



STARTANALYSE AARDGASVRIJE BUURTEN (CONCEPTVERSIE)

(tweede versie, 24 september 2020)

Achtergrondstudie

Planbureau voor de Leefomgeving

24 september 2020

Dit is nog een conceptversie waarin onderdelen ontbreken, deze onderdelen worden later nog toegevoegd. Gestreefd wordt naar een definitief rapport aan het einde van dit najaar.

Colofon

Startanalyse aardgasvrije buurten (1.0-versie)

© PBL Planbureau voor de Leefomgeving

Den Haag, 2020

PBL-publicatienummer:

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) of bel 088 – 042 49 00.

Auteurs

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

Met dank aan

Eindredactie en productie

Uitgeverij 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

Lijst met begrippen en afkortingen	5
1 Inleiding	7
2 Strategieën en varianten binnen SA-2020	10
2.1 Twee referentiebeelden: 2019-referentie en 2030-referentie	10
2.2 Strategie = infrastructuur	11
2.2.1 Toelichting begrippen bij onderscheid strategieën	11
2.2.2 Strategie 1 – Individuele elektrische warmtepomp	12
2.2.3 Strategie 2 – Warmtenet met midden- en hogetemperatuurbron	12
2.2.4 Strategie 3 – Warmtenet met lagetemperatuurbronnen	13
2.2.5 Strategie 4 – Groengas	13
2.2.6 Strategie 5 – Waterstof	14
2.3 Variantinvulling per strategie	14
2.3.1 Toelichting begrippen voor onderscheid varianten	14
2.3.2 Strategie 1 – Individuele elektrische warmtepomp	17
2.3.3 Strategie 2 – Warmtenet met midden- en hogetemperatuurbron	17
2.3.4 Strategie 3 – Warmtenet met lagetemperatuurbronnen	21
2.3.5 Strategie 4 – Groengas	27
2.3.6 Strategie 5 – Waterstof	28
2.4 Overzicht strategieën en varianten	29
2.4.1 Verschillen met SA-2019	32
2.5 Grenzen van een model	33
3 Het Vesta MAIS-model	35
3.1 Het Vesta MAIS-model	35
3.1.1 Technisch-economische verkenning	35
3.1.2 Ruimtelijk schaalniveau	35
3.1.3 Open Source	36
4 Modelleren van kernonderwerpen	37
4.1 Energiebesparing	37
4.1.1 Woningen	37
4.1.2 Utiliteitsgebouwen	37
4.2 Warmtenetten	37
4.2.1 Hogetemperatuur- en middentemperatuur warmtenetten	37
4.2.2 Lagetemperatuur-warmtenetten	41
4.3 Gas- en elektriciteitsnetten	41
4.3.1 Berekening kosten van verzwaren van het elektriciteitsnet	41
4.3.2 Berekening kosten van verwijdering en vervanging van het gasnet	42
5 Startsituatie	43
5.1 Afbakening gebouwde omgeving	43
5.1.1 Focus op bestaande bouw	43

5.2	CBS-buurtten	43
5.3	Woningen	44
5.3.1	Aantal woningen	44
5.3.2	Woningen met/zonder energielabels	45
5.3.3	Warmtevraag	45
5.4	Utiliteit	45
5.4.1	Oppervlakte utiliteit	45
5.4.2	Utiliteit met/zonder energielabels	45
5.4.3	Warmte- en koudevraag	45
5.5	Warmtebronnen	45
5.5.1	Puntbronnen	45
5.5.2	Geothermiecontour	46
5.5.3	WKO-contour	47
5.5.4	Beschikbaar oppervlaktewater	47
6	Algemene ontwikkelingen	49
6.1	Bebouwing tot 2030	49
6.2	Klimaateffect	49
6.3	Investeringskosten energiebesparing	49
7	Specifieke uitgangspunten per variant	50
7.1	S1 - Individuele elektrische warmtepomp	50
7.2	S2 - Warmtenet met midden- en hogetemperatuurbron	51
7.3	S3 - Warmtenet met lagetemperatuurbron	52
7.4	S4 – Groengas	55
7.5	S5 – Waterstof	56
8	Beschikbaarheid van energiedragers	57
8.1	Elektriciteit	58
8.2	Restwarmte	58
8.3	Omgevingswarmte	58
8.4	Biogrondstoffen	59
8.4.1	Klimaatneutraliteit van biogrondstoffen	59
8.4.2	Inzet van biogrondstoffen binnen energietransitie	59
8.4.3	Rol van biogrondstoffen binnen de Startanalyse	60
8.5	Groengas	61
8.5.1	Bronnen en technologieën voor groengasproductie	61
8.5.2	Huidige productie van groengas	62
8.5.3	Productie van groengas in 2030	62
8.5.4	Groengas binnen de Startanalyse	64
8.6	Waterstof	66
9	Kosten van energiedragers	67
9.1	Kosten van elektriciteit	67
9.2	Kosten van restwarmte	67
9.3	Kosten van omgevingswarmte	67
9.4	Kosten van groengas	67
9.4.1	Kosten van vergisting	67
9.4.2	Kosten van vergassing	68
9.4.3	Gemiddelde productiekosten van groengas in 2030	68
9.4.4	Extra kosten CO ₂ -verwijdering	68

9.4.5 Totale kosten groengas in de startanalyse	68
9.5 Kosten van waterstof	68
10 Gevoeligheids-analyses	69
10.1 Ontwikkeling in de kosten van technische maatregelen	69
10.2 Kosten van energiedragers	69
11 Rapportage over de Startanalyse en de Leidraad	71
11.1 Producten van de Leidraad als geheel	71
11.2 Rapportage van de Startanalyse	71
11.2.1 Viewer	71
11.2.2 Gemeenterapport	71
11.2.3 Datapakket	72
Referenties	73
Bijlagen	77

Lijst met begrippen en afkortingen

Begrippen

Energiedrager	Algemene omschrijving voor verschillende substanties (zoals bijvoorbeeld gas of elektriciteit) die energie bevatten om elders in te zetten naar een andere vorm van bruikbare energie
Primaire bron	Bron met een (overschot aan) warmte welke kan worden ingezet voor en warmtenet

Afkortingen

Afkorting	Uitschrijven afkorting	Toelichting
Aansl.	Aansluiting	Aansluiting op een warmte-, gas- of elektriciteitsnet
AVI	Afvalverbrandingsinstallatie	Een installatie waar vuil wordt verbrand en daarbij wordt omgezet in warmte- en/of elektriciteit
BMC	Biomassacentrale	Installatie waar biomassa wordt verbrand en omgezet in warmte
CBS	Centraal Bureau voor de Statistiek	Het statistische bureau van Nederland
COP	Coefficient of Performance	Ratio tussen geleverde hoeveelheid warmte of koude en de benodigde inzet van energie voor deze warmte en koude
ECW	Expertise Centrum Warmte	Deskundig kenniscentrum, dat gemeenten technisch, economisch en wat betreft duurzaamheid ondersteunt bij de warmtetransitie van de Nederlandse woningen en gebouwen
HR-ketel	Hoogrendementsketel	Verwarmingsketel op gas die, t.o.v. een conventionele gasketel, een hoger rendement heeft (door condensatie van de waterdamp in de rookgassen)
HT	Hogetemperatuurwarmte	Warmte met een temperatuurniveau van 80 tot 100 °C
HWI	Hulpwarmte-installatie	Installatie die de piekvraag en eventuele andere schommeling in de warmtelevering op kan vangen binnen een warmtenet
HWK	Hulpwarmteketel	Vorm van een HWI waarbij gebruik wordt gemaakt van een ketel
kW	KiloWatt	Eenheid die het vermogen van een installatie aangeeft
kWh	KiloWattuur	Eenheid die het verbruik van energie aangeeft
LTAS	Lagetemperatuurwarmte	Warmte met een temperatuurniveau van 30 tot 60 °C
LTAS	Lagetemperatuur-afgiftesysteem	Afgiftesysteem van LT-warmte binnen een gebouw (bijv. convectorradiatoren)
MTAS	Middentemperatuurwarmte	Warmte met een temperatuurniveau van 60 tot 80 °C

MTAS	Middentemperatuur-afgiftesysteem	Afgiftesysteem van MT-warmte binnen een gebouw (bijv. standaardradiatoren)
MAIS	Multi-Actor Impact Simulatie	Toevoeging aan Vesta na uitbreiding MAIS-project in 2017
NGO	Niet-gouvernementele organisatie	Organisaties die geen overheid vertegenwoordigen maar vaak opkomen voor een publiek belang.
PBL	Planbureau voor de Leef-omgeving	Nationale instituut voor strategische beleidsanalyses op het gebied van milieu, natuur en ruimte
Rc-waarde	Resistance Construction-waarde	Deze waarde geeft het warmte-isolerend vermogen van een materiaallaag aan
RVO	Rijdsdienst voor Ondernemend Nederland	RVO helpt ondernemende Nederlandse en beleidsmedewerkers vooruit op het gebied van duurzaamheid, zakendoen over de grenzen, agrarisch ondernemen en innovatie.
RWZI	Rioolwaterzuiveringsinstallatie	
S1-S5	Strategie 1 – Strategie 5	Naamgeving van strategieën binnen de Startanalyse
S1a – S5d	Strategie 1a – Strategie 5v	Naamgeving van de combinatie van strategieën (S1-5) en varianten (a-h) binnen de Startanalyse
SA 2019	Startanalyse 2019	De eerste versie van de Startanalyse, gepubliceerd in oktober 2019
SA 2020	Startanalyse 2020	De vernieuwde versie van de Startanalyse, gepubliceerd in september 2020
SPF	Seasonal Performance Factor	Deze factor corrigeert de COP voor fluctuaties over de seizoenen
WEQ	Woningequivalenten	
WKO	Warmte-Koude Opslag	Technologie waarin warmte en/of koude wordt opgeslagen in de bodem met het doel om dit later in te zetten om gebouwen te verwarmen/verkoelen
ZLT	Zeer-lagetemperatuur-warmte	Warmte met een temperatuurniveau van 5 tot 30 °C

1 Inleiding

In het Klimaatakkoord (Rijksoverheid, 2019) is afgesproken dat gemeenten voor eind 2021 een Transitievisie Warmte vaststellen. Om te komen tot een Transitievisie Warmte kunnen gemeenten gebruik maken van verschillende instrumenten, waaronder de Leidraad. De Leidraad is een instrument dat bestaat uit twee componenten; de Startanalyse aardgasvrije buurten en de Handreiking voor Lokale analyse¹. De Startanalyse geeft informatie over vijf strategieën om gebouwen zonder aardgas te verwarmen, de Handreiking voor lokale analyse geeft tips en richtlijnen om gemeenten en modelmakers te ondersteunen bij het verrijken van de Startanalyse met lokale data. In oktober 2019 is een eerste versie van de Leidraad gepubliceerd waarbij gemeenten een eerste beeld konden krijgen van de resultaten. De vernieuwde versie van de Leidraad is in september 2020 gepubliceerd. Dit achtergrondrapport geeft informatie over de manier waarop de berekeningen voor de vernieuwde versie van de Startanalyse tot stand zijn gekomen. In dit rapport wordt de eerste versie van de Startanalyse aangeduid met de afkorting SA-2019 en de vernieuwde versie met de afkorting SA-2020.

De Startanalyse is een nationale, lokaal gespecificeerde technisch-economische analyse van effecten en kosten van opties om gebouwen zonder aardgas te verwarmen. Deze analyse is uitgevoerd door het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) met behulp van zijn rekenmodel Vesta MAIS². De resultaten van deze analyse worden primair gepresenteerd op buurtniveau, zoals ook gehanteerd door het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS, 2019). Voor elke buurt in Nederland wordt een zogeheten buurttabel gepresenteerd, waarbij in elke buurttabel een grote hoeveelheid data is opgenomen. Het gemeenterapport omvat de omschrijving van de indicatoren die zijn opgenomen in de buurttabellen, waarbij ook ingegaan wordt op de interpretatie van deze indicatoren³. Naast de buurttabellen en het gemeenterapport worden de resultaten ook gepresenteerd in een viewer. Deze viewer toont de resultaten in de vorm van digitale kaarten, waarbij verschillen strategieën per strategie zichtbaar gemaakt kunnen worden. Dit is alleen mogelijk voor een selectie van de indicatoren die in het gemeenterapport worden gepresenteerd. De laatste vorm waarin de resultaten beschikbaar worden gesteld is via de datapakketten. Dit zijn pakketten met de resultaten op gebouwniveau die alleen aan te vragen zijn door de gemeente zelf. De informatie over deze resultaten wordt beschikbaar gesteld aan gemeenten en het Nederlandse publiek via het Expertise Centrum Warmte (ECW): www.expertisecentrumwarmte.nl.

In dit rapport wordt een beschrijving gegeven over de manier waarop de berekeningen voor de SA-2020 tot stand zijn gekomen. Hierbij wordt ingegaan op nieuw toegevoegde varianten/strategieën ten opzichte van SA-2019, zoals waterstof en een lager isolatieniveau. Naast de nieuw toegevoegde varianten zijn er ook aanpassingen geweest op de uitgangspunten en methoden die werden gehanteerd in de SA-2019. Deze verschillen worden ook toegelicht in dit achtergrondrapport. De opbouw van dit achtergrondrapport is als volgt:

Blok 1: Hier worden de onderzochte technische opties getoond om gebouwen zonder aardgas te verwarmen. Deze technische opties worden binnen de Startanalyse onderverdeeld naar **strategieën en varianten**. De strategieën verschillen van elkaar door de primaire infrastructuur die wordt gebruikt voor de warmtevoorziening. De varianten geven per strategie aan welke technische opties mogelijk zijn gegeven deze infrastructuur. In dit blok worden de vijf strategieën met in totaal 24 varianten beschreven die zijn doorgerekend in de vernieuwde versie van de Startanalyse. Naast deze aardgasloze varianten wordt ook een beschrijving gegeven van de referentiesituatie en de doorrekening zonder klimaatneutrale energiedragers.

Blok 2: Dit blok gaat in op de **rekenmethode** waarmee de strategieën zijn geanalyseerd en de resultaten tot stand zijn gekomen. Hierin wordt ten eerste een algemene beschrijving gegeven van het Vesta

¹ Informatie over de Startanalyse en de Handreiking voor Lokale Analyse is beschikbaar via: <https://www.expertisecentrumwarmte.nl/default.aspx>

² Een uitgebreide beschrijving van het Vesta MAIS-model wordt gegeven in: Functioneel ontwerp Vesta 4.0, Schepers et al. (2019). Op dit moment (september 2020) wordt gewerkt aan Functioneel Ontwerp 5.0 waarin de versie van het model, zoals gebruikt voor SA-2020, exact wordt beschreven.

³ Zowel de buurttabellen als het gemeenterapport zijn te vinden op: <https://themasites.pbl.nl/leidraad-warmte/2020/main.php#>

MAIS-model in hoofdstuk 3. Vervolgens wordt in meer detail ingegaan op de methode van enkele invloedrijke onderwerpen binnen de Startanalyse, zoals de modellering van energiebesparing, warmtenetten en gas- en elektriciteitsnetten. Het laatste hoofdstuk (hoofdstuk 5) gaat in op de startsituatie voor de Startanalyse, hierbij wordt bijvoorbeeld een overzicht gegeven van de woningaantallen in het startjaar.

Blok 3: In dit blok worden de **uitgangspunten voor 2030** beschreven die worden gehanteerd binnen de Startanalyse. Uitgangspunten waaraan gedacht kan worden zijn de kostenontwikkelingen van technologieën, kosten van energiedragers en de eventuele beschikbaarheid van energiedragers. In de hoofdstukken (hoofdstuk 6 – 10) wordt ook beschreven hoe is omgegaan met onzekerheden in deze uitgangspunten, waarbij deze onzekerheden terugkomen in de gevoeligheidsanalyses.

Blok 4: Dit laatste blok geeft een overzicht van de **beschikbare producten** waarin de resultaten van de Startanalyse worden gepresenteerd en geduid.

In het huidige document wordt een stand van zaken gegeven bij publicatie, maar dit is duidelijk nog een conceptversie waarbij onderdelen moeten worden ingevuld. Voor verschillende paragrafen is de methode niet veranderd sinds de SA-2019 en gaat het voornamelijk een update van de weergegeven data die nog gedaan moet worden (bijvoorbeeld hoofdstuk 5 over de startsituatie). Andere paragrafen bevatten al wel een update van de uitgangspunten, maar bevatten nog niet de toelichting op deze veranderingen, zoals in hoofdstuk 7. Als laatste zijn er nog paragrafen open die een beschrijving gaan bevatten over een nieuwe methode, zoals energiebesparing binnen hoofdstuk 4. Met dit document wordt al wel een beeld gegeven van een groot aantal wijzigingen tussen de SA-2019 en de SA-2020, hiermee kan de lezer al wel aan de slag. Er wordt gestreefd naar een update aan het einde van dit najaar, waarbij alle opgenomen getallen nogmaals zijn gecontroleerd en alle onderdelen zijn ingevuld.

BLOK 1: TECHNISCHE OPTIES TER VERVANGING VAN AARDGAS

PM

CONCEPT

2 Strategieën en varianten binnen SA-2020

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de strategieën en varianten die voor de Startanalyse met het Vesta MAIS-model zijn doorgerekend. Deze beschrijving is aanvullend op het overzicht dat wordt gepresenteerd in het gemeenterapport (PBL, 2020) en zal meer ingaan op de overwegingen bij de vaststelling van deze strategieën en varianten. Hierbij wordt gestart met een beschrijving van het startjaar en het referentiescenario in paragraaf 2.1. Vervolgens zal eerst worden ingegaan op de strategieën in paragraaf 2.2 en vervolgens op de varianten per strategie in paragraaf 2.3. Paragraaf 2.3.4 geeft het overzicht van alle strategieën en varianten gecombineerd, waarbij ook in zal worden gegaan op de verschillen in de varianten zoals gepresenteerd binnen de SA-2019. Vervolgens wordt ingegaan op de additionele doorrekening binnen de SA-2020 met niet-klimaatneutrale energiedragers in paragraaf **Error! Reference source not found.** Als laatste worden enkele kenmerken besproken die (nog) niet worden meegenomen in de berekeningen van de Startanalyse, maar welke wel van belang kunnen zijn bij de vaststelling van de meest gunstige optie om van het aardgas af te gaan.

2.1 Twee referentiebeelden: 2019-referentie en 2030-referentie

Met de publicatie van de SA-2020 is het startjaar verschoven van 2018 naar 2019. De invloed die dit heeft op de startsituatie wordt beschreven in hoofdstuk 0. In dit hoofdstuk wordt bijvoorbeeld ingegaan op de hoeveelheid woningen in het startjaar, de verdeling van energielabels en de warmtebronnen voor warmtenetten.

Deze modelfacetten hebben niet alleen invloed op het startjaar, maar werken ook door in de verkenningen naar de toekomst toe. Zo wordt er vanuit gegaan dat er geen veranderingen plaats zullen vinden in de gebouwsamenstelling. Toekomstige ontwikkelingen zoals de sloop en nieuwbouw van woningen en utiliteitspanden worden niet meegenomen omdat er geen landsdekkend beeld is voor deze ontwikkeling tot 2030. Binnen het referentiebeeld wordt dus ook uitgegaan van een gelijkblijvende gebouwsamenstelling.

Maar er zijn natuurlijk ook facetten die wel wijzigen tussen de 2019-referentie en de 2030-referentie. Ten eerste is er een afnemende warmtevraag vanwege een stijgende buitentemperatuur door opwarming van de aarde, verder toegelicht in paragraaf 6.2. Ten tweede veranderen de kosten voor energiedragers die op dit moment ingezet worden voor de warmtevoorziening van gebouwen. Denk hierbij aan de kosten voor aardgas en elektriciteit, welke in meer detail worden besproken in hoofdstuk 8.2.2. Gezamenlijk zijn deze twee effecten de belangrijkste verschillen tussen de 2019-referentie en 2030-referentie.

Verskil met SA-2019

De interpretatie van het referentiebeeld 2030 verschilt in de SA-2020 met die van de SA-2019. Binnen de SA-2019 werd binnen het referentiebeeld voor 2030 uitgegaan van de

toepassing van rendabele maatregelen, zoals beschreven in hoofdstuk 4 van het achtergrondrapport voor de SA-2019 (Hoogervorst et al., 2019). In het referentiebeeld van 2030 binnen de SA-2020 worden geen rendabele maatregelen toegepast en wordt uitgegaan van dezelfde uitgangspunten als in het startjaar, op de hierboven omschreven energiekosten en stijgende buitentemperaturen na.

2.2 Strategie = infrastructuur

Binnen de Startanalyse worden vijf strategieën doorgerekend. Elk van deze strategieën gaat uit van andere warmte(aanbod)technieken om in de warmtevraag van gebouwen te voorzien. In deze paragraaf wordt voor elk van deze strategieën toegelicht welke warmte(aanbod)technieken worden verondersteld binnen de SA-2020. Een belangrijk component voor het onderscheid tussen de strategieën is de benodigde infrastructuur die gepaard gaat met de verschillende warmte(aanbod)technieken. In strategieën 1,2 en 3 (S1-S3) wordt (grotendeels) geen gebruik meer gemaakt van het bestaande gasnet en wordt de warmtevoorziening ingevuld door middel van warmtepompen en warmtenetten. In strategieën 4 en 5 (S4, S5) wordt nog wel gebruik gemaakt van het (aangepaste) bestaande gasnet door het gebruik van duurzaam gas binnen deze strategieën.

2.2.1 Toelichting begrippen bij onderscheid strategieën

Om het onderscheid tussen de strategieën te kunnen maken worden eerst enkele begrippen toegelicht. Dit zijn begrippen die niet alleen worden gebruikt bij het onderscheid naar strategie, maar ook terugkomen in andere onderdelen van de Startanalyse.

Temperatuurniveaus warmteproductie- en levering

Het woord warmte lijkt een vrij simpel begrip, maar alleen het begrip warmte geeft in de context van de energietransitie nog niet voldoende informatie. De reden hiervoor is dat er een behoorlijk verschil zit tussen warmte van 800 °C en 15 °C. Om deze reden is het van belang om duidelijk te maken welke definities worden gehanteerd met betrekking tot warmte binnen de Startanalyse. Helemaal omdat het temperatuurniveau van groot belang is bij het onderscheid tussen de strategieën 2 (S2) en 3 (S3).

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): 05 tot 30 °C

Koken op gas

De afgelopen jaren is binnen de nieuw verkochte inbouwkookplaten het aandeel elektrisch de afgelopen jaren sterk toegenomen (Natuur en Milieu, 2020). Alleen hierbij gaat het om de nieuw verkochte inbouwkookplaten, maar de bestaande inbouwkookplaten zijn grotendeels nog wel op basis van aardgas. In de strategieën binnen de Startanalyse is eigenlijk maar één strategie waarbij de woningen nog steeds zouden kunnen koken op basis van gas en dit is met strategie 4 (S4). Deze strategie maakt namelijk gebruik van groengas met dezelfde kwaliteit als aardgas en het is dus mogelijk om hier hetzelfde mee te doen als we nu doen met aardgas. Voor de andere strategieën geldt dat hier wel kosten in rekeningen worden gebracht voor het overstappen op elektrisch koken. De gemiddelde kosten om over te stappen naar elektrisch koken zijn 1000 euro, hierin zitten de kosten voor de elektrische kookplaat,

een extra 'groep in de meterkast' en andere pannen (Hoogervorst, Menkveld & Tigchelaar, 2019).

2.2.2 Strategie 1 – Individuele elektrische warmtepomp

Strategie 1 is een strategie waar wordt uitgegaan van een warmtevoorziening op basis van individuele all-electric warmtepompen. Hierbij wordt de warmtepomp ingezet voor zowel de ruimteverwarming als voor de warm tapwatervoorziening. Deze warmtepompen maken gebruik van warmte- en koude uit de omgeving (bodem en buitenlucht) en waarderen deze op tot het gewenste temperatuurniveau.

