk bedrag geïnvesteerd moet worden om een woning naar schil-label B 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 naar label B te springen. Hierbij is een onder- en bovenwaarde bepaald voor toepassing van de maatregelen op een collectieve respectievelijk individuele aanpak en/of natuurlijk respectievelijk onnatuurlijk 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 in de dataset die hieraan ten grondslag ligt slechts in beperkte mate sprake is van een correlatie tussen het aantal vierkante meters vloeroppervlak en investeringskosten; er is over het algemeen sprake van een lage correlatiecoëfficiënt. Praktisch houdt dit in dat de resulterende investeringskosten in feite vaak een gemiddelde van een verzameling van waarnemingen uit de Variatietool reflecteert waarbinnen de individuele investeringsbedragen in sommige gevallen sterk uiteen kunnen lopen. Met de genoemde lage correlatiecoëfficiënt in het achterhoofd is er in de meeste gevallen wel een trend van stijgende kosten bij een toename van het aantal vierkante meters vloeroppervlak zichtbaar. Waar dit het geval is wordt voor de betreffende combinaties van woningtype-bouwjaarklasse de trendlijn aangehouden. In een klein aantal gevallen was echter ook een negatieve trend waarneembaar (afnemende kosten bij een toename in aantal vierkante meters vloeroppervlak). Bij de combinaties woningtype-bouwjaarklasse waarop dit van toepassing is wordt het gemiddelde van de beschikbare datapunten als vaste waarde aangehouden en niet op vloeroppervlak gedifferentieerd. De bouwjaarklasse en het uitgangslabel zijn logischerwijs het meest bepalend voor de hoogte van kosten, de kosten vallen voor oudere woningen en woningen met lagere energie labels dan ook structureel hoger uit, dit verband komt goed tot uiting in de set resulterende kentallen.

Onderstaande tabel toont een reeks resulterende investeringsbedragen voor de investeringskosten bij een labelstap van het huidige label van een woning (zie kolom 'Huidig label') naar label B bij een voorbeeld-woningoppervlakte (zie kolom 'Voorbeeld woning-oppervlakte'). De getoonde coëfficiënten zijn overgenomen uit het kentallen bestand dat in Vesta wordt ingevoerd.

**Tabel 9: Investeringskosten van huidig schillabel naar schillabel B bij een voorbeeld-woningoppervlakte.**

Woningtype	Bouwperiode	Coëfficiënten voor berekening investeringskosten renovatie van huidig label naar label B				Huidig label	Voorbeeld woning-oppervlakte	Resulterende kosten bij voorbeeld woning-oppervlakte (euro)	
		Minimaal		Maximaal				Minimaal	Maximaal
		MVB_EG_EUR_MIN_vast	MVB_EG_EUR_MIN_var	MVB_EG_EUR_MAX_vast	MVB_EG_EUR_MAX_var				
vrijstaand	voor 1946	14,049	73	14,904	92	G	130	23.526	26.849
vrijstaand	1946 - 1964	5,717	96	7,569	132	F	130	18.241	24.681
vrijstaand	1965 - 1974	9,689	39	8,478	89	D	144	15.296	21.224
vrijstaand	1975 - 1991	7,388	9	9,297	25	C	144	8.712	12.862
vrijstaand	1992 - 2005					B	172	NVT	NVT
vrijstaand	2006 - 2019					A	172	NVT	NVT
2 onder 1 kap	voor 1946	7,081	98	9,435	128	G	110	17.826	23.548
2 onder 1 kap	1946 - 1964	7,689	53	11,420	67	F	110	13.573	18.786
2 onder 1 kap	1965 - 1974	9,430	26	14,428	25	E	123	12.584	17.490
2 onder 1 kap	1975 - 1991	5,799	9	7,205	22	C	123	6.948	9.944
2 onder 1 kap	1992 - 2005					B	132	NVT	NVT
2 onder 1 kap	2006 - 2019					B	132	NVT	NVT
rijwoning hoek	voor 1946	6,627	94	8,520	131	G	102	16.246	21.883
rijwoning hoek	1946 - 1964	10,588	0	14,848	0	E	87	10.588	14.848
rijwoning hoek	1965 - 1974	7,563	20	7,050	59	D	106	9.720	13.355
rijwoning hoek	1975 - 1991	4,098	27	5,396	39	C	106	6.973	9.514
rijwoning hoek	1992 - 2005	2,682	14	1,212	47	C	114	4.253	6.577
rijwoning hoek	2006 - 2019					A	114	NVT	NVT
rijwoning tussen	voor 1946	5,758	59	7,557	88	F	102	11.820	16.582
rijwoning tussen	1946 - 1964	10,269	4	14,961	5	E	87	10.631	15.429
rijwoning tussen	1965 - 1974	10,051	0	13,301	0	D	106	10.051	13.301
rijwoning tussen	1975 - 1991	4,269	23	4,832	40	C	106	6.725	9.101
rijwoning tussen	1992 - 2005					B	114	NVT	NVT
rijwoning tussen	2006 - 2019					A	114	NVT	NVT
meergezins: laag	voor 1946	6,074	37	5,832	75	F	59	8.229	10.278
meergezins: laag	1946 - 1964	2,619	55	1,007	115	E	66	6.278	8.586
meergezins: laag	1965 - 1974	3,772	32	2,595	82	D	71	6.033	8.433
meergezins: laag	1975 - 1991	4,012	10	5,062	25	C	70	4.709	6.822
meergezins: laag	1992 - 2005	3,181	12	2,976	39	C	74	4.065	5.885
meergezins: laag	2006 - 2019					A	74	NVT	NVT
meergezins: hoog	voor 1946	6,074	37	5,832	75	F	72	8.704	11.258
meergezins: hoog	1946 - 1964	2,619	55	1,007	115	E	72	6.611	9.274
meergezins: hoog	1965 - 1974	3,772	32	2,595	82	D	82	6.384	9.337
meergezins: hoog	1975 - 1991	4,012	10	5,062	25	C	68	4.690	6.772
meergezins: hoog	1992 - 2005	3,142	12	2,854	40	C	79	4.105	6.021
meergezins: hoog	2006 - 2019					A	79	NVT	NVT



### **3.4.1.2 Energiebesparing schilsprong naar label B**

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 label B met een vergelijkbaar vloeroppervlak in dezelfde categorie woningtype-bouwjaar in mindering te brengen op het berekende huidige verbruik van de woning.

### **3.4.1.3 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>8</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.

Zoals eerder aangegeven worden in de doorrekening van de strategieën uitsluitend naar een labelstap naar label B gekeken. De verkregen indicatieve kostenkentallen voor een labelstap naar label A+ worden toegepast als onderdeel van de gevoeligheidsanalyse.

### **3.4.1.4 Energiebesparing schilsprong naar label A+**

De in paragraaf 3.4.1.3 besproken investeringskosten voor een labelstap naar A+ reflecteren de investeringskosten voor renovatie naar een isolatieniveau wat als 'NOM-ready' geldt. Dit is een isolatieniveau waarbij waarschijnlijk een significant lager energieverbruik van toepassing is ten opzichte van het niveau van de woningen welke onder de categorie 'label A' vallen binnen de statistieken van het CBS. Dit houdt in dat de reductie in het energieverbruik bij een labelstap naar label A+ bij het toegepaste pakket isolatiemaatregelen waarschijnlijk hoger uitvalt dan op basis van de CBS-statistieken berekend zou worden, omdat de woningen die in genoemde statistieken onder de categorie 'Label A' waarschijnlijk grotendeels minder vergaand geïsoleerd zijn. Om hiervoor te corrigeren is voor het energieverbruik bij label A+ het gemiddelde van de CBS-statistieken en de voorgaande set kentallen van Vesta aangehouden. Laatstgenoemde verbruiks-kentallen liggen significant lager ten opzichte van de verbruiken in de statistieken van het CBS.

De investeringskosten voor renovatie naar label A+ en de daarbij resulterende besparing op energiekosten zijn niet van toepassing op de basis-doorrekening van de strategieën in de Startanalyse, omdat in de basis-doorrekening uitsluitend naar een labelstap naar label B wordt gekeken. De labelstap naar label A+ vormt uitsluitend onderdeel van de gevoeligheidsanalyse.

---

<sup>8</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).'

#### **3.4.1.5 Verdieping**

De beschrijving hierboven geeft een beeld van de uitgangspunten voor de Startanalyse. Om een compleet beeld te krijgen van de gehanteerde uitgangspunten binnen het Vesta MAIS-model is het mogelijk om het Functioneel Ontwerp 4.0 te raadplegen (CE Delft, 2019). Meer informatie specifiek over energiebesparende maatregelen is te vinden in hoofdstuk 5 van dit document.

#### **3.4.2 Energiebesparing bij utiliteitsgebouwen**

De mogelijkheden voor energiebesparing binnen utiliteitsgebouwen zijn zeer divers door de diversiteit aan gebouwen en functies binnen deze sector. Naar aanleiding van de validatiesessie van het Vesta MAIS-model in april 2019 is een update gedaan van het energieverbruik van de utiliteitstypes bij verschillende Rc-waarden. Deze update is gebaseerd op ECN (2016) en een verdere toelichting op deze methodiek is te vinden in hoofdstuk 5 van CE Delft (2019).

### **3.5 Warmte-aanbodtechnieken in gebouwen**

In de strategieën worden verschillende combinaties van warmteaanbod-technieken in gebouwen en collectieve systemen toegepast. Deze zijn beschreven in hoofdstuk 2.

### **3.6 Energie-infrastructuur**

In elke strategie heeft gevolgen voor de ontwikkeling van nieuwe en/of aanpassingen van bestaande collectieve energievoorzieningen. Dit kan een verzwaring van het bestaande elektriciteitsnet zijn, ontwikkeling van een nieuw warmtenet of aanpassingen aan het bestaande gasnet voor transport van hernieuwbaar gas.

#### **3.6.1 Berekening kosten van verzwaren van het elektriciteitsnet**

Bij strategieën met warmtepompen kan het nodig zijn het elektriciteitsnet te verzwaren. Dat is afhankelijk van de omvang van de buurt en van de capaciteitsruimte op het huidige net. Als in een buurt de huidige capaciteit tekortschiet, berekenen we de kapitaalslasten van netverzwaring in die buurt. Daarnaast kunnen aanpassingen in hogere netvakken noodzakelijk zijn; die kosten blijven hier buiten beschouwing.

#### **3.6.2 Berekening kosten van verwijdering en vervanging van het gasnet**

##### **3.6.2.1 Gasnetten verwijderen**

Bij uitvoering van strategieën zonder hernieuwbaar gas moet het huidige gasdistributienet in de buurt worden verwijderd. Bovendien is het nodig de gasaansluitingen uit de gebouwen weg te halen. De kosten van gasnetverwijdering zijn berekend uit de lengte van het gasnet in een buurt en een gemiddeld kostenbedrag per meter. De kosten van het weghalen van een gasaansluiting zijn berekend met een gemiddeld bedrag per aansluiting. Beide kostensoorten zijn behandeld als investeringen en omgerekend naar jaarlijkse kosten bij 3 procent rente en 50 jaar afschrijving. Dat leidt tot relatief lage jaarlijkse kosten.

Er kunnen in een buurt andere gasaansluitingen zijn die buiten de scope van de Startanalyse vallen, bijvoorbeeld procesgas voor industriële productie. Dit kan ertoe leiden dat ook als de gebouwde omgeving geen gas meer gebruikt, het net toch niet wordt verwijderd, ook al gaan we er in deze analyse van uit dat dit wel gebeurt.

##### **3.6.2.2 Gasnet aanpassen voor groengas**

De bestaande aardgasnetten lijken geschikt voor het transport van groengas. Wel zijn er aanpassingen nodig om de invoeding van groengas op het transportnet mogelijk te maken.

Die kosten zijn relatief beperkt: 11,5 mln. voor 2 bcm ofwel 0,6 ct/m<sup>3</sup>. (NBNL<sup>9</sup> berekende 17,3 mln. voor 3 bcm). Dat is minder dan 1% van de geschatte productiekosten van groen-gas in 2030. Gezien de onzekerheden in die schatting is besloten de kosten van netaanpassingen NIET mee te nemen in de Startanalyse.

### **3.6.2.3 Gasnet vervangen**

Bij strategieën zonder hernieuwbaar gas kan het nodig zijn om het bestaande gasnet tijdelijk te vervangen. Dat is het geval in buurten waar graafwerkzaamheden voor warmtenetten schade kunnen aanbrengen aan bestaande gasleidingen. In die gevallen spreken we van 'grondroeringsgevoelige leidingen'. Dit zijn specifieke situaties die bij netbeheerders bekend zijn. De kapitaalslasten van gasnetvervanging zijn berekend uit de lengte van het grondroeringsgevoelige gasnet in een buurt en een gemiddeld kostenbedrag per meter.

Bij strategieën S4 en S5, waar hernieuwbaar gas wordt gebruikt, moet het huidige gasdistributienet op termijn, aan het eind van zijn technische levensduur, worden vervangen. Het tijdstip waarop dat gaat gebeuren verschilt per buurt en wordt door netbeheerders vastgesteld. Informatie over het tijdstip is niet in de Startanalyse opgenomen, maar kan bij netbeheerders worden opgevraagd.

