



STARTANALYSE AARDGASVRIJE BUURTEN 2020

Achtergrondrapport

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

15 april 2022

PBL

Colofon

Startanalyse aardgasvrije buurten 2020, Achtergrondrapport

© PBL Planbureau voor de Leefomgeving

Den Haag, 2022

PBL-publicatienummer: 4917

Contact

ruud.vandenwijngaart@pbl.nl

Auteurs

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

Met dank aan

Het PBL is dank verschuldigd aan Hein-Bert Schurink en Jacqueline Hooijschuur van het Expertise Centrum Warmte (ECW) voor het leveren van commentaar op de conceptversie. De rapportage bouwt voort op de eerste versie, 30 oktober 2019, Startanalyse aardgasvrije buurten waaraan dank verschuldigd is aan Rolf de Vos (Relevant TXT) voor redactionele adviezen, de deelnemers aan de validatiesessies voor uitgangspunten in april 2019, leden van de helpdesk ECW en de Adviesraad ECW voor het kritisch doorlezen en aanvullen van eerdere concepten.

Redactie figuren

Beeldredactie PBL

Eindredactie en productie

Uitgeverij PBL

Toegankelijkheid

Het PBL hecht veel waarde aan de toegankelijkheid van zijn producten. Mocht u problemen ervaren bij het lezen ervan, dan kunt u contact opnemen via info@pbl.nl. Vermeld daarbij s.v.p. de naam van de publicatie en het probleem waar u tegenaan loopt.

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Van Polen (2022), Startanalyse aardgasvrije buurten 2020; Achtergrondrapport, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

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 vóór alles beleidsgericht. Het verricht zijn onderzoek gevraagd en ongevraagd, onafhankelijk en wetenschappelijk gefundeerd.

Inhoud

Lijst met begrippen en afkortingen	5
Begrippen	5
Afkortingen	5
1 Inleiding	7
2 Strategieën en varianten van SA-2020	10
2.1 Twee referentiebeelden: één voor 2019 en één voor 2030	10
2.2 Strategie techniek en infrastructuur	11
2.3 Variantinvulling per strategie	15
2.4 Strategie 4 – Groengas	36
2.5 Strategie 5 – Waterstof	38
2.6 Overzicht strategieën en varianten	41
2.7 Beperkingen van de SA-2020	44
3 Het Vesta MAIS-model	47
3.1 Algemene beschrijving van het Vesta MAIS-model	47
3.2 Energiebesparing	49
3.3 Vermogensvraag en gelijktijdigheid	61
3.4 Warmtenetten	63
3.5 Gas- en elektriciteitsnetten	71
3.6 Opbouw van investeringen	72
4 Startsituatie	80
4.1 Gasvraag gebouwde omgeving	80
4.2 CBS-buurtten	80
4.3 Woningen	82
4.4 Utiliteit	85
4.5 Warmtebronnen	86
5 Uitgangspunten voor strategieën	94
5.1 Algemene uitgangspunten	94
5.2 Uitgangspunten per strategie	96
6 Beschikbaarheid van energiedragers	109
6.1 Elektriciteit	110
6.2 Restwarmte	110
6.3 Omgevingswarmte	110
6.4 Biograndstoffen	111
6.5 Groengas	113
6.6 Waterstof	119
7 Nationale kosten van energiedragers	121
7.1 Nationale variabele kosten van elektriciteit	121
7.2 Nationale kosten van rest- en omgevingswarmte	129

7.3	Nationale variabele kosten van aardgas en groengas	130
7.4	Nationale variabele kosten van waterstof	136
8	Rapportages over de Startanalyse en de Leidraad	139
8.1	De Leidraad in relatie tot de transitievisie warmte	139
8.2	Rapportage van de Startanalyse	139
8.3	Veelgestelde vragen	141
8.4	Gevoeligheidsanalyses	146
	Referenties	148
	Bijlagen	155
	Bijlage 1 Achtergrond bij vaststelling investeringsbedragen energiebesparing	155
	Bijlage 2 Overzichtstabellen Startsituatie	166

Lijst met begrippen en afkortingen

Begrippen

	Omschrijving
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

	Uitgeschreven 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
BVO	Bruto Vloeroppervlak	Het Bruto-vloeroppervlakte (BVO) is het vloeroppervlak van de ruimten, dan wel van meerdere ruimten van een gebouw op vloerniveau langs de buitenomtrek van de muren.
CBS	Centraal Bureau voor de Statistiek	Het statistische bureau van Nederland
COP	Coëfficiënt of Performance	Ratio tussen geleverde hoeveelheid warmte of koude en de benodigde inzet van energie voor deze warmte en koude
DGMR	Van Dalftsen, Gies, Meerdink en Van Rangelrooij	Ingenieursbureau
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 rookgasen)
HT-warmte	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
LT-warmte	Lagetemperatuurwarmte	Warmte met een temperatuurniveau van 25 tot 55 °C

LTAS	Lagetemperatuur-afgiftesysteem	Afgiftesysteem van LT-warmte binnen een gebouw (bijv. convectorradiatoren)
MAIS	Multi-Actor Impact Simulatie	Toevoeging aan Vesta na uitbreiding MAIS-project in 2017
Ministerie van BZK	Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties	Ministerie met verschillende onderwerpen, zoals ook wonen, woningbouw en de rijksgebouwen.
MT-warmte	Middentemperatuurwarmte	Warmte met een temperatuurniveau van 55 tot 80°C
MTAS	Middentemperatuur-afgiftesysteem	Afgiftesysteem van MT-warmte binnen een gebouw (bijv. standaardradiatoren)
NGO	Niet-gouvernementele organisatie	Organisaties die geen overheid vertegenwoordigen maar vaak opkomen voor een publiek belang.
PBL	Planbureau voor de Leefomgeving	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 materiaal-laag aan
RVO	Rijksdienst voor Ondernemend Nederland	RVO helpt Nederlandse ondernemers en beleidsmedewerkers vooruit op het gebied van duurzaamheid, zakendoen over de grenzen, agrarisch ondernemen en innovatie.
RWZI	Rioolwaterzuiveringsinstallatie	Installaties die worden gebruikt voor de behandeling van stedelijk afvalwater
S1-S5	Strategie 1 – Strategie 5	Naamgeving van strategieën binnen de Startanalyse
S1a – S5d	Strategie 1a – Strategie 5d	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
TEO	Thermische Energie uit Oppervlaktewater	Warmte en koude uit oppervlaktewater (zoals rivieren)
TNO	Toegepast-Natuurwetenschappelijk Onderzoek	Onafhankelijk onderzoeksorganisatie gericht op het verbinden van mensen en kennis om innovaties te creëren die de concurrentiekracht van bedrijven en het welzijn van de samenleving duurzaam versterken
WEQ	Woningequivalenten	Indicator die wordt gebruikt om utiliteit te vergelijken met huishoudens
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
WoON	Woononderzoek	Driejaarlijkse publicatie over de Nederlandse woningmarkt op basis van een grootschalige enquête onder Nederlandse huishoudens
WOS	Warmteoverdracht Station	Verdeelpunt van warmte voor een warmtenet binnen een buurt. Bevat naast een verdeelstation voor warmte (binnen het Vesta MAIS-model) ook een HWI.
ZLT-warmte	Zeer-lagetemperatuurwarmte	Warmte met een temperatuurniveau van 5 tot 25 °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 van indicatoren 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 tussen buurten 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. De informatie over deze resultaten wordt beschikbaar gesteld aan gemeenten en het Nederlandse publiek via het Expertise Centrum Warmte (ECW).

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. Mogelijke verschillen in resultaten tussen SA-2019 en SA-2020 worden besproken in een apart document (Ecorys, 2021). 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

¹ De [website van het ECW](#) geeft informatie over de Startanalyse aardgasvrije buurten en de Handreiking voor Lokale Analyse

² Een uitgebreide beschrijving van het Vesta MAIS-model wordt gegeven in: Functioneel ontwerp Vesta 5.0, Van der Molen et al. (2021).

³ Zowel de buurttabellen als het gemeenterapport zijn te vinden op de [website van de Startanalyse](#)

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 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 tweede hoofdstuk van blok 2 (hoofdstuk 4) 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 5 – 7 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. Waarbij ook kort wordt ingegaan op enkele veelgestelde vragen en de gevoeligheidsanalyses.

Dit achtergrondrapport beschrijft de gehanteerde uitgangspunten in de berekeningen van SA-2020, zoals gepubliceerd in september van 2020. Tegelijk met de publicatie van de SA-2020 is ook het gemeenterapport gepubliceerd, waar ook een gedeelte van deze uitgangspunten al kort beschreven worden (Hoogervorst et al, 2020). Het voornaamste verschil tussen het gemeenterapport en dit achtergrondrapport is de focus van beide rapporten. In het gemeenterapport ligt de focus op het goed kunnen interpreteren van de resultaten (buurttabellen), waarbij dit achtergrondrapport zich focust op de onderbouwing van de methode en een transparante verslaglegging van de veronderstellingen.

Als laatste is er sinds de publicatie van de SA-2020 in september van 2020 ook een aparte publicatie geweest over de eindgebruikerskosten van de verschillende strategieën (TNO, 2021). Op de [website van het ECW](#) is een Dashboard Eindgebruikerskosten beschikbaar dat gemeenten inzicht geeft in de eindgebruikerskosten voor eigenaars, huurders van corporatiewoningen en huurders van particuliere huurwoningen. De onderbouwing van deze eindgebruikerskosten komt niet expliciet terug in dit achtergrondrapport, maar de resultaten van de SA-2020 zijn wel gebruikt in de berekeningen van de eindgebruikerskosten en worden op deze manier wel meegenomen.

TECHNISCHE OPTIES TER VERVANGING VAN AARDGAS

2 Strategieën en varianten van 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 (Hoogervorst et al, 2020) en zal meer ingaan op de overwegingen bij de vaststelling van deze strategieën en varianten. Hierbij wordt gestart met de wijzigingen van het startjaar en het referentiescenario ten opzichte van de SA-2019 in paragraaf 2.1. Vervolgens zal worden ingegaan op de vijf verkende strategieën in paragraaf 2.2 en vervolgens op de verschillende varianten per strategie in paragraaf 2.3. Paragraaf 2.6 geeft het overzicht van alle strategieën en varianten gecombineerd, waarbij ook in zal worden gegaan op de verschillen ten opzichte van de varianten zoals gepresenteerd binnen de SA-2019. In deze paragraaf wordt ook ingegaan op de additionele doorrekening binnen de SA-2020 met niet-klimaatneutrale energiedragers. 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 afweging van de te kiezen optie om van het aardgas af te gaan.

2.1 Twee referentiebeelden: één voor 2019 en één voor 2030

De SA-2020 maakt gebruik van twee referentiebeelden: één voor de huidige situatie (startjaar 2019) en één voor de referentiesituatie in 2030. De kosten van de aardgasvrije strategieën, maar ook de kosten van de huidige situatie (2019) worden afgezet ten opzichte van het referentiebeeld 2030. Dit noemen wij de extra nationale kosten van strategieën in 2030 (of van de huidige situatie in 2019) t.o.v. het referentiebeeld 2030, zoals weergegeven in paragraaf 2.6 van het gemeenterapport. Het referentiebeeld binnen de SA-2020 is gewijzigd ten opzichte van de SA-2019 en deze wijzigingen worden hieronder verder toegelicht.

Met de publicatie van de SA-2020 is het startjaar van de analyse verschoven van 2018 naar 2019. De invloed die dit heeft op de startsituatie wordt beschreven in hoofdstuk 4. In dat 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 (In Referentie 2030). Zo wordt er gerekend alsof er geen veranderingen plaats zullen vinden in de gebouwsamenstelling. Toekomstige ontwikkelingen in 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 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 5.1.2. 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 7. 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 maatregelen toegepast met ander woorden de fysieke kenmerken en omvang van gebouwen, energiedragers, aansluitingen en installaties veranderen zijn in het referentiebeeld 2030 hetzelfde als in het startjaar. Alleen de omgevingsfactoren energiekosten en stijgende buitentemperaturen veranderen wel zoals hierboven omschreven.

2.2 Strategie techniek en infrastructuur

Binnen de Startanalyse 2020 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 doorgerekend binnen de SA-2020. Een belangrijke 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 (behalve voor lokale uitzonderingen) 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 de temperatuurniveaus warmteproductie en -levering evenals koken op gas toegelicht. Dit zijn thema's 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 100°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
- Lagetemperatuurwarmte (LT): 30 tot 60°C
- Zeer-laagtemperatuurwarmte (ZLT): 05 tot 30°C

In Tabel 1 (aan het einde van dit hoofdstuk) wordt een overzicht gepresenteerd waarin wordt ingegaan op de verschillende temperatuurniveaus van bronnen, distributie en afgifte.