In de winter dalen de buitentemperaturen en zal de warmtepomp meer elektriciteit gebruiken om het gewenste temperatuurniveau te bereiken. Hierbij zal in een korte tijd relatief veel elektriciteit verbruikt worden. Om dit te kunnen leveren zal het nodig zijn om het elektriciteitsnet te verzwaren zodat aan deze elektriciteitsvraag voldaan kan worden. Omdat de warmtevoorziening nu volledig ingevuld kan worden d.m.v. elektriciteit is het aardgasnet overbodig geworden. Binnen deze strategie zal daarom het aardgasnet verwijderd worden.

2.2.3 Strategie 2 – Warmtenet met midden- en hogetemperatuurbron

In strategie 2 wordt de warmtevraag van woningen en gebouwen ingevuld d.m.v. aansluiting op een warmtenet. Met een warmtenet is er sprake van een bron die een (overschot aan) warmte beschikbaar heeft die ingezet kan worden voor de warmtevoorziening van gebouwen. Deze bron wordt omschreven als de primaire bron. De mogelijkheden voor de warmtevoorziening d.m.v. een warmtenet zijn afhankelijk van het temperatuurniveau van deze bron. Binnen strategie 2 wordt ervan uitgegaan dat deze warmtebronnen een temperatuurniveau hebben van +/- 70 °C (midentemperatuurwarmte) en +/- 90 °C (hogetemperatuurwarmte). Warmte met deze temperatuurniveaus, aangevuld met de mogelijk opwaardering in een hulpwarmte-installatie, kan in principe direct ingezet worden voor de verwarming van gebouwen met de huidige radiatoren.

Een warmtenet bestaat natuurlijk niet alleen uit een primaire warmtebron, maar er zijn nog diverse andere componenten nodig om te zorgen dat de warmte op het goede temperatuurniveau wordt aangeleverd aan een gebouw. Ten eerste het leidingnet. De locatie van de primaire warmtebron is bekend, maar dan is het nog noodzakelijk dat de warmte vanaf deze locatie wordt getransporteerd naar de buurt met gebouwen die de warmte afneemt. De leiding voor dit transport van primaire bron naar de buurt wordt aangeduid met de term primair net. Vervolgens moet de warmte binnen de buurt gedistribueerd worden naar alle gebouwen. Het leidingnet dat zorgt voor de warmtedistributie binnen de buurt, wordt aangeduid met de term distributienet. In dit distributienet staat vaak ook een back-up ketel die ervoor zorgt dat er altijd warmte geleverd kan worden, de zogeheten hulpwarmte-installatie (HWI). Deze ketel zorgt ervoor dat de warmte het temperatuurniveau haalt waar de gebouwen om vragen. Deze ketel wordt voornamelijk ingezet op piekmomenten (koude dagen) en wanneer de primaire bron bijvoorbeeld in onderhoud is. Het laatste component van een warmtenet betreffen de aanpassingen in het gebouw zelf. Het gaat hierbij om de aansluiting van de warmtewisselaar en eventuele inpandige kosten om te zorgen dat het warmtenet alle woningen in bijvoorbeeld een appartementencomplex aan kan sluiten. Dit is een beschrijving op hoofdlijnen, paragraaf 4.2.

Met de aanleg van een warmtenet in strategie 2 is het gasnet overbodig geworden. Het gasnet zal daarom worden verwijderd binnen deze strategie. Het elektriciteitsnet hoeft in deze strategie niet verzwakt te worden omdat er geen additionele elektriciteitsvraag is als gevolg van de warmtetransitie.

2.2.4 Strategie 3 – Warmtenet met lagetemperatuurbronnen

Net als in strategie 2 wordt de warmtevraag in strategie 3 ingevuld door middel van aansluiting op een warmtenet. Het verschil met strategie 2 is dat de primaire bronnen voor dit warmtenet geen HT/MT-warmte over hebben, maar lagetemperatuurwarmte (LT-warmte). De temperatuur van de warmte in deze bronnen is te laag om direct warm tapwater te maken of ruimtes te verwarmen. Het is daarom noodzakelijk om deze warmte op te waarderen naar een hoger temperatuurniveau om deze daarmee nuttig in te kunnen zetten voor de warmtevoorziening van gebouwen. Deze opwaardering van LT-warmte naar de benodigde temperatuurniveaus kan plaats vinden o.b.v. verschillende typen systemen. Zo is het mogelijk om de LT-warmte op het benodigde temperatuurniveau te brengen door een collectieve warmtepomp of het is mogelijk dit te doen met individuele warmtepompen per gebouw.

Het collectief opwaarderen van de temperatuur van de aangeleverde warmte naar MT-niveau (70 °C) kost veel elektriciteit, maar de aanpassingen in de woningen kunnen dan tot een minimum worden beperkt. Bij directe levering op LT-niveau vanuit het warmtenet aan de afnemers zijn de distributieverliezen lager, maar dient er in elk aan te sluiten gebouw of woning een individuele warmtepomp geplaatst te worden. Wanneer de aflevertemperatuur aan gebouwen voldoende is voor de invulling van ruimteverwarming (ca. 50 °C) is er alleen een boosterwarmtepomp nodig voor de warm tapwatervoorziening. De boosterwarmtepomp is een kleinere warmtepop die in korte tijd hoge temperaturen kan bereiken door gebruik te maken van de aangeleverde warmte. Binnen dit systeem is het elektriciteitsverbruik lager, maar moeten binnen het gebouw de radiatoren wel aangepast worden naar een LT-afgiftesysteem.

Er is dus een grote variëteit in de opzet van warmtevoorzieningssystemen met een LT-warmtebron als basis. Om een eerste beeld te geven van de mogelijkheden van warmtenetten met deze bronnen binnen een buurt worden in de SA-2020 acht verschillende varianten onderscheiden. In deze varianten worden verschillende typen LT-warmtebronnen toegepast, uitgegaan van verschillende labelniveaus (waar mogelijk) en wordt de LT-warmte opgewaardeerd via verschillende (combinaties van) individuele en collectieve systemen. Deze worden verder toegelicht in paragraaf 2.3.4.

2.2.5 Strategie 4 – Groengas

Strategie 4 is de strategie met de minste aanpassingen ten opzichte van de huidige situatie. In Strategie 4 wordt er namelijk vanuit gegaan dat de warmtevraag niet langer wordt ingevuld met aardgas maar met groengas. Groengas heeft dezelfde kenmerken als aardgas en het is hiermee geschikt om alle huidige toepassing van aardgas over te nemen. Met de inzet van groengas hoeft er dus weinig te veranderen aan de huidige infrastructuur omdat groengas gewoon kan worden getransporteerd door het bestaande gasnet.

Een belangrijk nadeel van groengas is dat er grote onzekerheid is over de toekomstige beschikbaarheid van groengas. Op dit moment wordt het geproduceerde groengas bijgemengd in het aardgasnet en is dit goed voor +/-0,4% van de totale gasvraag in Nederland. Maar om een significante rol te spelen in de warmtevoorziening van de gebouwde omgeving moet deze productie nog flink groeien. Deze groei kan via twee routes: vergisting en vergassing. Vergisting is hierbij een bekende technologie, maar kent beperkingen in de beschikbare grondstoffen. Vergassing is een beloftevolle technologie, maar deze moet nog in de praktijk ingezet worden. In paragraaf 8.2 wordt dieper ingegaan op de onzekerheden en de uiteindelijke veronderstellingen die worden gedaan binnen de SA-2020.

Naast de onzekerheid over de beschikbaarheid van groengas zijn ook de kosten om groengas te produceren nog onzeker. Ook hierbij kan het verschil gemaakt worden tussen vergisting en vergassing. Vergisting is een bekende technologie en daarom kan hiervoor een meer

robuust beeld gegeven worden van de kosten. De kostenontwikkeling van vergassing is nog onzeker doordat het een nieuwe technologie is, dit maakt dat er ook meer fluctuaties zitten in de inschattingen van de kosten voor deze technologie. De onderbouwing van de kosten voor groengas, zoals opgenomen in SA-2020, wordt gegeven in paragraaf 9.1.

2.2.6 Strategie 5 – Waterstof

Qua opzet heeft Strategie 5 veel overeenkomsten met S4, met het verschil dat er maatregelen moeten worden genomen om het gasnet en de warmteaanbod-technologieën geschikt te maken voor de verbranding van waterstof. De noodzaak van aanpassing of vervanging van gasleidingen zal afhangen van het leidingmateriaal en de leeftijd van de leidingen. In Kiwa (2018) wordt geconcludeerd dat de bestaande gasdistributienetten in Nederland geschikt zijn voor transport van waterstof, met beperkte aanpassingen. Mocht het nodig zijn om het gasnet aan te passen binnen een buurt dan wordt dit meegenomen binnen de SA-2020.

Met de eventuele aanpassingen in het gasnet is het mogelijk om waterstof te distribueren binnen een buurt. Hierdoor is het niet meer mogelijk om te koken op aardgas en dit moet dus worden vervangen door koken op waterstof of elektrisch koken. Koken op waterstof is hierbij te gevaarlijk en daarom wordt binnen deze strategie overgestapt op elektrisch koken.

Verder gelden dezelfde onzekerheden van groengas ook voor waterstof. Ook de beschikbaarheid en kosten van waterstof zijn nog erg onzeker, hier wordt verder op ingegaan binnen paragraaf 8.3 (beschikbaarheid) en paragraaf 9.2 (kosten).

2.3 Variantinvulling per strategie

2.3.1 Toelichting begrippen voor onderscheid varianten

Schillabel

Het schillabel is een indicatie van de kwaliteit van de gebouwschil. De gebouwschil bestaat uit de begane vloer, de buitenmuren, de deuren, de ramen en het dak. Het schillabel is gebaseerd op het energielabel van het gebouw (RVO, 2020a), maar dan exclusief de warmtevoorziening en eventuele lokale opwek van hernieuwbare elektriciteit of warmte, zoals door zonnepanelen. In de berekeningen wordt uitgegaan van verschillende schillabelniveaus, waarbij sommige varianten niet mogelijk zijn zonder een verdergaande vorm van isolatie zoals schillabel B. De isolatiewaarde wordt hierbij gegeven door de zogeheten Resistance Construction (R_c) waarde, welke de mate van thermische weerstand van een constructiedeel aangeeft. Deze warmteweerstand wordt uitgedrukt in $m^2 K/W$, dit geeft de hoeveelheid warmte (W) aan die wordt doorgelaten per graad temperatuurverschil (K) voor een m^2 oppervlakte. In de berekeningen worden de volgende schillabelniveaus gehanteerd:

- *Schillabel A+*: Gebouwen hebben een isolatieniveau overeenkomende met een gemiddelde R_c -waarde van 4,0 of hoger
- *Schillabel B*: Gebouwen hebben een isolatieniveau overeenkomende met een gemiddelde R_c -waarde van 2,5 voor woningen en een R_c -waarde van 3,5 voor utiliteitsgebouwen.
- *Schillabel D*: Gebouwen hebben een isolatieniveau overeenkomende met een gemiddelde R_c -waarde van 1-1,5 voor woningen. Voor utiliteitsgebouwen wordt dit schillabelniveau niet apart onderscheiden.

Voor al deze besparingsniveaus geldt dat de besparing alleen effect heeft op de ruimteverwarmingsvraag en geen effect op de vraag naar warm tapwater. Verder hangt de mate van energiebesparing af van de uitgangssituatie (de huidige isolatiegraad). Dit wordt verder toegelicht in paragraaf 4.1. Daarbij is het ook van belang dat woningen die al beter geïsoleerd zijn dan het doellabel niet meer hoeven te investeren in energiebesparing. Een woning met

schillabel C hoeft niet meer te springen bij varianten met schillabel D, wel bij varianten met schillabel B.

Warmteafgiftesysteem

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

- *MT-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 een lage-temperatuursysteem (LT) te verwarmen, zoals vloerverwarming of LT-radiatoren. Vloerverwarming kan ook aangesloten worden op MT-systemen (zoals een HR-ketel) maar is ook geschikt voor LT-systemen. Voor de varianten die met LT-afgifte werken, is ervoor gekozen om uit te gaan van LT-radiatoren. Hoewel vloerverwarming over het algemeen een betere overdracht van LT-warmte heeft, is de toepassing van vloerverwarming niet altijd mogelijk of zeer kostbaar (Milieucentraal, 2020a). Dit kan komen doordat de vloer hoger wordt en hierdoor bijvoorbeeld plinten en deuren moeten worden aangepast.

Invulling warmtevraag voor ruimteverwarming

Binnen gebouwen worden twee verschillende vormen van warmte onderscheiden. De eerste vorm betreft het temperatuurniveau van de ruimtes, dit wordt aangeduid met de term ruimteverwarming. Daarnaast wordt er ook warmte gevraagd in de vorm van douchewater of warm water gebruikt voor handmatig afwassen, hier wordt de term warm tapwater voor gehanteerd. In dit kopje wordt ingegaan op de warmtevraag gerelateerd aan ruimteverwarming. Voor het voorzien in de vraag naar ruimteverwarming van een gebouw worden verschillende technieken onderscheiden. Hieronder worden de technieken zoals doorgerekend in de strategieën beschreven. Voor een gedetailleerde beschrijving zie Schepers et al. (2019).

Individueel per woning of gebouw - all-electric

- *Elektrische luchtwarmtepomp*
- *Elektrische bodemwarmtepomp*

Individueel per woning of gebouw - in combinatie met bestaand gasnet

- *Hybride warmtepomp*
- *HR-ketel*

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 MT warmtevraag van 70 °C. Doordat de groei in warmtenetten tot 2050 voornamelijk wordt gezien in de mogelijkheden voor ZLT-, LT en MT-warmtebronnen worden in de Startanalyse geen warmtenetten meegenomen met een hoge temperatuur aflevering aan gebouwen (ca. 90 °C).
- Bij de ZLT- en LT-warmtebronnen wordt de temperatuur van het warme water van deze warmtebronnen via een collectieve warmtepomp verhoogd naar de vereiste middentemperatuur alvorens het verder wordt vervoerd in het warmtedistributienet. De aangeleverde 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 drie 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*

Warm tapwater

Voor de productie van warm tapwater worden diverse technieken meegenomen in de verschillende varianten. Er wordt van alle mogelijkheden aangenomen dat zij voldoen aan de criteria die er zijn voor de productie van warm tapwater. Dit is voornamelijk een minimum temperatuur van 60 °C, omdat er anders een risico is op de vorming van legionella (Milieu-centraal, 2020b). De technieken die warm tapwater kunnen leveren binnen de SA-2020 zijn:

- *Elektrische luchtwarmtepomp*
- *Elektrische bodemwarmtepomp*
- *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 *warmte-wisselaar* maar zonder warmteopwekking;
 - Bij warmtelevering op 50 °C wordt door tussenkomst van een *boosterwarmtepomp 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.

Buffers

In een aantal varianten van strategie 3 wordt gebruik gemaakt van warmtebuffers waarin rest- of omgevingswarmte wordt opgeslagen op momenten waarop het warmteaanbod groter is dan de warmtevraag. Op een later moment kan deze warmte dan weer gebruikt worden.

1. *Doublet voor Warmte-Koude Opslag (WKO)*: een systeem waarmee warmte en koude op ZLT-niveau in aquifers (watervoerende laag in de ondergrond) 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 LT warmte in een groot vat wordt opgeslagen voor later gebruik. Dit type buffer kan uitsluitend worden ingezet voor het opslaan van warmte.

Regeneratiebronnen WKO

In de strategieën waarin gebruik wordt gemaakt van een WKO-bron wordt de mogelijkheid van een regeneratievoorziening opgenomen om te voorkomen dat de gemiddelde temperatuur van de bron op de lange termijn zal veranderen. De warmte die gedurende de winter aan de bron onttrokken wordt dient daarom gedurende de zomer weer aangevuld te worden, zodat de bron op jaarbasis energetisch in balans blijft. Hierin wordt voorzien door de gebouwen in de zomer te koelen met water uit de koudebron. Het water dat gebruikt wordt om te koelen warmt hierdoor op en dit kan vervolgens gebufferd worden in de warmtebron voor gebruik in de koudere seizoenen. In veel gevallen zal het beschikbare volume restwarmte (door koeling) uit gebouwen onvoldoende van omvang zijn om de WKO-bron energetisch in balans te houden (CE Delft, 2019). In sommige gevallen wordt een regeneratievoorziening ingezet, hiermee wordt additionele warmte aan de WKO-bron aangeleverd. 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 door elektriciteit.
- *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)).

2.3.2 Strategie 1 – Individuele elektrische warmtepomp

Deze strategie bevat twee varianten die bijna identiek zijn qua opbouw. Het enige verschil is het type warmtepomp, maar de impact op infrastructuur, isolatie en afgifte zijn voor beide varianten hetzelfde. Daarom worden hier eerst de uitgangspunten besproken die voor beide varianten hetzelfde zijn, vervolgens wordt kort ingegaan op het type warmtepomp per variant. In deze paragraaf wordt alleen een korte beschrijving gegeven van de typen warmtepompen. De uitgangspunten voor kosten en rendement van de warmtepompen zelf worden beschreven in paragraaf 7.1.

Voor beide varianten

Isolatiemaatregelen

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

Afgiftesysteem in woningen en gebouwen

Voor het functioneren van een warmtepomp is het noodzakelijk om over te stappen op een LT-afgiftesysteem.

Variant S1a – combiwarmtepomp met buitenluchtcollector

In strategie 1a worden elektrische luchtwarmtepompen ingezet, bestaande uit een buitenunit met luchtcollector 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. Tabel 6 toont een selectie van kenmerkende die een grote invloed hebben op de berekening van de nationale kosten. De gerapporteerde kosten reflecteren de kosten van de technologie in het startjaar, dit is dus de mogelijke toekomstige reducties in kosten. Raadpleeg Schepers et al. (2019) voor additionele informatie over de toegepaste kengetallen en rekenregels.

Variant S1b – combiwarmtepomp met buitenluchtcollector

In strategie 1b worden elektrische bodemwarmtepompen 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. In Tabel 7 wordt een selectie van kentallen gegeven die het meest van invloed zijn op de berekende nationale kosten. Net als bij de luchtwarmtepomp zijn dit kosten hier voor het startjaar en zijn hier nog niet de kostenontwikkelingen naar de toekomst meegenomen.

2.3.3 Strategie 2 – Warmtenet met midden- en hogetemperatuurbron

In S2 bevat worden in totaal zes verschillende varianten doorgerekend. Hierbij wordt er ten eerste onderscheid gemaakt tussen het isolatieniveau, in S2a-S2c wordt uitgegaan van een isolatieniveau overeenkomend met schillabel B. Bij S2d- S2f wordt uitgegaan van een lager isolatieniveau, namelijk schillabel D. De warmtevraag voor ruimteverwarming is dus hoger in de laatste 3 varianten dan in de eerste drie varianten.

Naast het onderscheid naar isolatieniveau, wordt ook onderscheid gemaakt naar het type warmtebronnen waarmee de warmtenetten primair gevoed worden. Hierbij wordt

onderscheid gemaakt naar rest- en aftapwarmte en geothermie. Bij geothermie wordt daarbij ook onderscheid gemaakt tussen een variant waarin alleen gebruik wordt gemaakt van gebieden waar voldoende informatie over de ondergrond beschikbaar is en een variant waar in heel Nederland de ondergrond beschikbaar is. Voor een gedeelte van Nederland is het nog onbekend of er potentie voor geothermie is in de ondergrond, dit zijn de zogenaamde 'witte vlekken' (Berenschot, 2020). In andere gedeelten, zoals Noord-Oost Nederland, is al wel meer informatie bekend over de potentie van geothermie. Om gemeenten inzicht te geven in de kosten wanneer geothermie wel mogelijk zou zijn in hun gemeente (en dit is nu nog onbekend) is daarom ook een variant meegenomen waar de ondergrond overal geschikt is voor geothermie. Dit is dus naast de variant waar de huidige informatie over de geschiktheid van de ondergrond wel is meegenomen. Gezamenlijk levert dit dus de volgende zes varianten op:

- S2a: Rest- en aftapwarmte, met isolatieniveau schillabel B
- S2b: Geothermie, met isolatieniveau schillabel B en alleen gebruik makende van gebieden waar voldoende informatie over de ondergrond beschikbaar is
- S2c: Geothermie, met isolatieniveau schillabel B met in heel Nederland een geschikte ondergrond voor geothermie
- S2d: Rest- en aftapwarmte, met isolatieniveau schillabel D
- S2e: Geothermie, met isolatieniveau schillabel D en alleen gebruik makende van gebieden waar voldoende informatie over de ondergrond beschikbaar is
- S2f: Geothermie, met isolatieniveau schillabel D met in heel Nederland een geschikte ondergrond voor geothermie

Er zit weinig verschil in de aannames en berekeningen tussen beide schillabelniveaus binnen deze strategie. Daarom worden hieronder de varianten beschreven op basis van de uitgangspunten voor de warmtebron en worden de varianten gezamenlijk beschreven voor schillabel B en schillabel D. Voor een goede interpretatie van de resultaten van alle varianten is het nog wel van belang om kort in te gaan op de rol van de hulpwarmte-installatie.

Aanwezigheid hulpwarmte-installatie

Een aandachtspunt bij alle bovenstaande varianten is dat in de berekeningen voor een warmtenet ook altijd een hulpwarmte-installatie is opgenomen. In het geval van de Startanalyse wordt ervan uitgegaan dat deze hulpwarmte-installatie is ingevuld door een hulpwarmteketel met groengas. Het is ook mogelijk om deze hulpwarmte-installatie in te vullen door andere installaties zoals bijvoorbeeld een collectieve warmtepomp. Binnen de Startanalyse wordt hier niet vanuit gegaan omdat alle warmtenetten nu nog een gasgestookte hulpwarmteketel hebben en er daarom ook nog weinig/geen informatie is over andere vormen van hulpwarmte-installaties. De beschikbaarheid en kosten van groengas worden behandeld in paragraaf 8.2 respectievelijk 9.2.

Varianten S2a en S2d – Warmtenet met midden- en hogetemperatuur restwarmtebron

In deze varianten wordt bij de berekening van een warmtenet uitgegaan van nabijgelegen bestaande (of geplande) warmtebronnen, bijvoorbeeld een industriële restwarmtebron. Deze variant bevat ook installaties waar gebruik wordt gemaakt van aftapwarmte, maar deze worden in de rest van dit rapport ook bedoeld onder de benaming restwarmte. In paragraaf 4.2 wordt een beschrijving gegeven van de stappen die worden gezet in de modellering van deze restwarmtebronnen. Een belangrijk uitgangspunt bij de berekeningen van deze varianten is het beschikbare vermogen voor warmtelevering en de locatie van deze warmtebronnen.

Broncapaciteit

In de eerste versie van de Startanalyse was een inschatting gemaakt van de capaciteit en locatie van de warmtebronnen o.b.v. nationale databestanden (RVO, 2020b). Deze informatie is in januari 2020 verrijkt doordat gemeenten meer informatie over de verschillende warmtebronnen hebben aangeleverd. Het effect van deze verrijking wordt beschreven in paragraaf 5.5. De verrijking in januari 2020 was een eerste stap, maar de gemeente wordt nog steeds geacht zelf na te gaan of de warmtebron die is opgenomen in de berekeningen ook op de lange termijn (verduurzaamde) warmte kan blijven leveren. Het is denkbaar dat overige potentieel interessante restwarmtebronnen momenteel nog buiten het zicht van het model

vallen of dat de informatie over de warmtebronnen die wel opgenomen zijn in de Startanalyse onvolledig is.

Om de kosten te kunnen berekenen wordt nu de aanname gedaan dat deze warmtebron wel kunnen worden ingezet. Binnen deze Startanalyse wordt ook berekend aan welke buurten deze warmtebron zou kunnen leveren, deze berekening wordt verder toegelicht in paragraaf 4.2 en in detail binnen Schepers et al. (2019). De toedeling wordt daarbij uiteindelijk gebaseerd op een streven naar zo laag mogelijke nationale kosten.