De kosten van de vervanging van het gasnet zouden moeten worden opgenomen in de berekening van de nationale kosten van S4 en S5. Op dit punt verschillen die strategieën namelijk van de strategieën die geen gas gebruiken: S1, S2 en S3. Het is echter onbekend in welke buurten dit verschil in 2030 al optreedt omdat we niet weten wanneer het gasnet in een buurt vervangen zal worden. Het is goed mogelijk dat buurten de komende jaren al het gasnet moeten vervangen terwijl ze na 2030 overstappen op een gasloze strategie. In die gevallen moeten in 2030 dus toch kosten voor vervangen van het gasnet worden gemaakt, ook al past dat niet bij de strategie die uiteindelijk wordt gekozen. Omdat we per buurt niet weten wat de situatie in 2030 zal zijn, laten we de kosten van vervangen van het gasnet in alle strategieën buiten beschouwing. Ook de (relatief beperkte) kosten van maatregelen om invoeding van groengas op het bestaande aardgasnet mogelijk te maken, zijn buiten beschouwing gelaten.

Let op: de vergelijking van de nationale kosten van strategieën in een buurt kan sterk beïnvloed worden door het wel of niet meenemen van de kosten van vervanging van het gasnet. Overleg met de gasnetbeheerder van de betreffende buurt om hiervoor een goed onderbouwde keuze te maken.

### **3.6.3 Berekening van warmtenetten met midden-temperatuur warmtebronnen (S2)**

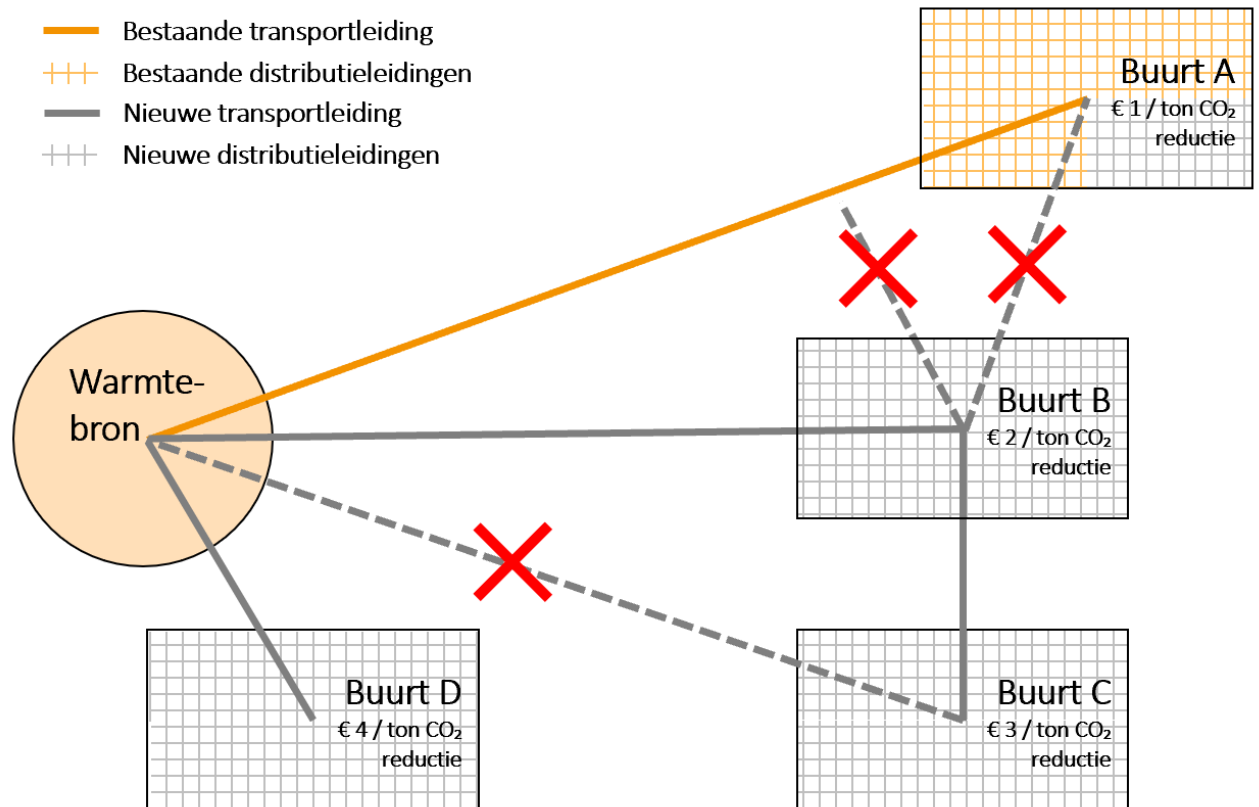
De Startanalyse houdt rekening met bestaande warmtenetten. Alle bestaande warmtenetten vallen in de categorie middentemperatuurnetten zoals de Startanalyse die heeft gedefinieerd. Het is onbekend welke gebouwen momenteel op een warmtenet zijn aangesloten, maar CBS heeft wel informatie geleverd over het aandeel van alle gebouwen dat in een buurt is aangesloten op een warmtenet. Deze informatie gebruikt Vesta om de uitkomsten van berekeningen van warmtenetten per buurt achteraf proportioneel te corrigeren.

Warmtenetten met bestaande MT-bronnen worden in de modelberekening stapsgewijs uitgebreid vanuit een bronlocatie. Dat gebeurt ook in buurten zonder bestaand warmtenet waar een MT-warmtebron aanwezig is. Eerst legt het model een fictieve transportleiding naar een buurt waar de inzet van de warmte het meest economisch is; dat kan ook de buurt zijn waar de bron zich bevindt. In de volgende stap wordt vanuit de bron of vanuit een aangesloten buurt doorgekoppeld naar nieuwe buurten. De kosten voor het warmtetracé worden verdeeld over buurten op basis van de lengte van de leiding en de capaciteit die de buurt nodig heeft. Zo wordt het netwerk uitgebreid totdat ofwel de capaciteit van de bron is uitgeput ofwel er

---

<sup>9</sup> Bron: NBNL 2018, zie [https://www.netbeheernederland.nl/\\_upload/Files/Adviesrapport\\_%27Cree-ren\\_voldoende\\_invoedruimte\\_voor\\_groen\\_gas%27\\_122.pdf](https://www.netbeheernederland.nl/_upload/Files/Adviesrapport_%27Cree-ren_voldoende_invoedruimte_voor_groen_gas%27_122.pdf)

geen geschikte buurten meer worden gevonden. Bij elke stap wordt de drempel verlaagd op basis waarvan wordt bepaald of aansluiting van een buurt wel of niet economisch is. Uiteindelijk wordt via deze methode voor het grootste deel van de aansluitingen een bron gevonden via een min of meer verstandige route van warmteleidingen. Dit betekent dat voor een groot deel van de buurten in Nederland een kostenraming kan worden gemaakt op basis van de hieruit voortkomende beslisregels voor welke bron waar wordt ingezet. Hieronder volgt een uitgebreidere toelichting met behulp van de volgende figuur.



**Figuur 1: Wijze waarop Vesta buurten aan warmtebronnen koppelt (auteur: ECW).**

Toelichting bij bovenstaande figuur:

- De huidige warmtenetten blijven bestaan, er worden mogelijk hogere kosten voor de warmtebron gerekend omdat ervan uit wordt gegaan dat deze verduurzaamd. Ook kan er een nieuwe warmtebron worden toegewezen als er door de gemeente is aangegeven dat de huidige bron na 2030 niet meer beschikbaar is.
- De capaciteit van een warmtebron wordt als eerste toegekend aan de buurt waarvoor de nationale kosten (in S2) het laagst zijn. Dat is in dit voorbeeld buurt A.
- Omdat buurt A al deels aangesloten is op een warmtenet worden er geen kosten gerekend voor een nieuwe transportleiding, wel worden er kosten gerekend voor nieuwe distributieleidingen naar de gebouwen die nu nog niet aangesloten zijn op het warmtenet.
- Vervolgens wordt er weer berekend wat de nationale kosten per buurt (in S2) zijn en wordt de buurt die dan de laagste nationale kosten heeft aangesloten op het warmtenet. In dit voorbeeld is dat buurt B.
- Uitgangspunt is dat de bestaande transportleidingen geen restcapaciteit hebben, dus worden er kosten gerekend voor een nieuwe transportleiding tussen buurt B naar de warmtebron. Er wordt niet aangetakt op de bestaande transportleiding van buurt A.
- Op nieuwe transportleidingen kan wel worden aangetakt. Dus als buurt C vervolgens wordt doorgerekend gaat het model er wél vanuit dat er kan worden aangetakt op de nieuwe transportleiding van buurt B.

- Mocht het voor een buurt goedkoper zijn om een transportleiding rechtstreeks richting de warmtebron te leggen in plaats van aan te takken op een andere buurt dan gaat het model daarvan uit. Dit zie je bij buurt D.
- Het model verdeelt op deze manier de capaciteit van de warmtebron totdat deze volledig benut is.
- Stel dat er in dit voorbeeld in buurt B uiteindelijk geen warmtenet wordt aangelegd, dan pakken de kosten voor buurt C hoger uit dan in de Startanalyse is doorgerekend. Dat komt omdat er dan een langere transportleiding moet worden aangelegd.
- Om de afstanden van de nieuwe transport- en distributieleidingen uit te rekenen is er een wegenkaart gebruikt. De aanname hierbij is dat de nieuwe warmtenetten onder of langs de huidige wegen worden aangelegd.
- Bij geothermie wordt in variant s2b gebruik gemaakt van een kaart waarop staat aangegeven welke gebieden een goede indicatie hebben dat de bodem daar geschikt is voor een geothermie. Buurten binnen deze gebieden hoeven geen transportleiding aan te leggen. Buurten daarbuiten wel, omdat die geothermische warmte moeten aanvoeren uit het dichtstbijzijnde gebied met geschikte ondergrond. In variant s2c wordt deze kansenkaart niet gebruikt en kunnen alle buurten zonder transportleidingen geothermie gebruiken (bij de hypothetische veronderstelling dat die lokaal aangeboord kan worden).

### 3.6.4 Berekening van warmtenetten met (zeer) lage temperatuur warmtebronnen (S3)

In strategie S3 met laagtemperatuurbronnen wordt in de berekeningswijze onderscheid gemaakt tussen puntbronnen (met een vaste locatie) en gebiedsbronnen, zoals oppervlaktewater (waarvan het aftappunt kan worden gekozen in de nabijheid van afnemers).

Warmtenetten met bestaande LT-puntbronnen worden in de berekeningen samengesteld door om de bron heen te beginnen met het aansluiten van geschikte gebouwen. Dat wil zeggen woningen en bedrijven waar na de directe kosten voor de eigen aansluiting en in pandige leidingen en installaties, financiële ruimte overblijft om bij te dragen in de kosten van het distributienet en de in gebruik name van de centrale bron. Eerst worden gebouwen aangesloten die dicht bij de bron liggen om vervolgens steeds verder weg liggende gebouwen aan te sluiten totdat de bron is uitgeput.

De ontsluiting van nieuwe LT-gebiedsbronnen volgt dezelfde logica als die van bestaande maar in plaats van te beginnen met aansluiten vanuit een vaste locatie worden eerst zoveel mogelijk aansluitingen geclusterd die gezamenlijk een zo groot mogelijke opbrengst kunnen genereren waaruit de centrale bron kan worden gerealiseerd. Vervolgens worden de kosten voor de bron en het distributienet bepaald op basis van kengetallen voor de investering in bijvoorbeeld een WKO of een TEO-installatie, en de omvang van het afnamegebied. Daarbij gelden wel ruimtelijke beperkingen voor nabijheid van geschikt oppervlaktewater en voor gebieden waar WKO niet is toegestaan (bijv. in drinkwaterwinningsgebieden).

Omdat LT-bronnen vaak een beperkte capaciteit hebben, kan het voorkomen dat de bronnen niet toereikend zijn om een hele buurt te verwarmen. In die gevallen bepaalt het model dat de resterende gebouwen met een warmtepomp worden uitgerust.

Het model toetst ook op rendementsverschillen ten opzichte van een warmtepomp-aansluiting. Dat is met name relevant indien het model gebouwen zou willen aansluiten die relatief ver van de bron zijn gelokaliseerd en die hoge aansluitkosten zouden veroorzaken. Door berekenen van de werkelijke kosten aan die gebouwen zal ertoe leiden dat ze afzien van deelname wanneer een goedkoper alternatief voorhanden is, zoals een elektrische warmtepomp. Middelen van de aansluitkosten over alle deelnemers kan ertoe leiden dat een LT-warmtenet voor zo'n buurt duurder wordt dan een combinatie van warmtenet en warmtepomp en ook duurder dan een van de andere strategieën, waardoor een LT-warmtenet helemaal niet van de grond komt.

Maximale vermogens van warmtebronnen worden overgenomen uit de warmteatlas, en waar mogelijk aangevuld met informatie van de gemeente zelf. Voor bronnen waarvoor via deze

route geen inschatting kan worden gemaakt van het vermogen wordt gebruik gemaakt van een standaardwaarde afhankelijk van het type bron. Is ook het type van de warmtebron niet bekend dan wordt het type "Industrie" gebruikt als werkwaarde.