Koken op gas

In de afgelopen jaren is het aandeel elektrische inbouwkookplaten sterk toegenomen binnen het totaal aantal nieuw verkochte inbouwkookplaten (Natuur en Milieu, 2020). Hierbij gaat het om de nieuw verkochte inbouwkookplaten, maar de bestaande inbouwkookplaten zijn grotendeels nog wel op basis van gas. In de strategieën binnen de Startanalyse is er maar één strategie waarbij de woningen nog steeds zouden kunnen koken op gas en dit is 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. De warmtepomp wordt ingezet voor zowel ruimteverwarming als voor de warm tapwatervoorziening. Deze warmtepompen maken gebruik van warmte- en/of koude uit de omgeving (bodem, water of buitenlucht) en waarden deze op tot het gewenste temperatuurniveau. Warmtepompen in utiliteitspanden maken op dit moment al gebruik van de omgeving voor de warmte- en koudelevering van hun gebouwen, bij woningen worden warmtepompen voornamelijk ingezet voor de warmtelevering van de woningen. In de Startanalyse is aangenomen dat dit in de toekomst ook nog zo is, utiliteitspanden hebben zowel warmte- als koudelevering door warmtepompen en woningen alleen warmtelevering.

In de winter is het verschil tussen de buitentemperatuur en de binnentemperatuur groter, waarbij de warmtepomp harder moet 'werken' om het gewenste binnentemperatuurniveau te behouden. Intensief gebruik van de warmtepomp maakt dat het rendement van de warmtepomp daalt, doordat ook het elektrische element bij moet springen om de binnentemperatuurniveaus te halen. Hierdoor stijgt het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp significant in de winterperiode. Om dit te kunnen leveren zal het veelal 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 worden alleen bronnen ingezet waarvan we reden hebben om aan te nemen dat deze warmtebronnen een temperatuurniveau hebben van +/- 70°C (MT-warmte) of hoger. Warmte met deze temperatuurniveaus, aangevuld met de mogelijke aanvulling vanuit een hulpwarmte-installatie, kan in principe

direct ingezet worden voor warm tapwater en de verwarming van gebouwen met de huidige radiatoren.

Een warmtenet bestaat natuurlijk niet alleen uit een primaire warmtebron; 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 nodig 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, is het secundaire net en wordt meestal 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. De laatste component van een warmtenet betreft de aanpassingen in het gebouw zelf. Het gaat hierbij om de aansluiting van de warmtewisselaar en eventuele andere kosten binnen het gebouw om te zorgen dat het warmtenet alle woningen in bijvoorbeeld een appartementencomplex aan kan sluiten. Dit is een beschrijving op hoofdlijnen, deze worden in meer detail toegelicht in paragraaf 3.4.

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 verzaagd te worden omdat er geen additionele elektriciteitsvraag is als gevolg van de warmtetransitie.

2.2.4 Strategie 3 – Warmtenet met laagtemperatuurbronnen

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 (zeer-) laagtemperatuurwarmte ((Z)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 waarden 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 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 (ca. 50°C) 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 warmtepomp 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. LT-afgiftesystemen zijn ook noodzakelijk

bij andere systemen met een LT-warmtenet omdat het anders niet mogelijk is om de gebouwen te verwarmen.

Hiermee is er 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 toepassingen van aardgas over te nemen. Met de inzet van groengas hoeft er 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 (verder toegelicht in paragraaf 6.5.2). 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 6.5 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 nieuwere technologie is, dit maakt dat er ook meer onzekerheden zitten in de inschattingen van de toekomstige kosten van deze technologie. De onderbouwing van de kosten voor groengas, zoals opgenomen in SA-2020, wordt gegeven in paragraaf 7.3.

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 het transport en gebruik 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 grotendeels 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, maar het is niet meer mogelijk om te koken op aardgas. We gaan er in deze strategie vanuit dat wordt

overgestapt op elektrisch koken (omdat er geen goede toestellen op de markt zijn voor koken op waterstof).

Verder gelden dezelfde onzekerheden van groengas ook voor waterstof. De beschikbaarheid en kosten van waterstof zijn nog erg onzeker, hier wordt verder op ingegaan binnen paragraaf 6.6 (beschikbaarheid) en paragraaf 7.4 (kosten).

2.3 Variantinvulling per strategie

De strategieën verschillen in de infrastructuur die wordt ingezet voor de warmtevoorziening, maar ook met dezelfde infrastructuur zijn er nog verschillende variaties waarop gebouwen verwarmd kunnen worden. Binnen de Startanalyse wordt deze variatie meegenomen door middel van verschillende varianten per strategie. Het onderscheid in deze varianten kan zitten in verschillende isolatieniveaus van gebouwen of de technologieën die worden ingezet gegeven een bepaalde infrastructuur. In deze paragraaf wordt een toelichting gegeven op het onderscheid tussen de verschillende varianten per strategie. Er worden eerst enkele begrippen zoals schillabel en warmteafgiftesysteem toegelicht.

2.3.1 Toelichting begrippen voor onderscheid varianten

Schillabel

Het schillabel is een indicatie van de kwaliteit van de gebouwschil, oftewel de mate van isolatie van het gebouw. De gebouwschil bestaat uit de vloer op de begane grond, de buitenmuren, de deuren, de ramen en het dak. Het schillabel is gebaseerd op het energielabel van het gebouw (RVO, 2020a), waarbij wordt aangenomen dat de warmtevoorziening wordt ingevuld door een HR-ketel en er geen lokale opwek van hernieuwbare elektriciteit of warmte aanwezig is, zoals met zonnepanelen. In de berekeningen wordt uitgegaan van verschillende schillabelniveaus, waarbij sommige varianten niet mogelijk zijn zonder een verdergaande vorm van isolatie tot en met 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^2K/W , dit geeft de hoeveelheid warmte in Watt (W) aan die wordt doorgelaten per graad temperatuurverschil (K) voor een m^2 oppervlakte. In de berekeningen worden de volgende schillabelniveaus gehanteerd:

- *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 ruimteverwarmingvraag 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 3.2. Het doellabel is een minimum, wat betekent 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 investeren in isolatie bij varianten met schillabel D, wel bij varianten met schillabel B⁴.

Warmteafgiftesysteem

Het warmteafgiftesysteem betreft het systeem waarmee de warmte in een gebouw wordt overgedragen aan de binnenlucht. Hierbij worden de volgende typen afgiftesystemen 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;
- *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 kostbaarder dan LT-radiatoren (Milieu Centraal, 2020a). Dit kan bijvoorbeeld 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 het functioneel ontwerp 5.0 (Van der Molen et al, 2021).

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*

⁴ De schillabels die hier worden aangehouden zijn de minimum schillabels die noodzakelijk zijn om van het aardgas af te komen, het is daarbij voor individuele gebouwen mogelijk om verder te isoleren dan dit noodzakelijke niveau.

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) (Rijksoverheid, 2019). 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 twee varianten:
 1. *Distributienet op 30°C* en per gebouw een *individuele, elektrische warmtepomp* om de gewenste temperatuur te krijgen voor ruimteverwarming
 2. *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 minimumtemperatuur 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 *warmtewisselaar* 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-ketel op gas.
- *HR-ketel*: zowel de ruimteverwarming als het warm tapwater worden geproduceerd door de HR-ketel 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.

- *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.
- *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 kan deels worden voorzien door de gebouwen in de zomer te koelen met water uit de koudebron. Het water dat gebruikt wordt om te koelen wordt 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, 2019a). Voor de overige balancerings van de bron 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 qua methode 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 5.2.1.

Voor beide varianten

Isolatiemaatregelen

Alle gebouwen worden verbeterd naar het isolatieniveau van schillabel 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

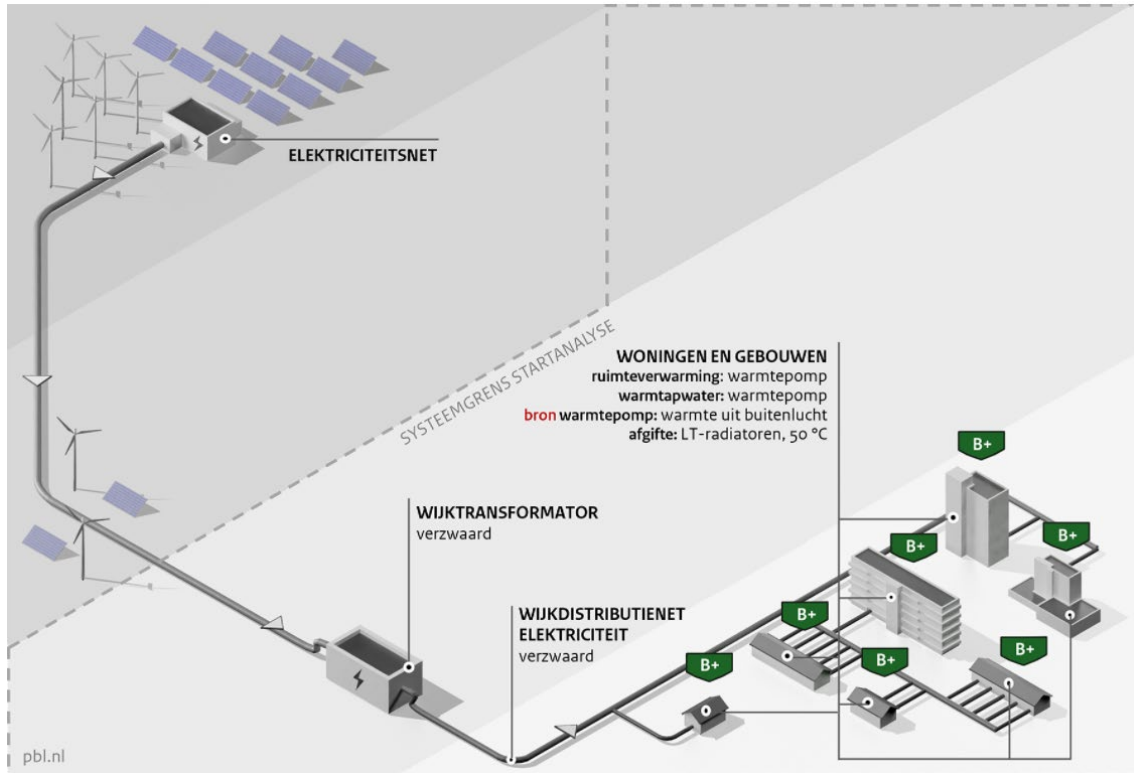
Voor het functioneren van een warmtepomp is het noodzakelijk om over te stappen op een LT-afgiftesysteem (LTAS).

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 of op het gebouw of staat nabij het gebouw. Buitenlucht is de belangrijkste warmtebron, de warmtepomp wordt aangedreven met elektriciteit.

Tabel 10, in paragraaf 5.2.1, toont een selectie van kenmerkende componenten van een warmtepomp die invloed hebben op de berekening van de nationale kosten. De gerapporteerde kosten reflecteren de kosten van de technologie in het startjaar, dit is dus exclusief de mogelijke toekomstige reducties in kosten. Raadpleeg het functioneel ontwerp 5.0 voor additionele informatie over de toegepaste kengetallen en rekenregels (Van der Molen et al, 2021).

Figuur 1

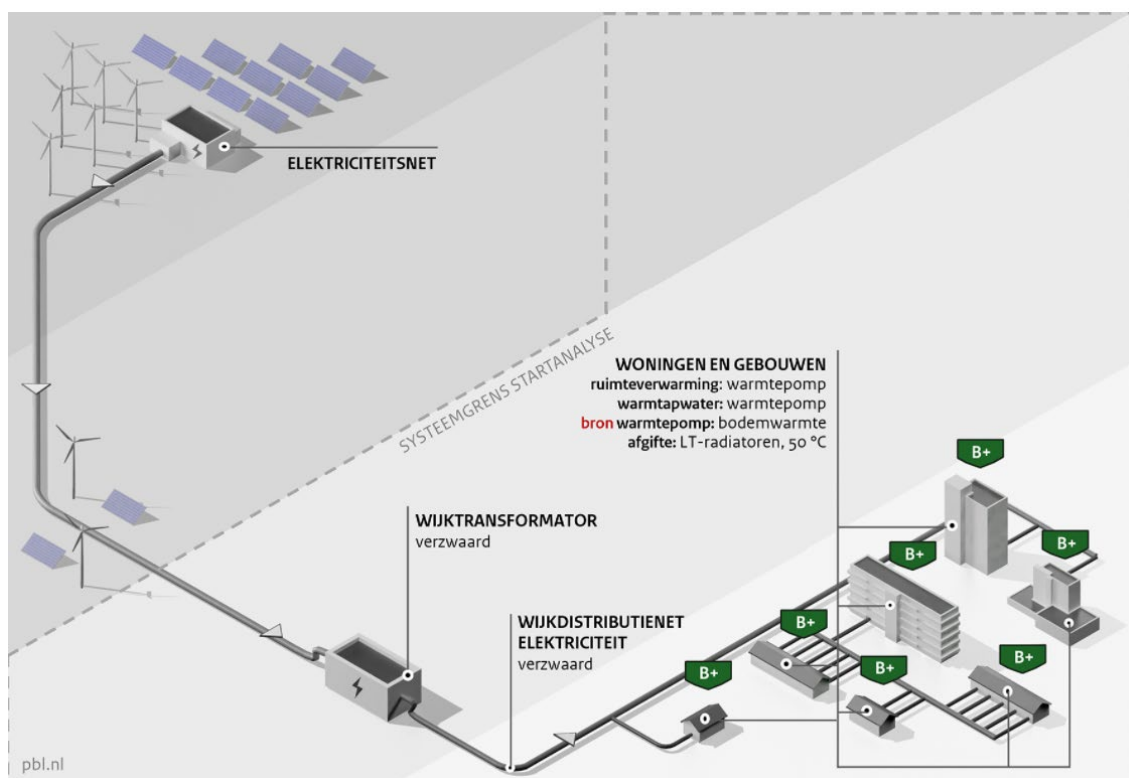


Variant S1b – combiwarmtepomp met bodemcollector

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 11, in paragraaf 5.2.1, wordt een selectie van kentallen gegeven die van invloed zijn op de berekende nationale kosten. Net als bij de luchtwarmtepomp zijn dit kosten hier voor het startjaar en is dit exclusief de toekomstige kostenontwikkelingen.