Vaststelling puntbron per buurt

De haalbaarheid van MT-warmtenetten wordt voor elke buurt berekend. Een aandachtspunt voor de varianten S2a en S2d is dat vanwege een beperkte broncapaciteit van de warmtebronnen het niet mogelijk is om voor elke buurt (tegelijk) dezelfde warmtebron te gebruiken. Hiermee wordt rekening gehouden de capaciteit van een bron toe te delen aan buurten op basis van een de hoogste opbrengst per eenheid warmtecapaciteit die theoretisch haalbaar is. De beperkende factor is de beschikbare capaciteit en daarom wordt gezocht naar de mogelijkheden om de warmtecapaciteit zo kosteneffectief mogelijk toe te wijzen. Deze kosteneffectiviteit wordt gedaan binnen het Vesta MAIS-model door verschillende rekenstappen (iteraties) met elkaar te vergelijken.

Dit begint in eerste rekenstap voor buurten die tegelijkertijd in aanmerkingen komen voor dezelfde warmtebron terwijl er niet voldoende capaciteit is om voldoende warmte te leveren aan beide buurten. In de volgende rekenstap dingt een – nog niet aangesloten – buurt mee naar de dichtstbijzijnde bron (of doorkoppeling vanuit de nieuw aangelegd buurt) waar nog voldoende capaciteit beschikbaar is. Deze rekenstappen worden herhaald totdat de volledige capaciteit van de warmtebronnen wordt benut. Op deze manier wordt eerst de warmte geleverd aan de buurten met de laagste kosten en vervolgens worden de steeds duurdere buurten aangesloten.

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.

Schillabel

Er worden twee verschillende schillabelniveaus doorgerekend, variant S2a gaat uit van schillabel B en variant S2d gaat uit van schillabel D. Een verdere toelichting op het gebruik van deze labels wordt gegeven in paragraaf 4.1.

Individuele installatie en afgiftesysteem

Dankzij de aanvoer van MT-warmte op 70 °C kunnen bestaande afgiftesystemen worden gehandhaafd. Daarbij is het temperatuurniveau van deze warmte ook voldoende om zowel de ruimteverwarmingsvraag als de warm tapwatervraag in te vullen. Binnen de gebouwen hoeft dus relatief weinig aangepast te worden om te voldoen aan de warmtevraag.

Varianten S2b en S2e -Warmtenet met middentemperatuur geothermiebron, rekening houdende met beschikbare informatie over bodemgeschiktheid

In de varianten 2b en 2e wordt berekend wat de kosten zouden zijn van het voeden van een warmtenet met een nieuw te realiseren geothermie-installatie. Hierbij wordt in deze beide varianten rekening gehouden met de beschikbare informatie over bodemgeschiktheid van bepaalde gebieden voor geothermie. Dit wordt uitgedrukt in geothermische potentiekaarten van Nederland (TNO, 2020). Deze geothermische potentiekaarten geven aan in welke gebieden er sterke indicaties zijn dat er in theorie een geothermiebron gerealiseerd kan worden. In paragraaf 5.5 wordt de kaart voor Nederland gepresenteerd zoals deze is gebruikt voor de SA-2020. De rode vlakken op deze kaart geven de kansrijke gebieden weer. Voor het niet-rode gebied kan het zijn dat het gebied daadwerkelijk minder kansrijk is of er is op dit moment niet voldoende informatie beschikbaar om dit vast te kunnen stellen.

Ongeacht de positie van een gebied op de potentiekaarten vereist een definitief oordeel over de werkelijke bodemgeschiktheid altijd nader onderzoek. Er zijn momenteel op landelijk niveau onvoldoende gegevens over bodemgeschiktheid beschikbaar om zonder meer vast te kunnen stellen in hoeverre geothermie haalbaar is. Om deze reden zijn de varianten S2c en S2f opgenomen.

Broncapaciteit

Afhankelijk van locatie en het type installaties van afnemers bedraagt de capaciteit van een geothermie-installatie in de praktijk 15 – 25 MW thermische energie. Om een dergelijk vermogen te benutten is een minimale warmtebehoefte ook noodzakelijk. Voor installaties van 15 – 25 MW thermische energie kan worden gedacht aan in totaal circa 2.500 - 5.000 woningequivalenten (weq). Met een dergelijke warmtevraag is er 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 te investeren in een geothermie-installatie. Hiermee wordt voorkomen dat de potentie van geothermie onterecht negatief wordt beoordeeld in gebieden met meerdere geschikte kleine aangrenzende buurten, terwijl 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 binnen of in de nabijheid van de buurt in totaal circa 2.500 - 5.000 woningequivalenten (weq) aansluitingen met een voldoende geconcentreerde warmtevraag gerealiseerd te kunnen worden. Het minimale aantal woningen dat aangesloten moet worden om tot een rendabele case te komen is sterk afhankelijk van de lokale omstandigheden, zoals de temperatuur van zowel de geothermiebron als de afgifte-installaties in woningen en gebouwen.

Geothermie voor de basislast

Vanuit technisch en bedrijfseconomisch perspectief is het vooralsnog noodzakelijk aardwarmte in te zetten voor de zogenaamde basislast van een warmtenet. Dat wil zeggen dat aardwarmte de basis wordt voor de (minimale) continue warmtevraag die gedurende het hele jaar geleverd moet worden. Aardwarmte is hiervoor geschikt omdat het een warmtebron is die continue actief is 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) laag vermogen.

Schillabel

Er worden twee verschillende schillabelniveaus doorgerekend, variant S2b gaat uit van schillabel B en variant S2e gaat uit van schillabel D. Een verdere toelichting op het gebruik van deze labels wordt gegeven in paragraaf 4.1.

Individuele installatie en afgiftesysteem

Dankzij de aanvoer van MT-warmte op 70 °C kunnen bestaande afgiftesystemen worden gehandhaafd. Daarbij is het temperatuurniveau van deze warmte ook voldoende om zowel de ruimteverwarmingsvraag als de warm tapwatervraag in te vullen. Binnen de gebouwen hoeft dus relatief weinig aangepast te worden om te voldoen aan de warmtevraag.

Varianten S2c en S2f -Warmtenet met middentemperatuur geothermiebron, bodem geschikt voor geothermie in heel Nederland

Deze varianten zijn nagenoeg hetzelfde als de varianten S2b en S2f, met het belangrijkste verschil dat er nu geen rekening wordt gehouden met de bodemgeschiktheid. Hiermee geven

deze varianten een indicatie van het potentieel van geothermie in buurten die in de geothermische potentieekaarten als niet kansrijk worden aangemerkt, indien de ondergrond toch geschikt zou blijken te zijn.

De varianten S2c en S2f hebben dus geen invloed op de gebieden die als kansrijk worden aangemerkt in de geothermie potentieekaarten. Het verschil voor de niet-kansrijke gebieden zit in de kosten die moeten worden gemaakt voor het primaire net om warmte uit de kansrijke gebieden te transporteren naar deze buurten. In de varianten S2b en S2e kan een buurt bijvoorbeeld 25 km buiten het kansrijke gebied liggen. Deze afstand moet wel overbrugd worden met een primair net om te zorgen dat de warmte daadwerkelijke geleverd kan worden. In de varianten S2c en S2f is het in principe mogelijk om overal geothermie-installaties toe te passen, dus hoeven deze kosten voor het primaire net niet gemaakt te worden.

2.3.4 Strategie 3 – Warmtenet met lagetemperatuurbronnen

Strategie 3 is de strategie met de meeste varianten doordat er een grote variëteit zit in de warmtevoorzieningssysteem met een LT-warmtebron als basis. In de varianten wordt onderscheid gemaakt naar individuele en collectieve systemen voor de opwaardering van LT-warmte, verschillende labelniveaus, verschillende afgiftesystemen en verschillende typen warmtebronnen. Dit levert de volgende acht varianten op die worden meegenomen binnen de SA-2020:

- Varianten uitgaande van schillabel B:
 - o S3a: De warmte wordt bij woningen en gebouwen afgeleverd op LT-niveau (30°C) en vervolgens met een individuele combiwarmtepomp opgewaardeerd naar bruikbare temperatuurniveaus voor ruimteverwarming en warm tapwater.
 - o S3b: 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 warmtapwarm tapwater.
 - o S3c: De warmte wordt bij woningen en gebouwen afgeleverd op MT-niveau (70°C), als warmtebron wordt gebruikt van een WKO-systeem. Voor regeneratie wordt gebruik gemaakt van een drogekoeler. De onttrokken warmte uit het WKO-systeem wordt op collectief niveau opgewaardeerd naar MT-niveau (70°C).
 - o S3d: 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 warm tapwater wordt een booster-warmtepomp ingezet om de temperatuur naar een niveau op te waarden geschikt voor warm tapwater
 - o S3e: De warmte wordt bij woningen en gebouwen afgeleverd op MT-niveau (70°C), als warmtebron wordt gebruikt gemaakt van een WKO-systeem. 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.
- Varianten uitgaande van schillabel D:
 - o S3f: Dezelfde uitgangspunten als in S3b, los van schillabel D
 - o S3g: Dezelfde uitgangspunten als in S3c, los van schillabel D
 - o S3h: Dezelfde uitgangspunten als in S3e, los van schillabel D

Het is dus niet mogelijk om alle varianten met zowel schillabel B en D door te rekenen. De reden hiervoor is dat om aan de warmtevraag te voldoen in de varianten S3a en S3d wordt overgestapt op een LT-afgiftesysteem. Met dit systeem is het niet mogelijk om een gebouw te verwarmen wanneer deze niet voldoende geïsoleerd is. Om deze reden worden deze twee varianten niet doorgerekend met schillabel D. Binnen de andere varianten wordt nog

uitgegaan van warmtelevering op 70 °C en een MT-afgiftesysteem. Met deze uitgangspunten is het wel mogelijk om de gebouwen te kunnen verwarmen bij schillabel D.

Met deze variëteit in varianten wordt een eerste beeld geschetst van de mogelijkheden voor een warmtenet gevoed met LT-warmtebronnen. Maar dit is wel een selectie van de mogelijke varianten en in de praktijk zijn er mogelijk nog meer bronnen en mogelijkheden voor de invulling van de warmtevoorziening. Een voorbeeld hiervan is het Mijwater project in Heerlen waarbij de voormalige mijngangen de belangrijkste bron én buffer zijn voor dit warmtenet (CE Delft, 2018a). Het is niet mogelijk alle verschillende LT-systemen mee te nemen binnen de Startanalyse maar verwacht wordt dat de gekozen varianten een goed eerste beeld geven van de mogelijkheden in een buurt.

Omdat er, net als bij S2, weinig verschil zit in de opzet van varianten met schillabel B en D worden deze varianten tegelijk besproken. Maar eerst wordt nog ingegaan op enkele algemene aspecten die spelen bij elke S3-variant.

Clusters van gebouwen

Een belangrijk verschil tussen S2 en S3 is het schaalniveau van de warmtenetten. Binnen strategie 2 wordt in de berekeningen ervan uitgegaan dat alle gebouwen binnen een buurt worden aangesloten op het warmtenet, gemiddeld gaat het dan om 1000 -1500 gebouwen. Dit is ook het schaalniveau dat nodig is om dergelijke grootschalige warmtenetten uit te leggen. Het schaalniveau voor warmtenetten binnen S3 is een stuk kleiner. Het gaat hier vaak om het aansluiten van 100-150 woningen, of enkele utiliteitsgebouwen. De reden hiervoor is dat het beschikbare vermogen voor uitlevering van warmte vaak een stuk kleiner is voor de LT-warmtebronnen. Met dit kleinere vermogen (dat ook opgewaardeerd moet worden) worden daarom clusters van gebouwen aangesloten in plaats van altijd hele buurten. De methode waarop deze clusters tot stand komen wordt verder toegelicht in Schepers et al. (2019).

Individuele elektrische warmtepompen binnen S3

In de Startanalyse worden verschillende strategieën verkend van een aardgasloze warmtevoorziening verkend voor elke buurt in Nederland. Alleen in de weergave van de resultaten voor S3 is te zien dat meestal niet de gehele buurt wordt aangesloten op een LT-warmtenet, maar ook een gedeelte op de individuele elektrische warmtepomp (S1). Hiervoor zijn twee verschillende redenen. De eerste betreft het beperkte vermogen van warmtebronnen, zoals hierboven besproken. Doordat het niet mogelijk is om alle gebouwen in een buurt van warmte uit de LT-warmtebron te voorzien is het noodzakelijk om voor de andere gebouwen van een andere warmtevoorziening uit te gaan. Binnen de Startanalyse wordt er dan vanuit gegaan dat de andere gebouwen overgaan op S1.

De tweede reden is wat complexer en heeft betrekking op de aantrekkelijkheid van een warmtevoorziening met een LT-bron t.o.v. een individuele warmtepomp. De redenering hierbij is dat bij de keuze tussen een individuele warmtepomp en een warmtenet gevoed met een LT-warmtebron een gebouweigenaar kiest voor het LT-warmtenet wanneer deze lagere kosten heeft dan een individuele elektrische warmtepomp. Als dit niet goed haalbaar blijkt, wordt een woning of gebouw van een individuele warmtepomp (S1) voorzien, hierbij wordt uitgegaan van de variant met de laagste nationale kosten voor deze buurt binnen S1.

Bij de interpretatie van de resultaten voor S3 kan dit een belangrijke invloed hebben doordat mogelijk een klein gedeelte van de buurt maar een LT-warmtenet heeft en de rest een elektrische warmtepomp. Voor de interpretatie van S3 is het daarom van belang om rekening te houden met het aandeel aansluitingen op een LT-net.

Variant S3a – Warmtenet met lagetemperatuurbron – aflevering op 30°C

Het startpunt voor deze variant is de beschikbare warmte uit LT-warmtebronnen. Hierbij gaat het om (industriële) restwarmtebronnen bronnen die LT-warmte over hebben van +/- 30 °C. Vervolgens wordt een LT-warmtenet aangelegd zodat de warmte verdeeld kan worden over de nabije gebouwen. In deze variant vindt er geen collectieve opwaardering van de warmte plaats, maar wordt de LT-warmte direct aangeleverd aan de individuele gebouwen. Vervolgens wordt de warmte, per gebouw, met een individuele water-waterwarmtepomp opgewaardeerd tot het gewenste temperatuurniveau voor ruimteverwarming en warm tapwater. Plaatsing van individuele warmtepompen in alle gebouwen vereist mogelijk een verzwaaring van het elektriciteitsnet in de buurt.

LT-warmtebron

De warmtebronnen binnen deze variant bestaan uit de LT-warmtebronnen met een specifieke locatie. Voorbeelden van dergelijke warmtebronnen zijn datacenters, supermarkten en Rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's). In paragraaf 5.5 wordt een overzicht gegeven van het aantal bronnen dat wordt meegenomen. Deze worden ook in kaartvorm gepresenteerd binnen de viewer van de Startanalyse en de Warmteatlas (RVO, 2020b).

Collectieve installaties

In deze variant worden er geen collectieve installaties geplaatst voor de opwaardering van de LT-warmte, de warmte wordt direct geleverd aan de gebouwen.

Schillabel

In deze variant wordt maar één schillabelniveau meegenomen, namelijk schillabel B. In deze variant wordt er namelijk vanuit gegaan dat er op individueel gebouwniveau een warmtepomp geplaatst wordt. Het is voor deze warmtepomp niet mogelijk om het gewenste temperatuurniveau te halen wanneer er niet voldoende geïsoleerd wordt. Het is daarom niet mogelijk om deze variant door te rekenen met het isolatieniveau van schillabel D.

Individuele installatie en afgiftesysteem

Op gebouwniveau wordt een water-waterwarmtepomp geplaatst die de aangeleverde LT-warmte opwaardeert naar het gewenste temperatuurniveau. De water-water warmtepomp wordt ingezet voor zowel de ruimteverwarming en warm tapwater. Hierbij wordt ook het afgiftesysteem aangepast naar een LT-afgiftesysteem.

Infrastructuur

Doordat de warmtevoorziening niet langer wordt ingevuld door aardgas, moet het gasnet worden verwijderd uit de buurt. In de buurt moet wel een warmtenet worden aangelegd die de gebouwen voorziet van LT-warmte. Daarnaast moet het elektriciteitsnet in de hele buurt waarschijnlijk verzwaard worden, zowel de gebouwen op het warmtenet als de gebouwen zonder een warmtenet krijgen individuele warmtepompen wat resulteert in een significant hogere elektriciteitsvraag per gebouw. Dit heeft daarom als gevolg dat het elektriciteitsnet verzwaard dient te worden.

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 op buurniveau.

Varianten S3b en S3f – Warmtenet met lagetemperatuurbron – aflevering op 70°C

Net als variant S3a maken deze varianten gebruik van LT-warmtebronnen als primaire bron voor het warmtenet. Alleen in plaats van individuele opwaardering vindt in deze variant een collectieve opwaardering van de warmte plaats. De LT-warmte wordt hierbij aangeleverd aan

een collectieve warmtepomp in het centrum van het LT-warmtenet, deze warmtepomp waardeert de warmte op naar een temperatuurniveau van 70 °C. Vervolgens wordt deze warmte gedistribueerd over de gebouwen waarmee deze warmte direct geschikt is voor ruimteverwarming en warm tapwater. Doordat de warmte een temperatuurniveau van 70 °C heeft, is deze geschikt voor zowel gebouwen met schillabel B als D, daarbij kan ook het huidige afgiftesysteem in stand gehouden worden.

Collectieve installaties

In deze variant wordt een collectieve warmtepomp geplaatst voor de opwaardering van de LT-warmte, deze waardeert de LT-warmte op naar een temperatuurniveau van 70 °C. Deze warmte wordt vervolgens direct geleverd aan de gebouwen.

Schillabel

Door het temperatuurniveau waarop de warmte aangeleverd wordt aan gebouwen is het mogelijk om in de berekeningen zowel schillabel B als schillabel D mee te nemen. Voor beide isolatieniveaus biedt deze temperatuur voldoende comfort.

Individuele installatie en afgiftesysteem

Dankzij de aanvoer van MT-warmte op 70 °C kunnen bestaande afgiftesystemen worden gehandhaafd. Daarbij is het temperatuurniveau van deze warmte ook voldoende om zowel de ruimteverwarmingsvraag als de warm tapwatervraag in te vullen. Binnen de gebouwen hoeft dus relatief weinig aangepast te worden om te voldoen aan de warmtevraag.

Infrastructuur

Doordat de warmtevoorziening niet langer wordt ingevuld door aardgas, moet het gasnet worden verwijderd uit de buurt. In de buurt moet wel een warmtenet worden aangelegd die de gebouwen voorziet van LT-warmte. De gebouwen die zijn aangesloten op het warmtenet hebben geen hogere elektriciteitsvraag, in tegenstelling tot variant S3a, en daarom is er ook geen verzwaring van het elektriciteitsnet voor deze gebouwen. De gebouwen die niet op het warmtenet zitten, worden ingevuld met een individuele elektrische warmtepomp, hier is wel een additionele elektriciteitsvraag en het elektriciteitsnet wordt wel verzwakt voor deze gebouwen. Het is daarom mogelijk dat er nog wel kosten voor elektriciteitsnetverzwaring terugkomen in deze varianten.

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 op buurtniveau.

Varianten S3c en S3g – Warmtenet met WKO – aflevering op 70 °C

In deze varianten verandert de primaire bron van LT-warmtebronnen naar een Warmte-Koude Opslag (WKO). WKO is een systeem waarmee warmte en koude op ZLT-niveau in aquifers (watervoerende lagen in de ondergrond) in de bodem wordt opgeslagen. Deze warmte en koude worden vervolgens d.m.v. van een warmtepomp door een gebouw gepompt om hiermee het gebouw op te warmen of af te koelen (afhankelijk van het seizoen). In de zomer wordt dan het koude water opgepompt uit de koudebron, rondgepompt door het gebouw en vervolgens naar de warmtebron gebracht (omdat het nu is opgewarmd). In de winter gebeurt het omgekeerde waarbij warmte uit de warmtebron, rondgepompt door het gebouw en vervolgens naar de koudebron gebracht. Het gemiddelde temperatuurniveau van een WKO-systeem ligt wel lager dan bij een LT-restwarmtebron, daarom wordt bij een WKO-systeem uitgegaan van een ZLT-temperatuurniveau (15 °C).

Deze varianten volgen verder grotendeels dezelfde kenmerken als voor S3b en S3f. De warmte uit het WKO-systeem wordt namelijk ook opgewerkt door een collectieve

warmtepomp naar een temperatuurniveau van 70 °C. Vervolgens wordt deze warmte gedistribueerd over de gebouwen waarmee deze warmte direct geschikt is voor ruimteverwarming en warm tapwater. Doordat de warmte een temperatuurniveau van 70 °C heeft, is deze geschikt voor zowel gebouwen met schillabel B als D, daarbij kan ook het huidige afgiftesysteem in stand gehouden worden.

Collectieve installaties

In deze variant wordt een WKO-systeem met een collectieve warmtepomp geplaatst voor de opwaardering van de ZLT-warmte, deze waardeert de ZLT-warmte op naar een temperatuurniveau van 70 °C. Deze warmte wordt vervolgens direct geleverd aan de gebouwen.

Schillabel

Door het temperatuurniveau waarop de warmte aangeleverd wordt aan gebouwen is het mogelijk om in de berekeningen zowel schillabel B als schillabel D mee te nemen. Voor beide isolatieniveaus biedt deze temperatuur voldoende comfort.

Individuele installatie en afgiftesysteem

Dankzij de aanvoer van MT-warmte op 70 °C kunnen bestaande afgiftesystemen worden gehandhaafd. Daarbij is het temperatuurniveau van deze warmte ook voldoende om zowel de ruimteverwarmingsvraag als de warm tapwatervraag in te vullen. Binnen de gebouwen hoeft dus relatief weinig aangepast te worden om te voldoen aan de warmtevraag.

Infrastructuur

Doordat de warmtevoorziening niet langer wordt ingevuld door aardgas, moet het gasnet worden verwijderd uit de buurt. In de buurt moet wel een warmtenet worden aangelegd die de gebouwen voorziet van LT-warmte. De gebouwen die zijn aangesloten op het warmtenet hebben geen hogere elektriciteitsvraag en daarmee is er ook geen verzwaring van het elektriciteitsnet nodig voor deze gebouwen.

De gebouwen die niet op het warmtenet zitten, worden ingevuld met een individuele elektrische warmtepomp, hier is wel een additionele elektriciteitsvraag en het elektriciteitsnet wordt wel verzwaard voor deze gebouwen. Het is daarom mogelijk dat er nog wel kosten voor elektriciteitsnetverzwaring terugkomen in deze varianten.

Buffer

De WKO-bron zelf fungeert als buffer. In deze variant wordt voor de regeneratie van de WKO-bron gebruik gemaakt van een drogekoeler.

Variant S3d – Warmtenet met WKO – aflevering op 50 °C

Variant S3d is een combinatie van de varianten S3a en S3x. Ook in deze variant wordt namelijk gebruik gemaakt van een WKO-systeem. Maar deze ZLT-warmte wordt nu niet opgevaardeerd naar een temperatuurniveau 70 °C, maar naar 50 °C. Vervolgens wordt de warmte gedistribueerd naar de gebouwen en is deze direct geschikt voor de toepassing voor ruimteverwarming binnen gebouwen die schillabel B hebben. Hiervoor moeten bestaande radiatoren wel worden vervangen door een LT-afgiftesysteem. Verder is het temperatuurniveau van 50 °C nog niet voldoende voor de invulling van warm tapwater, deze wordt daarom nog verder opgehoogd door middel van een boosterwarmtepomp.

Collectieve installaties

In deze variant wordt een WKO-systeem met een collectieve warmtepomp geplaatst voor de opwaardering van de ZLT-warmte, deze waardeert de ZLT-warmte op naar een temperatuurniveau van 50 °C. Deze warmte wordt vervolgens direct geleverd aan de gebouwen.

Schillabel

Deze variant kan alleen worden doorgerekend met schillabel B doordat de aangeleverde warmte een temperatuurniveau van 50 °C heeft. Met dit temperatuurniveau is het mogelijk

om de ruimtes te verwarmen indien er een LT-afgiftesysteem is, maar het is niet mogelijk om een gebouw met schillabel D te verwarmen met dit temperatuurniveau.