**Tabel 10: MT-warmtebronnen in databestand per type en standaardwaarden maximaal vermogen (standaardwaardes bij ontbreken van betere informatie)**

Type warmte-bron	Aantal in databestand (actief in 2019)	Standaardwaarde maximaal thermisch vermogen (MW thermisch)
STEG	37	10
Gasmotor	11	0.5
Gasturbine	9	6
Industrie	506	3
Raffinaderij	9	3
AVI	17	3
BMC	10	3
Bio-WKK	2	0.5

**Tabel 11: LT-warmtebronnen in databestand per type en standaardwaarden maximaal vermogen (standaardwaardes bij ontbreken van betere informatie)**

Type warmte-bron	Aantal in databestand (actief in 2019)	Standaardwaarde maximaal thermisch vermogen (MW thermisch)
Supermarkt	2971	0
RWZI	410	11
Koel en Vrieshuis	160	2
Bakkerij	601	0
Wasserij	39	2
Dienstverlening IT	155	5
Voedingsmiddelen	673	24
Slachthuis	802	3
Datacenter	255	13
IJsbaan	24	0
Gemaal	1662	0

# 4. Referentiebeelden (huidig en 2030)

Om de gevolgen van strategieën te kunnen vergelijken met de huidige situatie, zijn twee referentiebeelden doorgerekend. Het eerste referentiebeeld beschrijft de warmtevoorziening in het meest recente jaar waarvoor voldoende informatie beschikbaar is (de startsituatie). Dit referentiebeeld benadert de stand van zaken in 2018. In het tweede referentiebeeld wordt de situatie in 2030 doorgerekend die beschrijft hoe de warmtevoorziening zich bij ongewijzigd beleid ontwikkelt als alle mogelijke rendabele maatregelen zouden worden uitgevoerd.

## 4.1 Referentiebeeld startsituatie

In de startsituatie is het merendeel van de woningen en gebouwen aangesloten op het aardgasnet. Een ordegruote 500.000 woningen heeft een aansluiting op een warmtenet, de rest van de circa 8 miljoen woningen en gebouwen is aangesloten op het aardgasnet. De huidige isolatiegraad van woningen en gebouwen is waar mogelijk ingeschat op basis van het gecertificeerde energielabel. Voor objecten waar geen gecertificeerd label voor is vastgesteld, wordt een inschatting gemaakt op basis van woningtype en bouwperiode.

Het gasverbruik en de gerelateerde functionele warmtevraag van woningen en gebouwen worden geschat (zie paragraaf 3.3.1) op basis van geactualiseerde kentallen en statistieken over het gasverbruik van woningen en utiliteit. Het berekende resultaat voor de startsituatie reflecteert de actuele inrichting van de warmtevoorziening.

## 4.2 Referentiebeeld 2030

Het referentiebeeld voor 2030 presenteert een raming van de energievraag, kosten en CO<sub>2</sub>-uitstoot van de warmtevoorziening in een situatie waarin – idealiter - alle maatregelen worden genomen die rendabel zijn voor warmtebedrijven. Dat betekent niet automatisch dat de maatregelen ook voor woningeigenaren en andere betrokken partijen rendabel zijn. Het is ook geen gegeven dat deze warmtenetten vanuit een nationale kosten perspectief een netto positief resultaat opleveren.

Bij de berekening van eindgebruikerskosten voor het referentiebeeld 2030 is gebruik gemaakt van de huidige tarieven voor energiebelasting en de huidige subsidieregelingen. De prijs van warmte is afgeleid van die van aardgas volgens het NMDA-principe.

Bij het bepalen van de isolatiemaatregelen die worden genomen, is verondersteld dat de jaarlijkse kosten daarvan opwegen tegen de besparing op het verbruik van aardgas.

Uitbreiding van MT-warmtenetten is gekoppeld aan huidige bronnen voor industriële rest-warmte en geothermie uitsluitend in gebieden met aangetoonde geschikte ondergrond. De hulpketels van warmtenetten gebruiken in 2030 nog aardgas.

De berekende veranderingen tussen 2018 en 2030 in het referentiebeeld zijn het gevolg van:

- Afnemende warmtevraag vanwege stijging buitentemperatuur door opwarming van de aarde;
- Veranderingen in energiekosten tussen 2018 en 2030 in het achtergrondscenario;
- De ontwikkeling van de investeringskosten is ingezet volgens het gemiddelde tussen geen verandering en het streven conform het klimaatakkoord.

In het Referentiebeeld 2030 wordt geen standaardisolatie opgelegd. Gebouweigenaren worden verondersteld alleen energiebesparende maatregelen te nemen die vanuit hun eigen

kostenperspectief rendabel zijn. Dit betekent dat de warmtevraag van gebouwen hoger blijft dan bij isoleren tot schillabel B, wat in de strategieën is verondersteld. Deze hogere geconcentreerde warmtevraag betekent dat in de 2030-referentie MT-warmtenetten eerder en op meer plaatsen rendabel zijn dan in de S2-strategie.

Deze uitkomsten gelden alleen bij een situatie waar alle bewoners/gebouweigenaren die een warmtenet krijgen aangeboden ervoor kiezen om aangesloten te worden. Als individuele gebouweigenaren kiezen voor een andere manier van verwarmen verandert de businesscase aanzienlijk – over het algemeen is dat nadelig voor de rentabiliteit.

Om de kosten te bepalen zijn aannames gedaan over welke warmtebronnen er beschikbaar zullen zijn in de toekomst. Deze aannames zijn bijzonder optimistisch. In de praktijk zal blijken dat niet alle opgenomen bronnen (bedrijven) ook daadwerkelijk restwarmte over hebben en die nuttig kunnen inzetten. Ook bij geothermie is verondersteld dat boringen erin slagen om voldoende warmtelevering te realiseren, wat in de praktijk niet altijd lukt.



# 5. Ontwikkelingen tot 2030

In de startanalyse wordt rekening gehouden met prijsontwikkelingen op de energiemarkt tussen 2018 en 2030 en met kostendalingen van technische maatregelen voortvloeiend uit leereffecten.

## 5.1 Kostendaling van technische maatregelen

De grootschalige aanpak van de warmtevoorziening brengt naar verwachting kostenreducties met zich mee. In de startanalyse wordt hier rekening mee gehouden. Bij de voorbereiding van het Klimaatakkoord heeft de werkgroep 'Arrangementen' (onderdeel van de sectortafel Gebouwde Omgeving) onderzocht welke mate van kostenreductie verwacht kan worden. Hierbij is rekening gehouden met de effecten van standaardisatie, industrialisatie, efficiencyverbetering, innovatie, een meer actieve rol van het bedrijfsleven en opschaling van uitvoeringscapaciteit.

Bij de berekening van kosten in 2030 wordt zoveel als mogelijk aangesloten bij de analyse van het ontwerp-klimaatakkoord. In die analyse zijn twee varianten uitgewerkt: geen kostendaling en de beoogde kostendaling conform het onderzoek van de werkgroep 'Arrangementen'. In de doorrekening van de referentie en de strategieën wordt het gemiddelde van beide gehanteerd.

Onderstaande tabel toont de in de startanalyse gehanteerde parameters voor kostendalingen van technische maatregelen, met een onderverdeling naar installaties, warmtenetten en schilmaatregelen.

**Tabel 12: Drie varianten van kostenreducties tussen 2018 en 2030 in de Startanalyse.**

Onderdeel	Onderwaarde	Middenwaarde	Bovenwaarde
<b>Installaties</b>			
Hybride warmtepomp	0 %	23 %	45 %
Booster warmtepomp	0 %	19 %	38 %
Warmtepomp bij alle energielabels en utiliteit	0 %	19 %	38 %
Lage temperatuur afgiftesysteem	0 %	6 %	12 %
<b>Warmtenetten</b>			
Onderstations bij midden temperatuur netten	0 %	11 %	21 %
Inpandig leidingwerk woningen	0 %	13 %	25 %
Midden temperatuur distributieleidingen	0 %	11 %	21 %
Onderstations bij grote utiliteit	0 %	11 %	21 %
Onderstations bij lage temperatuur netten	0 %	11 %	21 %
Inpandig leidingwerk grote utiliteit	0 %	13 %	25 %
Inpandig leidingwerk kleine utiliteit	0 %	13 %	25 %
Zijleidingen midden temperatuur netten	0 %	11 %	21 %
Warmteoverdrachtstation	0 %	11 %	21 %
Aansluiting warmtenet meergezinswoning	0 %	10 %	20 %
Aansluiting warmtenet grondgebonden woning	0 %	10 %	20 %
Aansluiting warmtenet utiliteitsgebouw	0 %	10 %	20 %
Lage temperatuur distributieleidingen	0 %	11 %	21 %
Secundair net lage temperatuur netten	0 %	11 %	21 %
Leidingen tussen bronnen en buffer	0 %	23 %	45 %

Uitkoppelkosten restwarmtebron	0 %	11 %	21 %
Warmtemeters voor warmtenetten	0 %	11 %	21 %
Collectieve warmtepompen	0 %	23 %	45 %
Hoge temperatuur opslagvat	0 %	23 %	45 %
WKO-doublet	0 %	23 %	45 %
Afleverzet voor warmtenetten	0 %	10 %	20 %
Leidingverlies	0 %	14 %	28 %
Onderhoud en Bediening (O&B)	0 %	9 %	17 %
<b>Gebouverbetering</b>			
Gebouverbetering naar een tussenlabel	0 %	9 %	18 %
Gebouverbetering van huidig naar label B	0 %	9 %	18 %
Gebouverbetering van huidig naar label A+	0 %	21 %	41 %
Gebouverbetering van tussenlabel naar B	0 %	9 %	18 %
Gebouverbetering van tussenlabel naar A+	0 %	21 %	41 %
Gebouverbetering van B naar A+	0 %	21 %	41 %

De middenwaarde is van toepassing bij de doorrekening van alle strategieën en de referentie. In de gevoeligheidsanalyse wordt het effect van beide varianten berekend.

## 5.2 Subsidies

De Startanalyse van oktober houdt GEEN rekening met SDE+ subsidie op biomassa en geothermie en ISDE-subsidie op warmtepompen. Subsidies hebben geen effect op de hoogte van de nationale kosten, maar zijn wel relevant voor de berekening van de kosten voor eindgebruikers. In oktober zijn alleen nationale kosten berekend. Veel kostenkennallen zijn wel afgeleid van berekeningen die ten grondslag hebben gelegen aan de berekening van SDE+ subsidies.

## 5.3 Beschikbaarheid en CO<sub>2</sub>-emissiefactor van energiedragers

### 5.3.1 CO<sub>2</sub>-emissiefactoren van energiedragers

De Startanalyse van oktober 2019 beschouwt de volgende energiedragers:

- Groengas
- Omgevingswarmte
  - Warmte uit buitenlucht (geproduceerd met een luchtwarmtepomp)
  - Warmte uit oppervlaktewater (thermische energie oppervlaktewater)
  - Warmte uit afvalwater (thermische energie afvalwater)
  - Warmte uit de bodem (enkele meters onder de grond, geproduceerd met een bodemwarmtepomp)
  - Bodemwarmte opgeslagen in aquifers (waterhoudende lagen op 100-150 meter diepte die met een warmtekoedeopslag (WKO) worden benut)
  - Aardwarmte (2-4 km diepte, geothermie)
- Middentemperatuur (MT)-restwarmte
- Lagetemperatuur (LT)-restwarmte
- Elektriciteit

In de Startanalyse is verondersteld dat al deze energiedragers op termijn worden geproduceerd zonder CO<sub>2</sub>-uitstoot en dat de emissiefactor derhalve nul is. Op dit moment is dat nog niet het geval bij restwarmte en elektriciteit. In het Klimaatakkoord zijn afspraken gemaakt om in 2030 al 75% van de elektriciteit uit hernieuwbare bronnen te produceren. Ook de industrie zal stapsgewijs zijn fossiele energie vervangen door hernieuwbare energie en elektriciteit (die steeds groener wordt). Daardoor zal ook de industriële restwarmte steeds meer uit

hernieuwbare bronnen afkomstig zijn. Een soortgelijke ontwikkeling zal zich voordoen bij de productie van restwarmte in de dienstensector.

Omgevingswarmte is in principe hernieuwbaar en veroorzaakt dus geen CO<sub>2</sub>-uitstoot. Het verbranden van groengas veroorzaakt wel CO<sub>2</sub>-uitstoot maar die wordt niet meegeteld als broeikasgasemissie omdat die uitstoot niet bijdraagt aan de netto toename van de CO<sub>2</sub>-concentratie in de atmosfeer.

### 5.3.2 Beschikbaarheid van groengas

Groengas wordt gemaakt d.m.v. vergisting en d.m.v. vergassing van biomassa. Beide technieken kunnen verschillende soorten biomassa als 'grondstof' gebruiken, ieder met zijn eigen kosten en beperkingen.