Figuur 2



2.3.3 Strategie 2 – Warmtenet met midden- en hogetemperatuurbron

In S2 worden in totaal zes verschillende varianten doorgerekend. Hierbij wordt 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 voor woningen (het doellabel voor utiliteit blijft B). De warmtevraag voor ruimteverwarming is daardoor 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 wordt uitgegaan van kansrijke gebieden voor geothermie en een theoretische variant waarin geothermie overal in Nederland beschikbaar is. Op dit moment is er namelijk nog geen beeld voor heel Nederland en zijn er nog zogeheten ‘witte vlekken’, gebieden waar nog nauwelijks informatie bekend is over de potentie van geothermie (Berenschot, 2020). Voor andere gebieden is er al meer onderzoek gedaan, waarbij er ook al een mate van kansrijkheid voor geothermie aangegeven kan worden (TNO, 2020). In de Startanalyse wordt gerekend met de gebieden die worden aangeduid met ‘goede kans’ in ThermoGIS 2.0, waarbij deze gebieden in een kaart worden weergegeven in paragraaf 4.5.2. Om gemeenten inzicht te geven in de kosten wanneer

geothermie wel mogelijk zou zijn in hun gemeente (en dit is nu nog onbekend) is ook een variant meegenomen waar de ondergrond overal geschikt is voor geothermie. Dit is dus naast de variant waarin de huidige inzichten voor kansrijke gebieden wordt meegenomen. Gezamenlijk levert dit de volgende zes varianten op:

- S2a: Rest- en aftapwarmte, met isolatieniveau schillabel B
- S2b: Geothermie, met isolatieniveau schillabel B en alleen gebruik makende van kansrijke gebieden voor geothermie
- S2c: Geothermie, met isolatieniveau schillabel B met in heel Nederland een geschikte ondergrond voor geothermie verondersteld
- S2d: Rest- en aftapwarmte, met isolatieniveau schillabel D
- S2e: Geothermie, met isolatieniveau schillabel D en alleen gebruik makende van kansrijke gebieden voor geothermie
- S2f: Geothermie, met isolatieniveau schillabel D met in heel Nederland een geschikte ondergrond voor geothermie verondersteld

Op het isolatieniveau na zijn er geen verschillen 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 (HWI).

Aanwezigheid hulpwarmte-installatie

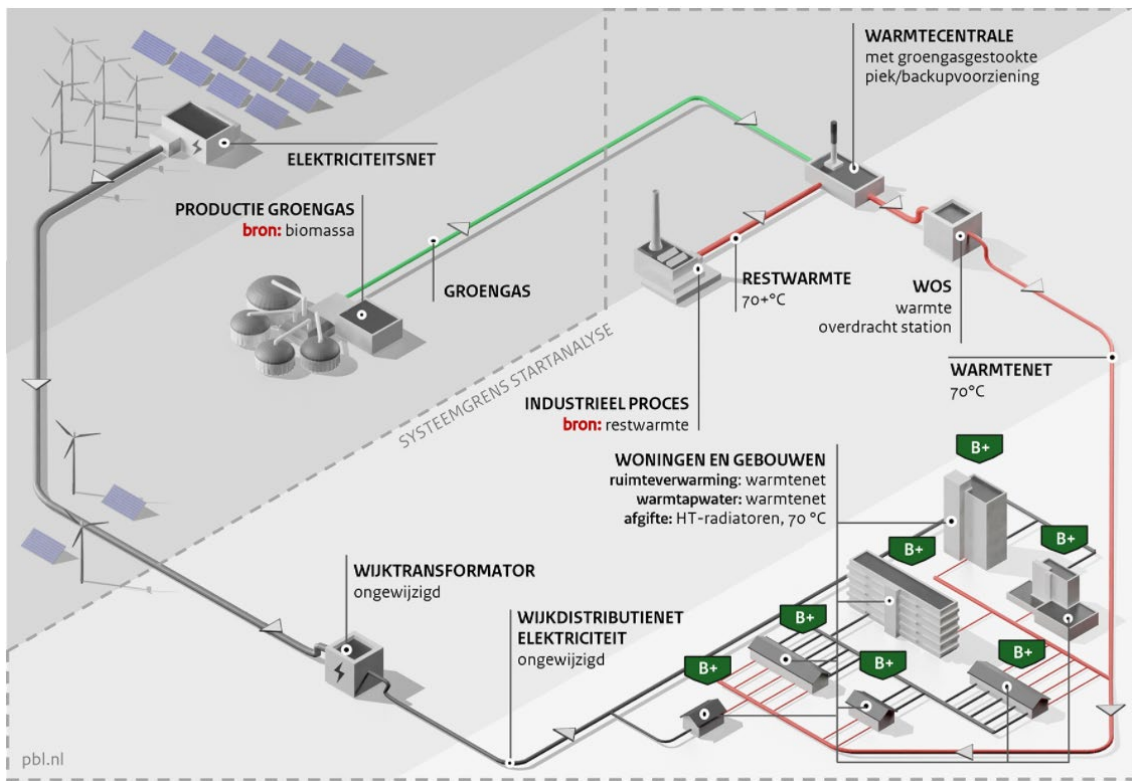
Een aandachtspunt bij alle bovenstaande varianten is dat in de berekeningen voor een warmtenet ook altijd een hulpwarmte-installatie is opgenomen. In het geval van de Startanalyse wordt ervan uitgegaan dat deze hulpwarmte-installatie is ingevuld door een hulpwarmteketel die wordt gestookt op groengas. Het is ook mogelijk om deze hulpwarmte-installatie in te vullen door andere installaties zoals bijvoorbeeld een collectieve warmtepomp of een waterstof gestookte ketel. 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. In de berekening van de beschikbaarheid van groengas wordt om deze reden ook de inzet van groengas voor hulpwarmte-installaties meegenomen, wat in meer detail wordt toegelicht in paragraaf 6.5.

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. Hieronder vallen ook elektriciteitscentrales, ook al is hier sprake van aftapwarmte in plaats van restwarmte. In deze rapportage valt alle warmte die wordt geleverd door warmtebronnen met een specifieke locatie onder de noemer van restwarmte. Paragraaf 3.4 geeft een overzicht 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.

Figuur 3

Varianten S2a en S2d –warmtenet gevoed door een HT/MT-restwarmtebron. Het figuur toont het overzicht voor S2a, maar de afbakening is hetzelfde voor S2d, alleen de gebouwen hebben dan minimaal label D.



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 4.5. 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 warmte kan (blijven) leveren. Het is denkbaar dat sommige 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 de bronnen die bij ons bekend zijn wel als warmtebronnen kunnen worden ingezet, tenzij anders bekend is. Binnen deze Startanalyse wordt ook berekend aan welke buurten deze warmtebron zou kunnen leveren, deze berekening wordt verder toegelicht in paragraaf 3.4 en in meer detail in het functioneel ontwerp 5.0 (Van der Molen et al, 2021). De toedeling wordt daarbij uiteindelijk gebaseerd op een streven naar zo laag mogelijke nationale kosten.

Vaststelling puntbron per buurt

De haalbaarheid van warmtenetten met een MT-warmtebron 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 door de capaciteit van een bron toe te delen aan buurten op basis van 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 benaderd binnen het Vesta MAIS-model door in verschillende rekenstappen (iteraties) het netwerk van aangesloten buurten steeds verder uit te breiden, waarbij buurten met een hoge waarde per capaciteits eenheid voorrang krijgen. In elke rekenstap wordt een buurt aan het netwerk toegevoegd, zolang de capaciteit in de bron nog niet volledig is uitgeput. Deze rekenstappen worden herhaald totdat de volledige capaciteit van alle warmtebronnen wordt benut, of er geen buurten mee binnen bereik zijn om aan te sluiten. Op deze manier wordt eerst de warmte geleverd aan de buurten met de laagste nationale kosten/vermeden CO₂-emissie en vervolgens worden de steeds duurdere buurten aangesloten.

Het is echter niet bekend of gemeenten een voorkeur hebben om een bepaalde warmtebron als eerste te benutten. 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 3.2.

Individuele installatie en afgiftesysteem

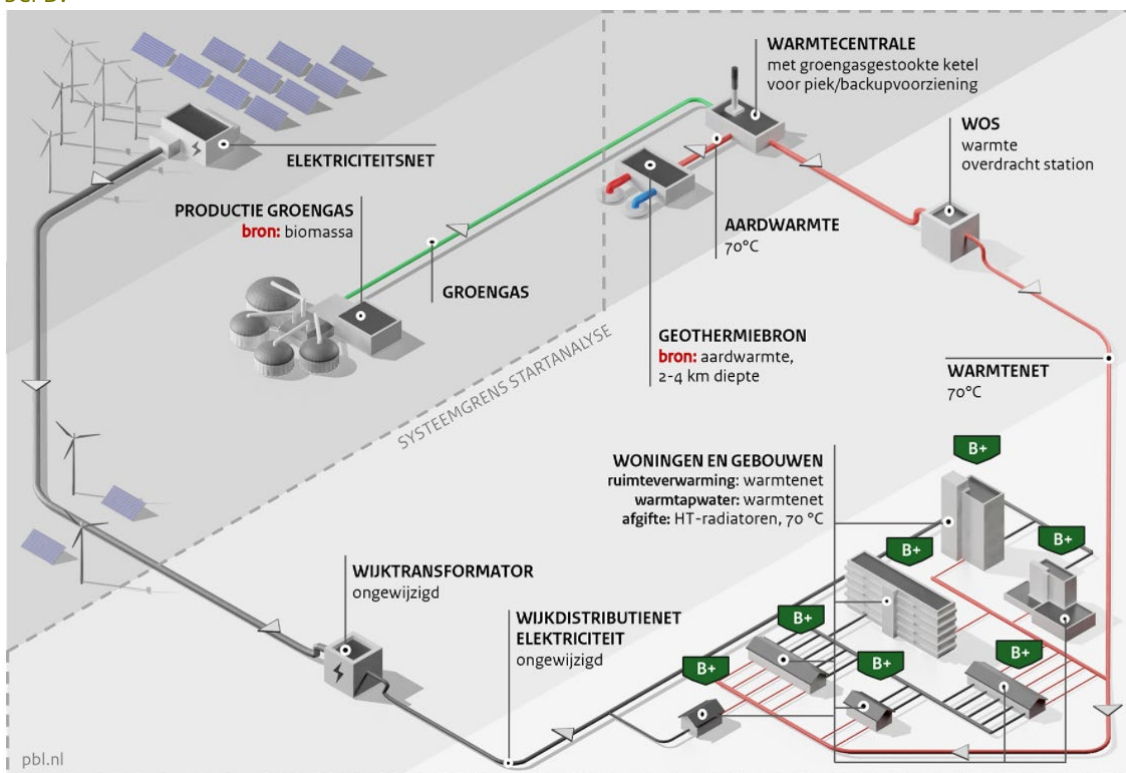
Dankzij de aanvoer van MT-warmte op 70°C kunnen bestaande afgiftesystemen worden gehandhaafd. Daarbij is het temperatuurniveau van deze warmte ook voldoende om zowel de ruimteverwarmingsvraag als de warm tapwatervraag in te vullen. Binnen de gebouwen hoeft dus relatief weinig aangepast te worden om te 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. We noemen deze gebieden kansrijk. In paragraaf 4.5 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.

Figuur 4

Varianten S2b en S2e –warmtenet gevoed door een HT/MT-geothermiebron. Het figuur toont het overzicht voor S2b, maar de afbakening is hetzelfde voor S2e, alleen de gebouwen hebben dan minimaal label D.



Broncapaciteit

Afhankelijk van locatie en het type installatie 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 (TNO & EBN, 2018). 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 gezamenlijk 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. Of in combinatie met andere warmtevragers zoals de glastuinbouw. Het minimale aantal woningen dat aangesloten moet worden om tot een rendabele case te komen is sterk afhankelijk van de lokale omstandigheden, en ontwerpkeuzes zoals de temperaturen van de geothermiebron en de afgifte-installaties in woningen en gebouwen.

Geothermie voor de basislast

Vanuit technisch en bedrijfseconomisch perspectief is het vooral nog 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.

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 3.2.

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 potentiekaarten als niet-kansrijk worden aangemerkt, indien de ondergrond toch geschikt zou blijken te zijn en voor gebieden waar onvoldoende informatie beschikbaar is.