Individuele installatie en afgiftesysteem

Op gebouwniveau wordt een boosterwarmtepomp geplaatst die de aangeleverde LT-warmte opwaardeert naar het gewenste temperatuurniveau voor warm tapwater. Het temperatuurniveau van de aangeleverde warmte is voldoende voor ruimteverwarming bij schillabel B, alleen het afgiftesysteem moet wel worden aangepast naar een LT-afgiftesysteem.

Infrastructuur

Doordat de warmtevoorziening niet langer wordt ingevuld door aardgas, moet het gasnet worden verwijderd uit de buurt. In de buurt moet wel een warmtenet worden aangelegd die de gebouwen voorziet van LT-warmte. De gebouwen die zijn aangesloten op het warmtenet hebben geen hogere elektriciteitsvraag, net als bij variant 3b, daarom is er ook geen verzwaring van het elektriciteitsnet voor deze gebouwen.

De gebouwen die niet op het warmtenet zitten, worden ingevuld met een individuele elektrische warmtepomp, hier is wel een additionele elektriciteitsvraag en het elektriciteitsnet wordt wel verzwakt voor deze gebouwen. Het is daarom mogelijk dat er nog wel kosten voor elektriciteitsnetverzwaring terugkomen in deze varianten.

Buffer

De WKO-bron zelf fungeert als buffer. In deze variant wordt voor de regeneratie van de WKO-bron gebruik gemaakt van een drogekoeler.

Varianten S3e en S3h – Warmtenet met WKO en oppervlaktewater – aflevering op 70 °C

Deze varianten zijn nagenoeg gelijk aan S3c en S3g qua opzet, het voornaamste verschil zit in het systeem dat wordt gebruikt voor de regeneratie van het WKO-systeem. In de varianten S3c en S2g wordt hiervoor uitgegaan van een drogekoeler, maar de varianten S3e en S3h wordt uitgegaan van Thermische Energie uit Oppervlaktewater (TEO).

De kenmerken van deze varianten worden nog wel kort beschreven. De warmte uit het WKO-systeem wordt opgewerkt door een collectieve warmtepomp naar een temperatuurniveau van 70 °C. Vervolgens wordt deze warmte gedistribueerd over de gebouwen waarmee deze warmte direct geschikt is voor ruimteverwarming en warm tapwater. Doordat de warmte een temperatuurniveau van 70 °C heeft, is deze geschikt voor zowel gebouwen met schillabel B als D, daarbij kan ook het huidige afgiftesysteem in stand gehouden worden.

Collectieve installaties

In deze variant wordt een WKO-systeem met een collectieve warmtepomp geplaatst voor de opwaardering van de ZLT-warmte, deze waardeert de ZLT-warmte op naar een temperatuurniveau van 70 °C. Deze warmte wordt vervolgens direct geleverd aan de gebouwen.

Schillabel

Door het temperatuurniveau waarop de warmte aangeleverd wordt aan gebouwen is het mogelijk om in de berekeningen zowel schillabel B als schillabel D mee te nemen. Voor beide isolatieniveaus biedt deze temperatuur voldoende comfort.

Individuele installatie en afgiftesysteem

Dankzij de aanvoer van MT-warmte op 70 °C kunnen bestaande afgiftesystemen worden gehandhaafd. Daarbij is het temperatuurniveau van deze warmte ook voldoende om zowel de ruimteverwarmingsvraag als de warm tapwatervraag in te vullen. Binnen de gebouwen hoeft dus relatief weinig aangepast te worden om te voldoen aan de warmtevraag.

Infrastructuur

Doordat de warmtevoorziening niet langer wordt ingevuld door aardgas, moet het gasnet worden verwijderd uit de buurt. In de buurt moet wel een warmtenet worden aangelegd die de gebouwen voorziet van LT-warmte. De gebouwen die zijn aangesloten op het warmtenet hebben geen hogere elektriciteitsvraag en daarmee is er ook geen verzwaring van het elektriciteitsnet nodig voor deze gebouwen.

De gebouwen die niet op het warmtenet zitten, worden ingevuld met een individuele elektrische warmtepomp, hier is wel een additionele elektriciteitsvraag en het elektriciteitsnet wordt wel verzaamd voor deze gebouwen. Het is daarom mogelijk dat er nog wel kosten voor elektriciteitsnetverzwaring terugkomen in deze varianten.

Buffer

De WKO-bron zelf fungeert als buffer. In deze variant wordt voor de regeneratie van de WKO-bron gebruik gemaakt van Thermische Energie uit Oppervlaktewater. De mogelijkheden hiervoor zijn dus afhankelijk van het beschikbare oppervlaktewater, zoals rivieren, in de nabijheid van de buurt. Een overzicht van de beschikbare wateren zoals gehanteerd binnen de Startanalyse wordt beschreven in paragraaf 5.5.

2.3.5 Strategie 4 – Groengas

In Strategie 4 worden in totaal vier varianten onderscheiden. Hierbij wordt onderscheid gemaakt naar twee componenten, namelijk isolatieniveau en de technologie. De technologieën die worden meegenomen zijn de hybride warmtepomp en de hoogrendement-ketel (HR-ketel). Beide technologieën kunnen warmte leveren op een voldoende hoog temperatuurniveau om comfort te kunnen bieden bij schillabel B en schillabel D. Voor beide technologieën worden daarom ook beide isolatieniveaus meegenomen binnen de SA-2020. Net als in bovenstaande strategieën worden de varianten met de beide labels tegelijk beschreven omdat er, naast het label, geen verschil is in de opzet van deze varianten. Een overzicht van de gehanteerde parameters voor hybride warmtepomp en de HR-ketel worden gepresenteerd in paragraaf 0

Voor alle varianten

Afgiftesysteem in woningen en gebouwen

Er vinden geen aanpassingen plaats in het afgiftesysteem binnen de gebouwen. In alle varianten wordt gebruik gemaakt van het huidige MT-afgiftesysteem.

Varianten S4a en S4c – Hybride warmtepomp met groengas

In deze varianten wordt een hybride warmtepomp toegepast. Een hybride warmtepomp combineert een (kleine) elektrische lucht-waterwarmtepomp met een HR-ketel op groengas. De warmtepomp vult hierbij het merendeel van de ruimteverwarmingsvraag in. Alleen op koude dagen heeft de warmtepomp onvoldoende vermogen en dan springt de HR-ketel bij om de ruimtes ook dan te kunnen verwarmen. De vraag naar warm tapwater wordt compleet ingevuld door de HR-ketel. Het benodigde vermogen van de hybride warmtepompsystemen ligt lager dan de individuele warmtepomp, zoals beschreven in S1, waardoor het elektriciteitsnet niet in dezelfde mate hoeft te worden verzaamd als in S1.

Schillabel

Met de hybride warmtepomp is het mogelijk om de warmte naar een temperatuurniveau te brengen dat voldoende comfort biedt binnen beide isolatieniveaus. Dit maakt het mogelijk om deze berekeningen te doen voor zowel schillabel B als schillabel D.

Individuele installatie

In deze varianten wordt ervan uitgegaan dat alle gebouwen in een buurt een hybride warmtepomp hebben. De hybride warmtepomp kan in de praktijk als één geheel worden geïnstalleerd maar dit kan ook een warmtepomp zijn die naast de bestaande HR-ketel geplaatst

wordt. Binnen de berekeningen wordt ervan uitgegaan dat er een nieuwe installatie moet worden geplaatst.

Infrastructuur

Met de hybride warmtepomp is nog wel groengas nodig om de warmtevraag in te vullen. De huidige gasinfrastructuur blijft binnen deze varianten daarom liggen. De hybride warmtepompen resulteren wel in een hogere elektriciteitsvraag en om dit te kunnen invullen moet mogelijk het elektriciteitsnet verzwakt worden. Deze verzwakking zal in een kleinere mate zijn dan bij S1, de kosten voor verzwakking zullen hiermee ook lager zijn dan binnen S1.

Varianten S4b en S4d – HR-ketel met groengas

Deze varianten gaan uit van een HR-ketel, de ketel die ook nu in veel gebouwen wordt toegepast. Deze ketel produceert de warmte voor zowel ruimteverwarming als voor warm tapwater. In deze varianten verandert het minste ten opzichte van de huidige warmtevoorziening.

Schillabel

Met de HR-ketel is het mogelijk om de warmte naar een temperatuurniveau te brengen dat voldoende comfort biedt binnen beide isolatieniveaus. Dit maakt het mogelijk om deze berekeningen te doen voor zowel schillabel B als schillabel D.

Individuele installatie

Alle gebouwen houden een HR-ketel, hierbij moet de huidige ketel vervangen worden in de berekeningen maar verder hoeven er geen kosten te worden gemaakt.

Infrastructuur

De infrastructuur blijft voor zowel gas als elektriciteit hetzelfde als deze nu is. Het gasnet blijft liggen en het elektriciteitsnet hoeft niet te worden verzwakt.

2.3.6 Strategie 5 – Waterstof

Het onderscheid tussen varianten binnen deze strategie heeft dezelfde basis als binnen S4. Ook binnen S5 wordt onderscheid gemaakt tussen de HR-ketel en de hybride warmtepomp, maar deze technologieën moeten nog wel geschikt gemaakt worden voor de inzet van waterstof. Het concept van beide technologieën is hetzelfde als met groengas, maar de chemische samenstelling van waterstof verschilt van groengas en niet alle branders van groengas kunnen ook worden ingezet voor waterstof. Deze aanpassingen worden meegenomen in de kosten van de installaties die worden ingezet voor een warmtevoorziening met waterstof. Met deze aanpassingen is het mogelijk om dezelfde warmteniveaus te leveren als met groengas en daarom is het ook mogelijk om beide isolatieniveaus door te rekenen. Deze isolatieniveaus worden ook binnen deze strategie gezamenlijk beschreven.

Voor alle varianten

Afgiftesysteem in woningen en gebouwen

Er vinden geen aanpassingen plaats in het afgiftesysteem binnen de gebouwen. In alle varianten wordt gebruik gemaakt van het huidige MT-afgiftesysteem.

Varianten S5a en S5c – Hybride warmtepomp met waterstof

Deze hybride warmtepomp werkt in principe op dezelfde manier als de hybride warmtepomp voor groengas, zoals beschreven in de vorige paragraaf. De kosten van een hybride warmtepomp zijn wel hoger doordat deze nog geschikt gemaakt moet worden voor waterstof.

Schillabel

Met de hybride warmtepomp is het mogelijk om de warmte naar een temperatuurniveau te brengen dat voldoende comfort biedt binnen beide isolatieniveaus. Dit maakt het mogelijk om deze berekeningen te doen voor zowel schillabel B als schillabel D.

Individuele installatie

In deze varianten wordt ervan uitgegaan dat alle gebouwen in een buurt een hybride warmtepomp hebben met waterstof als brandstof. In paragraaf 7.5 wordt verder ingegaan op de kenmerken van deze hybride warmtepomp.

Infrastructuur

Met de hybride warmtepomp is nog wel waterstof nodig om de warmtevraag in te vullen. De huidige gasinfrastructuur wordt daarom indien aangepast zodat deze waterstof kan transporteren. De hybride warmtepompen resulteren wel in een hogere elektriciteitsvraag en om dit te kunnen invullen moet mogelijk het elektriciteitsnet verzwakt worden. Deze verzwaking zal in een kleinere mate zijn dan bij S1, de kosten voor verzwaking zullen hiermee ook lager zijn dan binnen S1.

Varianten S5b en S5d – HR-ketel met waterstof

Deze varianten gaan uit van een voor waterstof geschikte HR-ketel. Deze ketel produceert de warmte voor zowel ruimteverwarming als voor warm tapwater. Daarnaast zijn er weinig veranderingen ten opzichte van de huidige situatie voor warmtevoorziening.

Schillabel

Met de, voor waterstof geschikte, HR-ketel is het mogelijk om de warmte naar een temperatuurniveau te brengen dat voldoende comfort biedt binnen beide isolatieniveaus. Dit maakt het mogelijk om deze berekeningen te doen voor zowel schillabel B als schillabel D.

Individuele installatie

Alle gebouwen worden voorzien van een HR-ketel die geschikt is voor waterstofverbranding. Hiervoor kunnen HR-ketels worden ontworpen die alleen op waterstof kunnen draaien. Daarnaast kunnen er ook HR-ketels op de markt komen waarvan componenten vrij gemakkelijk kunnen worden vervangen om deze geschikt te maken voor waterstof. Zo hoeft niet de hele ketel te worden vervangen maar alleen enkele componenten van de ketel. Dit maakt wel dat de gemiddelde kosten van een HR-ketel op waterstof hoger liggen dan een HR-ketel op groengas, zoals te zien in paragraaf 7.5. daarentegen is het rendement van een HR-ketel op waterstof wel iets hoger doordat er bij de verbranding van waterstof meer water vrijkomt en dus ook meer condensatiewarmte kan worden teruggewonnen. Dit is ook te zien in dezelfde paragraaf.

Infrastructuur

Waar nodig wordt de gasinfrastructuur aangepast zodat deze geschikt is voor waterstof. Het elektriciteitsnet blijft hetzelfde en hoeft niet te worden verzwakt.

2.4 Overzicht strategieën en varianten

De vorige paragrafen geven een beschrijving van de verschillende strategieën en varianten die worden gehanteerd binnen de SA-2020. Met deze beschrijvingen in het achterhoofd is het mogelijk om een vergelijking te maken op basis van enkele onderscheidende kenmerken. Tabel 1 geeft een dergelijk overzicht, waarbij het onderscheid wordt gemaakt naar de volgende kenmerken:

- 1) Bronnen voor warmtevoorziening: Dit geeft een beschrijving van de vormen van energie die worden ingezet per variant. Hierbij kan het gaan om groengas of

elektriciteit, maar ook bronnen voor warmte zoals oppervlaktewater, de buitenlucht of de restwarmte van bedrijven.

- 2) Isolatie niveau: Dit geeft een indicatie op wordt uitgegaan van minimaal schillabel B of minimaal schillabel D, de twee isolatie niveaus die worden meegenomen binnen de SA-2020 welke verder worden toegelicht in paragraaf 4.1.
- 3) Warmtebron temp: Het temperatuurniveau dat wordt gehanteerd voor de bron van warmte die wordt gebruikt binnen de varianten met een warmtenet.
- 4) Aanvoertemp: Dit is het temperatuurniveau waarop de warmte wordt aangeleverd aan de gebouwen binnen de varianten met een warmtenet. Deze aanvoertemperatuur heeft invloed op de eventuele individuele voorzieningen die nog moeten worden getroffen om de warmte naar het benodigde temperatuurniveau te brengen.
- 5) Collectieve voorzieningen: Hierbij gaat het om de voorzieningen die gezamenlijk moeten worden opgebracht door de groep van gebouwen die worden aangesloten op een warmtenet. Hierbij kan het gaan om collectieve voorzieningen zoals de aanleg van een warmtenet, een collectieve warmtepomp of een WKO-systeem.
- 6) Individuele voorzieningen: Dit zijn de voorzieningen die moeten worden getroffen op gebouwniveau, hierbij kan worden gedacht aan individuele installatie of de aanpassingen in het afgiftesysteem voor warmte.

Bovenstaande kenmerken worden uitgesplitst per variant en strategie. Voor elke strategie wordt daarbij aangegeven in welke paragraaf van hoofdstuk 7 de getalsmatige onderbouwing van deze strategie te vinden is.

Tabel 1: Overzicht van strategieën en varianten binnen de SA-2020

Bronnen voor warmtevoorziening		Isolatie-niveau	Warmte-bron temp	Aanvoer temp	Collectieve voorzieningen	Individuele voorzieningen
S1 - Individuele elektrische warmtepomp (Paragraaf 7.1)						
S1a	Elektriciteit + warmte uit buitenlucht	B			-	Combiwarmtepomp + LT-radiatoren
S1b	Elektriciteit + bodemwarmte				-	
S2 - Warmtenet met midden- tot hogetemperatuurbron (Paragraaf 7.2)						
S2a	Restwarmte + groengas voor piekvraag	B	> 70 °C	70 °C	MT-restwarmtebron + hulpwarmteketel + MT-warmtenet (70 °C)	Aansluiting op warmtenet + MT-radiatoren
S2b	Geothermie + groengas voor piekvraag (met contour)	B			Geothermiebron + hulpwarmteketel + MT-warmtenet (70 °C)	
S2c	Geothermie + groengas voor piekvraag (zonder contour)				MT-restwarmtebron + hulpwarmteketel + MT-warmtenet (70 °C)	
S2d	Restwarmte + groengas voor piekvraag	D			Geothermiebron + hulpwarmteketel + MT-warmtenet (70 °C)	
S2e	Geothermie + groengas voor piekvraag (met contour)	D			Geothermiebron + hulpwarmteketel + MT-warmtenet (70 °C)	
S2f	Geothermie + groengas voor piekvraag (zonder contour)					
S3 - Warmtenet met lagetemperatuurbron (Paragraaf 7.3)						
S3a	Restwarmte + elektriciteit + warmte uit buitenlucht	B	30 °C	30 °C	LT-warmtenet (30 °C)	Warmtenet-aansluiting + combiwarmtepomp + LT-radiatoren
S3b	Restwarmte + elektriciteit + warmte uit buitenlucht			70 °C	Collectieve warmtepomp + MT-warmtenet (70 °C)	Warmtenet-aansluiting + MT-radiatoren
S3c	Warmte- en koude overschot uit gebouwen + elektriciteit + warmte uit buitenlucht		15 °C	70 °C	Collectieve warmtepomp + WKO + MT-warmtenet (70 °C)	Warmtenet-aansluiting + MT-radiatoren
S3d				50 °C	Collectieve warmtepomp + WKO + MT-warmtenet (50 °C)	Warmtenet-aansluiting+ boosterwarmtepomp + LT-radiatoren
S3e	Warmte- en koude overschot uit gebouwen + warmte uit oppervlaktewater + elektriciteit + warmte uit buitenlucht		70 °C	Collectieve warmtepomp + WKO + TEO + MT-warmtenet (70 °C)	Warmtenet-aansluiting + MT-radiatoren	
S3f	Restwarmte + elektriciteit + warmte uit buitenlucht		30 °C	70 °C	Collectieve warmtepomp + MT-warmtenet (70 °C)	Warmtenet-aansluiting + MT-radiatoren
S3g	Warmte- en koude overschot uit gebouwen + elektriciteit + warmte uit buitenlucht	D			Collectieve warmtepomp + WKO + MT-warmtenet (70 °C)	Warmtenet-aansluiting + MT-radiatoren
S3h	Warmte- en koude overschot uit gebouwen + warmte uit oppervlaktewater + elektriciteit + warmte uit buitenlucht				Collectieve warmtepomp + WKO + TEO + MT-warmtenet (70 °C)	Warmtenet-aansluiting + MT-radiatoren
S4 – Groengas (Paragraaf 7.4)						
S4a	Groengas + elektriciteit	B			-	Hybride lucht-warmtepomp + MT-radiatoren
S4b	Groengas					HR-combiketel + MT-radiatoren
S4c	Groengas + elektriciteit	D				Hybride lucht-warmtepomp + MT-radiatoren
S4d	Groengas					HR-combiketel + MT-radiatoren
S5 – Waterstof (Paragraaf 7.5)						
S5a	Waterstof + elektriciteit	B			-	Hybride lucht-warmtepomp + MT-radiatoren
S5b	Waterstof					HR-combiketel + MT-radiatoren
S5c	Waterstof + elektriciteit	D				Hybride lucht-warmtepomp + MT-radiatoren
S5d	Waterstof					HR-combiketel + MT-radiatoren

2.4.1 Verschillen met SA-2019

De SA-2020 bevat in totaal 24 varianten wat een behoorlijke stijging is ten opzichte van de 13 varianten binnen de SA-2019. Deze toename komt voornamelijk door de toevoeging van een tweede isolatieniveau en een strategie met waterstof. Maar aan de andere kant zijn er twee varianten die niet meer worden meegenomen. Hieronder wordt een korte beschrijving gegeven van de verschillen in varianten tussen de SA-2019 en SA-2020 en in Tabel 2 wordt een overzicht gegeven van de verschillen.

Varianten wel in SA-2019 maar niet in SA-2020

Er zijn twee varianten die niet meer meegenomen worden binnen de SA-2020, die wel in de SA-2019 versie waren opgenomen. Het gaat hierbij om de variant S2d in de SA-2019 versie. Deze variant kwam nooit naar voren als variant met de laagste nationale kosten en gaf geen nieuwe inzichten voor de gemeenten. Daarom is besloten om deze niet meer mee te nemen binnen de SA-2020. Om dezelfde redenen is ook besloten om variant S3c uit de SA-2019 versie niet meer mee te nemen.

Aangepaste variant van SA-2019

Dit betreft voornamelijk een aanpassing in de naamgeving van de variant. Binnen de SA-2019 wordt de variant met de HR-ketel, label B en groengas aangeduid met S5, maar binnen de SA-2020 is er een aparte strategie voor groengas (S4). Deze variant komt nu dus terug als variant S4b, maar qua uitgangspunten wijzigt deze verder niet.

Nieuwe varianten in SA-2020

Ten eerste is er een nieuwe variant toegevoegd binnen S3, namelijk S3c. In deze variant wordt een LT-warmtenet uitgelegd met WKO als bron maar hierbij wordt de gehele buurt aangesloten op het LT-warmtenet. Hiermee verschilt het dus van de varianten S3a, S3b, S3d en S3e omdat binnen de andere varianten (kleinere) clusters van gebouwen worden aangesloten en niet de gehele buurt. Deze variant (S3c) is opgenomen zodat inzicht wordt geschapt in de kosten van een LT-warmtenet indien een hele buurt aangesloten wordt.

De tweede toevoeging betreft de toevoeging van de strategie met waterstof (S5), daarbij wordt ook gelijk de toevoeging van isolatieniveaus zichtbaar. De isolatieniveaus worden meegenomen bij varianten die warmte kunnen leveren op 70 °C en daarbij voldoende comfort kunnen bieden bij schillabel D. Om deze reden worden er ook varianten toegevoegd aan S2, S3 en S4, want hier zitten allemaal varianten in die dit temperatuurniveau kunnen leveren.

Tabel 2: Vergelijking van varianten binnen SA-2020 en SA-2019 (* is met aangepaste uitgangspunten)

Strategie 1		Strategie 2		Strategie 3		Strategie 4		Strategie 5	
SA-2020	SA-2019	SA-2020	SA-2019	SA-2020	SA-2019	SA-2020	SA-2019	SA-2020	SA-2019
S1a	S1a	S2a	S2a	S3a	S3a	S4a	S4	S5a	Niet
S1b	S1b	S2b	S2b	S3b	S3b	S4b	S5	S5b	Niet
		S2c	S2c	S3c	Niet	S4c	Niet	S5c	Niet
		S2d	Niet	S3d	S3d	S4d	Niet	S5d	Niet
		S2e	Niet	S3e	S3e				
		S2f	Niet	S3f	Niet				
				S3g	Niet				
				S3h	Niet				

2.5 Grenzen van een model

Hier zal worden ingegaan op enkele zaken die op dit moment (nog) niet in de berekeningen van de Startanalyse zitten, maar die wel van belang zijn bij de interpretatie van de resultaten en eventuele vervolgstappen. Een gedeelte hiervan is ook al terug te vinden in de Handreiking voor Lokale analyse.

CONCEPT

BLOK 2: METHODE EN STARTJAAR

Dit blok start met een korte algemene beschrijving van het Vesta MAIS-model in **hoofdstuk 3**. In dit hoofdstuk worden alleen de hoofdlijnen van het rekenmodel beschreven, maar in **hoofdstuk 4** wordt dieper ingegaan op enkele kernonderwerpen binnen het model. Denk hierbij aan onderwerpen zoals energiebesparing, warmtenetten en gas- en elektriciteitsnetten. Hiermee krijgt de lezer iets meer vat op de methoden die worden gehanteerd binnen het model, maar het is natuurlijk niet mogelijk om alle modelfacetten in detail te beschrijven. Voor een gedetailleerde omschrijving van rekenregels en uitgangspunten kan het functioneel ontwerp geraadpleegd worden. Schepers et al. (2019) geeft de beschrijving van het Vesta MAIS-model zoals dit is gehanteerd voor de doorrekening van de SA-2019. Een dergelijke beschrijving volgt ook voor de versie van het model welke is gehanteerd voor de SA-2020.