**Tabel 13: Kenmerken van technieken voor groengasproductie.**

Techniek	Grondstof of substraat	Belemmeringen	Aantal projecten in 2018	Omvang projecten	Kosten CO <sub>2</sub> -red. 2019 (€/t CO <sub>2</sub> )	Productie-kosten SDE++2020 (€/MWh)
<b>Vergisting</b>						
Rioolslib-vergisting	AWZI- en RWZI-slib				158	47
Monomestvergisting klein (<400kW)	Vaak rundermest	Afzet digestaat	enkele		372	88
Monomestvergisting groot	Mix varkens- en rundermest	Idem	geen		284	71
Allesvergisters	Mest 55-90% + cosubstraat V&G-industrie	Idem	9	Meestal > 30MWth	235	62
<b>Vergassing</b>						
Vergassing biomassa	Vaste biomassa, houtsnippers	Duurzaamheids-criteria		10-21 MW	514	100
Vergassing B-hout	Onbewerkt sloophout	Beschikbaarheid ongewis	geen		366	75
Watervergassing	Natte biomassa	Onvoldragen technologie	pilots		onbekend	duur
Bio-raffinage	Planten(resten)	onbekend	pilots		onbekend	onbekend

Omdat de Startanalyse bedoeld is voor ondersteuning van keuzes voor energiesystemen die op lange termijn aardgas kunnen vervangen, moeten de strategieën met groengas worden afgestemd op beschikbaarheid van groengas voor de gebouwde omgeving op lange termijn, dus rond 2050. Hoeveel dat zal zijn is nu nog uiterst onzeker. Er is al wel iets meer zicht op de verwachte ontwikkeling van de productie van groengas in Nederland tot 2030, zie tabel 16. Uit de geraadpleegde bronnen blijkt dat 1 bcm<sup>10</sup> groengas in 2030 geproduceerd kan worden met de bewezen techniek van vergisting en financieel ondersteund kunnen worden met SDE+. Voor meer groengas moeten nieuwe technieken worden ingezet, in het bijzonder vergassing. De toepassing daarvan wordt pas na 2025 voorzien terwijl de beschikbaarheid van SDE-subsidie dan onzeker is. Daarom lijkt 1 bcm groengas voor de gebouwde omgeving in 2030 een redelijke schatting. Voor de Startanalyse is echter relevant hoeveel groengas in 2050 beschikbaar is.

<sup>10</sup> bcm = billion cubic meter (miljard kubieke meter), een veel gebruikte maat voor gasvolumes op nationale schaal.

De groeipotentie van **vergisting** van biomassa is beperkt. Vergisting van GFT en afval uit de voedings- en genotmiddelenindustrie is goedkoper maar heeft weinig groeipotentie omdat de makkelijk toegankelijke bronnen al worden benut. Dierlijke mest is ruim voor handen in Nederland maar uitbreiding van de vergistingscapaciteit wordt gehinderd door de afzet van digestaat, het restproduct van vergisting, en door vertraging bij de verstrekking van vergunningen. Volgens Green Liaisons kan de productie van groengas ter vervanging van aardgas toenemen van 0,38 bcm naar 0,46 bcm in 2030 en 0,47 bcm in 2050, zie Tabel 17.

**Tabel 14: Beeld van de te verwachten productie van groengas in Nederland in 2030.**

Studie	Groengas productie in 2030	Opmerkingen
Rabobank 2019 <sup>11</sup>	0,3 bcm	Mn mest-covergisting en allesvergisting
Groen Gas NL (in CE 2018 <sup>12</sup> )	2,0	= 0,7 vergisting + 1,2 kritische watervergassing + 0,1 houtvergassing. Tot 2030 eerst in GO inzetten want nog duur.
GNL concrete initiatieven	(2,0)	In 2050
Ecofys 2017 <sup>13</sup> en NOP 2017 <sup>14</sup>	1,8	Economisch rendabel; 2,5 technisch max.
NBNL onbenut potentieel <sup>15</sup>	1,8	mestvergisting

De groeipotentie van **vergassing** is groot, met name bij watervergassing van waterige biomassa, maar de technologische uitdagingen van watervergassing zijn groot. Voor vergassing van hout verwacht Green Liaisons een toename naar 0,2 bcm in 2030 en 0,9 bcm in 2050, zie Tabel 17. Bioraffinage heeft na 2030 een groter groeipotentieel: 0,26 bcm in 2030 en 3,2 bcm in 2050. Het is wel de vraag of het aantrekkelijk zal worden om syngas (het ruwe product van vergassing) op te werken naar aardgaskwaliteit. Dat kost namelijk veel energie terwijl syngas ook direct in de industrie wordt gebruikt.

**Tabel 15: Verwachte ontwikkeling productie groengas volgens Green Liaisons (Gemeent 2018).**

	2012 (mln. Nm <sup>3</sup> )	2030	2050
Slibvergisting	111	99	109
Monomestvergisting <400kW gas	8	118	109
Monomestvergisting >400kW gas	37	21	0
Allesvergister groen gas	219	222	250
<b>Totaal vergisting</b>	<b>375</b>	<b>460</b>	<b>468</b>
Houtvergassing	0	188	938
Watervergassing	0	1055	3014
Bioraffinage	0	256	3198
<b>Totaal vergassing</b>	<b>0</b>	<b>1498</b>	<b>7150</b>

<sup>11</sup> Bron: presentatie "Realiseren van biogasprojecten", van Hans van den Boom (Project Finance Rabobank), gehouden op de themadag Groen Gas d.d. 13 maart 2019 in Bunnik, georganiseerd door Gasunie TS.

<sup>12</sup> Bron: "Contouren en instrumenten voor een Routekaart Groengas 2020-2050" (CE-Delft 2018).

<sup>13</sup> Bron: "Overige hernieuwbare energie in Nederland: Een potentieel studie", Ecofys, mei 2017.

<sup>14</sup> Bron: Netwerk Ontwikkelplan 2017, consultatiedocument GTS, juli 2017, geciteerd in: NBNL (2018).

<sup>15</sup> Bron: NBNL (2018) Advies 'Creëren voldoende invoedruimte voor groen gas', 23 april 2018.

[https://www.netbeheermederland.nl/upload/Files/Adviesrapport\\_%27Creeren\\_voldoende\\_invoedruimte\\_voor\\_groen\\_gas%27\\_122.pdf](https://www.netbeheermederland.nl/upload/Files/Adviesrapport_%27Creeren_voldoende_invoedruimte_voor_groen_gas%27_122.pdf)

Partijen betrokken bij Routekaart Groen Gas stellen dat op lange termijn 10-12 bcm groengas beschikbaar komt in Nederland. Daarvan zou circa 2 bcm beschikbaar zijn voor de gebouwde omgeving, de rest voor de industrie, vrachtverkeer en personenvervoer. Het Klimaatakkoord schetst ook een beeld van 2 bcm groengas voor de gebouwde omgeving, overigens zonder duidelijke afspraken over volumes en termijnen. In de Startanalyse wordt ervan uitgegaan dat deze 2 bcm beschikbaar is voor de gebouwde omgeving. Dit wordt verdeeld over hulpketels voor collectieve warmtenetten en individuele gebouwen.

#### **5.3.2.1 Groengas voor hulpketels**

Hulpketels van warmtenetten worden ingezet in perioden van extra warmtevraag, waarin warmtebronnen die basislast verzorgen onvoldoende vermogen hebben om in de warmtevraag te voorzien. Hulpketels moeten uiterlijk in 2050 volledig draaien op hernieuwbare energiedragers, zoals groengas, hernieuwbare waterstof of vaste biomassa. Hoewel vaste biomassa nu al wordt toegepast bij warmtenetten, is het minder geschikt voor hulpketels die snel moeten kunnen worden ingeschakeld. Ook de beperkte beschikbaarheid en de mogelijke nadelige gevolgen voor lokale luchtkwaliteit (NO<sub>x</sub>, fijnstof) maken vaste biomassa minder aantrekkelijk als brandstof voor hulpketels. Omdat waterstof nog niet kon worden meegenomen in de berekeningen voor de Startanalyse van oktober, is verondersteld dat alle hulpketels op termijn overstappen van aardgas of biomassa naar groengas.

Ook is verondersteld dat hulpketels op termijn jaarlijks 0,5 bcm groengas nodig zullen hebben. Er zijn geen berekeningen gemaakt voor onderbouwing van 0,5 bcm voor hulpketels. Hoeveel daarvoor nodig is, kan pas worden bepaald nadat gemeenten hun voorkeur voor warmtenetten hebben kenbaar gemaakt. De Startanalyse wordt gemaakt om die keuzes te helpen onderbouwen en kan dus niet gebruik maken van de uitkomsten ervan.

#### **5.3.2.2 Allocatie groengas naar buurten**

Als van de 2 bcm groengas voor toepassingen binnen de gebouwde omgeving al 0,5 bcm wordt benut door hulpketels van warmtenetten, dan blijft 1,5 bcm over voor verwarming van gebouwen (woningen en bedrijven). Uit berekeningen van de strategieën S4 en S5 met groengas blijkt, dat meer groengas nodig is om alle buurten waar S4 of S5 de goedkoopste strategie is: bij S4 is 1,9 bcm nodig; bij S5 is dat 3 bcm en bij de combinatie van S4 en S5 is 3,2 bcm groengas nodig om overal de strategie met de laagste nationale kosten te kunnen realiseren.

Het Vestamodel zou gebruikt kunnen worden om te berekenen in welke buurten groengas het meest economisch kan worden ingezet, maar zo'n toepassing van het model past niet bij het doel van de Startanalyse, die mogelijke opties naast elkaar wil presenteren en de afweging wil overlaten aan gemeenten. Daarom is de allocatie van groengas naar buurten uitgevoerd als nabewerking op de uitkomsten van Vesta-berekeningen van de nationale kosten van strategieën met groengas (S4 en S5).

De centrale gedachte bij die allocatie is, dat het voor de Nederlandse samenleving het meest efficiënt is om groengas te benutten in buurten waar verwarmen zonder groengas erg duur zou zijn. Door die buurten van groengas te voorzien, kunnen namelijk hoge kosten van gasloze strategieën worden uitgespaard.

De gevolgde procedure verloopt als volgt:

- a. Rangschik buurten naar oplopende uitgespaarde nationale kosten
- b. Begin met toedeling van groengas aan de buurt waar de uitgespaarde nationale kosten het grootst zijn,
- c. Ga daarmee door tot 1,5 bcm groengas is toegedeeld.

De uitgespaarde nationale kosten worden als volgt berekend:

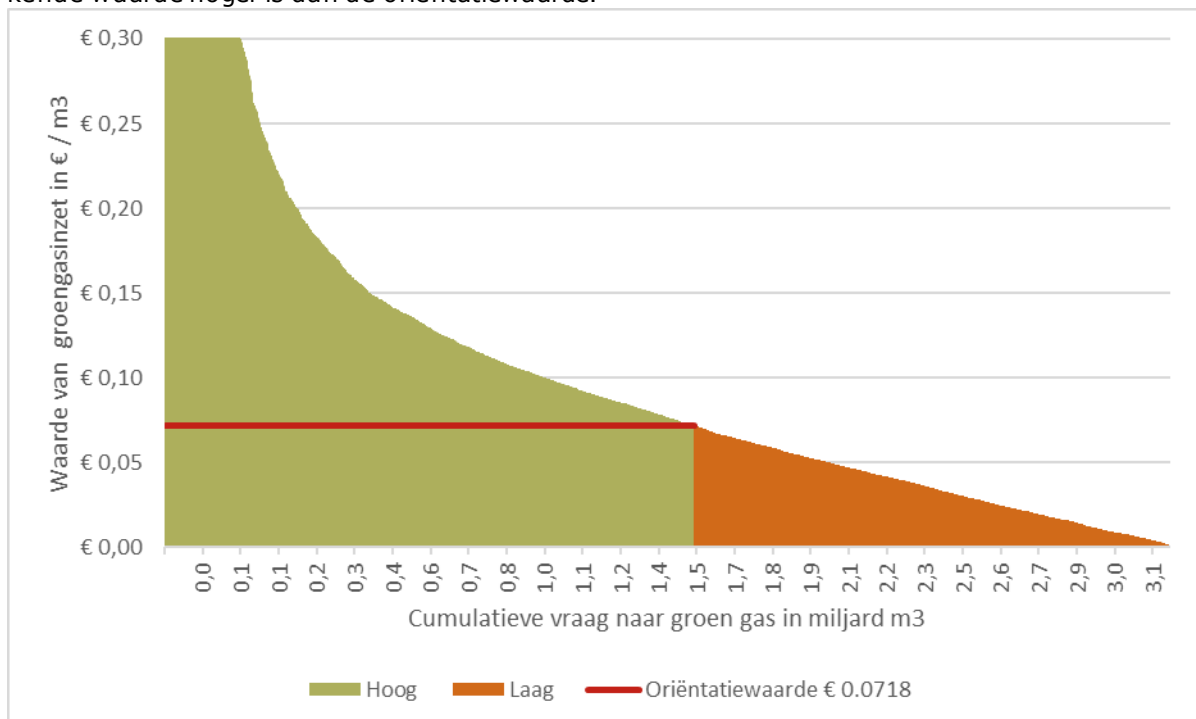
- Bereken voor elke buurt de nationale kosten van elke strategie voor aardgasloos verwarmen.
- Strategie met laagste nationale kosten heeft de voorkeur (zie KA).
- Als geen groengas beschikbaar is, wordt goedkoopste gasloze strategie X gekozen.

- Als je wel groengas krijgt, spaar je de kosten van strategie X maar betaal je de kosten van de groengas-strategie.
- De uitgespaarde kosten = kosten strategie X – kosten groengasstrategie (= ‘waarde groengas’).