De varianten S2c en S2f hebben dus geen invloed op de gebieden die als kansrijk worden aangemerkt in de geothermie potentiekaarten. 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 dan overbrugd worden met een transportleiding om te zorgen dat de warmte daadwerkelijke geleverd kan worden. In de varianten S2c en S2f wordt het hypothetisch mogelijk geacht om op elke gewenste locatie een geothermie-installatie 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 warmtevoorzieningssystemen 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:

- S3a: Inzet van lage-temperatuur restwarmte, bijvoorbeeld van datacenters. 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.
- S3b: Inzet van lage-temperatuur restwarmte, bijvoorbeeld van datacenters. 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 warm tapwater.

- S3c: De warmte wordt bij woningen en gebouwen afgeleverd op MT-niveau (70°C), als warmtebron wordt een WKO-systeem gebruikt. 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). De hele buurt wordt aangesloten.
- S3d: De warmte wordt bij woningen en gebouwen afgeleverd op LT-niveau (50°C) en is daarmee direct geschikt voor toepassing voor ruimteverwarming binnen woningen en gebouwen. Voor warm tapwater wordt een boosterwarmtepomp ingezet om de temperatuur naar een niveau op te waarden dat geschikt is voor warm tapwater.
- 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:

- S3f: Dezelfde uitgangspunten als in S3b, maar met schillabel D i.p.v. B
- S3g: Dezelfde uitgangspunten als in S3c, maar met van schillabel D i.p.v. B
- S3h: Dezelfde uitgangspunten als in S3e, maar met van schillabel D i.p.v. B

Het is niet mogelijk om alle varianten met zowel schillabel B en D door te rekenen. De reden hiervoor is dat bij label D het noodzakelijk is om warmte te kunnen leveren op minimaal 70°C, omdat anders de gebouwen niet voldoende verwarmd kunnen worden. Om deze reden worden de varianten S3a en S3d niet doorgerekend met schillabel D. Binnen de andere varianten wordt 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 varianten wordt een eerste beeld geschetst van de mogelijkheden voor een warmtenet gevoed met LT-warmtebronnen. Maar dit is wel een selectie uit alle mogelijke varianten en in de praktijk zijn er meer potentiële 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 kan een stuk kleiner zijn. 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 bestaande 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 het functioneel ontwerp 5.0 (Van der Molen et al, 2021). Dit is met uitzondering van de varianten S_{3c} en S_{3g} waarbij de gehele buurt wordt aangesloten. Deze berekeningen zijn toegevoegd zodat een kostenvergelijking gemaakt kan worden tussen de overgang van buurten naar een HT/MT-warmtenet met buurten die volledig overgaan op een LT-warmtenet.

Individuele elektrische warmtepompen binnen S₃

In de Startanalyse worden alleen strategieën verkend van een 100% aardgasloze warmtevoorziening. In de weergave van de resultaten voor S₃ is echter te zien dat meestal niet de gehele buurt wordt aangesloten op een warmtenet met een LT-warmtebron. Het resterende gedeelte stapt in dat geval over op een 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. Als schaarse warmte van een LT-bron moet worden verdeeld gebeurt dat door te zoeken naar gebouwen waar die zo kosteneffectief mogelijk kan worden ingezet. Om dat te doen worden de kosten (per gebouw) van de overstap naar een aansluiting op die bron vergeleken met de kosten van een individuele warmtepomp zonder warmtenet. Als die laatste optie voordeliger is wordt dan wordt het gebouw overgeslagen en wordt de warmte van de LT-bron elders ingezet. In dat geval wordt de overgeslagen 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.

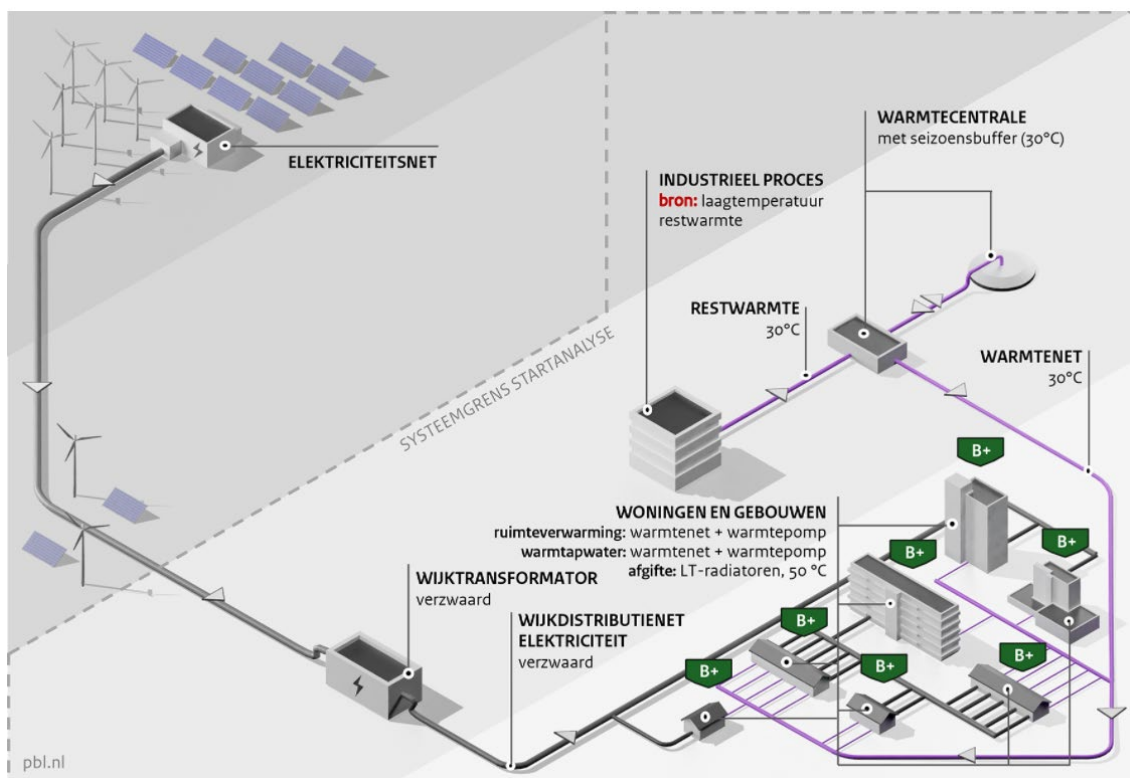
Bij de interpretatie van de resultaten voor S₃ kan dit een belangrijke invloed hebben doordat mogelijk een klein gedeelte van de buurt maar een LT-warmtenet heeft en de rest een elektrische warmtepomp. Voor de interpretatie van S₃ is het daarom van belang om rekening te houden met het aandeel aansluitingen op een warmtenet met een LT-warmtebron. Daarnaast moeten de resultaten vooral geïnterpreteerd worden als een indicatie van hoe nuttig het is om in een gegeven buurt de mogelijkheden van een warmtenet met een LT-warmtebron verder te onderzoeken, en niet als een precieze aanwijzing van welke gebouwen dan wel en niet zouden moeten deelnemen. In het datapakket, dat per gemeente beschikbaar is, is dit wel beschikbaar (verdere toelichting op het datapakket is te vinden in paragraaf 8.2.3).

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

Het startpunt voor deze variant is de beschikbare warmte uit LT-warmtebronnen. Hierbij gaat het om (industriële) restwarmtebronnen die LT-warmte over hebben van +/- 30°C. Vervolgens wordt een LT-warmtenet aangelegd zodat de warmte verdeeld kan worden over de gebouwen in de nabije omgeving. 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 warmtepomp opgevoerd tot het gewenste temperatuurniveau voor ruimteverwarming en warm tapwater. Plaatsing van individuele warmtepompen in alle gebouwen vereist mogelijk een verzwaring van het elektriciteitsnet in de buurt.

Figuur 5

Variant S3a-warmtenet gevoed door een LT-warmtebron met een aanlevertemperatuur aan gebouwen van 30°C



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 4.5 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 voldoende vermogen te leveren om het gebouw te kunnen verwarmen 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 warmtepomp geplaatst die de aangeleverde LT-warmte opwaardeert naar het gewenste temperatuurniveau. De warmtepomp wordt ingezet voor zowel de ruimteverwarming als voor 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 warmte. Daarnaast moet het elektriciteitsnet in de hele buurt waarschijnlijk verzwakt 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.

Buffer

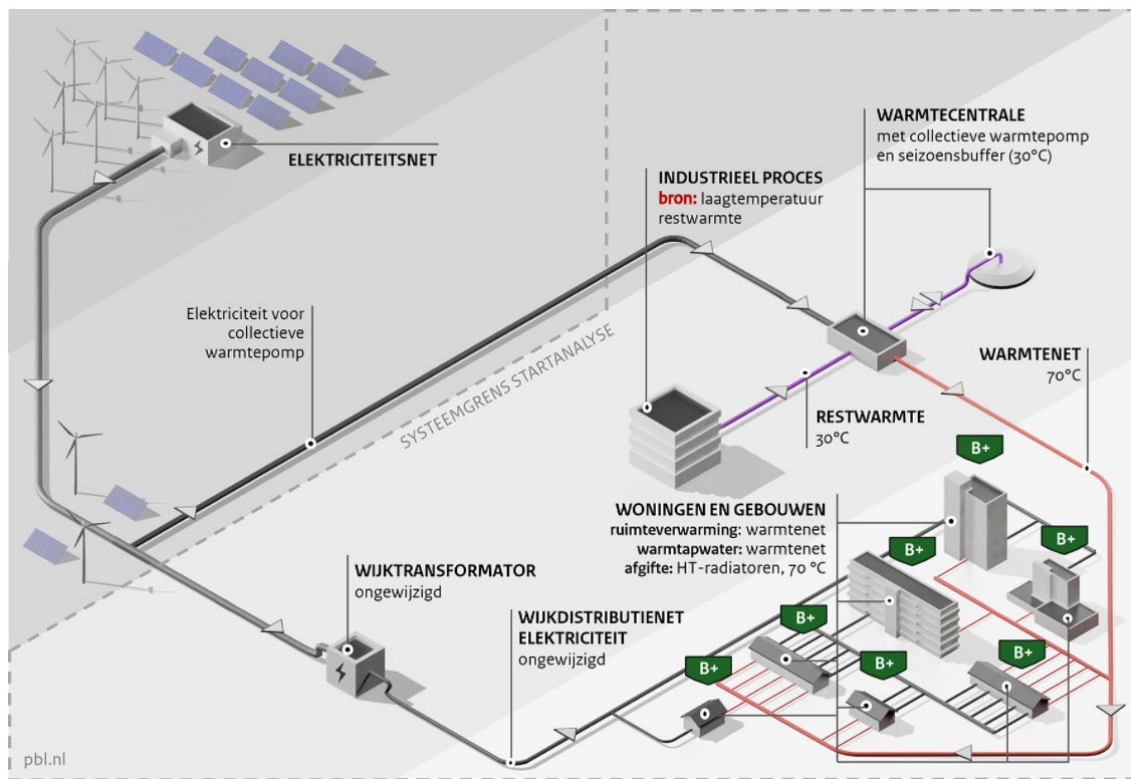
Om gedurende de koudere winterdagen voldoende warmte te kunnen leveren en ook op momenten te kunnen leveren waarop er vanuit de restwarmtebron tijdelijk geen warmte beschikbaar is wordt het warmtenet gecombineerd met een collectief buffervat met seizoensopslag.

Varianten S3b en S3f – Warmtenet met laagtemperatuurbron – 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 varianten 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.

Figuur 6

Varianten S3b en S3f-warmtenet gevoed door een LT-warmtebron met collectieve opwaardering en een aanlevertemperatuur aan gebouwen van 70°C. Het figuur toont het overzicht voor S3b, maar de afbakening is hetzelfde voor S3f, alleen de gebouwen hebben dan minimaal label D.



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 ruimteverwarmingvraag 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 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 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 verzwaaard voor deze gebouwen. Het is daarom waarschijnlijk dat er nog wel kosten voor elektriciteitsnetverzwaring zullen zijn 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 collectief buffervat met seizoensopslag.