Het laatste hoofdstuk geeft de opmaat voor het volgende blok, in **hoofdstuk 0** wordt namelijk de startsituatie beschreven. Hier wordt een overzicht gegeven van gegevens die binnen het model worden ingelezen voor het startjaar, voor de SA-2020 is dit het jaar 2019. Het gaat hierbij om gegevens die niet meer veranderen in het referentiescenario en daarom ook van invloed zijn op de uiteindelijke uitkomsten van de SA-2020. In blok 3 wordt voortgebouwd op deze gegevens, dit blok gaat namelijk over factoren die wel worden verondersteld te veranderen in de periode tot 2030.

3 Het Vesta MAIS-model

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 CO₂-uitstoot in de gebouwde omgeving te verminderen en alternatieven voor het gebruik van aardgas te verkennen. Vesta MAIS

- brengt het technisch-economisch potentieel van gebouw- en gebiedsmaatregelen in kaart;
- rekent de effecten van beleidsinstrumenten door op de nationale kosten, het energiegebruik en (onder andere) CO₂-emissies;
- brengt de business case van warmtebedrijven en gebouw eigenaren in beeld alsmede de financiële gevolgen voor de gebruikers van energie.
- schetst de gevolgen voor de infrastructuur van het warmte-, gas- en elektriciteitsnet.

Het model kan zowel op nationaal als regionaal niveau berekeningen uitvoeren. Daarbij wordt rekening gehouden met lokale omstandigheden onder andere door het gebruik van ruimtelijke gegevensbestand op gebouwniveau zoals de Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG) en het gecertificeerde energielabel van gebouwen van RVO en op gebiedsniveau over de lokale aanwezigheid van warmtebronnen. Vesta kan resultaten 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 in de gebouwde omgeving en de impact van beleidsmaatregelen daaromtrent. Daartoe kunnen voor specifieke oplossingen de nationale kosten worden berekend en is het mogelijk de CO₂-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 volgorde 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 2017⁴. 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.

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

4 Modelleren van kernonderwerpen

4.1 Energiebesparing

4.1.1 Woningen

Hier komt een toelichting op de methode zoals die wordt gehanteerd binnen de SA-2020. Daarbij wordt op hoofdlijnen ingegaan op de data die wordt gebruikt en wordt voor enkele voorbeelden de methode ook cijfermatig toegelicht. Als laatste wordt mogelijk nog kort ingegaan op de relatie met de standaard en streefwaarden.

4.1.2 Utiliteitsgebouwen

Ook de methode die wordt gehanteerd om energiebesparing uit te rekenen binnen de utiliteitsbouw zal (kort) worden toegelicht.

4.2 Warmtenetten

4.2.1 Hogetemperatuur- en middentemperatuur warmtenetten

In paragraaf 2.2.3 worden in hoofdlijnen de componenten van een warmtenet beschreven. In deze paragraaf worden deze componenten verder uitgewerkt en wordt daarnaast ook ingegaan op het doorkoppelen van warmtenetten en de manier waarop wordt omgegaan met bestaande warmtenetten binnen de Startanalyse. In hoofdstuk 6.4 van Schepers et al. (2019) is een verdere verdieping van de modellering van een warmtenet opgenomen mochten de beschrijvingen in deze paragraaf niet voldoende gedetailleerd zijn.

Componenten van een warmtenet

Voor de opbouw van het warmtenet wordt dezelfde opbouw aangehouden als in paragraaf 2.2.3. Hierbij wordt gestart met de primaire bron en vervolgens worden de componenten beschreven die nodig zijn om de warmte te kunnen leveren aan de gebouwen. Een overzicht van de componenten wordt gegeven in Figuur 1.

Primaire bron

De primaire bron beschrijft een installatie of centrale die een (overschot aan) warmte beschikbaar heeft en waarbij deze warmte ingezet kan worden voor de warmtevoorziening van gebouwen. Voor de HT/MT-warmtenetten worden verschillende van dergelijke warmtebronnen onderscheiden. Ten eerste gaat het om warmtebronnen met rest- of aftapwarmte. Deze warmtebronnen hebben vaak een specifieke locatie (x- en y-coördinaat) en worden daarom ook wel aangeduid met de term puntbronnen. Voorbeelden van puntbronnen zijn industriële installaties met een overschot aan warmte, afvalverbrandingsinstallaties (AVI's), biomassa-centrales (BMC's) en gasgestookte elektriciteitscentrales. Deze puntbronnen kunnen warmte over doordat bij een productieproces warmte nodig is maar dit vervolgens binnen de het bedrijfscomplex niet nuttig ingezet kan worden (restwarmte). Andere installaties kunnen additionele warmte genereren door extra energie in te zetten, dit wordt dan aftapwarmte genoemd. Daarnaast zijn er ook installaties die specifiek ingericht zijn op het genereren van warmte, zoals de biomassa-centrales. Al deze vormen van puntbronnen worden meegenomen

binnen de Startanalyse, waarbij het voornamelijk gaat om bestaande installaties en centrales (zie paragraaf 5.5 voor een overzicht). Naast deze bestaande centrales en installaties is het ook mogelijk om de ingroei van nieuwe geothermie-installaties mee te nemen. Deze geothermie-installaties kunnen ook fungeren als een primaire bron voor een MT-warmtenet, maar er is nog wel onzekerheid over de geschiktheid van de ondergrond, hier wordt ook verder op ingegaan in paragraaf 5.5.

Primair net

Het primaire net omschrijft de leiding die nodig is om een warmtebron te verbinden met de buurt. Het gaat hierbij dus om een enkele leiding die zorgt dat de warmte wordt getransporteerd vanaf de warmtebron naar de buurt en niet om de verdeling van de warmte binnen het vraaggebied. Hierbij is het niet nodig om voor elke buurt individueel een primaire leiding aan te leggen, het is ook mogelijk om door te koppelen. Op de term doorkoppelen wordt hieronder verder ingegaan.

Distributienet met de hulpwarmte-installatie

Er is nu een verbinding tussen de primaire bron en de buurt, maar vervolgens moet de warmte binnen de buurt nog gedistribueerd worden naar alle gebouwen. Het leidingnet dat hiervoor zorgt wordt aangeduid met de term distributienet en bestaat zelf uit enkele elementen, namelijk het Warmteoverdracht station (WOS), de hulpwarmte-installatie (HWI), de hoofdleidingen, de onderstations, de zijleidingen en de aansluitleidingen.

Het startpunt voor de warmtelevering in de buurt is de WOS. Dit is het station waar de warmte van het primaire net binnenkomt en vervolgens verdeeld wordt over de hoofdleidingen. Binnen het Vesta MAIS-model wordt ervan uitgegaan de WOS naast een verdeelstation ook een installatie bevat die de piekvraag en eventuele andere schommelingen in de warmtelevering op kan vangen. Deze installatie wordt aangeduid met de term hulpwarmte-installatie (HWI). In de huidige situatie zijn dit nog voornamelijk ketels en daarom wordt ook wel gesproken over hulpwarmteketels (HWK), deze term wordt ook nog gehanteerd in Figuur 1.

Naast het centrale punt voor de verdeling van warmte zijn er kleinere verdeelpunten van warmtenetten in de buurt, de zogeheten onderstations. Deze worden verbonden met de WOS door middel van de hoofdleidingen. Vanaf de onderstations wordt vervolgens de warmte verder verdeeld over de buurt. Voor een inschatting van de leidinglengte van zowel de hoofdleidingen als de zijleidingen wordt, voor de HT/MT-warmtenetten, gebruik gemaakt van de lengte van een weggennet in de betreffende buurt (Schepers et al., 2019).

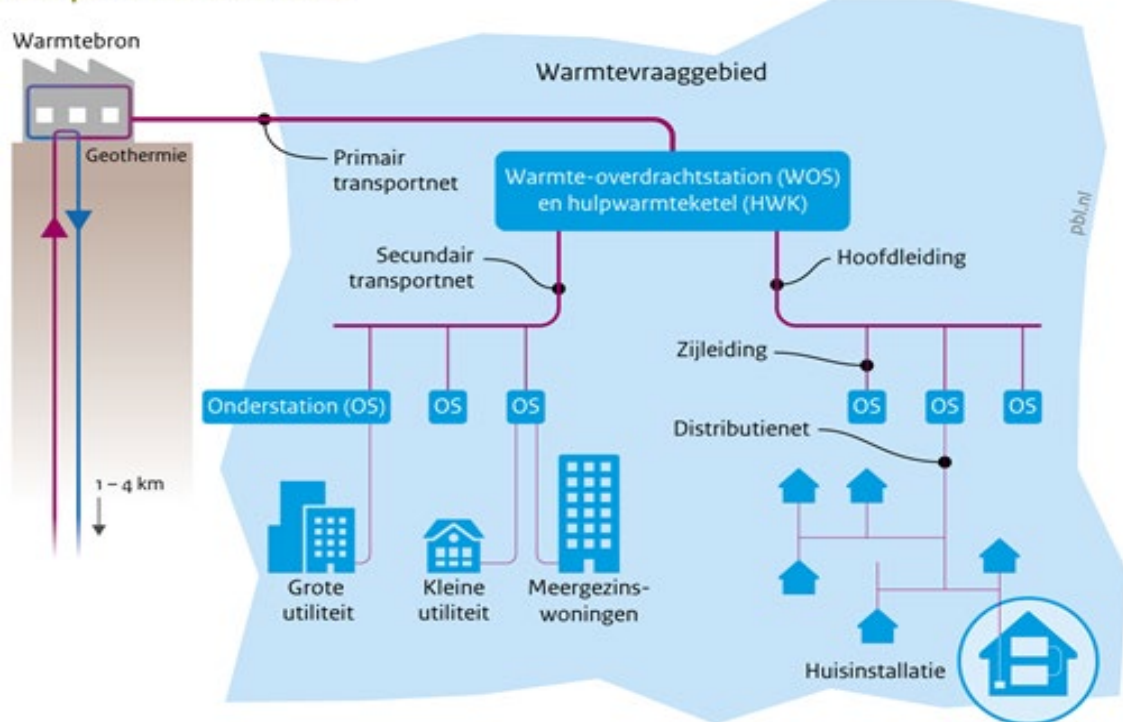
Het laatste element van de warmtenetten is de aansluiting van de weg naar het pand. Hiervoor wordt een inschatting gemaakt van de gemiddelde afstand van de panden tot aan de straat, per CBS-buurt. Voor een dichtbebouwde buurt is deze gemiddelde afstand dus significant lager dan voor een dun bebouwd gebied. Belangrijk aandachtspunt hierbij dat het gaat om de gemiddelde afstand per pand. Een pand met 50 appartementen krijgt dus niet 50 aansluitleidingen maar één, omdat het gaat om één pand. Voor grondgebonden woningen is het eigenlijk wel altijd het geval dat elk pand één woning bevat.

Inpandige distributie en warmtemeter

Het laatste component van een warmtenet gaat om de aanpassingen binnen de panden. Hierbij wordt onderscheid gemaakt naar aanpassingen in de installatie en de overige inpandige kosten. Met de installatie gaat het hierbij om de vervanging van de huidige Cv-ketel door een warmtemeter. De overige inpandige kosten omschrijven de aanpassingen binnen het pand die nodig zijn om de warmte bij elke aansluiting te krijgen. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan het leidingnet dat binnen een flat aanwezig is om alle woningen van warmte te voorzien. Als in de huidige situatie alle woningen in een flat een Cv-ketel op gas

hebben dan moeten niet alleen de installaties vervangen worden, maar ook de buizen binnen het pand.

Componenten warmtenet



Bron: PBL

Figuur 1: Schematische weergave van de componenten in een HT/MT-warmtenet met geothermie als bron

Doorkoppelen van warmtenetten

Om de puntbronnen te verbinden met de buurt is het nodig om een primair net aan te leggen. Hierbij is het mogelijk om deze primaire netten door te koppelen. Met doorkoppelen wordt bedoeld dat bij de aanleg van een primair net niet alleen wordt gekeken naar een leiding naar de puntbron maar ook bij nabijgelegen buurten. Dit wordt nader toegelicht in Figuur 2. Hierbij wordt nu niet ingegaan op buurt A, omdat het hier gaat om een buurt met een bestaand warmtenet en dit wordt hieronder verder toegelicht. Na buurt A heeft buurt B de laagste kosten en, ervan uitgaande dat de warmtebron voldoende vermogen heeft, dus wordt buurt B aangesloten. Vervolgens is buurt C het goedkoopst. Om buurt C te verbinden met de primaire warmtebron hoeft het primaire net niet weer opnieuw met de puntbron verbonden te worden, maar is het makkelijker om buurt C te verbinden met buurt B. Hierbij wordt het primaire net doorgekoppeld naar buurt C. Als laatste worden de mogelijkheden berekend voor buurt D. De afstand tussen de warmtebron en buurt D is kleiner dan de afstand tussen buurt D en de andere buurten, daarom wordt buurt D wel weer direct verbonden met de warmtebron.

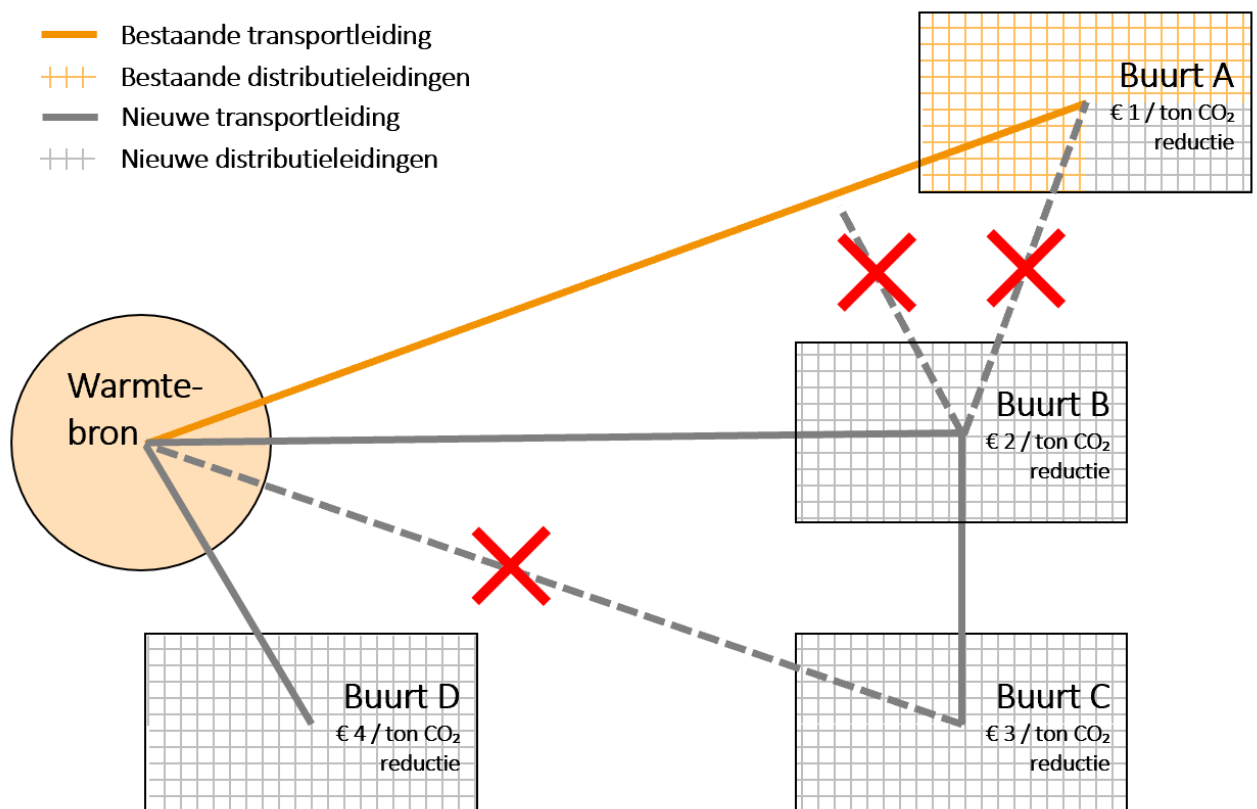
In Figuur 2 worden hypothetische kosten gebruikt om duidelijk te maken hoe de methode van doorkoppelen werkt. Binnen het Vesta MAIS-model worden deze kosten berekend aan de hand van de marginale kosten voor de collectieve productie van warmtenetten per buurt. Binnen het Vesta MAIS-model wordt dit aangeduid met de term 'contributiemarge', verder toegelicht in paragraaf 6.4.1 van Schepers et al. (2019).

Bestaande warmtenetten binnen de Startanalyse

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 (CBS, 2019). 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 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 beslisseregels voor welke bron waar wordt ingezet. Hieronder volgt een uitgebreidere toelichting met behulp van de volgende figuur.



Figuur 2: 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).

4.2.2 Lagetemperatuur-warmtenetten

De methode voor LT-warmtenetten is in grote lijnen hetzelfde als voor de HT/MT-warmtenetten, het voornaamste verschil zit in de schaalgrootte waarop beide netten worden gemodelleerd. Dit zal later nog verder worden toegelicht

4.3 Gas- en elektriciteitsnetten

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.

4.3.1 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.

4.3.2 Berekening kosten van verwijdering en vervanging van het gasnet

Gasnetten verwijderen

Bij uitvoering van strategieën zonder groengas of waterstof 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 o.b.v. de lengte van het gasnet in een buurt en een gemiddeld kostenbedrag per meter, zoals afgestemd met de netbeheerders. 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.

Gasnet aanpassen voor waterstof

Bij strategie S5 moet het huidige gasdistributienet op termijn worden aangepast om geschikt te zijn voor waterstoftransport. Op basis van de gegevens van experts en netbeheerders is een inschatting gemaakt van de jaarlijkse kosten hiervoor. Deze kosten zijn vanzelfsprekend alleen van toepassing op varianten van strategie S5.

In SA-2019 werden nog kosten gerekend voor de vervanging van 'grondroeringsgevoelige leidingen'. Overleg met netbeheerders leerde dat dit type leidingen sowieso vervangen worden, ongeacht besluiten over het type strategie. Daarom worden deze kosten in SA-2020 niet meer opgenomen; ze maken dan ook geen onderdeel uit van K02 of K03.

5 Startsituatie

5.1 Afbakening gebouwde omgeving

5.1.1 Focus op bestaande bouw

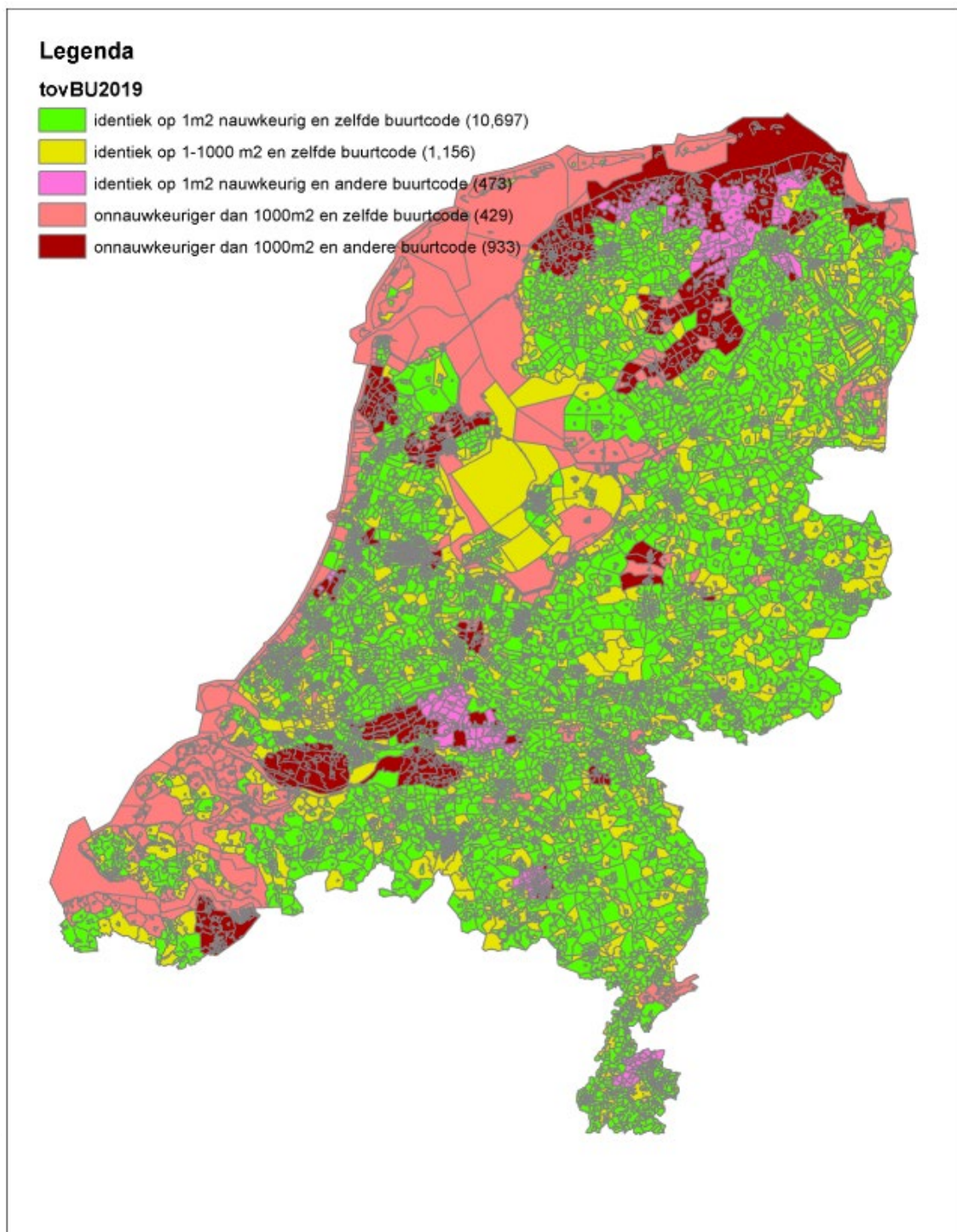
Glastuinbouw vormt binnen het kader van het Klimaatakkoord onderdeel van de sector Landbouw en landgebruik. De startanalyse heeft uitsluitend betrekking op de sector Gebouwde Omgeving. De functionaliteit van Vesta MAIS betreffende glastuinbouw is daarom buiten beschouwing gelaten in de startanalyse.

5.2 CBS-buurtten

Binnen de SA-2019 werd uitgegaan van CBS-buurtdata uit 2018 en voor de SA-2020 wordt uitgegaan van de CBS-buurtdata 2019. Dit lijkt een kleine verandering, maar tussen 2018 en 2019 zijn er redelijk wat veranderingen geweest in deze buurtdata. Hieronder wordt op kaart en in tabelvorm een overzicht gegeven van de wijzigingen in het aantal buurten.

Tabel 3: Wijzigingen in CBS-buurten tussen 2018 en 2019

Vraag: Zijn de buurtcodes van centroïde BU_CODE_2019 gelijk aan de buurtcodes van centroïde BU_CODE_2018?		Count
Ja		12186
1. identiek op 1m2 nauwkeurig en zelfde buurtcode		10696
3. identiek op 1-1000 m2 en zelfde buurtcode		1156
4. onnauwkeuriger dan 1000m2 en zelfde buurtcode		334
Nee		1501
2. identiek op 1m2 nauwkeurig en andere buurtcode		473
4. onnauwkeuriger dan 1000m2 en zelfde buurtcode		95
5. onnauwkeuriger dan 1000m2 en andere buurtcode		933
Grand Total		13687



Figuur 3: Wijzigingen in CBS-buurtten tussen 2018 en 2019

5.3 Woningen

Hier zal een overzicht komen van het aantal woningen in het startjaar, uitgesplitst naar woningtype en mogelijk bouwjaarklasse. Vervolgens wordt ingegaan op de woningen met/zonder een afgemeld energielabel bij RVO en als laatste op de vraag naar warmte.