De resultaten van deze procedure zijn weergegeven in onderstaande figuur. Die is opgebouwd uit staafdiagrammen van buurten waar een groengasstrategie de laagste nationale kosten had van alle strategieën voor die buurt. De lengte van elke staaf geeft de waarde van groen gas aan (ofwel de hoogte van de uitgespaarde kosten per kubieke meter gas); de breedte van de staaf geeft de hoeveelheid groengas aan die in een buurt nodig is om alle gebouwen te verwarmen. De staven zijn gerangschikt naar aflopende waarde van groengas en vormen zo een vraagcurve naar groengas.

Onderstaande figuur toont het gecombineerde beeld voor S4 (groengas met een hybride warmtepomp) en S5 (groengas met een HR-ketel). Soortgelijke grafieken zijn ook te maken voor deze strategieën apart, maar die hebben alleen analytische betekenis. In de praktijk zullen gebouweigenaren in een buurt kiezen voor een hybride warmtepomp óf een HR-ketel, afhankelijk van welke de goedkoopste is. Dat kan van buurt tot buurt verschillen. Daarom is het nuttig om beide strategieën simultaan te laten ‘meedingen’ naar de beperkte hoeveelheid groengas.

Op het snijpunt van deze vraagcurve met een aanbodlijn op 1,5 bcm wordt de oriëntatiewaarde van groengas bepaald: 7,18 cent per m<sup>3</sup> in onderstaande figuur. Elke buurt kan zijn berekende waarde van groengas vergelijken met deze oriëntatiewaarde en zo bepalen of inzet van groengas in die buurt nationaal economisch efficiënt is. Dat is efficiënt als de berekende waarde hoger is dan de oriëntatiewaarde.



**Figuur 2: Geschatte waarde van groengas bij S4 en S5 tezamen.**

### 5.3.3 Beschikbaarheid van omgevingswarmte

In de Startanalyse is verondersteld dat op termijn geen beperkingen gelden voor beschikbaarheid van omgevingswarmte uit buitenlucht, oppervlaktewater en bodem. Bij warmte uit afvalwater is verondersteld dat de huidige bronnen ook in de toekomst beschikbaar blijven. De toekomstige toepasbaarheid van WKO's is gelijk gehouden aan de huidige en wordt bepaald door de bodemgesteldheid en de huidige regelingen.

De toekomstige beschikbaarheid van aardwarmte (geothermie) is onzeker. In het Gemeenterapport is hierover uitvoerig geschreven. Slechts in een deel van Nederland is de geschiktheid van de ondergrond voor levering van geothermie onderzocht en door TNO ontsloten via [www.thermogis.nl](http://www.thermogis.nl). In de Startanalyse zijn twee varianten doorgerekend voor MT-warmtenetten op basis van geothermie. In strategie S2b wordt gerekend met beschikbaarheid van geothermie die in ThermoGis 2.0 wordt aangeduid met 'goede kans'. De viewer van de Startanalyse bevat een kaart waarop de gebieden zijn aangegeven met deze 'goede kans'. Dit houdt in een kans van 50% op een doublet met een technisch potentieel van meer dan 5 MW thermisch. In strategie S2c is verondersteld dat geothermie overal in Nederland beschikbaar is. Deze variant loopt vooruit op de uitkomsten van aangekondigd onderzoek (zie [www.ebn.nl/scan](http://www.ebn.nl/scan)) naar de geschiktheid van de ondergrond in de nog niet onderzochte gebieden. Met deze variant kunnen gemeenten in nog niet onderzochte gebieden verkennen of geothermie mogelijk een aantrekkelijke optie zou kunnen zijn als (later) blijkt dat de ondergrond daarvoor geschikt is.

#### 5.3.4 Beschikbaarheid van restwarmte

In de Startanalyse is verondersteld dat de huidige bronnen van restwarmte ook op termijn beschikbaar zullen zijn. De gemeente wordt geacht zelf na te gaan of de warmtebronnen op lange termijn (verduurzaamd) warmte kunnen blijven leveren. Voor de berekeningen is gebruikgemaakt van het meest recente bestand uit de Warmteatlas van bronnen met restwarmte, aangevuld met opgaven van (enkele) gemeenten. Deze gegevens zijn onnauwkeurig en onvolledig. In het Klimaatakkoord is afgesproken dat de industrie gaat rapporteren over beschikbare capaciteit aan restwarmte. Dat kan ertoe leiden dat de informatie over beschikbare restwarmte in de komende tijd verbetert. Tot die tijd is het raadzaam dat gemeenten die overwegen restwarmte te gaan benutten contact opnemen met potentiële leveranciers voor nadere informatie over de capaciteit, het vermogen en de bestendigheid van de bronnen.

Daarnaast is afstemming nodig met andere potentiële afnemers van dezelfde restwarmte. Als dat afnemers in andere gemeenten of energieregio's zijn, dan zou afstemming van aanbod en vraag in gesprekken met betrokken gemeenten en afnemers of in samenhang met een regionale energiestrategie (RES) kunnen worden opgepakt.

#### 5.3.5 Beschikbaarheid van hernieuwbare elektriciteit

In de Startanalyse is verondersteld dat op termijn voldoende groene elektriciteit beschikbaar zal zijn om in de behoefte van de gebouwde omgeving te voorzien.

### 5.4 Kosten van energiedragers in 2030

De kosten van energiedragers waar in de Startanalyse mee gerekend wordt, zijn waar mogelijk overgenomen uit de Klimaat- en Energieverkenning 2019 (KEV 2019). Dit zijn ten tijde van de publicatie van de Startanalyse de meest actuele prijsverwachtingen voor 2030. De waarden in de standaardberekening van de Startanalyse zijn opgenomen in de bijlage 'Parameters gevoeligheidsanalyse'.

#### 5.4.1 Kosten van elektriciteit

De kosten van elektriciteit in 2030 zijn ontleend aan de groothandelsprijzen van elektriciteit in 2030 zoals die zijn geraamd in de KEV 2019. In de ramingen binnen de KEV 2019 wordt in de vaststelling van de prijzen ook rekening gehouden met de kosten gerelateerd aan de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de opgewekte elektriciteit. Die kosten zijn ontleend aan de verwachte CO<sub>2</sub>-prijs in 2030 voor emissiehandel via ETS en die bedragen volgens de KEV 47 euro/ton voor het scenario met vastgesteld en voorgenomen beleid. De gemiddelde CO<sub>2</sub>-uitstoot per kWh, van het integrale elektriciteitspark, bedraagt in 2030 volgens de KEV 0,00009 ton CO<sub>2</sub>/kWh. Een

significante daling ten opzichte van de situatie in 2018 waar de CO<sub>2</sub>-uitstoot per kWh nog 0,000405 ton CO<sub>2</sub>/kWh was. Dat brengt de CO<sub>2</sub>-kosten op 0,41 cent/kWh in 2030. De verwachte jaargemiddelde groothandelsprijs voor elektriciteit (incl. marge) in 2030 bedraagt 8,1 cent/kWh. Dat brengt de nationale kosten van elektriciteit op 8,51 cent/kWh in 2030.

Na publicatie van de resultaten kwam een **rekenfout** in het model aan het licht die gevolgen heeft voor de prijs van elektriciteit die gebruikt is voor berekening van kosten in het referentiejaar 2018. Daarvoor is abusievelijk de hogere prijs van 2010 gebruikt. Deze fout heeft geen gevolgen voor de kostenberekening van de strategieën in 2030 en heeft ook geen invloed op de verschillen tussen strategieën van de extra kosten t.o.v. het referentiejaar. De absolute hoogte van die extra kosten is onjuist (die worden gemiddeld met naar schatting 0-100 euro/ton CO<sub>2</sub> onderschat), maar dat is voor de vergelijking van strategieën niet relevant.

### 5.4.2 Kosten van omgevingswarmte

De kosten van warmtewinning uit geothermie zijn overgenomen van kostenberekeningen voor onderbouwing van de basisbedragen van de SDE+-regeling.

De kosten voor winning van warmte uit oppervlaktewater zijn ontleend aan kennis van IF Technology waarbij gebruik is gemaakt van een set datapunten van aquathermie-projecten die in het verleden zijn uitgevoerd. De kostenkennallen voor gebruik bij de Startanalyse zijn in samenwerking met IF Technology, CE Delft en RVO vastgesteld met de volgende uitgangspunten:

- Warmte uit oppervlaktewater kan gedurende 2000 vollasturen gewonnen worden
- Deze warmte wordt in een WKO-systeem opgeslagen
- Voor levering wordt de warmte collectief met een warmtepomp opgewerkt naar 70 °C
- Er wordt geen koude geleverd aan de bestaande bouw
- Er is geen apart regeneratiemechanisme voor de WKO nodig.
- Het oppervlaktewater wordt niet meer dan 5000 meter van de WKO gewonnen

Omgevingswarmte voor warmtepompen uit lucht en ondergrond komt zonder nationale kosten beschikbaar.

### 5.4.3 Kosten van restwarmte

Veel restwarmte wordt momenteel geloosd in de lucht of het oppervlaktewater. Daar maken bedrijven kosten voor. Bedrijven zullen ook kosten moeten maken om restwarmte te kunnen aanbieden aan warmtenetten. Er is weinig bruikbare informatie beschikbaar over de hoogte van deze kosten. In de Startanalyse is verondersteld, dat de kosten van het produceren van industriële restwarmte nihil zijn en opwegen tegen de kosten die ze nu al maken om restwarmte kwijt te raken.

### 5.4.4 Kosten van groengas

#### 5.4.4.1 Kosten van vergisting

Momenteel wordt groengas hoofdzakelijk geproduceerd d.m.v. vergisting van zuiveringsslib, GFT, mest en afval uit de voedings- en genotmiddelenindustrie. Van deze technieken zijn goed onderbouwde schattingen van productiekosten beschikbaar die zijn opgesteld t.b.v. de SDE+-regeling. Over de periode 2015-2020 is geen duidelijke kostenreductie gerealiseerd, zie Tabel 18.

Volgens Groen Gas Nederland (geciteerd in CE 2018<sup>16</sup>) kunnen de productiekosten tussen 2018 en 2030 dalen met 8-16%. Volgens Green Liaisons (De Gemeyn 2018<sup>17</sup>) kunnen de

<sup>16</sup> Bron: CE Delft (2018) Contouren instrumenten routekaart groengas 2020-2050.

<sup>17</sup> Bron: Gemeyn (2018) Contouren van een routekaart hernieuwbare gassen 2050 – Green Liaisons.



kosten van vergisting gemiddeld met 35% dalen tussen nu en 2030-2050. Voor de startanalyse hanteren we een kostenreductie van 12% tot 2030.

**Tabel 16: Basisbedragen (productiekosten) van groengas 2015-2020 volgens SDE-adviezen<sup>18</sup>.**

Productiemethode	2015 (ct/Nm <sup>3</sup> )	2016 (ct/Nm <sup>3</sup> )	2017 (ct/Nm <sup>3</sup> )	2018 (ct/Nm <sup>3</sup> )	2019 (ct/Nm <sup>3</sup> )	2020ca (ct/Nm <sup>3</sup> )
Verbeterdeslibvergisting				45	47	46
Monomestvergisting <400kW gas				97	85	86
Monomestvergisting >400kW gas				64	69	69
Allesvergister groen gas	62	59	60	54	61	61
Vergassing biomassa >95% biogeen				122	110	98
Vergassing biomassa B-hout				93	84	73

#### **5.4.4.2 Kosten van vergassing**

De productie van groengas d.m.v. vergassing is een grote belofte voor de toekomst. In de SDE-systematiek zijn alleen kostenberekeningen beschikbaar voor vergassing van hout. De investeringskosten zijn de laatste jaren gedaald. De prijs van houtsnippers zijn de laatste jaren sterk gedaald en zijn nu in overeenstemming met die op de wereldmarkt. Voor B-hout worden geen kosten in rekening gebracht; het aanbod hiervan is onvoorspelbaar en beperkt. Ondanks deze recente kostendalingen zijn de kosten van groengas uit houtvergassing hoger dan van vergisting, zie Tabel 18.

De grootste volumetoename wordt verwacht van technieken die nog volop in ontwikkeling zijn: watervergassing en bioraffinage. Daarvan zijn nog geen gestandaardiseerde kostenberekeningen beschikbaar. Volgens Green Liaisons (De Gemeynt 2018) kunnen de kosten van vergassing gemiddeld met 45% dalen tussen nu en 2030-2050. Groen Gas Nederland (geciteerd in CE 2018<sup>19</sup>) verwacht dat de productiekosten van houtvergassing tussen 2018 en 2030 dalen met 34%. Het is uiterst onzeker of deze reducties gerealiseerd kunnen worden, gezien de ontwikkelfase waarin deze technieken zich momenteel bevinden. In onze kostenraming voor 2030 veronderstellen we dat de kosten van houtvergassing met 15% dalen tussen 2018 en 2030 (in lijn met de lange termijnverwachting van Green Liaisons).