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

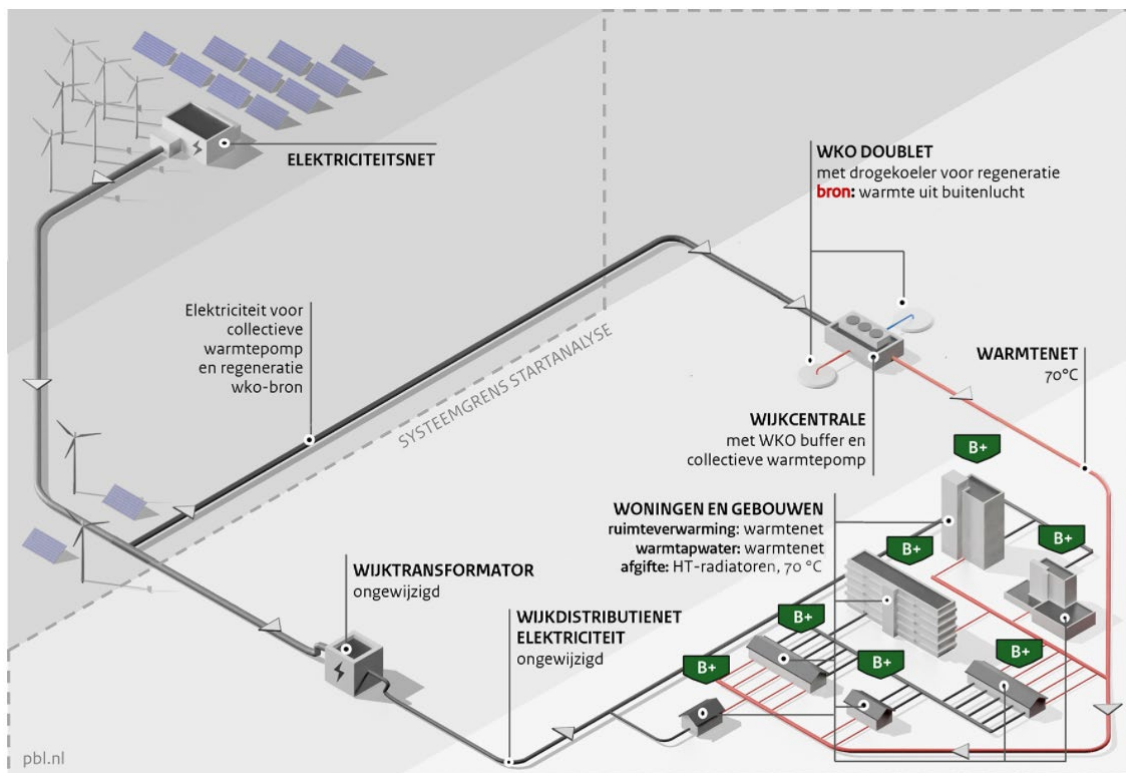
In deze varianten verandert de primaire bron van een LT-warmtebron naar een Warmte-Koude Opslag (WKO). WKO is een systeem waarmee warmte en koude op ZLT-niveau in aquifers (watervoerende lagen in de ondergrond) in de bodem wordt opgeslagen. Deze warmte en koude worden vervolgens m.b.v. een warmtepomp naar een gebouw geleid om hiermee het gebouw op te warmen of af te koelen (afhankelijk van het seizoen). Het gemiddelde temperatuurniveau van een WKO-systeem ligt 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 naar 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.

Een belangrijk verschil van deze varianten met de voorgaande LT-warmtenet varianten is de schaal waarop deze wordt toegepast. Bij de voorgaande LT-warmtenet varianten wordt uitgegaan van de benutting van de (Z)LT-warmtebron en bij onvoldoende capaciteit of te hoge kosten gaan de gebouwen die niet op het warmtenet zitten over op individuele elektrische warmtepompen. In de varianten S3c en S3g wordt aangenomen dat de WKO-bron voldoende capaciteit heeft en wordt het warmtenet uitgelegd voor alle woningen en utiliteitsgebouwen in een buurt. Met deze berekening is het mogelijk om een vergelijking te maken tussen de kosten wanneer een buurt overgaat op een warmtenet met een LT-bron of met een HT/MT-bron (S2).

Figuur 7

Varianten S3c en S3g-warmtenet gevoed door een WKO-systeem met collectieve opwaardering en een aanlevertemperatuur aan gebouwen van 70°C (hele buurt wordt aangesloten). Het figuur toont het overzicht voor S3c, maar de afbakening is hetzelfde voor S3g, alleen de gebouwen hebben dan minimaal label D.



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 ruimteverwarmingvraag 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 warmte, waarbij het elektriciteitsnet niet hoeft te worden verzwakt omdat er geen additionele elektriciteitsvraag is vanuit de gebouwen.

Buffer

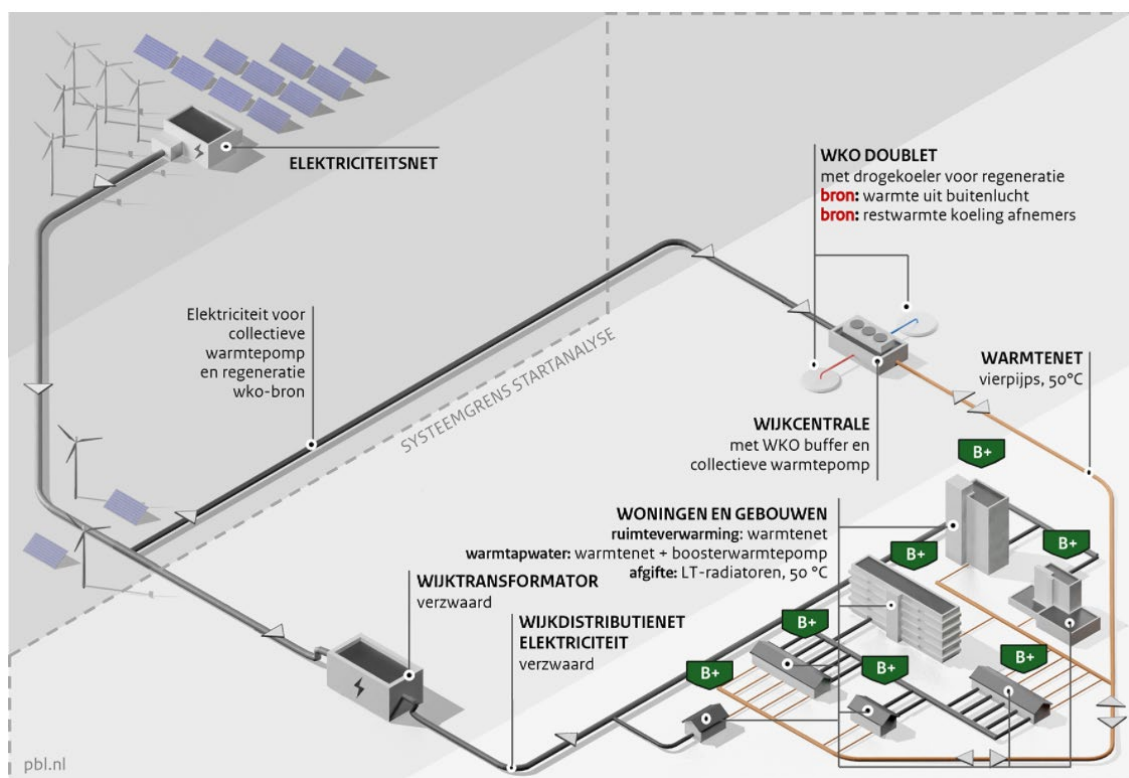
De WKO-bron zelf fungeert als buffer. In deze variant wordt voor de regeneratie van de WKO-bron gebruik gemaakt van een drogekoeler.

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

Variant S3d is een combinatie van de varianten S3a en S3c. Ook in deze variant wordt namelijk gebruik gemaakt van een WKO-systeem. Maar deze ZLT-warmte wordt nu niet opgewaardeerd 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 booster-warmtepomp.

Figuur 8

Variant S3d –warmtenet gevoed door een WKO-systeem met collectieve opwaardering en een aanlever-temperatuur aan gebouwen van 50°C.



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 warmte. De gebouwen die zijn aangesloten op het warmtenet kennen een lichte stijging in de elektriciteitsvraag door de inzet van boosters voor warm tapwater. De stijging van de elektriciteitsvraag is wel beperkt en om deze reden is er geen verzwaring van het elektriciteitsnet nodig voor de gebouwen die op het warmtenet zijn aangesloten.

De gebouwen die niet op het warmtenet zitten, worden voorzien van een individuele elektrische warmtepomp, hier is wel een additionele elektriciteitsvraag en het elektriciteitsnet wordt wel verzwaard voor deze gebouwen. Het is daarom waarschijnlijk, zoals toegelicht in paragraaf 2.2.2, 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.

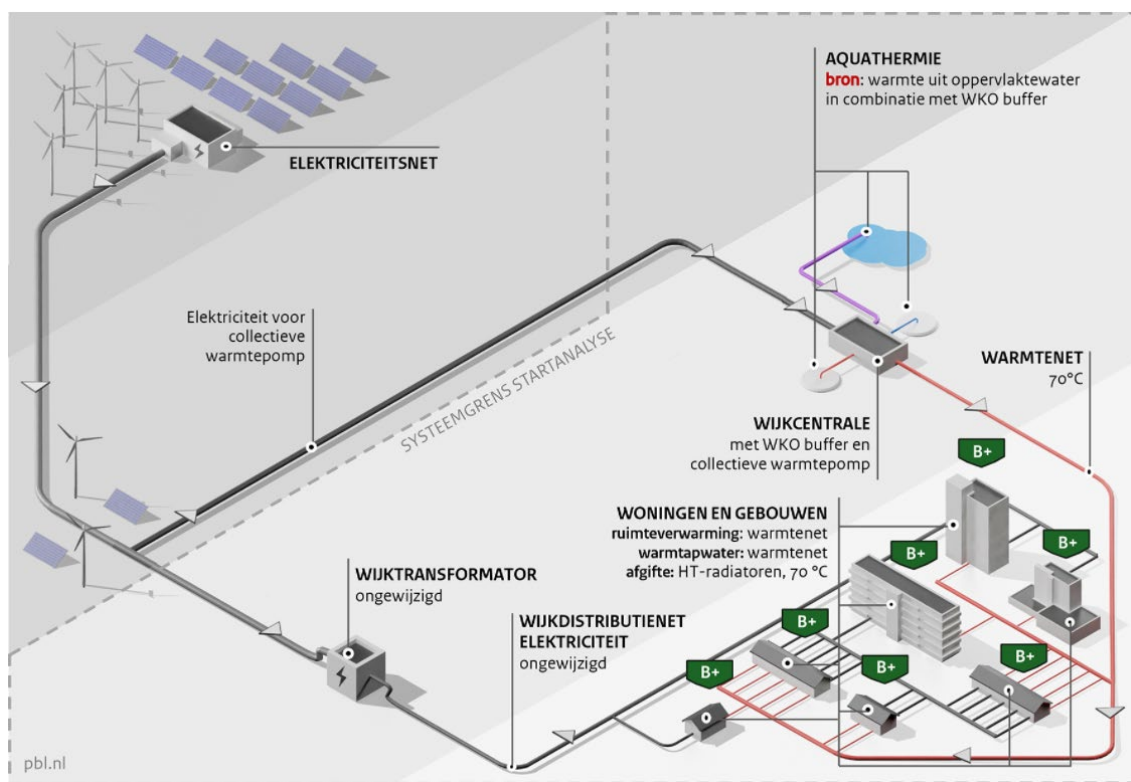
Varianten S3e en S3h – Warmtenet met WKO en oppervlaktewater – aflevering op 70°C

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 S3g wordt hiervoor uitgegaan van een drogekoeler, maar de varianten S3e en S3h wordt uitgegaan van Thermische Energie uit Oppervlaktewater (TEO).

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.

Figuur 9

Varianten S3e en S3h-warmtenet gevoed door WKO-systeem (in combinatie met TEO) met collectieve opwaardering en een aanlever temperatuur aan gebouwen van 70°C. Het figuur toont het overzicht voor S3e, maar de afbakening is hetzelfde voor S3h, alleen de gebouwen hebben dan minimaal label D.



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 ruimteverwarmingvraag 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 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 verzwakt voor deze gebouwen. Het is daarom waarschijnlijk 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 4.5.

2.4 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 hoogrendementsketel (HR-ketel). Beide technologieën kunnen warmte leveren op een voldoende hoog temperatuurniveau om comfort te kunnen bieden bij zowel schillabel B als 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 5.2.4.

Voor alle varianten

Afgiftesysteem in woningen en gebouwen

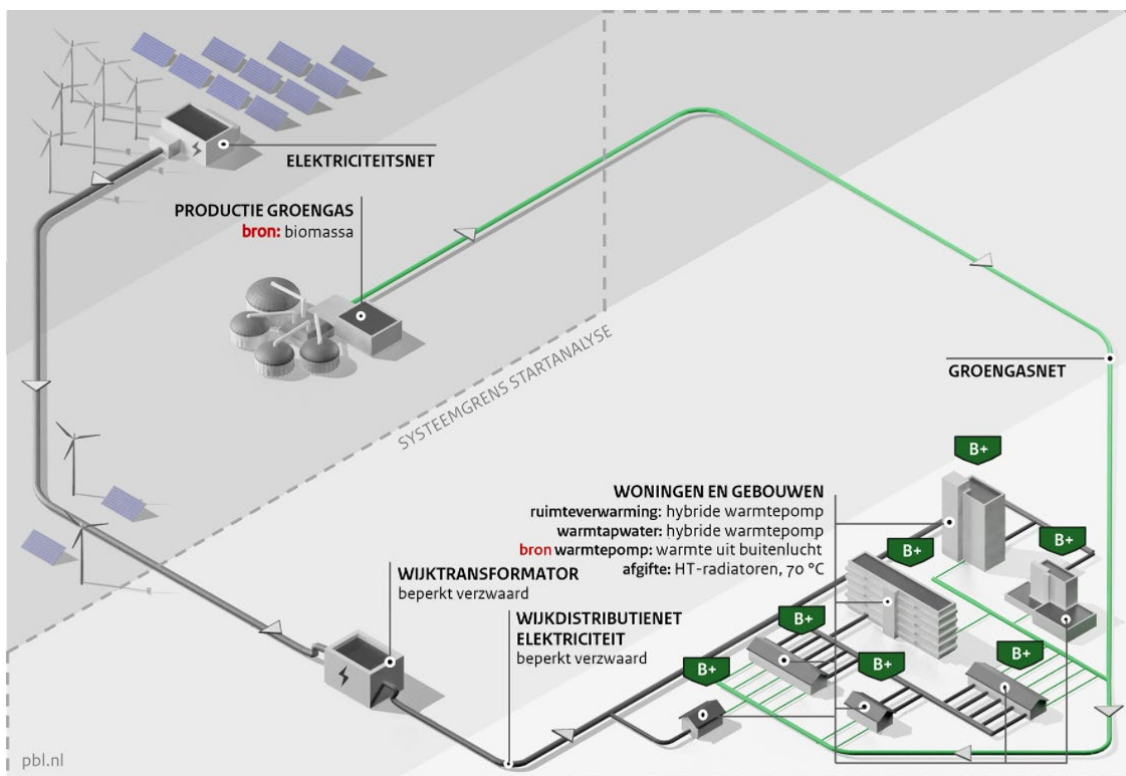
Er vinden geen aanpassingen plaats in het afgiftesysteem binnen de gebouwen. In alle varianten wordt gebruik gemaakt van het huidige MT-afgiftesysteem.