5.3.1 Aantal woningen

PM

5.3.2 Woningen met/zonder energielabels

PM

5.3.3 Warmtevraag

PM

5.4 Utiliteit

Hier zal eenzelfde soort tekst komen als voor woningen.

5.4.1 Oppervlakte utiliteit

PM

5.4.2 Utiliteit met/zonder energielabels

PM

5.4.3 Warmte- en koudevraag

PM

5.5 Warmtebronnen

Voor de warmtebronnen zijn al wel enkele overzichten beschikbaar voor de verschillen tussen de SA-2019 en de SA-2020. Dit verschil komt voornamelijk door de verrijking van de data doordat gemeenten aan het begin van 2020 informatie hebben aangeleverd over de warmtebronnen. De data geeft een eerste beeld, maar er wordt nog wel een toelichting op de verschillen toegevoegd.

5.5.1 Puntbronnen

Tabel 4: Overzicht van MT-warmtebronnen

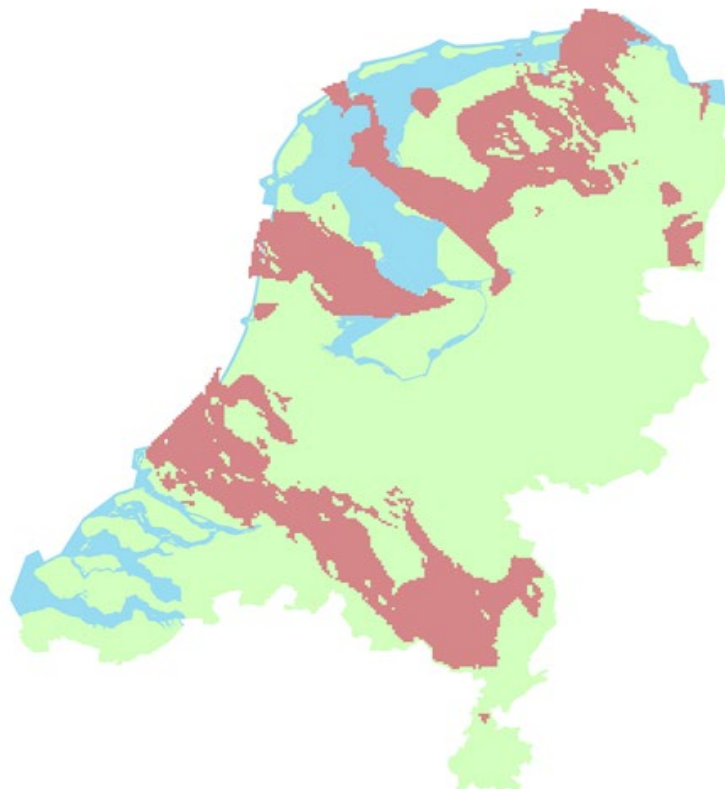
Type warmtebron	Aantal warmtebronnen		Beschikbaar vermogen	
	SA-2019	SA-2020	SA-2019	SA-2020
	Aantal	Aantal	MWth	MWth
STEG	36	37	5851	6089
Gasmotor	2	4	10	18
Gasturbine	7	8	863	839
Industrie	502	519	4123	3956
Raffinaderij	9	9	683	845
AVI	18	20	469	1024
BMC	11	19	98	275
Geothermie	0	17	0	332
Hulpketel	0	4	0	182
BioWKK	3	5	52	52
Nucleair	1	0	350	0
Totaal	589	642	12498	13612

Tabel 5: Overzicht van LT-warmtebronnen

Type warmtebron	Aantal bronnen		Beschikbaar vermogen	
	SA-2019 Aantal	SA-2020 Aantal	SA-2019 MWth	SA-2020 MWth
Supermarkt	540	2959	133	133
RWZI	349	355	3950	3950
KoelVries	111	116	205	205
Bakkerij	101	114	6	6
Wasserij	39	38	78	78
Dienstverlening_Informatie	33	47	103	103
Voedingsmiddelen_dranken_tabak	83	134	74	74
Slachthuis	789	754	2343	2343
Datacenter	249	253	3218	3218
IJsbaan	0	1	0	0
GemaalWarmte	1272	324	3478	3478
GemaalKoud	317	0	870	0
Glastuinbouw	0	1	0	14
Industrie	0	0	0	0
WKO	0	0	0	0
Zwembad	0	0	0	0
Totaal	3883	5096	14459	13603

5.5.2 Geothermiecontour

Deze is hetzelfde in de SA-2020 als in de SA-2019

**Figuur 4: Theoretische potentiegebieden voor geothermie**

5.5.3 WKO-contour

Deze is hetzelfde in de SA-2020 als in de SA-2019

5.5.4 Beschikbaar oppervlaktewater

Hier is een update van geweest in samenwerking met Syntraal en Deltares.

CONCEPT

BLOK 3: UITGANGSPUNTEN VOOR 2030

PM

CONCEPT

6 Algemene ontwikkelingen

6.1 Bebouwing tot 2030

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 juli 2018 een logischerwijs integraal onderdeel van de nieuwbouwontwikkelingen (Rijksoverheid, 2018). 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 uitfasen 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 rekent. Dit betekent mogelijk een overschatting van de kosten. Het is aanmerkelijk 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.

6.2 Klimaatteffect

De gemiddelde temperatuur in Nederland stijgt en deze trend zet in de toekomst. Deze hogere temperatuur heeft invloed op de benodigde energie om ruimtes te verwarmen doordat in de winter het verschil tussen de buitentemperatuur en binnentemperatuur kleiner wordt. Het KNMI geeft verschillende scenario's van de temperatuurontwikkeling naar de toekomst toe, waarbij onderscheid wordt gemaakt naar verschillende regio's binnen Nederland. Binnen de Startanalyse wordt uitgegaan van één van deze scenario's welke vervolgens wordt vertaald naar een reductie in de vraag naar ruimteverwarming.

6.3 Investeringskosten energiebesparing

Naast de methode voor energiebesparing zelf, zoals toegelicht in paragraaf 4.1 zal hier ook worden ingegaan op de methode die wordt gehanteerd voor de investeringskosten voor energiebesparing.

7 Specifieke uitgangspunten per variant

In de onderstaande paragrafen wordt een toelichting gegeven op uitgangspunten die van belang zijn per strategie. Hierbij wordt waar mogelijk onderscheid gemaakt naar de verschillende varianten, zoals bij S1. Voor S3 is dit complexer doordat veel varianten afhankelijk zijn van dezelfde componenten en een beschrijving van de individuele varianten daardoor minder zinvol is.

In deze paragrafen wordt een beeld gegeven van de data, maar een toelichting op deze verschillen mist nog. Dit volgt in de definitieve versie van het achtergronddocument, maar voor nu is het in ieder geval mogelijk om inzicht te krijgen in de aanpassingen van de data. In de tabellen wordt waar mogelijk de vergelijking gemaakt tussen de uitgangspunten van SA-2019 en SA-2020. Soms is dit niet mogelijk doordat er nieuwe methoden zijn toegevoegd die nog waren opgenomen in SA-2019, hier wordt dan binnen de SA-2019 kolom de aanduiding "n.v.t." opgenomen.

Verder wordt binnen de hoofdberekeningen van de Startanalyse uitgegaan van de middenwaarde, maar waar mogelijk wordt een bandbreedte gegeven voor deze getallen door ook de ondergrens en bovengrens aan te geven. Dit geeft een beeld van de onzekerheid bij de inschatting van de data en deze spelen ook een rol binnen de gevoeligheidsanalyses.

7.1 S1 - Individuele elektrische warmtepomp

Dit zijn de invoerparameters die worden gehanteerd voor de varianten met de elektrische warmtepomp, naast de investeringen die moeten worden gedaan in energiebesparing. Tussen SA-2019 en SA-2020 zijn enkele veranderingen in de invoerparameters die van invloed kunnen zijn op de resultaten. De onderstaande kosten zijn exclusief ontwikkelingen

Lucht-water warmtepomp

Tabel 6: Selectie van kenmerkende parameters voor de lucht-water warmtepomp

Parameter (bedragen exclusief BTW, uitgedrukt in prijspeil 2018)	Eenheid	Waarde			
		Ondergrens SA-2020	Bovengrens SA-2020	Midden- waarde SA-2020	Midden- waarde SA-2019
Woningen					
LTAS	€/woning	401 - 958	2015 - 3222	1208 - 2090	1208 - 2090
SPF, schillabel B	-	312%	449%	381%	381%
SPF, schillabel D	-	312%	366%	339%	n.v.t.
Investeringskosten, vast	€/aansl.	5359	4637	4998	4998
Investeringskosten, variabel	€/kW	320	500	410	410
Utiliteit					
LTAS	€/m²	9	9	9	9

SPF, alle labels	-	312%	366%	339%	342%
Investeringskosten, vast	€/aansl.	3769	6281	5025	4300
Investeringskosten, variabel	€/kW	555	925	740	1100

Bodem-water warmtepomp

Tabel 7: Selectie van kenmerkende parameters voor de bodem-water warmtepomp

Parameter (bedragen exclusief BTW, uitgedrukt in prijspeil 2018)	Eenheid	Waarde			
		Ondergrens SA-2020	Bovengrens SA-2020	Midden- waarde SA-2020	Midden- waarde SA-2019
Woningen					
LTAS	€/woning	401 - 958	2015 - 3222	1208 - 2090	1208 - 2090
SPF, schillabel B	-	345%	468%	407%	407%
SPF warmtepomp, schillabel D	-	345%	376%	361%	-
Investeringskosten, vast	€/aansl.	4628	8460	6544	6544
Investeringskosten, variabel	€/kW	899	753	826	736
Aandeel boring in totale investeringskosten	-	40%	40%	40%	40%
Utiliteit					
SPF, alle labels	-	345%	376%	361%	350%
Investeringskosten, klein (≤100 kW), vast	€/aansl.	5257	8761	7009	8500
Investeringskosten, klein (≤100 kW), variabel	€/kW	1170	1950	1560	420
Investeringskosten, groot (>100 kW), vast	€/aansl.	153857	256428	205143	8500
Investeringskosten, groot (>100 kW), variabel	€/kW	293	488	391	420
Aandeel boring in totale investeringskosten	-	40%	40%	40%	40%

Ontwikkeling van investeringskosten

De daling in investeringskosten wordt uitgedrukt in een procentuele daling tussen het huidige niveau van de kosten (zoals hierboven weergegeven) en de toekomstige kosten. De veronderstelde procentuele daling voor de verschillende technologieën verschilt niet veel tussen de SA-2019 en de SA-2020. Binnen het achtergrondrapport van de SA-2019 (Hoogervorst et al., 2019) is de daling opgenomen in tabel 22 in paragraaf 9.2.

7.2 S2 - Warmtenet met midden- en hogetemperatuur-bron

Er zijn relatief weinig aanpassingen geweest in de kostencomponenten van de HT/MT-warmtenetten tussen de SA-2019 en SA-2020.

Investeringskosten voor warmtenetten

Tabel 8: Selectie van kenmerkende parameters voor de investeringskosten van warmtenetten gevoed met een HT/MT-warmtebron

Parameter (bedragen exclusief BTW, uitgedrukt in prijspeil 2018)	Eenheid	Waarde			
		Onder- grens SA-2020	Boven- grens SA-2020	Midden- waarde SA-2020	Midden- waarde SA-2019
Warmtemeter en in pandige kosten, woningen					
Aansluitkosten woningen	€/aansl	1300	1300	1300	1300

Inpandige kosten, grondgebonden woningen	€/aansl	2500	2500	2500	2500
Inpandige kosten, meergezinswoningen ⁵	€/aansl	722-1500	722-1500	722-1500	722-1500
Aandeel appartementen met blokverwarming	-	15%	15%	15%	15%
Kosten warmtemeters, utiliteit					
Kosten warmtemeters, vast	€/aansl.	899	927	913	913
Kosten warmtemeters, variabel	€/kW	1.24	1.46	1.35	1.35
Leidingkosten per meter warmtenet (K_aansl_m)					
Aanlegkosten warmtenet, vast	€/m	400	800	600	600
Aanlegkosten warmtenet, variabel	€/m	210*MW ^{0.5}	200*MW ^{0.6}	205*MW ^{0.55}	205*MW ^{0.55}
Investeringskosten warmtebronnen					
Investeringskosten geothermie-installatie	€/kW	1523	1523	1523	1694.5
Investeringskosten restwarmte-uitkoppeling ⁶	€/kW	150 - 800	175 - 1800	162.5 - 1300	162.5 - 1300

Warmteverlies en vermogensvraag

Tabel 9: Selectie van parameters die van invloed zijn op de volume -en vermogensvraag bij warmtenetten gevoed met een HT/MT-warmtebron

Omschrijving	Eenheid	Ondergrens SA-2020	Bovengrens SA-2020	Middenwaarde SA-2020	Middenwaarde SA-2019
Warmteverlies bij distributie van warmte					
Warmteverlies binnen distributienet	-	20%	36%	28%	28%
Verdeling van vermogen over prim. bron en HWK					
Vermogen ingevuld door HWK t.o.v. gevraagd vermogen	-	70%	100%	85%	85%
Vermogen ingevuld door prim. bron t.o.v. gevraagd vermogen	-	30%	30%	30%	30%
Invulling van volumevraag					
Aandeel warmtelevering door HWK	-	30%	10%	20%	20%
Aandeel warmtelevering door prim. bron	-	70%	90%	80%	80%

Ontwikkeling van investeringskosten

De daling in investeringskosten wordt uitgedrukt in een procentuele daling tussen het huidige niveau van de kosten (zoals hierboven weergegeven) en de toekomstige kosten. De veronderstelde procentuele daling voor de verschillende technologieën verschilt niet veel tussen de SA-2019 en de SA-2020. Binnen het achtergrondrapport van de SA-2019 (Hoogervorst et al., 2019) is de daling opgenomen in tabel 22 in paragraaf 9.2.

7.3 S3 - Warmtenet met lagetemperatuurbron

Voor de modellering van de LT-warmtenetten is een grote hoeveelheid parameters nodig. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen LT-warmtenetten met een collectieve opwaardering en individuele opwaardering. Dit wordt gedaan in de tabellen die hieronder worden gepresenteerd, waarbij een toelichting zal volgen op dit onderscheid. Over het geheel zijn er geen hele grote aanpassingen geweest in de parameters van de LT-warmtenetten tussen de SA-2019 en de SA-2020.

⁵ Inpandige kosten bij meergezinswoningen hangen ervan af of een pand blokverwarming heeft of niet. Indien er blokverwarming aanwezig is zijn de kosten lager.

⁶ De uitkoppelkosten zijn afhankelijk van het brontype waar restwarmte van wordt afgenomen

Parameters voor warmtevraag en vermogen bij LT-warmtenetten met individuele opwaardering van de warmte op gebouwniveau (S3a, S3d)

Tabel 10: Combinaties van label, aflevertemperatuur en type warmtepomp bij warmtenetten met LT-warmtebronnen en additionele individuele opwekking

Schillabels	Aflevertemperatuur aan gebouw	Type warmtepomp
Schillabel A	<= 35 °C	Booster warmtepomp
	> 35 °C & <= 55 °C	Booster warmtepomp
Schillabel B	<= 35 °C	Complete water-water warmtepomp
	> 35 °C & <= 55 °C	Booster warmtepomp
Schillabel C - E	<= 35 °C	Complete water-water warmtepomp
	> 35 °C & <= 55 °C	Complete water-water warmtepomp

Tabel 11: Parameters voor warmtelevering door individuele warmtepompen binnen warmtenetten met LT-warmtebronnen

		Aflevertemperatuur aan gebouw		Aanpassing
Omschrijving	Eenheid	<= 35 °C	> 35 °C & <= 55 °C	t.o.v. SA 2019
Schillabel A				
Aandeel eigen opwekking ruimteverwarming	-	60%	30%	Geen
Aandeel eigen opwekking warm tapwater	-	60%	30%	Geen
Boosterwarmtepomp				
SPF ruimteverwarming	-	800%	800%	Geen
SPF warm tapwater	-	440%	440%	275%
Schillabel B				
Aandeel eigen opwekking ruimteverwarming	-	90%	60%	Geen
Aandeel eigen opwekking warm tapwater	-	60%	30%	Geen
Complete water-water warmtepomp				
SPF ruimteverwarming	-	420%	800%	Geen
SPF warm tapwater	-	275%	275%	Geen
Boosterwarmtepomp				
SPF ruimteverwarming	-	420%	800%	Geen
SPF warm tapwater	-	440%	440%	275%
Schillabels C-E				
Aandeel eigen opwekking ruimteverwarming	-	100%	90%	Geen
Aandeel eigen opwekking warm tapwater	-	60%	30%	Geen
Complete water-water warmtepomp				
SPF ruimteverwarming	-	320%	420%	Geen
SPF warm tapwater	-	275%	275%	Geen
Boosterwarmtepomp				
SPF ruimteverwarming	-	320%	420%	Geen
SPF warm tapwater	-	440%	440%	275%

Parameters voor warmtevraag en vermogen bij LT-warmtenetten met collectieve opwaardering van de warmte (S3b, S3c, S3e, S3f, S3g en S3h)

Tabel 12: Parameters voor warmtelevering door collectieve warmtepompen binnen warmtenetten met LT-warmtebronnen

Omschrijving	Eenheid	Midden-waarde SA-2020	Midden-waarde SA-2019
Rendement collectieve warmtepomp			

SPF van ≤ 20 °C naar ≤ 35 °C	-	790%	790%
SPF van ≤ 20 °C naar ≤ 55 °C	-	320%	320%
SPF van ≤ 20 °C naar > 55 °C	-	300%	300%
SPF van ≤ 35 °C naar ≤ 35 °C	-	790%	790%
SPF van ≤ 35 °C naar ≤ 55 °C	-	420%	420%
SPF van ≤ 35 °C naar > 55 °C	-	320%	320%
Benodigd vermogen vanuit primaire bron en collectieve warmtepomp			
Benodigd vermogen primair bron, als aandeel van gevraagd vermogen	-	30%	30%
Wanneer het temperatuurniveau van de warmte in de bron gelijk is aan het temperatuurniveau van de te leveren warmte aan gebouwen	-	70%	70%
Wanneer het temperatuurniveau van de warmte in de bron lager is dan het temperatuurniveau van de te leveren warmte aan gebouwen	-	100%	100%

Investeringskosten voor individuele en collectieve warmtepompen

Tabel 13: Investeringskosten voor individuele & collectieve warmtepompen binnen warmtenetten met LT-warmtebronnen

Parameter (bedragen exclusief BTW, uitgedrukt in prijspeil 2018)	Eenheid	Waarde			
		Onder- grens SA-2020	Boven- grens SA-2020	Midden- waarde SA-2020	Midden- waarde SA-2019
Individuele installaties					
Woningen					
Boosterwarmtepomp	€/aansl.	2226	2561	2393	3910
Complete water-water warmtepomp bij schillabel B	€/aansl.	Geen inschatting		4500	4500
Complete water-water warmtepomp bij schillabel C-E	€/aansl.	Geen inschatting		7000	7000
Utiliteit					
Complete water-water warmtepomp	€/kW	Geen inschatting		700	700
Collectieve installaties					
Specifiek LT-restwarmtebronnen					
Investerings voor uitkoppeling bestaande LT-bron	€/kW	Geen inschatting		250	250
Buffervat					
Aanleg buffervat voor seizoens- en dagopslag	€/gebouw	1000	1000	1000	1000
Minimale investering voor aanleg buffervat	€	Geen inschatting		100000	100000
WKO en TEO					
Investeringskosten WKO-bron	€/kW	104	127	115	115
Minimale investeringskosten voor WKO-bron	€	135000	165000	150000	150000
Investeringskosten TEO-warmtewisselaar	€/kW	198	242	220	220
Minimale investering voor TEO-warmtewisselaar	€	90000	110000	100000	100000
Extra investeringskosten regeneratie bij WKO zonder TEO	% inv. WKO	Geen inschatting		110%	110%
Coll. warmtepomp en Warmteoverdrachtstation					
Investeringskosten collectieve warmtepomp	€/kW	Geen inschatting		548	548
Investeringskosten warmteoverdrachtstation	€/kW	114	139	127	127

Ontwikkeling van investeringskosten

De daling in investeringskosten wordt uitgedrukt in een procentuele daling tussen het huidige niveau van de kosten (zoals hierboven weergegeven) en de toekomstige kosten. De veronderstelde procentuele daling voor de verschillende technologieën verschilt niet veel tussen de SA-2019 en de SA-2020. Binnen het achtergrondrapport van de SA-2019 (Hoogervorst et al., 2019) is de daling opgenomen in tabel 22 in paragraaf 9.2.

7.4 S4 – Groengas

Er zijn verschillende aanpassingen geweest in voornamelijk de kentallen voor de hybride warmtepomp. Het elektrische aandeel is verhoogd en ook de investeringskosten voor de warmtepomp binnen de utiliteit zijn aangepast. De verdere toelichting op deze verschillen zal volgen in de definitieve versie van dit document.

Hybride warmtepomp

Tabel 14: Selectie van kenmerkende parameters voor de hybride warmtepomp

Parameter (bedragen exclusief BTW, uitgedrukt in prijspeil 2018)	Eenheid	Waarde			
		Onder- grens SA-2020	Boven- grens SA-2020	Midden- waarde SA-2020	Midden- waarde SA-2019
Woningen					
Investeringskosten, vast	€/woning	2315	2315	2315	3690
Investeringskosten, variabel	€/kW	250	250	250	0
Warmtepompvermogen als aandeel van totaal be- nodigd vermogen	-	Geen inschatting		40%	100%
SPF hybride warmtepomp (bij alle schillabels)	-	320%	320%	320%	440%
Aandeel elektrisch					
Aandeel elektrisch bij label A	-	78%	78%	78%	55%
Aandeel elektrisch bij label B	-	78%	78%	78%	53%
Aandeel elektrisch bij label C	-	78%	78%	78%	48%
Aandeel elektrisch bij label D	-	78%	78%	78%	0%
Utiliteit					
Investeringskosten, vast	€/gebouw	3769	6281	5025	0
Investeringskosten, variabel	€/kW	555	925	740	849
Warmtepompvermogen als aandeel van totaal be- nodigd vermogen	-	Geen inschatting		25%	100%
SPF hybride warmtepomp (bij alle schillabels)	-	342%	342%	342%	366%
Aandeel elektrisch					
Aandeel elektrisch bij label A (Zeer goed)	-	60%	60%	60%	55%
Aandeel elektrisch bij label B (Goed)	-	60%	60%	60%	52%

HR-ketel

Tabel 15: Selectie van kenmerkende parameters voor de HR-ketel

Parameter (bedragen exclusief BTW, uitgedrukt in prijspeil 2018)	Eenheid	Waarde			
		Onder-grens SA-2020	Boven-grens SA-2020	Midden-waarde SA-2020	Midden-waarde SA-2019
Rendement ruimteverwarming HR-ketels in startjaar	-	104%	104%	104%	Afhankelijk van bouwjaar
Rendement ruimteverwarming HR-ketels in 2030	-	104%	104%	104%	105.5%
Rendement warm tapwater HR-ketels in startjaar	-	72%	72%	72%	Afhankelijk van bouwjaar
Rendement warm tapwater HR-ketels in 2030	-	72%	72%	72%	72%
Investeringskosten HR-ketel, woningen	€/installatie	1692	1860	1776	1776
Investeringskosten HR-ketel, utiliteit	€/KW	80	80	80	80

Ontwikkeling van investeringskosten

De daling in investeringskosten wordt uitgedrukt in een procentuele daling tussen het huidige niveau van de kosten (zoals hierboven weergegeven) en de toekomstige kosten. De veronderstelde procentuele daling voor de verschillende technologieën verschilt niet veel tussen de SA-2019 en de SA-2020. Binnen het achtergrondrapport van de SA-2019 (Hoogervorst et al., 2019) is de daling opgenomen in tabel 22 in paragraaf 9.2.