#### **5.4.4.3 Gemiddelde productiekosten van groengas in 2030**

Voor de startanalyse berekenen we de kosten van strategieën met groengas op basis van de groengaskosten in 2030. De gemiddelde prijs wordt sterk bepaald door de verhouding waarin verschillende productietechnieken dan zullen worden toegepast. Die ontwikkeling is nogal onzeker. In Tabel 179 is de gemiddelde groengasprijs berekend op basis van de kostenreducties die hierboven zijn gekozen en de productievolumes die Green Liaisons aangeven. Als we veronderstellen dat in 2030 vergassing alleen wordt toegepast op hout, dan zou in 2030 circa 0,6 bcm groengas beschikbaar zijn voor vervanging van aardgas. De gemiddelde productiekosten bedragen dan 70 cent per Nm<sup>3</sup>.

Om in 2030 al 2 bcm groengas beschikbaar te hebben, is ook groengas uit watervergassing en bio-raffinage nodig. Bij gebrek aan goed onderbouwde kostenberekeningen hanteren we hiervoor de kostprijs van houtvergassing in 2019. Aldus komen de gemiddelde productiekosten van 2 bcm in 2030 uit op 97 cent per Nm<sup>3</sup>, zie Tabel 19.

<sup>18</sup> Bronnen: [https://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl-2018-eindadvies-basisbedragen-SDE-plus-2019\\_3342.pdf](https://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl-2018-eindadvies-basisbedragen-SDE-plus-2019_3342.pdf) en <https://www.pbl.nl/publicaties/conceptadvies-sde-2020-verbranding-en-vergassing-van-biomassa> en <https://www.pbl.nl/publicaties/conceptadvies-sde-vergisting-van-biomassa>

<sup>19</sup> Bron: CE Delft (2018) Contouren instrumenten routekaart groengas 2020-2050.

**Tabel 17: Berekening gemiddelde productiekosten groengas in 2030.**

	2018 (ct/Nm <sup>3</sup> )	2019 (ct/Nm <sup>3</sup> )	2030 (ct/Nm <sup>3</sup> )	2030 (mln. m <sup>3</sup> )	2030 (mln. ct)
Verbeterde slibvergisting	45	47	40	98,7	3918
Monomestvergisting <400kW gas	97	85	85	118,2	10098
Monomestvergisting >400kW gas	64	69	56	21,3	1195
Allesvergister groen gas	54	61	47	221,8	10527
<b>Totaal vergisting</b>		<b>64</b>	<b>56</b>	<b>460,0</b>	<b>25738</b>
Houtvergassing	122	110	104	188	19473
<b>Vergisting + houtvergassing</b>			<b>70</b>	<b>648</b>	<b>45211</b>
Watervergassing			110	1055	116444
Bio-raffinage			110	256	28250
<b>Totaal vergisting + vergassing</b>		<b>100</b>	<b>97</b>	<b>1958</b>	<b>189906</b>

Voor de gevoeligheidsanalyse is behoefte aan een bandbreedte voor de toekomstige productiekosten van groengas. Als de gekozen kostenreductie na 2019 niet optreedt, dan ontstaat bij de volumes voor 2030 een gemiddelde kostprijs van 100 cent per Nm<sup>3</sup>, zie Tabel 19. Als we de ontwikkelingen tot 2050 volgens Green Liaisons vertalen in een gemiddelde productiekosten, dan zouden die kunnen dalen tot 65 cent/Nm<sup>3</sup> (niet in Tabel 19). Deze bedragen zullen we hanteren als boven- en ondergrens voor de kosten van groengas in de startanalyse.

#### 5.4.4.4 Extra kosten CO<sub>2</sub>-verwijdering

Om de klimaatdoelen te realiseren is het nodig om de mondiaal beperkte hoeveelheid biomassa voor energetische toepassingen tevens zoveel mogelijk te benutten als sink om CO<sub>2</sub> uit de atmosfeer te verwijderen en ondergronds op te slaan of te gebruiken als procesgrondstof. Nederland heeft hiervoor een goede infrastructuur. De kosten hiervoor zijn 5 à 6 ct/Nm<sup>3</sup>. Deze zijn gebaseerd op een verhouding van 2 eenheden kooldioxide die vrijkomt bij de vergassing en vergisting van 3 eenheden methaan; en 40 à 50 euro/ton CO<sub>2</sub> voor de verwijdering van kooldioxide onder de grond (10 à 20 euro/ton voor afvang en 30 euro/ton voor transport en opslag).

#### 5.4.4.5 Totale kosten groengas in de startanalyse

De startanalyse rekent in de standaardberekening met kosten van groengas inclusief de CO<sub>2</sub>-verwijdering met 103 ct/ Nm<sup>3</sup> en in de gevoeligheidsanalyse met 70 ct/ Nm<sup>3</sup> en 106 ct/ Nm<sup>3</sup> als onder- respectievelijk bovengrens.

**Tabel 18: Bandbreedte nationale kosten van groengas in 2030.**

	Ondergrens	Verwachting 2030	Bovengrens
Argument	Kostendaling cf. verwachting Green Liaisons		Geen kostendaling vanaf nu
	(ct/Nm <sup>3</sup> )		
Productiekosten	65	97	100
Kosten CO <sub>2</sub> -afvang	5	6	6
Totale nationale kosten	70	103	106

# 6. Gevoeligheidsanalyse

De Startanalyse bevat ook een gevoeligheidsanalyse. Die geeft aan hoe 'robuust' de belangrijkste uitkomsten van de Startanalyse zijn. Of, anders gezegd: hoe gevoelig zijn de uitkomsten voor de nationale kosten van een strategie in een buurt of een gemeente als bepaalde factoren — prijzen, kostendalingen, et cetera — zich anders ontwikkelen dan de gemiddelde waarde die in het model is aangenomen? Deze analyse geeft de gebruiker dus een beeld hoe zeker of onzeker de keuze voor de goedkoopste strategie kan zijn. Verschillende strategieën kunnen binnen die onzekerheid met elkaar concurreren. Welke de beste strategie is, kan met de Handreiking voor lokale analyse verder worden uitgewerkt richting Transitievisie Warmte.

Voor een goed overzicht is de gevoeligheidsanalyse beperkt tot vijf factoren. De keuze voor deze factoren is gebaseerd op workshops met experts en op welke factoren voor gemeenten relevant zijn. Hoe werken de factoren door in de strategieën? De Startanalyse (in het Gemeenterapport, de viewer en de datapakketten) geeft in cijfers aan hoe de kosten voor een buurt per strategie kunnen variëren als de onderstaande factoren anders uitpakken dan verondersteld. Voor elke strategie staat in het Gemeenterapport een staafdiagram waarin nationale kosten staat aangegeven die horen bij de onderste, bovenste en gemiddelde waarde van elk van de factoren. Voor elk van die factoren apart geeft de Startanalyse uitkomsten. Het effect van elke factor op de hoogte van de nationale kosten per ton CO<sub>2</sub>-emissiereductie is telkens berekend bij de middenwaarde van de andere factoren. Dat betekent dat geen rekening is gehouden met de combinatie van variaties (of onzekerheid) in genoemde factoren.

Dit hoofdstuk licht de factoren waarvoor een gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd toe. In de bijlage staan de waarden waarmee de gevoeligheidsanalyses zijn uitgevoerd. De vijf meege-nomen factoren zijn:

1. Huidige kosten van technische maatregelen;
2. Ontwikkeling van de kosten van technische maatregelen;
3. Kosten van energiedragers in 2030;
4. Energie-efficiëntie van apparaten;
5. Schillabel gebouwen.

## 6.1 Huidige kosten van technische maatregelen

Hier gaat het om de huidige investeringskosten van technische maatregelen zoals isolatie, ontsluiting van warmtebronnen, warmtenetten en warmtepompen. De standaardberekening gaat zoveel mogelijk uit van de nu gemiddelde investeringskosten. Alle strategieën zijn door-gerekend met lagere en hogere investeringskosten van alle technieken.

Die kosten en hun varianten zijn gebaseerd op inventarisaties voor het Vesta MAIS-model en gevalideerd aan de visie van experts. De investeringskosten zijn relatief laag als maatregelen worden genomen op 'natuurlijke' momenten (bij een verbouwing of vervanging van bijvoorbeeld een oud gasleidingnet of een kapotte ketel) en samen met de burens. Zie voor de waarden de bijlage.

## 6.2 Ontwikkeling in de kosten van technische maatregelen

Tot 2030 worden de kosten van technische maatregelen zoals isolatie, warmtebronnen, warmtenetten en warmtepompen verondersteld te dalen, of op zijn slechtst gelijk te blijven. De standaardberekening sluit aan bij de ontwikkeling die ook de KEV 2019 aanneemt. De gevoeligheidsanalyse rekent twee varianten door: met gelijkblijvende kosten en met een grotere daling van de investeringskosten van alle technieken. De grotere kostendaling is ontleend aan notities van de Werkgroep Arrangementen bij de tafel Gebouwde Omgeving,

die het Ontwerp Klimaatakkoord heeft opgesteld<sup>20</sup> en eerdere inventarisaties en validatieworkshops voor het Vesta MAIS-model. Zie ook tabel 14.

### 6.3 Kosten van energiedragers

De gehanteerde kosten van elektriciteit, aardgas en groen gas in de standaard berekening zijn overgenomen uit de referentieraming van de Klimaat- en energieverkenning (KEV 2019) voor het jaar 2030. Voor alle strategieën is er een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd met lagere respectievelijk hogere kosten. Deze zijn ook gebaseerd op de varianten uit de KEV 2019. De kosten van de energiedragers zijn de optelsom van de commodity-prijs (kan variëren), de prijs voor de bijbehorende emissierechten (kan variëren) en de netwerkkosten (als een vast bedrag, zonder marge).

De Startanalyse neemt alleen veranderingen in de kosten van elektriciteit en hernieuwbaar gas mee. Onzekerheid over de kosten van aardgas heeft geen effect omdat dat per definitie in geen enkele strategie wordt gebruikt. De kosten van restwarmte zijn constant gehouden. Omdat we alleen nationale kosten berekenen en afzien van import, vallen de kosten samen met de productiekosten (inclusief netwerkkosten en winstmarges van elektriciteitsbedrijven); deze gevoeligheidsanalyse toont dus met name het effect van veranderingen in de productiekosten van groengas en elektriciteit. De waarden staan in de bijlage.

### 6.4 Energie-efficiëntie van apparaten

Hier is gekeken naar de invloed van technische rendementen van warmte-installaties zoals warmtepompen, de warmtewisselaars en ketels en naar het warmteverlies van transport- en distributieleidingen van warmtenetten. De standaardberekening gaat uit van gemiddelde rendementen en warmteverliezen. De gevoeligheidsanalyse rekent twee varianten door met lagere respectievelijk hogere rendementen van alle technieken. De gemiddeldes en varianten zijn gebaseerd op de eerdere techniekinventarisaties en de validatieworkshops van het Vesta MAIS-model in het kader van de Leidraad.

### 6.5 Schillabel gebouwen

De standaardberekeningen gaan ervan uit dat alle gebouwen en woningen, op niveau van schillabel B<sup>21</sup> worden gebracht. Deskundigen stellen dat dat isolatieniveau ook bij lagetemperatuurverwarming (zoals in S1 en varianten van S3) voldoende is om een gebouw comfortabel te verwarmen. Anderen vermoeden dat isoleren tot label A+ nodig is om hoge energierekeningen te voorkomen. Om enig licht te werpen op deze discussie, zijn berekeningen gemaakt van de totale kosten (dus voor energie plus isoleren plus infrastructuur). Er is ook discussie over de wenselijkheid om oude gebouwen zonder spouwmuur of monumentale gebouwen (met een beschermd uiterlijk) te isoleren tot schillabel B. Het was niet mogelijk om voor deze gebouwen een ander isolatieniveau door te rekenen omdat het gebruikte gebouwenbestand geen informatie bevat over spouwmuren of monumentale status. Het effect van isoleren tot schillabel A+ op de nationale kosten is sterk afhankelijk van de kosten van extra isolatie vanaf schillabel B en van hoeveel extra energiebesparing dat oplevert. De huidige kosten van vergaand isoleren in gerealiseerde projecten vertonen grote variaties. Dat maakt het onmogelijk om nu al een betrouwbare kostenraming te maken van isoleren tot schillabel A+ en van hoeveel energiebesparing daarbij gehaald kan worden.

<sup>20</sup> Hierbij wordt voor kosten in 2030 zoveel als mogelijk aangesloten bij de analyse van het Ontwerp Klimaatakkoord. Daarin zijn 2 varianten uitgewerkt: geen kostendaling en de beoogde kostendaling volgens de werkgroep arrangementen. De uiteindelijke kostendaling is mede afhankelijk van de manier waarop de OKA-afspraken worden uitgewerkt. Voor de basisvariant in de Leidraad nemen we het gemiddelde van die twee. In de gevoeligheidsanalyse laten we het effect van beide varianten apart zien.

<sup>21</sup> Uit de validatiebijeenkomsten is gebleken dat alle beschouwde warmte(aanbod)technieken kunnen werken bij een isolatiegraad als bij schillabel B. Om inzichtelijk te maken wat de gevolgen zijn bij verregaande isolatie worden de strategieën ook doorgerekend in combinatie met schillabel A+ in een gevoeligheidsanalyse.

Daarom zijn twee berekeningen gemaakt, één met lage kosten per aanvullende maatregel en één met relatief hoge kosten.