Varianten S_{4a} en S_{4c} – 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 verzwakt als in S₁.

Figuur 10

Varianten S4a en S4c-groengas met een hybride warmtepomp. Het figuur toont het overzicht voor S4a, maar de afbakening is hetzelfde voor S4c, alleen de gebouwen hebben dan minimaal label D.



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

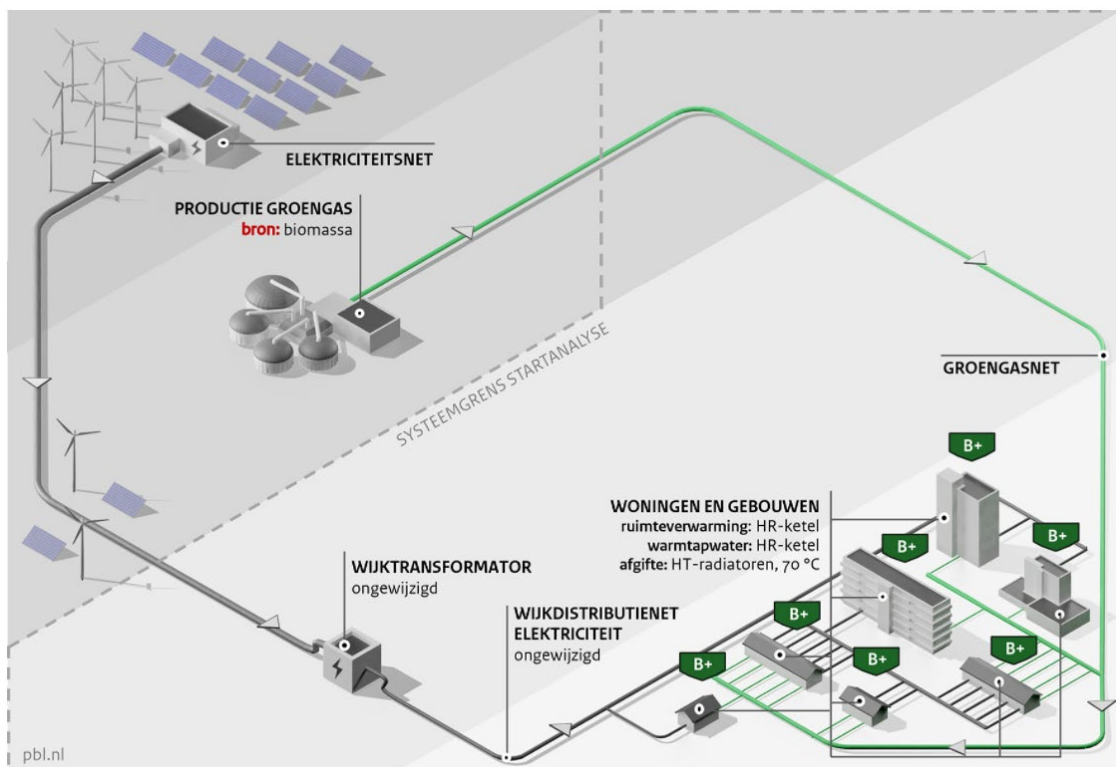
Met de hybride warmtepomp is nog wel groengas nodig om de warmtevraag in te vullen. De huidige gasinfrastructuur blijft binnen deze varianten daarom liggen. De hybride warmtepompen resulteren wel in een hogere elektriciteitsvraag en om dit te kunnen invullen moet mogelijk het elektriciteitsnet verzwaaard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

Figuur 11

Varianten S4b en S4d–groengas met een HR-ketel. Het figuur toont het overzicht voor S4b, maar de afbakening is hetzelfde voor S4d, alleen de gebouwen hebben dan minimaal label D.



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 verzaard.

2.5 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. Daardoor moet er HR-ketels specifiek voor waterstof worden toegepast. Daarbij is er altijd een controle op de gasleidingen nodig of deze waterstof kunnen transporteren en soms is ook een aanpassing van de gasleidingen in de woning nodig. Deze aanpassingen worden meegenomen in de kosten van de installaties die worden ingezet voor een

warmtevoorziening met waterstof, waarbij in paragraaf 5.2.5 wordt ingegaan op de belangrijkste kenmerken. 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

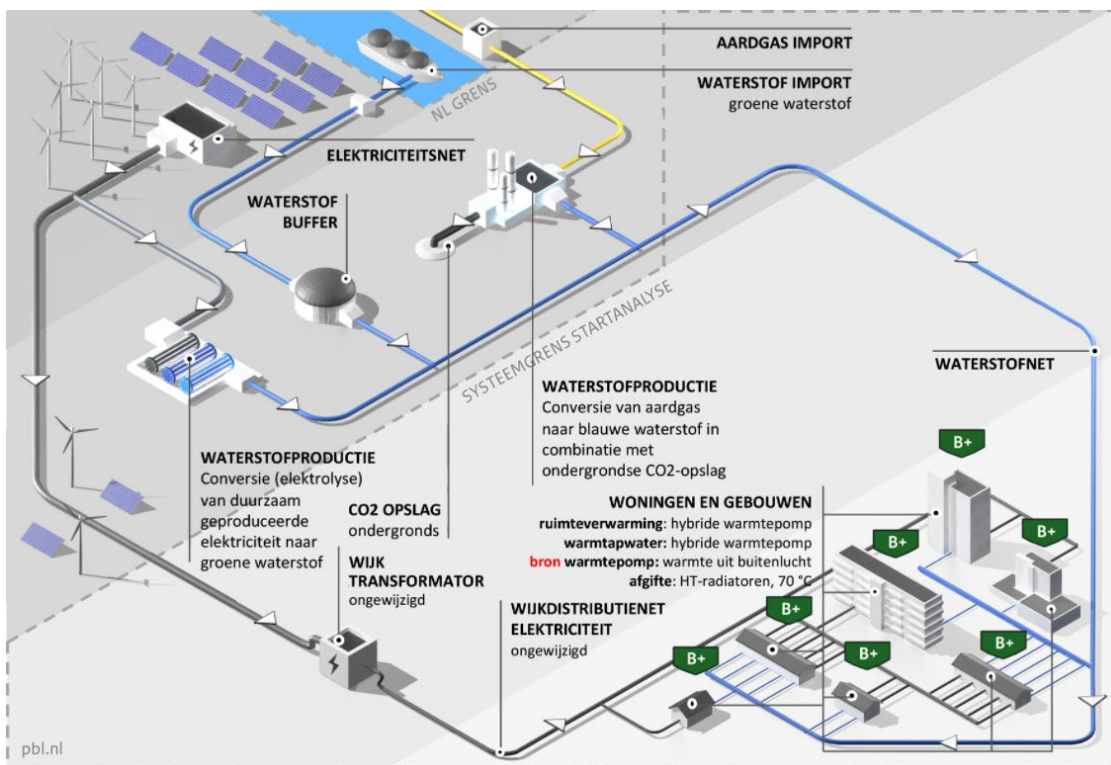
Er vinden geen aanpassingen plaats in het afgiftesysteem binnen de gebouwen. In alle varianten wordt gebruik gemaakt van het huidige MT-afgiftesysteem.

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.

Figuur 12

Varianten S5a en S5c –waterstof met een hybride warmtepomp. Het figuur toont het overzicht voor S5a, maar de afbakening is hetzelfde voor S5c, alleen de gebouwen hebben dan minimaal label D.



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 5.2.5 wordt verder ingegaan op de kenmerken van deze hybride warmtepomp.

Infrastructuur

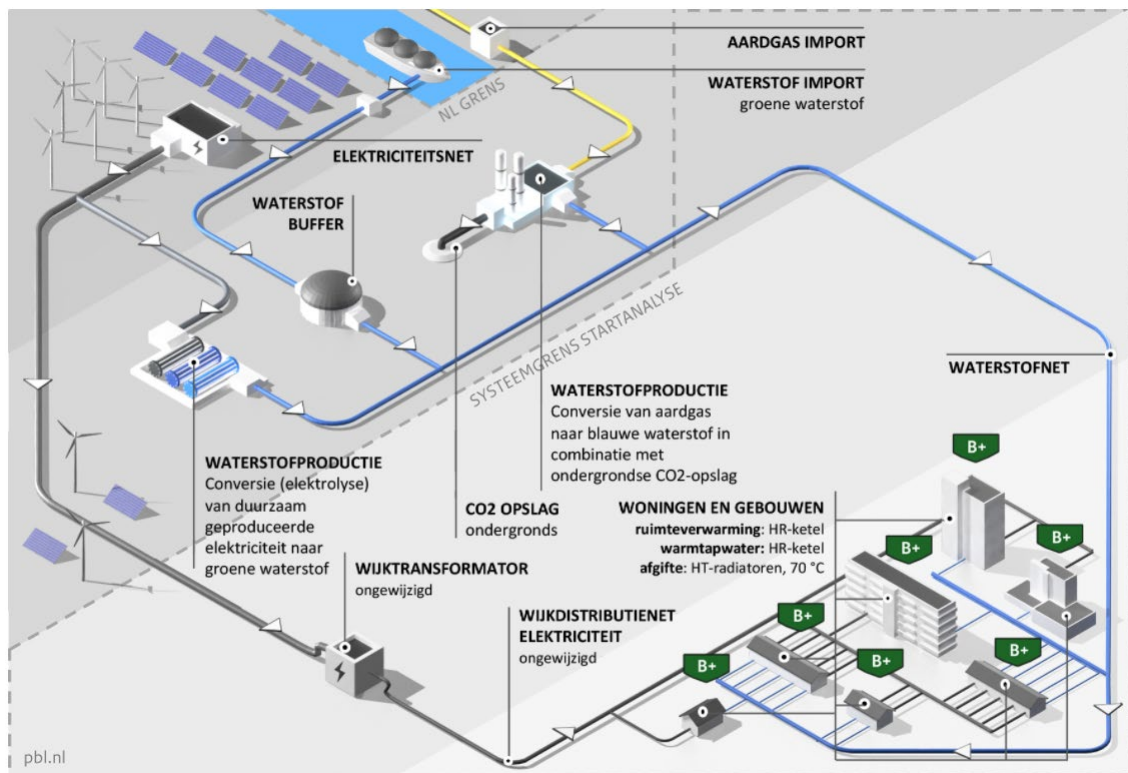
Met de hybride warmtepomp is nog wel waterstof nodig om de warmtevraag in te vullen. De huidige gasinfrastructuur wordt daarom aangepast zodat deze waterstof kan transporteren. De hybride warmtepompen resulteren wel in een hogere elektriciteitsvraag en om dit te kunnen invullen moet mogelijk het elektriciteitsnet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

Figuur 13

Varianten S5b en S5d–waterstof met een HR-ketel. Het figuur toont het overzicht voor S5b, maar de afbakening is hetzelfde voor S5d, alleen de gebouwen hebben dan minimaal label D



Schillabel

Met de, voor waterstof geschikte, HR-ketel is het mogelijk om de warmte naar een temperaturniveau 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 specifiek geschikt zijn gemaakt om op waterstof te kunnen draaien. Daarnaast kunnen er ook HR-ketels op de markt komen waarvan componenten vrij gemakkelijk kunnen worden vervangen om deze op een later moment 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 5.2.5. 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.