7.5 S5 – Waterstof

Deze strategie is nieuw geïntroduceerd binnen de SA-2020 en daarmee ook de uitgangspunten voor waterstof. Deze uitgangspunten worden nu beschreven in het functionele ontwerp voor waterstof geschreven door CE Delft en de achtergrondnotitie over waterstof. In de definitieve versie van het achtergronddocument zullen deze uitgangspunten ook worden samengevat binnen deze paragraaf.

CONCEPT

8 Beschikbaarheid van energiedragers

Energie komt in vele verschillende vormen, bijvoorbeeld in conventionele vormen zoals aardgas, kolen of elektriciteit. Deze verschillende energievormen bevatten (of dragen) een bepaalde hoeveelheid energie die later of elders ingezet kan worden naar een andere vorm van bruikbare energie. Deze vormen van energie worden aangeduid met de term energiedragers. Binnen de 2020-versie van de Startanalyse komen de volgende energiedragers direct terug in de strategieën en varianten:

- Groengas
- Waterstof
- Elektriciteit
- Omgevingswarmte
 - o Warmte uit de buitenlucht
 - o Warmte uit oppervlaktewater
 - o Warmte uit afvalwater
 - o Warmte uit de bodem
 - o Bodemwarmte opgeslagen in aquifers
 - o Aardwarmte
- Midden- en hogetemperatuur-restwarmte
- Lagetemperatuur-restwarmte

De energiedrager die op dit moment de grootste rol speelt in de warmtevoorziening van de gebouwde omgeving is aardgas. Dit hebben we de afgelopen decennia als Nederland zelf gewonnen en daarom waren er geen zorgen over de (toekomstige) beschikbaarheid van deze energiedrager voor de inzet binnen de warmtevoorziening. Ook nu de binnenlandse beschikbaarheid van aardgas terugloopt zijn er nog altijd weinig zorgen over de beschikbaarheid van deze energiedrager. Dit omdat er nog voldoende buitenlandse leveranciers zijn die dit aardgas willen en kunnen leveren. Maar de beschikbaarheid van de energiedragers, zoals hierboven genoemd, die de rol van aardgas in de warmtevoorziening over moeten nemen is onzekerder. Hierbij gaat het om onzekerheden over de absolute beschikbaarheid van deze energiedragers, maar ook over de acceptabel kosten, acceptabele maatschappelijke impact (zoals ruimtegebruik en milieudruk) en de mate waarin de gebouwde omgeving toegang krijgt tot de geproduceerde hoeveelheden.

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de onzekerheden die spelen bij de verschillende energiedragers. Hierbij wordt eerst ingegaan op biograndstoffen (eerder aangeduid met de term biomassa). Deze energiedrager speelt een rol binnen de warmtevoorziening van bestaande warmtenetten en in de groei van warmtenetten met bestaande installaties binnen Strategie 2. Op dit moment speelt er een discussie over de inzet van deze energiedrager binnen de warmtetransitie. Om verwarring te voorkomen wordt daarom apart ingegaan op de rol van deze energiedrager binnen de 2020-versie van de Startanalyse.

8.1 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. Hierbij wordt in de 2020-versie van de Startanalyse wel onderscheid gemaakt in de kosten van klimaatneutrale elektriciteit en niet-klimaatneutrale elektriciteit. Voor een beschrijving van de onderbouwing van deze kosten, zie de achtergrondnotitie over niet-klimaatneutrale elektriciteit.

8.2 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 informatie vanuit de gemeenten. Deze gegevens geven een grof eerste beeld, maar zijn nog 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.

8.3 Omgevingswarmte

Omgevingswarmte komt in verschillende vormen binnen de Startanalyse. Zo wordt er gebruik gemaakt van warmte in de bodem van de grond door middel van geothermie, WKO en bodemwarmtepompen. Daarnaast wordt er gebruik gemaakt van het oppervlaktewater bij de combinatie van TEO en WKO en als laatste ook van de buitenlucht bij de luchtwarmtepompen en hybride warmtepompen.

Binnen de Startanalyse worden er op termijn geen beperkingen verondersteld voor de beschikbaarheid van de verschillende type bronnen. Voor WKO wordt bijvoorbeeld nu de mogelijke toepasbaarheid van WKO gebaseerd op de bodemgesteldheid en andere huidige regelingen (RVO, 2020b). In de Startanalyse wordt ervan uitgegaan dat er geen wijzigingen zijn en dat deze uitgangspunten hetzelfde zijn in de toekomst. Hetzelfde geldt voor de beschikbaarheid van geothermie. Op dit moment is slechts voor een gedeelte van Nederland informatie bekend over de geschiktheid van de ondergrond voor levering van geothermie, ontsloten via TNO (2020). Op dit moment loopt wel een groot onderzoek naar de geschiktheid van gebieden die eerder nog niet onderzocht waren (EBN, 2020).

Voor de beschikbaarheid van oppervlaktewater is in samenwerking met Deltares en Syntraal een beeld gegeven van de wateren in Nederland die geschikt zijn voor de toepassing van TEO. Deze data wordt op kaart weergegeven in een viewer (STOWA, 2020). Voor de

berekeningen van de Startanalyse is gebruik gemaakt van de kaartversie in februari van 2020, sindsdien is er al weer nieuwe informatie beschikbaar gekomen en daarom kan er een kleine afwijking zitten in deze kaart en de gehanteerde informatie voor de Startanalyse. Er worden geen beperkingen meegenomen voor de beschikbaarheid van omgevingswarmte (buitenlucht of bodem) voor de individuele warmtepompen. Er wordt vanuit gegaan dat er voldoende warmte beschikbaar is in de bodem of de buitenlucht voor de warmtepompen om te gebruiken.

8.4 Biograndstoffen

De afgelopen jaren is er veel discussie geweest over de inzet van biomassa binnen de energietransitie. Zoals beschreven in Strengers & Elzenga (2020) is het een complexe zoektocht naar een goede balans tussen b.v. de instandhouding van de mondiale biodiversiteit en het mondiale terugdringen van de uitstoot van broeikasgassen. De complexiteit van deze zoektocht wordt bemoeilijkt door een veelheid van factoren zoals onzekere kennis, uiteenlopende inschattingen van milieu-effecten, uiteenlopende (wetenschappelijke) perspectieven, etc.. In deze discussie is ook regelmatig verwarring over de betekenis en interpretatie van begrippen, helemaal het brede begrip biomassa. In SER (2020) wordt daarom beargumenteerd om nu uit te gaan van het begrip biograndstoffen, omdat dit beter de diversiteit en waarde van biomassa uitdrukt. In de Startanalyse wordt aangesloten bij deze terminologie.

8.4.1 Klimaatneutraliteit van biograndstoffen

Biograndstoffen voor energetische toepassingen worden beschouwd als klimaatneutraal omdat de opname van CO₂ op relatief korte termijn in evenwicht is met de uitstoot van CO₂ die ontstaat bij verbranding. Bij (houtige) gewassen is die cyclus per definitie kort (hooguit enkele jaren), maar bij bomen is veel discussie over de vraag of het gebruik van hout voor energetische toepassingen leidt tot een (te) lange koolstofschuld ofwel tot een (te) lange periode waarin sprake is van een *toename* van de CO₂-uitstoot ten opzichte van het gebruik van aardgas of aardolie. Het antwoord op deze vraag is niet eenduidig en afhankelijk van vele aannames, zoals het vaststellen van de 'counterfactual' ofwel wat er gebeurd zou zijn indien de biograndstof niet voor de betreffende toepassing was gebruikt (Strengers en Elzenga, 2020).

8.4.2 Inzet van biograndstoffen binnen energietransitie

Ook de discussie over de mate waarin gegarandeerd kan worden dat biograndstoffen duurzaam zijn en welke rol ze zouden moeten spelen in de energietransitie en de circulaire economie is in volle gang. In het recente SER-advies 'Biomassa in Balans' - dat wordt onderschreven door een brede maatschappelijke basis van werkgevers, werknemers, Niet-gouvernementele Organisaties (NGO's) en kennisinstellingen - ziet de SER voor energetische toepassingen op de lange termijn (na 2050) een beperkte rol omdat er steeds meer alternatieven komen. Voor de kortere termijn voorziet de SER een rol als overbruggingsoplossing voor lastig te verduurzamen sectoren, zoals zwaar wegtransport, lucht- en scheepvaart en hoge temperatuur warmte (SER, 2020). Tevens wordt gesteld dat laagwaardige toepassingen, zoals verbranden voor elektriciteitsopwekking, warmte (lage-temperatuur) en bijmenging in brandstof voor lichte wegvoertuigen, moeten worden afgebouwd. Een exact tijdspad wordt niet gegeven omdat dit mede afhankelijk is van de beschikbaarheid van betaalbare alternatieven.

Ten slotte wordt benadrukt dat houtige biograndstoffen een rol kunnen (blijven) spelen in het leveren van flexibel vermogen (zowel warmte als elektriciteit) en als pieklast. Daarmee lijkt houtige biomassa een aantrekkelijke brandstof in de overgangsfase naar andere warmtebronnen (aquathermie, geothermie, restwarmte) en uiteindelijk voor het opvangen van

pieklust. Naar aanleiding van het SER-advies en een motie in de tweede kamer (Sienot et al., 2020) heeft minister Wiebes aangegeven dat in het te ontwikkelen brede duurzaamheidskader voor biograndstoffen een eindjaar opgenomen zal worden voor de subsidiëring van vaste houtige biomassa voor warmtetoepassingen. Hiertoe is PBL gevraagd een advies uitbrengen aan het ministerie van EZK ten aanzien van een uitfaseringsstrategie van houtige biomassa voor warmtetoepassingen.

8.4.3 Rol van biograndstoffen binnen de Startanalyse

Zoals hierboven al aangegeven zullen de laagwaardige toepassingen, zoals verbranding voor warmte, waarschijnlijk grotendeels worden afgebouwd op de lange termijn. De Startanalyse geeft een beeld van die lange termijn (2050) en daarom wordt ervan uitgegaan dat de bijdrage van biograndstoffen aan de warmtevoorziening in 2050 beperkt zal zijn.

Binnen de Startanalyse is verondersteld dat de bestaande biomassacentrales (BMC's), zoals bijvoorbeeld Purmerend, Ede en Utrecht, blijven bestaan tot 2050. Deze centrales maken vooral gebruik van reststromen uit Nederland waarvoor op dit moment nog geen andere nuttige toepassing is gevonden. Verder leveren deze centrales warmte aan bestaande warmtenetten, maar het is mogelijk dat de centrales nog capaciteit over hebben om meer warmtenetten te voeden. De BMC's worden daarom op twee manieren meegenomen. In alle strategieën en varianten wordt ervan uitgegaan dat de bestaande warmtenetten blijven liggen en dat de bronnen die de warmtenetten nu voeden dit blijven doen. Dus ook in strategieën en varianten zonder groei van het warmtenet leveren bestaande BMC's nog warmte aan het bestaande warmtenet in 2050. In de varianten S2a en S2d wordt een beeld gegeven van HT/MT-warmtenetten uitgaande van bestaande centrales die HT/MT-warmte kunnen leveren. BMC's vallen ook onder deze centrales en in deze varianten wordt de capaciteit die BMC's nu nog niet gebruiken ook ingezet. In deze varianten groeit de inzet van de BMC's tot het maximum van de capaciteit van bestaande centrales.

Binnen de Startanalyse is geen rekening gehouden met een complete stop op de inzet van biograndstoffen. Indien dit wel het geval is dan zal dit de beschikbare capaciteit voor warmtenetten verminderen en zal de warmtelevering van BMC's binnen het bestaande warmtenet moeten worden overgenomen door andere warmtebronnen.

Naast de directe inzet van biograndstoffen bij de verbranding voor warmte spelen biograndstoffen, en andere vormen van biomassa, een indirecte rol als grondstof bij de productie van groengas (besproken in de volgende paragraaf).

Binnen de Startanalyse vullen biomassacentrales, ook in 2050, een gedeelte van de warmtevraag uit bestaande warmtenetten in. De varianten S2a en S2d zijn de enige varianten waarin een groei van HT/MT-warmtenetten met bestaande installaties is opgenomen. Dit zijn hiermee ook de enige varianten waarin de rol van biograndstoffen in de warmtevoorziening in 2050 *groter* is dan nu. Hierbij gaat het alleen om de maximale benutting van de bestaande installaties en niet om eventuele nieuwe installaties. Dit wil niet zeggen dat biomassacentrales geen rol kunnen spelen in de warmtetransitie oftewel als transitietechnologie, maar daarover doet de Startanalyse geen uitspraak; het geeft alleen een eindbeeld. Ook sluit de Startanalyse niet uit dat biograndstoffen een grotere rol spelen in 2050 dan aangegeven in de genoemde varianten als hier goede redenen voor zijn. Een reden kan bijvoorbeeld zijn dat er (nog) geen andere nuttige toepassing is gevonden voor een biomassastroom (laagwaardig snoeihout, shreds, afvalhout). Uiteindelijk is het aan de gemeentes om keuzes te maken over de invulling van de toekomstige warmtevoorziening; de Startanalyse is bedoeld als beginpunt in het denken hierover.

8.5 Groengas

Groengas is biogas of syngas dat is opgewerkt tot aardgaskwaliteit. Biogas en syngas zijn producten die ontstaan na de vergisting of vergassing van biograndstoffen, waarbij verschillende methoden verschillende chemische samenstellingen, en daarmee syngas of biogas, opleveren. Na de opwaardering van deze gassen tot groengas is het geschikt om alle huidige toepassingen van aardgas over te nemen. Op dit moment wordt groengas al in beperkte mate geproduceerd in Nederland. Het gaat hierbij met name om groengas o.b.v. biogas uit vergisting van natte biomassa (zoals gft-afval, reststromen uit de voedings- en genotmiddelenindustrie en dierlijke mest). Omdat groengas dezelfde eigenschappen bevat als aardgas is het mogelijk om dit bij te mengen in het aardgasnet. Dit wordt op dit moment al gedaan en hiermee wordt +/- 0,4% van de totale Nederlandse gasvraag ingevuld of 1,5% van de gasvraag in de gebouwde omgeving.

Naar de toekomst toe is het mogelijk om de productie van groengas in Nederland te vergroten, maar er is nog grote onzekerheid over de absolute hoeveelheid groengasproductie die mogelijk is. Daarbij is het ook nog de vraag hoeveel van de nationale productie kan worden ingezet binnen de gebouwde omgeving aangezien groengas vele andere toepassingen kent. In deze paragraaf wordt een overzicht gegeven van de huidige inzichten in de mogelijkheden voor groengasproductie binnen Nederland.

8.5.1 Bronnen en technologieën voor groengasproductie

Groengas kan worden geproduceerd met verschillende technieken en grondstoffen. In Tabel 16 wordt een overzicht gegeven van enkele technieken waarvan wordt verwacht dat hier in de toekomst meer groengas mee geproduceerd kan worden (De Gemeyn, 2018). Hierbij wordt onderscheid gemaakt naar vergistings- en vergassingstechnologie.

Bij vergisting worden verschillende grondstoffen bij elkaar gevoegd in een vergister en vervolgens wordt de temperatuur (licht) verhoogd. Het doel hierbij is om biogas te produceren, wat later opgewaardeerd kan worden tot groengas. Een belangrijke grondstof die wordt gebruikt binnen vergistingsprocessen is mest. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen vergisting met alleen mest (monomestvergisting) en mest gecombineerd met andere grondstoffen (co-vergisting met mest). Het voordeel van co-vergisting is dat de biogasopbrengst van het vergistingsproces hoger is, waarmee dit financieel ook aantrekkelijker is (RVO, 2020c). Een nadeel van co-vergisting is dat de hoeveelheid mest toeneemt doordat het restproduct van de vergisting van biomassa (digestaat) ook als mest geldt. Bij monomestvergisting neemt de hoeveelheid mest niet toe, maar is de biogasopbrengst wel lager.

Vergassing is een nieuwere techniek waarbij biograndstoffen bij hoge temperatuur wordt verwerkt tot syngas. Syngas kan net als biogas opgewaardeerd worden tot groengas. Bij vergassing wordt onderscheid gemaakt naar thermische vergassing en superkritische vergassing. Bij thermische vergassing worden biograndstoffen omgezet naar syngas door middel van hoge temperaturen. Superkritische vergassing zet voornamelijk natte biomassa onder hoge druk en temperatuur waarbij het vervolgens wordt omgezet in een combinatie van methaan, waterstof en koolstofdioxide. Superkritische vergassing kent in principe hogere rendementen dan de bestaande vergistingsmethode maar is nog in ontwikkeling en deze rendementen moeten nog in de praktijk bewezen worden.

Tabel 16: Kenmerken van technieken voor groengasproductie

Techniek	Grondstof of substraat	Belemmeringen
Vergisting		
Rioolslib-vergisting	AWZI- en RWZI-slib	
Monomestvergisting klein (<400kW)	Vaak rundermest	Afzet digestaat
Monomestvergisting groot (>400 KW)	Mix varkens- en rundermest	Idem
Allesvergisters	Mest 55-90% + cosubstraat V&G-industrie	Idem
Vergassing		
Vergassing biogroundstoffen	Vaste biomassa, houtsnippers	Duurzaamheids-criteria
Vergassing B-hout	Onbewerkt sloophout	Beschikbaarheid ongewis
Superkritische watervergassing	Natte biomassa	Onvoldragen technologie
Bio-raffinage	Planten(resten)	onbekend

8.5.2 Huidige productie van groengas

Op dit moment is de omvang van de groengasproductie nog bescheiden, maar zoals te zien in Tabel 17 neemt de productie van groengas de laatste jaren wel toe. Voor 2018 is in CE Delft (2020) alleen de biogasproductie opgenomen, deze is daarom vertaald naar groengasproductie. Hiervoor wordt ervan uitgegaan dat 73% van de biogasproductie wordt opgewaardeerd tot groengas (CE Delft, 2020) en een methaangehalte van 63% in biogas. Het restant (27%) wordt direct verbrand op locatie voor de productie van warmte en elektriciteit. De 300 miljoen m³ biogas wordt vermenigvuldigt met beide percentages om te komen tot de 139 miljoen m³ groengas. De totale aardgasvraag van de gebouwde omgeving in 2018 is ongeveer 423 petajoule (Schoots & Hammingh, 2019), omgerekend naar kubieke meters geeft dit +/- 12 miljard m³ gas. Op dit moment is het dus mogelijk om met groengas dus ongeveer 1,5% van de totale gasvraag in de gebouwde omgeving in te vullen, of +/- 0,4% van de totale gasvraag in Nederland (1281 petajoule in 2018).

Tabel 17: Productiecapaciteit van groengas in recente jaren, uitgedrukt in miljoen (mln) m³ per jaar⁷

Referentie	Jaar	Productiecapaciteit van:	
		Biogas mln m ³ /jaar	Groengas mln m ³ /jaar
NBNL (2018)	2016		80
NBNL (2018)	2017		100
CE Delft (2020)	2018	300	139
CE Delft (2020)	2019		180

8.5.3 Productie van groengas in 2030

Zoals te zien in Tabel 18 is er een grote onzekerheid over de groei van groengasproductie tot 2030. Binnen de eerste drie genoemde studies is er een lichte groei tussen 2019 en 2030, waarbij deze groei vooral voortkomt uit een toename van groengasproductie op basis van vergisting. In de ramingen met een hogere groei van de groengasproductie komt naar voren

⁷ De productie van groengas wordt hier uitgedrukt met de hoogcalorische waarde van gas (35.17 MJ/m³)

dat meer wordt uitgegaan van innovatieve technologieën of door veel meer mest aan te wenden voor vergisting. Zo gaat het Groen Gas Forum (2014) uit van een forse groei in biogasproductie uit zeewier en wordt ook verwacht dat een grote hoeveelheid mest kan worden ingezet voor biogasproductie. In de studies van de Gemeent (2018) en GTS (2017) komt de stijging voornamelijk door een snelle groei van vergassingstechnologieën.

Tabel 18: Ramingen voor biogas en groengasproductie in 2030, uitgedrukt in zowel petajoule (PJ) als miljoen (mln) m³ gas⁸.

Publicatie	Biogas		Groengas		Belangrijkste ontwikkelingen voor groei van biogasproductie
	PJ/jaar	mln m ³ /jaar	PJ/jaar	mln m ³ /jaar	
KEV 2019	13	364	8	231	Vergisting
Rabobank (2019)			11	300	Mest-co en allesvergisting
Ecofys (2017)- BAU scenario	26	739	16	469	Lichte groei in vergisting
Ecofys (2017)- PLUS scenario	63	1791	40	1137	Vergisting en zeewier
Gemeent (2018)			70	1980	20% van de groei in vergisting, 80% groei door vergassing
Groen Gas Forum (2014)	118	3366	75	2136	Mestvergisting (50%), biogas uit zeewier (28%), RWZI (10%)
GTS (2017), CCA-scenario			90	2559	Voornamelijk door kritische vergassing
NBNL (2018)			106	3000	Mestvergisting en vergassing

Uit de geraadpleegde bronnen blijkt dat er mogelijkheden zijn voor de groei van de groengasproductie in 2030. Hierbij zijn er verschillende verhalen voor vergisting en vergassing. Vergisting is een technologie die op dit moment al wordt toegepast en waar dus al ervaring mee is opgedaan. Verder is de productie van groengas uit vergisting van mest, GFT en afval uit de voedings- en genotmiddelenindustrie gemiddeld goedkoper. Maar er zijn ook beperkingen voor de groei van vergisting. Dierlijke mest is wel ruim voor handen in Nederland, maar uitbreiding van de vergistingscapaciteit wordt gehinderd door de afzet van digestaat en door vertraging bij de verstrekking van vergunningen. Daarnaast speelt de discussie over de toekomst van de landbouw waarbij het heel goed denkbaar is dat de veestapel (fors) zal inkrimpen en daarmee de hoeveelheid beschikbare mest (sterk) zou kunnen afnemen (PBL, 2017). Een groei van groengasproductie door middel van vergisting is vooralsnog dus wel mogelijk met het voordeel dat het een bewezen en relatief goedkope technologie is, maar voor de daadwerkelijke ingroei moet een goede balans worden gevonden voor de inzet van mest en andere grondstoffen voor vergisting.

De groeipotentie van vergassing, met name bij superkritische watervergassing van natte biomassa, is groot, maar de technologie staat nog aan de start van zijn ontwikkeling en het is daarmee nog onzeker hoe deze technologie verder gaat ontwikkelen. Een eerste stap is al wel gezet doordat in Alkmaar een eerste pilot is gestart (SCW Systems, 2020). De mogelijke rendementen van watervergassing zijn hoger dan de bestaande vergistingstechnologieën en er zou daarmee dus ook minder biomassa nodig zijn om dezelfde hoeveelheid groengas te produceren. Alleen de technologie staat nog wel aan het begin van zijn ontwikkeling en het moet nog bewezen worden of deze rendementen ook in de praktijk gehaald kunnen worden.

Een eerste beeld van de ontwikkelingen in de vergistings- en vergassingsectoren wordt gegeven in Tweede Kamer (2020). Hierin wordt ook een eerste beeld geschetst van het perspectief vanuit de overheid op de verwachte rol die gasvormige energiedragers kunnen spelen in de toekomst.

⁸ In de publicaties worden verschillende eenheden gebruikt, deze zijn hier omgerekend naar dezelfde eenheden, waarbij uit wordt gegaan van de hoogcalorische waarde van gas. In de gevallen dat een publicatie alleen de biogasproductie noemt is bij de opwaardering naar groengas uitgegaan van 63% methaangehalte en daarbij is ervan uitgegaan dat 100% van het biogas wordt opgewaardeerd naar groengas.

8.5.4 Groengas binnen de Startanalyse

De inschattingen in Tabel 18 zijn voor groengasproductie in 2030, maar voor de Startanalyse is relevant hoeveel groengas beschikbaar is in 2030. In de Gemeynt (2018) wordt een beeld gegeven van de mogelijke groei in groengasproductie tot 2050. Hierin is te zien dat de groei in vergisting afvlakt na 2030, maar dat de groei in groengasproductie o.b.v. vergassing doorzet. De potentie voor groengas komt in totaal dan op 7,7 miljard m³ groengas in 2050.