Naar verwachting wordt het bij hoge energiekosten of grotere schaarste aan duurzame energiebronnen aantrekkelijker om verder te isoleren. Het zou nuttig zijn het gecombineerde effect te berekenen van extra isolatie en hoge en lage energiekosten, maar dat was binnen de beschikbare tijd niet mogelijk.

# 7. Rapportage over de Startanalyse

De resultaten van de startanalyse worden middels drie producten gecommuniceerd: de **viewer**, het gemeenterapport (Startanalyse aardgasvrije buurten) en het datapakket. De **viewer** is een online, openbaar en interactief dat een globaal overzicht biedt van resultaten op buurtniveau en is gericht op lokale bestuurders, bewoners en pers. Het **gemeenterapport** is gericht op gemeentelijke ambtenaren en bevat een PDF met toelichting voor alle gemeenten en een tabellenbijlage per gemeente met informatie over de buurten. Het is ook openbaar en online beschikbaar om te downloaden en biedt uitgebreide en meer gedetailleerde informatie om de gemeenten te ondersteunen bij hun analyse en keuzes. Het **datapakket** is één data-collectie met gegevens van gebouwen voor de strategieën die nuttig kan zijn voor vervolgstudies door consultants, experts en modelleurs. Het is niet openbaar en wordt aan elke gemeente afzonderlijk op aanvraag ter beschikking gesteld.

## 7.1 Viewer

De viewer is een online tool beschikbaar op de website (<https://themasites.pbl.nl/leidraad-warmte/main.php#>); één tool voor heel Nederland met de mogelijkheid voor selecties van gemeenten en buurten. Het biedt algemene toelichting via een infoscherm en een gemakkelijke visualisatie van de hoofdresultaten van de startanalyse.

Het bestaat uit een reeks kaarten die zowel buurteigenschappen en context informatie tonen in het startjaar 2018 als de resultaten van de analyse per strategie. De modelresultaten zijn per buurt in klassen weergegeven, elke klasse heeft een eigen kleurcodering. Daarnaast er is ook de mogelijkheid om de gemeenterapporten te downloaden met daarbij een link naar de tabellen met resultaten per buurt.

## 7.2 Gemeenterapporten

Het gemeentelijke rapport bevat per gemeente de resultaten van de startanalyse in de vorm van tabellen met toelichting. De toelichting is minder diepgaand dan de informatie in dit achtergrondrapport, dat vooral de technische details en de specificaties van de analyse biedt. Het gemeentelijke rapport levert meer praktische informatie voor de gebruiker van de tabellen.

Het gemeenterapport bestaat uit twee delen, een schriftelijk rapport met een algemene inhoud voor alle gemeenten en tabellen met specifieke inhoud van buurten voor iedere gemeente. Het eerste deel geeft informatie over hoe u de resultaten van de analyse in de praktijk kunt gebruiken. De tekst licht de verschillende strategieën en de verstrekte referentiescenario's toe, geeft enige context over de oorsprong en ontwikkeling van de analyse en verklaart de inhoud van de tabellen in de bijlage en hoe deze te lezen. Het tweede deel bestaat uit tabellen en figuren met specifieke informatie en berekeningen voor elke buurt in alle gemeenten.

De bijlagen bevatten eerst een sectie met tabellen met kenmerken van de gebouwen per buurt in de gemeente in het startjaar (bijvoorbeeld energielabel, bouwjaar en type gebouw) en een tweede sectie met tabellen en figuren met specifieke informatie per buurt, waar de resultaten van de berekeningen voor de vijf strategieën en referenties naast elkaar worden gepresenteerd. Er wordt geen advies gegeven: gemeenten moeten hun eigen keuzes maken. Voor elke buurt worden per strategie enkele indicatoren voor het energieverbruik en de verschillende kosten gegeven. Voor de strategieën die varianten bevatten, worden altijd de waarden voor de varianten met laagste nationale kosten weergegeven. De kosten van de andere varianten zijn in een aparte tabel getoond. Het aantal aansluitingen per soort

infrastructuur, de opbouw van de nationale kosten (per component) en de resultaten van een gevoeligheidsanalyse op vijf factoren die grote onzekerheden aan de kosten toevoegen, worden ook per strategie weergegeven. Informatie over het aantal woningen en de oppervlakte van utiliteiten gebouwen per energielabel, jaarbouw en typegebouw is ook gegeven.

### 7.3 Datapakket

Naast de tabellen en cijfers die in het gemeentelijk rapport worden aangeboden, zal een pakket met extra informatie aan gemeenten worden verstrekt (een collectie van .csv en .shp bestanden). Dit bevat informatie op verblijfsobject (VBO) niveau, namelijk type aansluiting in 2030, energielabel in het startjaar en bouwjaar/type categorie. Deze informatie kan worden gebruikt in het geval dat gemeenten een vervolganalyse met interne of externe experts willen uitvoeren met het Vesta MAIS-model en/of met eigen modellen willen voortbouwen op deze Startanalyse.

# 8. Referenties

- Arcadis (2018), Investeringskosten EPA woningbouw, Arcadis, 2018
- CE Delft (2019), Schepers et al., Functioneel Ontwerp 4.0, Delft 2019.
- ECN (2016), Ontwikkeling energiekentallen utiliteitsgebouwen: Een analyse van 24 gebouwtypen in de dienstensector, Petten: ECN.
- Hoogervorst, N. et al. (2019), Startanalyse voor aardgasvrije buurten (eerste versie, 30 oktober), Gemeenterapport met toelichting bij tabellen met resultaten van de Startanalyse voor de Leidraad Transitievisie Warmte, Planbureau voor de Leefomgeving, 2019.
- INNAX (2017), Technische verbeteropties bestaande bouw, 2017.
- KEV (2019) Schoots, K. & P. Hammingh (2019), Klimaat- en Energieverkenning 2019, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Klimaatakkoord (2019), Klimaatakkoord, Den Haag 28 juni 2019.
- RVO (2019), Warmteatlas, <https://rvo.b3p.nl/viewer/app/Warmteatlas/v2>, RVO 2019.
- TNO (2019), ThermoGis 2.0, <https://www.thermogis.nl/>, TNO 2019.
- WoON (2018), Ruimte voor wonen - De resultaten van het WoonOnderzoek Nederland, Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2018.
- BAG (2019), Basisregistratie Adressen en Gebouwen, <https://www.geobasisregistraties.nl/basisregistraties/adressen-en-gebouwen>, Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2019.
- INNAX (2017), Technische verbeteropties bestaande bouw, 2017.



# 9. Bijlage Parameters gevoeligheidsanalyse

## 9.1 Huidige kosten van technische maatregelen

Tabel 19: Huidige kosten van technische maatregelen.

Variabelen	Eenheid	Waarde*			Beschrijving
		min	midden	max	
K_WOS	€ / kW	125	132,5	140	investeringskosten warmteoverdrachtstation
K_OS	€ / kW	120	135	150	Kosten van een onderstation per KW
K_Wmtr_vast	€	898,60	912,69	926,78	Vaste kosten warmtemeters glastuinbouw en utiliteit
K_Wmtr_var	€ / kW	1,24	1,35	1,46	Variabele kosten warmtemeters glastuinbouw en utiliteit
Ki_id_Dist	€ / kW	112,34	150,82	189,29	Investeringskosten in pandige leidingen utiliteit
Ki_eWP_coll	€ / kW	547,50	547,50	547,50	Investeringskosten warmtepomp collectief als hulpvoorziening
Ki_WKO_vast	€	135000	150000	165000	Vaste investeringskosten bron zonder distributiekosten
Ki_WKO_var	€ / kW	103,5	115	126,5	Variabele investeringskosten bron zonder distributiekosten
Ki_TEO_vast	€	90000	100000	110000	Vaste investeringskosten bron oppervlaktewater warmtewisselaar
Ki_TEO_var	€ / kW	198	220	242	Variabele investeringskosten bron oppervlaktewater warmtewisselaar
Ki_verv_LD_len	€ / m	243	270	297	Kostenkengetal vervangen LD-gasnet
Ki_verw_g_laagb_asl	€	495	550	605	Kostenkengetal verwijderen gasaansluiting bij laagbouw
Ki_verw_g_hoogb_asl	€	163,80	182	200,20	Kostenkengetal verwijderen gasaansluiting bij hoogbouw
Ki_verw_LD_len	€ / m	90	100	110	Kostenkengetal verwijderen LD-gasnet
Ki_verzw_e_asl	€	204,30	227	249,70	Kostenkengetal verzwaren aansluiting naar 3x25
Ki_MSR	€	63000	70000	77000	Kostenkengetal plaatsen nieuwe MS-ruimte
Ki_verzw_LS_len	€	99	110	121	Kostenkengetal verzwaren LS-net
Ki_hwp	€	2808,41	3819,44	4830,47	Investeringskosten hybride warmtepomp
Ki_w_ewp_vast BWP	€	4628	6544	8460	Vaste investering bodemwarmtepompen woningen
Ki_w_ewp_var BWP	€ / kW	899	736	573	Variabele investering bodemwarmtepompen woningen
Ki_w_ewp_vast LWP	€	4637	4998	5359	Vaste investering luchtwarmtepomp woningen
Ki_w_ewp_var LWP	€ / kW	500	410	320	Variabele investering luchtwarmtepomp woningen
Ki_u_ewp_vast BWP	€	8500	8500	8500	Vaste investering bodemwarmtepompen utiliteit
Ki_u_ewp_var BWP	€ / kW	420	420	420	Variabele investering bodemwarmtepompen utiliteit
Ki_u_ewp_vast LWP	€	4300	4300	4300	Vaste investering luchtwarmtepomp utiliteit
Ki_u_ewp_var LWP	€ / kW	1100	1100	1100	Variabele investering luchtwarmtepomp utiliteit
K_m buis	€ / m	<i>Per capaciteitsniveau andere kostencurve, min = open bestrating, max = gesloten bestrating</i>			
Ki_ow geothermie	€ / kW	1480	1694,5	1909	Investeringskosten nieuwe geothermiebron
Ki_LTAS eengezins	€	957,51	2089,26	3221	Investeringskosten laag-temperatuur-afgiftesysteem eengezinswoningen
Ki_LTAS meergezins	€	401,34	1208,10	2014,85	Investeringskosten laag-temperatuur-afgiftesysteem meergezinswoningen

## 9.2 Ontwikkeling van de kosten van technische maatregelen

**Tabel 20: Ontwikkeling van de kosten per 2030 per technische maatregel.**

Component	Beschrijving	Waarde			Bron*
		optimistisch	midden	pessimistisch	
Ki_hWP	hybride warmtepomp	45%	23%	0%	component hWP pp. 7
Ki_booster	booster warmtepomp	38%	19%	0%	LuchtWP (incl. electra) pp. 6
Ki_eWP_B	warmtepomp bij label B	38%	19%	0%	LuchtWP (incl. electra) pp. 6
Ki_eWP_CDE	warmtepomp bij label C/D/E	38%	19%	0%	LuchtWP (incl. electra) pp. 6
Ki_eWP_util	warmtepomp bij utiliteit	38%	19%	0%	LuchtWP (incl. electra) pp. 6
Ki_eWP	warmtepomp bij label A+	38%	19%	0%	LuchtWP (incl. electra) pp. 6
Ki_LTAS	lage temperatuur afgiftesysteem	12%	6%	0%	LuchtWP (component afgifte) pp. 5 & 6
K_OS	onderstations bij midden temperatuur netten	21%	11%	0%	MT warmtenet (totaal) pp. 8
Ki_inpandig	inpandig leidingwerk woningen	25%	13%	0%	MT warmtenet (component gebouwinstallatie) pp. 8
Ki_Distributie_mt	midden temperatuur distributieleidingen	21%	11%	0%	MT warmtenet (totaal) pp. 8
Ki_OS_Groot	onderstations bij grote utiliteit	21%	11%	0%	MT warmtenet (totaal) pp. 8
Ki_Onderstation	onderstations bij lage temperatuur netten	21%	11%	0%	MT warmtenet (totaal) pp. 8
Ki_id_ugroot	inpandig leidingwerk grote utiliteit	25%	13%	0%	MT warmtenet (component gebouwinstallatie) pp. 8
Ki_id_uklein	inpandig leidingwerk kleine utiliteit	25%	13%	0%	MT warmtenet (component gebouwinstallatie) pp. 8
K_zij_m	zijleidingen midden temperatuur netten	21%	11%	0%	MT warmtenet (totaal) pp. 8
K_WOS	warmte overdrachtstation	21%	11%	0%	MT warmtenet (totaal) pp. 8
Ki_aansl_meergezins	aansluiting warmtenet meergezinswoning	20%	10%	0%	MT warmtenet (component aansluiting) pp. 8
Ki_aansl_grondgeb	aansluiting warmtenet grondgebonden woning	20%	10%	0%	MT warmtenet (component aansluiting) pp. 8
Ki_aansl_util	aansluiting warmtenet utiliteitsgebouw	20%	10%	0%	MT warmtenet (component aansluiting) pp. 8
Ki_distr_lt	lage temperatuur distributieleidingen	21%	11%	0%	MT warmtenet (totaal) pp. 8
Ki_m_sec	secundair net lage temperatuur netten	21%	11%	0%	MT warmtenet (totaal) pp. 8
Ki_m_brondist	leidingen tussen bronnen en buffers	45%	23%	0%	WP met collectief net (collectieve bronnen LT) pp. 6
Ki_uitkoppel	uitkoppelkosten restwarmtebron	21%	11%	0%	MT warmtenet (totaal) pp. 8
Ki_WarmteMeter	warmtemeters voor warmtenetten	21%	11%	0%	MT warmtenet (totaal) pp. 8
Ki_eWP_coll	collectieve warmtepompen	45%	23%	0%	WP met collectief net (collectieve bronnen LT) pp. 6
Ki_Buffer	hoge temperatuur opslagvat	45%	23%	0%	WP met collectief net (collectieve bronnen LT) pp. 6
Ki_doublet	wko doublet	45%	23%	0%	WP met collectief net (collectieve bronnen LT) pp. 6
Ki_afleverset	afleverset voor warmtenetten	20%	10%	0%	MT warmtenet (afleverset) pp. 8
Leidingverlies	Leidingverlies	28%	14%	0%	MT warmtenet (leidingverlies) pp. 8
O&M	O&M	17%	9%	0%	MT warmtenet (onderhoud administratie) pp. 8
Ki_S_H_T	gebouwverbetering naar een tussenlabel	18%	9%	0%	Standaardisolatie pp. 2 & 3

Ki_S_H_B	gebouwverbetering naar label B vanaf huidig label	18%	9%	0%	Standaardisolatie pp. 2 & 3
Ki_S_H_AP	gebouwverbetering naar label A+ vanaf huidig label	41%	21%	0%	NOM (exclusief warmtepomp) pp. 4
Ki_S_T_B	gebouwverbetering van tussenlabel naar B	18%	9%	0%	Standaardisolatie pp. 2 & 3
Ki_S_T_AP	gebouwverbetering van tussenlabel naar A+	41%	21%	0%	NOM (exclusief warmtepomp) pp. 4
Ki_S_B_AP	gebouwverbetering van B naar A+	41%	21%	0%	NOM (exclusief warmtepomp) pp. 4

\* Referentie verwijst naar locatie binnen kostprijseffect berekeningsmodel WG7 ST-GO.