Infrastructuur

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

2.6 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 of 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 3.2.
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. Infrastructuur: Veranderingen in de infrastructuur van de buurt die nodig zijn voor de warmtevoorziening om deze aardgasvrij te maken. Het betreft de aanleg van een warmtenet waarop de gebouwen worden aangesloten, het verzwaren van het elektriciteitsnet indien de gebouwen overstappen op een elektrische warmtepomp, het geschikt maken van het aardgasnet bij de overstap naar waterstof of het verwijderen van het aardgasnet indien de buurt overstapt op een warmtenet of elektrische warmtepompen.
6. Individuele voorzieningen: Dit zijn de voorzieningen die moeten worden getroffen op gebouwniveau, hierbij kan worden gedacht aan individuele installaties of de aanpassingen in het afgiftesysteem voor warmte. Gebouwen met warmte-aanvoer op 50°C of lager dienen te worden voorzien van LT-radiatoren. Voor gebouwen met warmte-aanvoer >70°C zijn de meestal aanwezige MT-radiatoren voldoende maar zij kunnen ook gebruik maken van LT-radiatoren.

Bovenstaande kenmerken worden uitgesplitst per variant en strategie. Hierbij volgt het hoofdstuk met de getalsmatige onderbouwing, hoofdstuk 5, dezelfde opbouw als gehanteerd in Tabel 1.

Tabel 1

Overzicht van strategieën en varianten binnen de SA-2020

Bronnen voor warmtevoorziening		Isolatie-niveau	Warmte-bron temp	Aanvoer temp	Infrastructuur	Individuele voorzieningen
S1 - Individuele elektrische warmtepomp (Paragraaf 5.2.1)						
S1a	Elektriciteit + warmte uit buitenlucht	B			-	Combiwarmtepomp + LT-radiatoren
S1b	Elektriciteit + bodemwarmte				-	
S2 - Warmtenet met midden- tot hogetemperatuurbron (Paragraaf 5.2.2)						
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)				Geothermiebron + hulpwarmteketel + MT-warmtenet (70 °C)	
S2c	Geothermie + groengas voor piekvraag (zonder contour)				Geothermiebron + hulpwarmteketel + MT-warmtenet (70 °C)	
S2d	Restwarmte + groengas voor piekvraag	D			MT-restwarmtebron + hulpwarmteketel + MT-warmtenet (70 °C)	
S2e	Geothermie + groengas voor piekvraag (met contour)				Geothermiebron + hulpwarmteketel + MT-warmtenet (70 °C)	
S2f	Geothermie + groengas voor piekvraag (zonder contour)				Geothermiebron + hulpwarmteketel + MT-warmtenet (70 °C)	
S3 - Warmtenet met lagetemperatuurbron (Paragraaf 5.2.3)						
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)
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		D	30 °C	Collectieve warmtepomp + MT-warmtenet (70 °C)	Warmtenet-aansluiting + MT-radiatoren
S3g	Warmte- en koude overschot uit gebouwen + elektriciteit + warmte uit buitenlucht	15 °C			70 °C	Collectieve warmtepomp + WKO + MT-warmtenet (70 °C)
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 5.2.4)						
S4a	Groengas + elektriciteit	B				Hybride lucht-warmtepomp + MT-radiatoren
S4b	Groengas					
S4c	Groengas + elektriciteit	D				Hybride lucht-warmtepomp + MT-radiatoren
S4d	Groengas					
S5 – Waterstof (Paragraaf 5.2.5)						
S5a	Waterstof + elektriciteit	B				Hybride lucht-warmtepomp + MT-radiatoren
S5b	Waterstof					
S5c	Waterstof + elektriciteit	D				Hybride lucht-warmtepomp + MT-radiatoren
S5d	Waterstof					

2.6.1 Verschil in varianten tussen SA-2020 en SA-2019

De SA-2020 bevat in totaal 24 varianten wat een groter aantal 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. 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.

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 een tweede isolatieniveau, namelijk het isolatieniveau overeenkomend met schillabel D. Na publicatie van de SA-2019 was één van verbeteringsadviezen vanuit de gemeenten om de effecten weer te geven bij mindere isolatie. Het lagere isolatieniveau is alleen doorgerekend voor varianten die warmte kunnen leveren op 70°C, deze temperatuur is nodig om voldoende comfort te bieden bij deze lagere isolatie.

Als laatste is een compleet nieuwe strategie toegevoegd, namelijk de strategie met waterstof. Waterstof wordt meegenomen vanwege het grote technische potentieel en de systeemvoordelen zoals hergebruik van het gasnet. Daarbij moet wel worden opgemerkt dat de toekomstige beschikbaarheid van waterstof onzeker.

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 ten eerste 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 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.

Tabel 2
Vergelijking van varianten binnen SA-2020 en SA-2019

S1 SA- 2020	S1 SA-2019	S2 SA- 2020	S2 SA-2019	S3 SA- 2020	S3 SA-2019	S4 SA- 2020	S4 SA-2019	S5 SA- 2020	S5 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	Anders	S4c	Niet	S5c	Niet
		S2d	Anders	S3d	S3d	S4d	Niet	S5d	Niet
		S2e	Niet	S3e	S3e				
		S2f	Niet	S3f	Niet				
				S3g	Niet				
				S3h	Niet				

2.6.2 Niet-klimaatneutrale energiedragers

In de SA-2020 wordt voor al deze varianten een doorrekening gemaakt wat de additionele kosten zijn ten opzichte van het referentiescenario voor 2030. Deze doorrekeningen geven een beeld voor de situatie in 2050, waarbij ervan uit wordt gegaan dat alle energiedragers klimaatneutraal zijn. Maar op de korte termijn (2030) zullen nog niet alle energiedragers klimaatneutraal zijn. Om inzicht te bieden in de effecten op kosten en de CO₂-uitstoot van de varianten met deze niet-klimaatneutrale energiedragers is een aparte doorrekening opgenomen per variant in de buurttabellen. In deze berekening wordt ervan uitgegaan dat elektriciteit ‘slechts’ 70% duurzaam is, hierbij wordt uitgegaan van het elektriciteitspark in 2030 zoals opgenomen binnen de Klimaat- en Energieverkenning 2019 (KEV-2019) (Schoots & Hammingh, 2019). Bij de inzet van gas wordt ervan uitgegaan dat de gasvraag wordt ingevuld met aardgas in plaats van duurzaam gas.

Met de aanpassing van deze energiedragers, worden ook de kosten van de energiedragers aangepast. De kosten van de niet-klimaatneutrale energiedragers zijn ook gebaseerd op de KEV-2019, waarbij de kosten voor (niet-) klimaatneutrale elektriciteit in meer detail worden toegelicht in de paragrafen 7.3 en 7.4. Alle andere kosten die worden gemaakt in de verschillende varianten om over te gaan naar een duurzame warmtevoorziening in 2050 worden gelijk gehouden. De enige aanpassingen in de doorrekening van de niet-klimaatneutrale energiedragers zijn de CO₂-uitstoot en de kosten van klimaatneutrale energiedragers zijn vervangen door niet-klimaatneutrale energiedragers.

2.7 Beperkingen van de SA-2020

De energietransitie is een complex geheel met een groot aantal technologieën, meerdere energiedragers, verschillende actoren, ruimtelijke verschillen en diverse andere componenten. Om uitspraken te kunnen doen over de energietransitie en verschillende aardgasvrije opties te vergelijken wordt veel gebruik gemaakt van modellen. Modellen bieden hierbij namelijk een houvast, omdat deze de mogelijkheid bieden om de werkelijkheid te versimpelen en terug te brengen tot concrete rekenregels. Op basis van deze formules en nationale data is het mogelijk om de verschillende aardgasvrije opties met elkaar te vergelijken op basis van kosten, energiedragers en CO₂-uitstoot. Bij de totstandkoming van een model wordt getracht om zoveel mogelijk aan te sluiten bij de praktijk. Het Vesta MAIS-model is sinds 2010 in ontwikkeling, waarbij over de tijd het model is uitgebreid met rekenregels om de praktijk beter te benaderen. Daarnaast wordt er constant gewerkt aan

het verzamelen van nieuwe data en het verbeteren van bestaande data. Eén van deze momenten was begin 2019, waarbij er diverse validatiesessies zijn gehouden (met in totaal circa 200 deelnemers) met diverse marktpartijen om de belangrijkste inputgegevens te controleren en eventueel aan te vullen. Hierbij is ingegaan op de getallen die worden gebruikt voor energiebesparing bij woningen (TNO, 2019a) en utiliteit (TNO, 2019b). Daarnaast is er ook ingegaan op de uitgangspunten voor warmtenetten en diverse andere technologieën (CE Delft, 2019b). Sinds deze validatiesessies zijn er nog diverse andere stappen gezet in de inputdata voor het model en de rekenregels, welke verder worden besproken in dit document.

Er worden dus diverse activiteiten ondernomen om het model zo goed mogelijk aan te laten sluiten op de praktijk, maar er zijn nog een groot aantal factoren die niet meegenomen worden. Er zijn diverse factoren die op lokaal niveau spelen en die een (grote) invloed kunnen hebben op de uiteindelijke kosten om een aardgasvrije warmtevoorziening te realiseren. Om deze reden wordt in de *Handreiking voor lokale Analyse* (ECW, 2021) aangegeven welke stappen een gemeente kan zetten om de analyse voor een bepaalde buurt/wijk/gemeente te verbeteren. Hierbij kan het gaan om de aanpassing van de beschikbare warmte van een warmtebron, de kosten om de weg open te breken of diverse andere posten. Hierbij kan het zowel goedkoper als duurder uitvallen dan in de Startanalyse resultaten.

De Startanalyse gaat verder alleen in op de nationale kosten. Deze kosten zijn geschikt voor het afwegen van aardgasvrije opties vanuit een maatschappelijk perspectief, maar niet voor het perspectief vanuit actoren. Daarvoor moeten de eindgebruikerskosten op actorniveau worden doorgerekend en niet op buurniveau. In het Dashboard Eindgebruikerskosten wordt een beeld gegeven van de eindgebruikerskosten van de warmtetransitie, gekoppeld aan de strategieën in de SA-2020 (TNO, 2021). De eindgebruikerskosten worden hierbij gegeven voor het nationale gemiddelde en niet per buurt in Nederland.

Naast de kosten en technologische afwegingen zijn er nog diverse andere factoren die een rol spelen bij de implementatie van een aardgasvrije warmtevoorziening. Hierbij gaat het om het gezamenlijke proces als maatschappij om over te gaan naar een aardgasvrije warmtevoorziening. Het gaat daarbij om het draagvlak onder bewoners, het goed informeren van bewoners, het afstemmen van vergunningen en nog een groot aantal andere factoren. Deze worden niet meegenomen in een techno-economische verkenning, zoals met het Vesta MAIS-model maar dit maakt deze factoren niet minder belangrijk. De SA-2020 is bedoeld om de gemeenten te ondersteunen bij het opstellen van hun warmtetransitievisie door het geven van zo goed mogelijke inzichten in de techno-economische aspecten. Het Expertise Centrum Warmte (ECW) heeft als taak gemeenten te helpen om de SA-2020 te gebruiken. Daarbij is ook een handreiking voor gemeenten (handreiking voor lokale analyse) beschikbaar gemaakt.

Kortom, de resultaten van de Startanalyse geven een goed startpunt voor de verkenning van een aardgasvrije warmtevoorziening, maar bij de uiteindelijke transitie naar deze aardgasvrije warmtevoorziening spelen nog een groot aantal (lokale) factoren een rol in de besluitvorming.

METHODE EN STARTJAAR

3 Het Vesta MAIS-model

Dit hoofdstuk start met een beschrijving van het Vesta MAIS-model op hoofdlijnen. Vervolgens wordt in meer detail getreden over de modellering van enkele kernonderwerpen, zoals energiebesparing, warmtenetten of gas- en elektriciteitsnetten. Deze, en andere onderwerpen, zijn essentieel om de werking van het model goed te begrijpen en daarmee de uitkomsten goed te interpreteren. Er is voor gekozen om enkele onderwerpen van het model toe te lichten met name sommige complexere belangrijke onderwerpen waarover in het verleden vaak vragen kwamen. Alle methoden worden ook (uitgebreid) toegelicht in het functioneel ontwerp 5.0 van het Vesta MAIS-model (Van der Molen et al, 2021). In het voorliggende hoofdstuk worden ook de verbindingen gelegd met specifieke paragrafen in het functioneel ontwerp zodat lezers direct weten waar ze moeten zijn binnen het functioneel ontwerp. Daarnaast worden ook de verbindingen gelegd met andere achtergronddocumenten voor lezers die geïnteresseerd zijn in de onderbouwing van data en methoden.

3.1 Algemene beschrijving van 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 gebouweigenaren in beeld alsmede de financiële gevolgen voor de gebruikers van energie⁵;
- 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.

3.1.1 Technisch-economische verkenning

Vesta MAIS brengt de kosteneffectiviteit van gebouw- en gebiedsmaatregelen voor de warmte-transitie 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

⁵ Het Vesta MAIS-model biedt deze mogelijkheid, maar in het kader van de SA-2020 zijn de eindgebruikerskosten apart in beeld gebracht door TNO (TNO, 2021)

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 2017⁶. Het Vesta MAIS-model is eigendom van het Planbureau voor de Leefomgeving. Iedereen kan vrijelijk beschikken over het open source model met inachtneming van de GNU General Public License Version 3.