Tabel 19: Verwachte ontwikkeling productie groengas conform Green Liaisons (Gemeynt, 2018), uitgedrukt in miljoen m³ (mln)

Technologie	Eenheid	2030	2050
Vergisting			
Slibvergisting	mln m ³ /jaar	99	109
Monovergisting <400KW gas	mln m ³ /jaar	118	109
Monovergisting >400KW gas	mln m ³ /jaar	21	0
Allesvergister groengas	mln m ³ /jaar	243	291
Totaal vergisting	mln m ³ /jaar	481	509
Vergassing			
Houtvergassing	mln m ³ /jaar	188	938
Watervergassing	mln m ³ /jaar	1055	3014
Bioraffinage	mln m ³ /jaar	256	3198
Totaal vergassing	mln m ³ /jaar	1498	7150
Totaal vergisting en vergassing	mln m³/jaar	1980	7660

Ook in deze raming zit een grote mate van onzekerheid, maar de potentie van groengasproductie is wel significant gegroeid tussen 2030 en 2050. In het Klimaatakkoord (Rijksoverheid, 2019) wordt een beeld geschetst dat er op de lange termijn 2 miljard m³ groengas beschikbaar komt voor de gebouwde omgeving. Daarbij wordt in het Klimaatakkoord ook aangegeven dat de groengassector zelf streeft naar de productie van +/- 2 miljard m³ (70 petajoule) groengas in 2030 welke voor een substantieel deel ingezet kan worden in de gebouwde omgeving.

Gezien de potentie van groengas in 2050 en het streven van de groengassector zelf wordt in de Startanalyse uitgegaan van een beschikbaarheid van 2 miljard m³ groengas voor de gebouwde omgeving. Dit wordt nog wel verdeeld over de hulpwarmteketels voor collectieve netten en de inzet bij individuele gebouwen.

Groengas voor hulpwarmteketels

Hulpwarmteketels moeten uiterlijk in 2050 volledig draaien op hernieuwbare energiedragers, zoals groengas, waterstof of biograndstoffen. Op dit moment worden biograndstoffen al toegepast bij warmtenetten en deze brandstof zou in de toekomst ook ingezet kunnen worden voor hulpwarmteketels. Bij verbranding van biograndstoffen komt NO_x en fijnstof vrij, maar deze kunnen grotendeels worden weggefilterd waardoor de lokale luchtkwaliteit vrijwel niet verslechterd. De hulpwarmteketels zouden ook warmte kunnen leveren op basis van waterstof. Dit zou een soortgelijke voorziening zijn als op basis van groengas waarbij er wel aanpassingen moeten worden gedaan aan de ketel en aan het gasnet indien deze niet geschikt is voor de levering van waterstof.

Bovenstaande energiedragers brengen additionele onzekerheden met zich mee over kosten, benodigde filters en beschikbaarheid van deze energiedragers waarmee de inschatting van varianten/strategieën complexer zou worden. Daarom is er voor nu voor gekozen om hier uit te gaan van een bekende technologie, een hulpketel gevoed met groengas. Hierbij wordt verondersteld dat de hulpwarmteketels voor de bestaande warmtenetten jaarlijks 0,5 miljard

m³ groengas nodig hebben. Er zijn geen berekeningen gemaakt voor onderbouwing van 0,5 miljard m³ voor hulpwarmteketels. 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 van de keuzes die gemeentes maken over de inzet van warmtenetten.

Allocatie groengas naar buurten

Als van de 2 miljard m³ groengas voor toepassingen binnen de gebouwde omgeving een 0,5 miljard m³ wordt benut door hulpketels van warmtenetten, dan blijft 1,5 miljard m³ over voor verwarming van gebouwen (woningen en bedrijven). Het is hierbij de vraag of dit voldoende is om aan de vraag naar groengas te voldoen. Een eerste beeld hiervan kan worden gegeven door te kijken naar de groengasvraag van alle buurten waarin een variant van S4 de laagste nationale kosten heeft. Vervolgens is het mogelijk om de vraag naar groengas van al deze buurten waarin groengas de laagste nationale kosten heeft bij elkaar op te tellen en dit geeft een totale groengasvraag van 7,8 miljard m³ groengas. Deze 7,8 miljard m³ is significant hoger dan de beschikbare hoeveelheid groengas en de beschikbare hoeveelheid moet daarom zo efficiënt mogelijk worden verdeeld.

Het Vesta MAIS-model zou gebruikt kunnen worden om te berekenen in welke buurten groengas economisch het meest efficiënt zou kunnen 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 de gemeente. Om gemeentes wel enig handvat te geven over de allocatie van groengas in een buurt is nog wel een nabewerking uitgevoerd op de uitkomsten van de Vesta MAIS-berekeningen.

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 miljard m³ groengas is toegedeeld.

De uitgespaarde nationale kosten worden als volgt berekend:

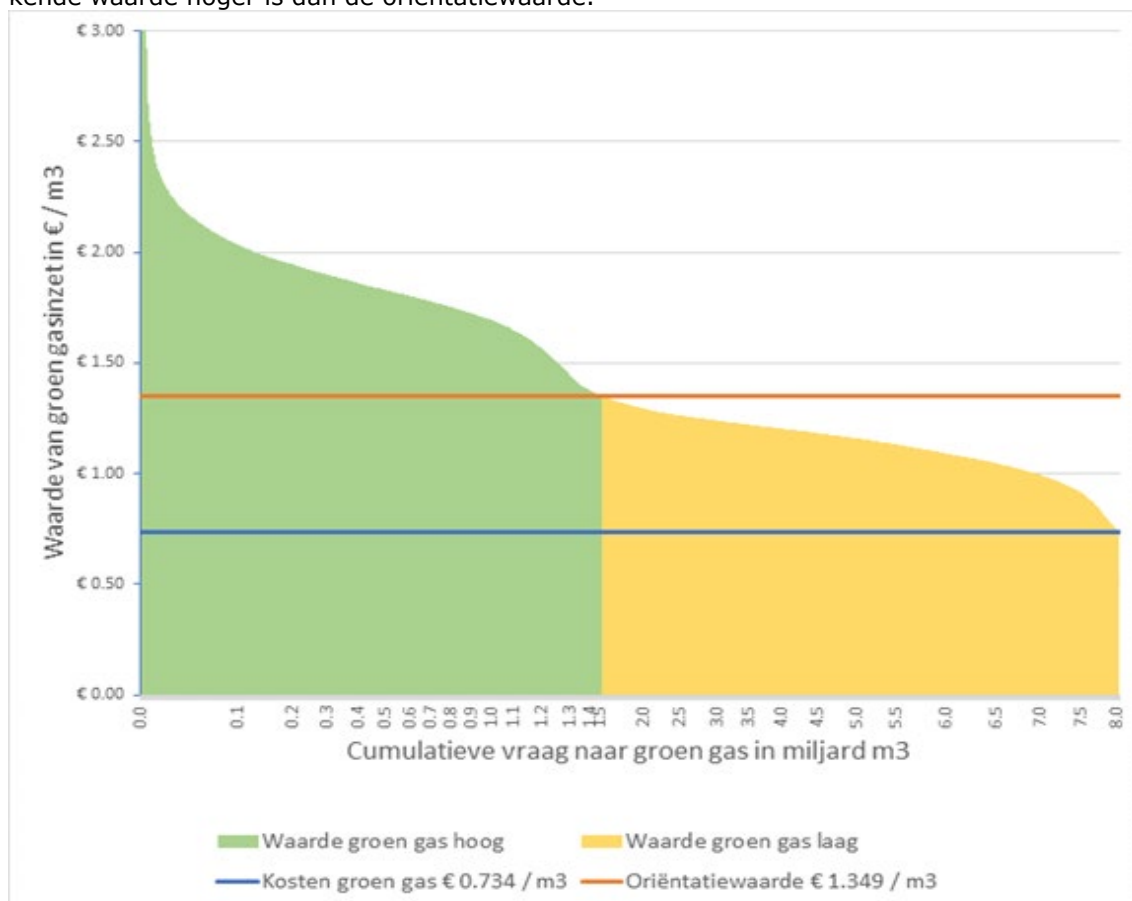
- Bereken voor elke buurt de nationale kosten van elke strategie voor aardgasloos verwarmen.
- Strategie met laagste nationale kosten heeft de voorkeur (zie Klimaatakkoord).
- Als geen groengas beschikbaar is, wordt goedkoopste gasloze strategie X gekozen.
- Als je wel groengas krijgt, spaar je de kosten 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 Figuur 5. In deze figuur wordt ingegaan op 13041 buurten van de in totaal 13688 buurten in Nederland. Binnen deze 13041 buurten is namelijk één van de groengasvarianten (S4) de variant met de laagste nationale kosten. 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.

Soortgelijke grafieken zijn ook te maken voor deze varianten 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 alle varianten simultaan te laten 'medingen' naar de beperkte hoeveelheid groengas.

Op het snijpunt van deze vraagcurve met een aanbodlijn op 1,5 miljard m³ wordt de oriëntatiewaarde van groengas bepaald: 135 cent per m³ 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 5: Geschatte waarde van groengas bij alle varianten van S4 tezamen

8.6 Waterstof

In de achtergrondnotitie over waterstof wordt een verdere toelichting gegeven op de beschikbaarheid van waterstof. In de definitieve versie van dit document zal dit worden samengevat in deze paragraaf.

9 Kosten van energiedragers

In dit hoofdstuk zal worden ingegaan op de onderbouwing van de kosten van energiedragers. De energiedragers die hier worden beschreven zijn de verschillende vormen van energie die kunnen worden ingezet binnen de warmtetransitie. Hierbij zijn er wel wijzigingen geweest in de kosten van energiedragers tussen de SA-2019 en de SA-2020. Voor de SA-2020 is er een update geweest van de data van groengas, maar de methode die is gehanteerd wijkt verder niet veel af van de SA-2019. Binnen de SA-2020 zijn de kosten van waterstof toegevoegd, waarbij de kosten van waterstof worden toegelicht in de achtergrondnotitie over waterstof.

9.1 Kosten van elektriciteit

Hier komt een toelichting op de onderbouwing van de kosten van klimaatneutrale elektriciteit en niet-klimaatneutrale elektriciteit. Dit zal een samenvatting zijn van de bevindingen die ook worden gedaan in de notitie over (niet-) klimaatneutrale elektriciteit.

9.2 Kosten van restwarmte

De kosten van restwarmte veranderen niet ten opzichte van de SA-2019, maar de kosten verschillen wel per type warmtebron. Zo verschillen de kosten van een pure restwarmtebron (industrie) van een warmtebron met aftapwarmte (STEG).

9.3 Kosten van omgevingswarmte

De omgevingswarmte zelf heeft geen kosten, maar er moeten wel kosten worden gemaakt om deze omgevingswarmte te onttrekken. Deze kosten zitten in de investeringskosten en hiervoor worden verder geen kosten gemaakt.

9.4 Kosten van groengas

De methode hiervoor is hetzelfde als binnen de SA-2019, maar er is een update gedaan met nieuwe informatie uit de SDE++. Dit heeft ervoor gezorgd dat met name de kosten van vergassing omlaag zijn gegaan en dit werkt door in de kosten van groengas. Dit zal hier verder worden toegelicht in de definitieve versie van dit document.

9.4.1 Kosten van vergisting

PM

9.4.2 Kosten van vergassing

PM

9.4.3 Gemiddelde productiekosten van groengas in 2030

PM

9.4.4 Extra kosten CO₂-verwijdering

PM

9.4.5 Totale kosten groengas in de startanalyse

PM

9.5 Kosten van waterstof

De kostenberekening wordt al gegeven in de achtergrondnotitie van waterstof, hier zal een samenvatting komen van deze bevindingen.

10 Gevoeligheidsanalyses

In de SA-2019 werden nog vijf verschillende gevoeligheidsanalyses, maar binnen de SA-2020 is dit teruggebracht tot twee. De reden voor een reductie van de gevoeligheidsanalyses is dat de andere gevoeligheidsanalyses weinig nieuwe inzichten gaven in de spreiding van de kosten. De overgebleven twee gevoeligheidsanalyses, op investeringskosten en kosten van energiedragers, geven het meeste gevoel voor deze spreiding en daarom ligt de focus nu op deze twee gevoeligheidsanalyses.

10.1 Ontwikkeling in de kosten van technische maatregelen

PM

10.2 Kosten van energiedragers

PM

Blok 4: Tot slot

CONCEPT

11 Rapportage over de Startanalyse en de Leidraad

11.1 Producten van de Leidraad als geheel

Hier komt een (kort) overzicht van de producten zoals deze in de bredere context van de leidraad als geheel zijn gepubliceerd.

11.2 Rapportage van de Startanalyse

De focus van dit achtergrondrapport licht op de onderbouwing van de kwantitatieve resultaten van de berekeningen in de SA-2020. Deze resultaten worden middels drie producten gecommuniceerd: de viewer, gemeenterapport en het datapakket. De **viewer** is een online, openbaar en interactief dat een globaal overzicht biedt van resultaten op buurniveau en is gericht op lokale bestuurders, bewoners en pers. Het **gemeenterapport** is gericht op gemeentelijke ambtenaren en bevat een PDF met een algemene toelichting op de gepresenteerde resultaten en indicatoren binnen de buurttabellen. Deze buurttabellen zijn een bijlage per gemeente met informatie over de resultaten per buurt binnen de gemeente. 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 datacollectie met gegevens van gebouwen voor de strategieën die nuttig kan zijn voor vervolgstudies door consultants, experts en modelleers. Het is niet openbaar en wordt aan elke gemeente afzonderlijk op aanvraag ter beschikking gesteld.

11.2.1 Viewer

De viewer is een online tool⁹, waarbij deze tool voor heel Nederland de mogelijkheid biedt om gemeenten en buurten te selecteren. Het biedt een 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 2019 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.

11.2.2 Gemeenterapport

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.

⁹ De viewer is te vinden op de volgende pagina: <https://themasites.pbl.nl/leidraad-warmte/2020/main.php#>

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 varianten kort 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. 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 tweede deel bestaat uit tabellen en figuren met specifieke informatie en berekeningen voor elke buurt in alle gemeenten. Dit deel bevat een sectie met tabellen die de kenmerken van gebouwen per buurt beschrijven in het startjaar (bijvoorbeeld energielabel, bouwjaar en type gebouw). Een tweede sectie met tabellen figuren bevat de resultaten van de berekeningen voor de vijf strategieën en 24 varianten. Hierbij worden voor elke buurt, per strategie, enkele indicatoren gepresenteerd zoals het energieverbruik en de verschillende kostenposten. Elke strategie bevat meerdere varianten en in de tabellen wordt ten eerste de kosten gepresenteerd van de variant met de laagste nationale kosten. De kosten van de andere varianten worden in een aparte tabel getoond. Ten slotte worden ook de resultaten van de gevoeligheidsanalyses gepresenteerd per variant gepresenteerd in het tweede deel. Al deze informatie kan vervolgens als hulpmiddel worden gebruikt door de gemeenten bij het opstellen van de Transitievisie warmte, maar er wordt expliciet geen advies gegeven; gemeenten moeten hun eigen keuzes maken.

11.2.3 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.

Referenties

Arcadis (2018), Investeringskosten EPA woningbouw, Arcadis, 2018

Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG), 2019. Basisregistratie Adressen en Gebouwen, Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2019.

Website: <https://www.geobasisregistraties.nl/basisregistraties/adressen-en-gebouwen>

Berenschot (2020). WARM; Waarde van Aardwarmte en Regionale mogelijkheden. Een studie naar de potentie van aardwarmte als duurzame warmtebron voor de gebouwde omgeving, glastuinbouw en industrie.

Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), 2019. Kerncijfers wijken en buurten 2019.

Website: <https://www.cbs.nl/nl-nl/maatwerk/2019/31/kerncijfers-wijken-en-buurten-2019>

CE Delft, 2018a. Weg van gas; Kansen voor de nieuwe concepten LageTemperatuurAardwarmte en Mijwater. Publicatienummer: 18.3K61.060

Website: <https://www.ce.nl/publicaties/2138/weg-van-gas>

CE Delft (2018b). Contouren en instrumenten voor een Routekaart Groengas 2020-2050. Publicatienummer 18.5T20.147

Website: <https://www.ce.nl/publicaties/2197/contouren-en-instrumenten-voor-een-route-kaart-groengas-2020-2050>

CE Delft, 2020. Potentieel van lokale biomassa en invoedlocaties van groengas; Een verkenning voor 2030. Publicatienummer: 20.190281.008.

Website: <https://www.ce.nl/publicaties/2415/potentieel-van-lokale-biomassa-en-invoedlocaties-van-groengas>

CE Delft, 2019. Hybride warmtenetten; Kansen voor Den Haag. Delft, maar 2019. Publicatienummer 19.180062.047

Website: <https://www.ce.nl/publicaties/2273/hybride-warmtenetten-kansen-voor-den-haag>

De Gemeyn, 2018. Green Liaisons; Hernieuwbare moleculen naast duurzame elektronen. Contouren van een routekaart Hernieuwbare Gassen 2050.

Website: <https://groengas.nl/nieuws/rapport-green-liaisons-toont-belang-hernieuwbare-gassen-in-energie-en-grondstoffenhuishouding/>

Energiebeheer Nederland (EBN), 2020. De Seismische Campagne Aardwarmte Nederland (SCAN).

Website: <https://scanaardwarmte.nl/het-programma/>

Ecofys, 2017. Overige hernieuwbare energie in Nederland; een potentieel studie. Projectnummer: ESMNL1735

ECN (2016), Ontwikkeling energiekentallen utiliteitsgebouwen: Een analyse van 24 gebouwtypen in de dienstensector, Petten: ECN.

Gas Transport Services (GTS), 2017. Netwerk Ontwikkelingsplan 2017; KCD Investment plan 2017.

Website: <https://www.gasunietransportservices.nl/gasmarkt/investeringsplan/netwerk-ontwikkelingsplan-2017-nop2017>

Gemeynt (2018). Green Liaisons; Hernieuwbare moleculen naast duurzame elektronen, contouren van een routekaart Hernieuwbare Gassen 2050.

Website: <https://groengas.nl/nieuws/rapport-green-liaisons-toont-belang-hernieuwbare-gas-sen-in-energie-en-grondstoffenhuishouding/>

Groen Gas Forum, 2014. Routekaart hernieuwbaar gas.

Website: <https://www.biobasedeconomy.nl/2014/06/22/routekaart-groen-gas/>

Hoogervorst, N., M. Menkveld en C. Tigchelaar, 2019. Achtergronddocument Effecten Ontwerp Klimaatakkoord: Gebouwde omgeving, Den Haag: PBL

Website: <https://www.pbl.nl/publicaties/achtergronddocument-effecten-ontwerp-klimaatakkoord-gebouwde-omgeving>

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.

Kiwa, 2018. Toekomstbestendige gasdistributenetten, Apeldoorn: Kiwa Technology B.V.

Website: https://www.netbeheernederland.nl/upload/Files/Toekomstbestendige_gasdistributenetten_133.pdf

Lensink, S. (2018), Eindadvies basisbedragen SDE+ 2019, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving; PBL-publicatienummer: 3342

Milieucentraal, 2020a. Lage temperatuur verwarming (Itv).

Website: <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/energiezuinig-huis/energiezuinig-verwarmen-en-warm-water/lage-temperatuur-verwarming-Itv/>

Milieucentraal, 2020b. Cv-ketel onderhoud en instelling.

Website: <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/energiezuinig-huis/verwarmen-op-gas-of-hout/cv-ketel-onderhoud-en-instelling/>

Natuur en Milieu, 2020. Gasmonitor 2020; Marktcijfers warmtetechnieken.

Website: <https://www.natuurenmilieu.nl/nieuwsberichten/gasmonitor-2020-piekjaar-verkoop-hr-ketels/>

Netbeheer Nederland (NBNL), 2018. Advies: 'creëren voldoende invoedruimte voor groen gas'.

Website: https://www.netbeheernederland.nl/upload/Files/Adviesrapport_'Creeren_voldoende_invoedruimte_voor_groen_gas'_122.pdf

Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), 2017. Evaluatie Meststoffenwet 2016: Syntheserapport, Den Haag: PBL.

Website: <https://www.pbl.nl/publicaties/evaluatie-meststoffenwet-2016-syntheserapport>

PBL (2019a), Conceptadvies SDE++ 2020 vergisting van biomassa, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving; PBL-publicatienummer: 3688

PBL (2019b), Conceptadvies SDE++ 2020 Verbranding en vergassing van biomassa, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving; PBL-publicatienummer: 3689

Planbureau voor de leefomgeving (PBL), 2020. Gemeenterapport Startanalyse aardgasvrije buurten.

Website: <https://themasites.pbl.nl/leidraad-warmte/2020/main.php#> (5^e symbool met de titel 'Download gemeenterapporten')

Rabobank, 2019. 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 door Gasunie TS

Website: <https://www.gasunietransportservices.nl/nieuws/themadag-groen-gas>

Rijksoverheid, 2018. Besluit van 26 april 2018 tot vaststelling van het tijdstip van inwerking-treding van de Wijziging van de Elektriciteitswet 1998 en van de Gaswet (voortgang energie-transitie).

Website: <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stb-2018-129.pdf>

Rijksoverheid, 2019. Klimaatakkoord Den Haag 28 juni 2019.

Website: <https://www.klimaatakkoord.nl/>

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO), 2020a. Energielabel woningen en gebouwen.

Website: <https://www.rijksdienst.nl/onderwerpen/energielabel-woningen-en-gebouwen/energielabel-utiliteitsbouw>

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO), 2020b. Warmteatlas.

Website: <https://rvo.b3p.nl/viewer/app/Warmteatlas/v2>

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO), 2020c. Vergisting en vergassing.

Website: <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/duurzame-energie-opwekken/bio-energie/vergisting-en-vergassing>

Schepers et al., 2019. Functioneel Ontwerp Vesta 4.0, Delft, CE Delft 2019.

Website: https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2019-ce-delft-functioneel-ontwerp-vesta-4.0_4085.pdf

Schoots, K. & P. Hammingh, 2019. Klimaat- en Energieverkenning 2019, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

Website: <https://www.pbl.nl/publicaties/klimaat-en-energieverkenning-2019>

SCW Systems, 2020. SCW Systems; Clean energy technology

Website: <http://www.scwsystems.com/index.html>

Sociaal-Economische Raad (SER), 2020. Biomassa in balans; Een duurzaamheidskader van voor hoogwaardige inzet van biograndstoffen.

Website: <https://www.ser.nl/nl/Publicaties/biomassa-in-balans>

Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA), 2020. Potentie van aquathermie.

Website: <https://stowa.omgevingswarmte.nl/overzichtskaart#e5e9ea2b-d5bf-e811-a2c0-00155d010457>

Strengers, B. & H. Elzenga, 2020. Beschikbaarheid en toepassingsmogelijkheden van duurzame biomassa. Verslag van een zoektocht naar gedeelde feiten en opvattingen, Den Haag: PBL.

Website: <https://www.pbl.nl/publicaties/beschikbaarheid-en-toepassingsmogelijkheden-van-duurzame-biomassa-verslag-van-een-zoektocht-naar-gedeelde-feiten>

Sienot, M., Dik-Faber, C., Mulder, A., & Harbers, M., 2020. Gewijzigde motie het lid Sienot c.s. over geen nieuwe subsidiebeschikkingen voor verbranding van houtachtige biomassa t.v.v. 32813-510.

Website:

<https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/moties/detail?id=2020Z12293&did=2020D26309>

Toegepast-Natuurwetenschappelijk Onderzoek (TNO), 2020. ThermoGis 2.1.

Website: <https://www.thermogis.nl/>

Tweede kamer, 2020. Routekaart Groen Gas. Kamerstuk 32813 nr. 487.

Website: <https://zoek.officiëlebevestigingen.nl/kst-32813-487.html>

WoON (2018), Ruimte voor wonen - De resultaten van het WoonOnderzoek Nederland, Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2018.

Bijlagen

CONCEPT