### 9.3 Kosten van energiedragers

**Tabel 21: Kosten van energiedragers in 2030.**

Energieprijzen 2030	Commodityprijs	ETS-heffing	Netwerkkosten	Totaal
<i>KleinGebruik (&lt;10.000 kWh/jr.)</i>				
Elektriciteit laag	0,062	0,002	0,001	0,065
Elektriciteit standaard	0,081	0,004	0,001	0,086
Elektriciteit hoog	0,1	0,007	0,001	0,108
<i>Klein-Middelgroot Gebruik (10,001 t/m 50,000 kWh)</i>				
Elektriciteit laag	0,046	0,002	0,022	0,07
Elektriciteit standaard	0,065	0,004	0,022	0,091
Elektriciteit hoog	0,084	0,007	0,022	0,113
<i>Midden Middelgroot Gebruik (50,001 t/m 10 miljoen kWh)</i>				
Elektriciteit laag	0,048	0,002	0,033	0,083
Elektriciteit standaard	0,067	0,004	0,033	0,104
Elektriciteit hoog	0,086	0,007	0,033	0,126
<i>GrootGebruik (meer dan 10 miljoen kWh)</i>				
Elektriciteit laag	0,039	0,002	0,001	0,042
Elektriciteit standaard	0,058	0,004	0,001	0,063
Elektriciteit hoog	0,078	0,007	0,001	0,086
<i>Alle gebruikersklassen</i>				
Groengas laag	0,65	0	0	0,65
Groengas standaard	1,03	0	0	1,03
Groengas hoog	1,06	0	0	1,06

### 9.4 Energie-efficiëntie van apparaten

**Tabel 22: Energie-efficiëntie per type apparaat in 2030.**

Variabelen	Eenheid	Waarde			Beschrijving
		min	midden	max	
V_elek_WKO	Gje / GJth	0,025	0,025	0,025	Elektriciteitsverbruik in WKO-installatie
V_elek_TEO	Gje / GJth	0,017	0,017	0,017	Elektriciteitsverbruik in TEO-installatie
W_zonder_bijstook	%	70	80	90	Percentage grootschalige warmte dat niet wordt bijgestookt
Vermogensverlies_LT	%	10	5	0	Aandeel op capaciteit dat verloren gaat tussen bron en afnemer
Vermogensverlies_MT	%	10	5	0	Aandeel op capaciteit dat verloren gaat tussen bron en afnemer
Leidingverlies_LT	%	36	28	20	Aandeel op volume dat verloren gaat tussen bron en afnemer
Leidingverlies_MT	%	36	28	20	Aandeel op volume dat verloren gaat tussen bron en afnemer
Pompenergie_Wnet	Gje / GJth	0,0072	0,007	0,007	Elektriciteitsverbruik distributiepomp warmtenetten
Efficiency_pieketel	%	78	92,5	107	Efficiëntie van energieomzetting in gasgestookte hulpketels
HulpketelVermogensaandeel	%	100	85	70	Capaciteit hulpketels per eenheid piekvraag

HoofdbronVermogensaandeel	%	30	30	30	Capaciteit hoofdbron per eenheid piek-vraag
ASW_w_zonderWP	kW	2,4	3	3,6	Aansluitwaarde elektriciteit woningen zonder warmtepomp (hierover wordt nog 50% gelijktijdigheid verrekend)
ASW_w_metWP	kW	7	7	7	Aansluitwaarde elektriciteit woningen met warmtepomp (hierover wordt nog 50% gelijktijdigheid verrekend)
ASW_u_zonderWP	kW / m2	0,024	0,03	0,036	Aansluitwaarde elektriciteit utiliteit zonder warmtepomp (hierover wordt nog 50% gelijktijdigheid verrekend)
ASW_u_metWP	kW / m2	0,07	0,07	0,07	Aansluitwaarde elektriciteit utiliteit met warmtepomp (hierover wordt nog 50% gelijktijdigheid verrekend)
Dekking_hwp_A	%	52	55	58	Aandeel van de vraag naar ruimteverwarming dat de hybride warmtepomp elektrisch opwekt bij woningen met schillabel A
Dekking_hwp_B	%	49	52,5	56	Aandeel van de vraag naar ruimteverwarming dat de hybride warmtepomp elektrisch opwekt bij woningen met schillabel B
SPF_rv_LWP_B	Ratio	3,12	3,80	4,49	Efficiency luchtwarmtepompen bij schillabel B
SPF_rv_LWP_A	Ratio	3,28	4,60	5,93	Efficiency luchtwarmtepompen bij schillabel A
SPF_rv_BWP_B	Ratio	3,45	4,06	4,68	Efficiency bodemwarmtepompen bij schillabel B
SPF_rv_BWP_A	Ratio	4,53	5,44	6,35	Efficiency bodemwarmtepompen bij schillabel A
SPF_rv_BWP_u	Ratio	3,24	3,50	3,76	Efficiency bodemwarmtepompen bij utiliteitsbouw
SPF_rv_LWP_u	Ratio	3,17	3,41	3,66	Efficiency luchtwarmtepompen bij utiliteitsbouw
SPF_hwp	Ratio	3,60	4,40	5,20	Efficiency van een hybride warmtepomp incl. pompenergie

## 9.5 Schillabel gebouwen

Tabel 23: Schillabels gebouwen - categorie woningen. Huidige kosten.

Woningtype	Bouwjaar	Vaste kosten laag	Variabele kosten laag	Vaste kosten midden	Variabele kosten midden	Vaste kosten hoog	Variabele kosten hoog
		€/woning	€/m2 bvo	€/woning	€/m2 bvo	€/woning	€/m2 bvo
vrijstaand	voor 1946	6914	27	16836	88	26758	148
vrijstaand	1946 - 1964	5180	82	9057	189	12934	296
vrijstaand	1965 - 1974	11673	53	14781	154	17889	255
vrijstaand	1975 - 1991	20733	40	31218	100	41702	160
vrijstaand	1992 - 2005	22035	49	33491	117	44946	185
2 onder 1 kap	voor 1946	4280	36	8007	110	11735	184
2 onder 1 kap	1946 - 1964	7037	50	13883	98	20730	146
2 onder 1 kap	1965 - 1974	10297	31	21044	48	31790	65
2 onder 1 kap	1975 - 1991	14538	43	21840	96	29143	148
2 onder 1 kap	1992 - 2005	14224	52	22241	112	30259	171
2 onder 1 kap	2006 - 2014	15340	52	23728	112	32117	171
rijwoning hoek	voor 1946	2951	1	5057	54	7164	106
rijwoning hoek	1946 - 1964	7508	0	14801	0	22094	0
rijwoning hoek	1965 - 1974	6547	20	8518	76	10490	133
rijwoning hoek	1975 - 1991	4871	62	8281	110	11691	158
rijwoning hoek	1992 - 2005	-6833	165	-12595	294	-18357	423
rijwoning tussen	voor 1946	4258	32	6854	83	9449	134

rijwoning tus- sen	1946 - 1964	7134	2	13705	5	20276	8
rijwoning tus- sen	1965 - 1974	8303	0	16456	0	24608	0
rijwoning tus- sen	1975 - 1991	5521	58	7757	118	9993	178
rijwoning tus- sen	1992 - 2005	3691	82	6001	150	8312	219
meergezins: laag en mid- den	voor 1946	4248	26	5194	69	6139	113
meergezins: laag en mid- den	1946 - 1964	1154	106	-1059	198	-3272	290
meergezins: laag en mid- den	1965 - 1974	3396	62	2103	130	810	198
meergezins: laag en mid- den	1975 - 1991	5931	45	10046	71	14162	97
meergezins: laag en mid- den	1992 - 2005	-400	113	-943	174	-1485	236
meergezins: hoog	voor 1946	3761	19	4512	53	5264	87
meergezins: hoog	1946 - 1964	1331	90	-443	162	-2216	235
meergezins: hoog	1965 - 1974	3201	51	2174	102	1146	153
meergezins: hoog	1975 - 1991	5409	39	6714	58	8020	78
meergezins: hoog	1992 - 2005	-681	103	-1272	153	-1863	203

geldig bij waarden tussen 50m<sup>2</sup> en 200m<sup>2</sup>, daaronder en daarboven schalen de kosten niet verder mee met het oppervlak

**Tabel 24: Schillabels gebouwen - categorie utiliteit. Huidige kosten**

Utiliteitstype	Bouwjaar	Variabele kosten laag	Variabele kosten mid- den	Variabele kosten hoog
		€/m <sup>2</sup> bvo	€/m <sup>2</sup> bvo	€/m <sup>2</sup> bvo
Kantoor	0 <= 1920	39	59	79
Kantoor	1920 <= 1975	39	59	79
Kantoor	1975 <= 1990	39	59	79
Kantoor	1990 <= 1995	39	59	79
Kantoor	1995 <= 2018	39	59	79
Kantoor	onbekend	39	59	79
Winkel	0 <= 1920	43	70	96
Winkel	1920 <= 1975	43	70	96
Winkel	1975 <= 1990	43	70	96
Winkel	1990 <= 1995	43	70	96
Winkel	1995 <= 2018	43	70	96
Winkel	onbekend	43	70	96
Gezondheidszorg	0 <= 1920	47	68	89
Gezondheidszorg	1920 <= 1975	47	68	89
Gezondheidszorg	1975 <= 1990	47	68	89
Gezondheidszorg	1990 <= 1995	47	68	89
Gezondheidszorg	1995 <= 2018	47	68	89
Gezondheidszorg	onbekend	47	68	89
Logies	0 <= 1920	43	58	73
Logies	1920 <= 1975	43	58	73
Logies	1975 <= 1990	43	58	73
Logies	1990 <= 1995	43	58	73
Logies	1995 <= 2018	43	58	73
Logies	onbekend	43	58	73

Onderwijs	0<=1920	42	76	109
Onderwijs	1920<=1975	42	76	109
Onderwijs	1975<=1990	42	76	109
Onderwijs	1990<=1995	42	76	109
Onderwijs	1995<=2018	42	76	109
Onderwijs	onbekend	42	76	109
Industrie	0<=1920	28	43	58
Industrie	1920<=1975	28	43	58
Industrie	1975<=1990	28	43	58
Industrie	1990<=1995	28	43	58
Industrie	1995<=2018	28	43	58
Industrie	onbekend	28	43	58
Bijeenkomst	0<=1920	42	56	71
Bijeenkomst	1920<=1975	42	56	71
Bijeenkomst	1975<=1990	42	56	71
Bijeenkomst	1990<=1995	42	56	71
Bijeenkomst	1995<=2018	42	56	71
Bijeenkomst	onbekend	42	56	71
Sport	0<=1920	76	104	132
Sport	1920<=1975	76	104	132
Sport	1975<=1990	76	104	132
Sport	1990<=1995	76	104	132
Sport	1995<=2018	76	104	132
Sport	onbekend	76	104	132
Overig	0<=1920	53	78	104
Overig	1920<=1975	53	78	104
Overig	1975<=1990	53	78	104
Overig	1990<=1995	53	78	104
Overig	1995<=2018	53	78	104
Overig	onbekend	53	78	104
Cel	0<=1920	27	34	42
Cel	1920<=1975	27	34	42
Cel	1975<=1990	27	34	42
Cel	1990<=1995	27	34	42
Cel	1995<=2018	27	34	42
Cel	onbekend	27	34	42