3.1.4 Onderscheid Vesta MAIS-model en Startanalyse

In dit hoofdstuk wordt een beschrijving gegeven van het Vesta MAIS-model in relatie tot de Startanalyse, hierbij worden beide termen regelmatig aangehaald. Om het verschil duidelijk te maken worden beide termen hier expliciet toegelicht. Het Vesta MAIS-model is het model dat ontwikkeld is door het PBL en dit geeft de gehele set aan rekenregels die wordt gebruikt om de warmtetransitie in de gebouwde omgeving te modelleren. De Startanalyse is een specifieke toepassing van het Vesta MAIS-model. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de rekenregels binnen het Vesta MAIS-model en wordt het model zo ingesteld dat deze overeenkomt met de uitgangspunten voor de Startanalyse. De Startanalyse maakt gebruik van het Vesta MAIS-model, maar het Vesta MAIS-model kan ook worden ingezet voor andere analyses.

⁶ Modelcode en bijbehorende wiki zijn te raadplegen op <https://github.com/RuudvandenWijn-gaart/VestaDV/wiki>

3.2 Energiebesparing

Eén van de maatregelen om CO₂-emissies te reduceren is de toepassing van energiebesparende maatregelen. Het doel van deze maatregelen is het reduceren van de energievraag om een bepaalde functionaliteit te realiseren. Functionaliteiten kunnen variëren van het rijden van een auto, industriële processen, lichtvoorziening en de verwarming van gebouwen. Binnen het Vesta MAIS-model ligt de focus op deze laatste functionaliteit. Energiebesparende maatregelen binnen het Vesta MAIS-model richten zich op het reduceren van de warmtevraag van een woning of een utiliteitsgebouw. De elektriciteitsvraag van apparaten en verlichting is wel opgenomen binnen het model, maar er worden geen specifieke energiebesparende maatregelen doorgerekend om de elektriciteitsvraag te reduceren. Wel is het mogelijk om een autonome toe- of afname van de elektriciteitsvraag op te geven, zoals verder wordt toegelicht in paragraaf 7.1.1.3 van het functioneel ontwerp 5.0 (Van der Molen et al, 2021). Voor het reduceren van de warmtevraag worden wel specifieke maatregelen meegenomen binnen het Vesta MAIS-model, waarbij het voornamelijk gaat om maatregelen om de ‘schil’ van een gebouw te verbeteren. Deze schilverbetering kan worden gerealiseerd door (betere) isolatie te plaatsen in de vloer, het dak of in de gevel van een gebouw. Daarnaast is het mogelijk om het glas te vervangen door beter geïsoleerd glas.

Al deze maatregelen hebben als doel om het warmteverlies van een gebouw zoveel mogelijk te beperken, waarbij het beperken van deze verliezen resulteert in een reductie in de benodigde energie om het huis warm te houden. Er zijn verschillende maatregelen om het warmteverlies uit te drukken, maar één van de meer gebruikte methoden is de Rc-waarde (Resistance construction). Deze Rc-waarde kan worden vastgesteld per gebouwdeel (dak, vloer, etc.), waarbij in het algemeen geldt dat de Rc-waarde omhooggaat wanneer een gebouwdeel beter geïsoleerd wordt. Het effect van deze energiebesparende maatregelen op het warmteverbruik van een gebouw zou dan vastgesteld kunnen worden, alleen er zijn op dit moment nog verschillende inzichten over het effect dat deze isolerende maatregelen hebben. In hoofdstuk 2 van het ‘Achtergronddocument: Bepaling energiebesparing door isolatie van woningen in de Startanalyse 2020’ (Van den Wijngaart & Van Polen, 2020) worden de ‘gemeten verbruik’ methode en ‘berekend verbruik’ methode naast elkaar gezet. Beide methoden kunnen worden ingezet voor de vaststelling van de hoeveelheid bespaarde energie bij toepassing van energiebesparende maatregelen, maar er zitten wel grote verschillen in de effecten.

In de ‘berekend verbruik’ methode wordt meer uitgegaan van een theoretische benadering. Het verbruik in een woning wordt hierbij berekend op basis van de theoretische inschatting wat de woning zou moeten verbruiken gegeven de staat van de woning. Hierbij wordt niet/nauwelijks rekening gehouden met het gedrag van bewoners. In de ‘gemeten verbruik’ methode wordt gebruik gemaakt van praktijkdata, waarbij het energieverbruik, op basis van 6,2 miljoen woningen, wordt gekoppeld aan verschillende energielabels. Beide methoden hebben hun voor- en nadelen (zoals toegelicht in Van den Wijngaart & Van Polen (2020)), maar in de Startanalyse wordt uitgegaan van de ‘gemeten verbruik’ methode bij woningen. Hierbij is het verschil tussen theoretisch en gemeten verbruik al langer bekend, zoals bijvoorbeeld te zien in figuur B1.1. in het rapport ‘Op weg naar een klimaatneutrale woningvoorraad in 2050’ (Van den Wijngaart et al, 2014).

Voor utiliteit is het niet mogelijk om dezelfde vergelijking te maken door de grote diversiteit aan gebruiksfuncties binnen utiliteit en de databeperkingen die dit met zich meebrengt. Hierbij wordt daarom nog voortgebouwd op de methode zoals beschreven in TNO (2019b).

De opbouw van deze paragraaf is als volgt; eerst wordt ingegaan op de methode die wordt gebruikt voor de vaststelling van de hoeveelheid energie die bespaard wordt bij een schilsprong van schillabel X naar schillabel Y bij woningen (paragraaf 3.2.1). Vervolgens wordt ingegaan op de methode die is gehanteerd voor de vaststelling van de investeringsbedragen die gepaard gaan met deze schilsprongen (paragraaf 3.2.2) bij woningen. Als laatste wordt ingegaan op de methode die wordt gehanteerd voor energiebesparing binnen de utiliteitssector (paragraaf 3.2.3).

3.2.1 Woningen, besparing in energieverbruik

Hierboven worden enkele individuele maatregelen genoemd om de warmtevraag van woningen te reduceren, zoals het isoleren van de gevel of het vervangen van glas. Binnen het Vesta MAIS-model worden deze maatregelen niet allemaal individueel doorgerekend, maar wordt gerekend met pakketten van energiebesparende maatregelen. Deze pakketten van maatregelen voor energiebesparing worden aangeduid als schilsprongen, omdat de schil (buitenkant) van de woning wordt verbeterd. De grootte van deze **schilsprong** hangt af van het huidige isolatieniveau en het beoogde isolatieniveau, waarbij de isolatieniveaus worden aangeduid met de term schillabel. De term **schillabel** is hiermee een indicatie voor het isolatieniveau van een woning.

Binnen het Vesta MAIS-model wordt voor elke woning met een bij RVO afgemeld energielabel in Nederland een schillabel vastgesteld. Hiervoor worden de energielabels als uitgangspunt genomen. Het bij RVO afgemelde energielabel is namelijk een combinatie van isolatiemaatregelen, de installatie voor de warmtevoorziening (bijvoorbeeld een HR-ketel) en de opwek van hernieuwbare energie (bijvoorbeeld met een zonnepaneel). Het conceptuele verschil tussen een energielabel en een schillabel is dat schillabels alleen verwijzen naar het isolatieniveau, terwijl energielabels ook de opwek kunnen omvatten. Binnen het Vesta MAIS-model worden deze componenten (verwarmingsinstallatie, isolatie en hernieuwbare opwek) separaat gemodelleerd, waarbij het energielabel alleen als indicatie voor het schillabel wordt gebruikt. Met andere woorden: woningen met schillabel X kunnen met verschillende verwarmingsinstallaties, zoals de HR-ketel, de elektrische warmtepomp, de hybride warmtepomp of de aansluiting op een warmtenet worden doorgerekend.

Binnen het Vesta MAIS-model wordt het energielabel als proxy gehanteerd voor het schillabel van een woning, en dus een indicatie van het isolatieniveau. Wanneer het gasverbruik van een goed label (bijvoorbeeld label B) wordt afgetrokken van het gasverbruik van een minder goed label (bijvoorbeeld label E) geeft dit een indicatie van de besparing in gas bij een schilsprong van label E naar label B. Het verschil in gasverbruik wordt hiermee verklaard door een verschil in isolatiemaatregelen. Mogelijke afwijkingen kunnen optreden doordat:

- In de vertaling van energielabel naar schillabel wordt verondersteld dat de HR-ketel HR-107 de verwarmingsinstallatie is⁷. De laatste 10 jaar is de verkoop van dit type ketel de standaard geworden, maar nog niet alle woningen zullen deze ketel hebben. Op het totaal zal dit effect relatief klein zijn vanwege de hoge penetratie van de HR-ketel.
- De penetratie van zonnepanelen op woning is de afgelopen jaren sterk toegenomen. De invloed van zon-PV op het gemiddelde gasverbruik per energielabel is beperkt, zoals wordt toegelicht in 'Achtergronddocument: Bepaling energiebesparing door isolatie van woningen in de Startanalyse 2020' (Van den Wijngaart & Van Polen, 2020). Het energielabel van

⁷ Het aandeel (elektrische) warmtepompen is nog relatief klein en hiermee ook de invloed van deze verwarmingsinstallaties op de inschatting van energielabels. De afwijking is hierdoor nu nog relatief klein, maar kan in de toekomst groter worden als het aandeel (elektrische) warmtepompen toeneemt.

een woning wordt wel beter als gevolg van de installatie van een woning. Het is daarom mogelijk dat woningen minder goed geïsoleerd zijn dan verondersteld met de aanname energielabel is gelijk aan schillabel.

- Niet alle woningen hebben een RVO-afgemeld energielabel. Het gasverbruik van de woningen zonder energielabel is apart in beeld gebracht in 'Achtergronddocument: Bepaling energiebesparing door isolatie van woningen in de Startanalyse 2020' (Van den Wijngaart & Van Polen, 2020). Het gemiddelde gasverbruik van woningen zonder afgemeld energielabel blijkt hierbij hoger te zijn dan van de meeste afgemelde labels.
- Het kan zijn dat woningen al wel energiebesparende maatregelen hebben genomen, maar dat deze woningen nog geen nieuw afgemeld energielabel hebben. Denk hierbij aan woningeigenaren die na de koop van een woning grondig gaan verbouwen, waarbij mogelijk ook energiebesparende maatregelen worden toegepast. Bij de verkoop van een woning is het sinds 1 januari 2015 verplicht om een energielabel te overhandigen. Woningeigenaren vragen meestal niet een nieuw energielabel aan na de verbouwing (met energiebesparende maatregelen). Deze maatregelen worden dan pas zichtbaar wanneer de woning weer verkocht wordt.

De aanname dat het schillabel gelijk is aan het energielabel heeft dus enkele nadelen, maar het is wel een verbetering van de inschatting van het gasverbruik van een woning. In eerdere versies van het Vesta MAIS-model werd het gasverbruik alleen gebaseerd op het woningtype en de bouwjaar-klasse van een woning (voorlopig energielabel), maar het afgemelde energielabel geeft aan of er toch al besparende maatregelen zijn getroffen in een woning. In het Vesta MAIS-model wordt om deze reden het energielabel als proxy voor het schillabel gebruikt. Om een indruk te krijgen van het aantal (afgemelde) energielabels geeft paragraaf 4.3 een overzicht van de verdeling van energielabels bij woningen in het startjaar (2019) van de Startanalyse (SA-2020).

Inschatting van het gasverbruik

Met de aanname dat een afgemeld energielabel een proxy is voor het schillabel is het mogelijk om een inschatting te maken van het gasverbruik per schillabel. De basis voor deze inschatting zijn de gemeten aardgasleveringen aan woningen binnen de database van het CBS. De data van het CBS bevat circa 7,7 miljoen woningen in 2018, waarbij circa de helft van deze woningen een afgemeld energielabel heeft bij RVO (+/- 3,6 miljoen woningen). Het CBS geeft hierbij aan dat van de 7,7 miljoen woningen ongeveer 6,2 miljoen woningen een plausibel aardgasverbruik hebben (CBS, 2020). Woningen aangesloten op een warmtenet maar met alleen een gasaansluiting voor kookgas vallen hierbij niet onder een plausibel aardgasverbruik, omdat het aardgas niet ingezet wordt voor de verwarming van hun woning. Dergelijke woningen vallen wel onder het totaal aantal woningen (7,7 miljoen), maar niet onder woningen met een plausibel aardgasverbruik (6,2 miljoen) omdat deze een verstoring effect zouden hebben op de inschatting van het gasverbruik voor verwarming. Daarnaast zijn er nog diverse andere redenen voor de 1,5 miljoen woningen die buiten de analyse vallen, zoals andere warmtenetten, institutionele huishoudens (kloosters, studentenhuizen etc.), koppelp Problemen of diverse anderen redenen die ook worden toegelicht in; meten met twee maten' (Van Middelkoop et al, 2018). De reden dat deze niet worden meegenomen is dat deze een verstoring effect kunnen hebben op de inschatting van het gasverbruik voor verwarming dat nodig is voor het Vesta MAIS-model.

Op basis van de 6,2 miljoen woningen met een plausibel aardgasverbruik wordt een lineair verband vastgesteld voor het gasverbruik voor ruimteverwarming, afhankelijk van een set van woningkenmerken. Voor woningen met een afgemeld energielabel bij RVO worden vier woningkenmerken gebruikt, namelijk het woningtype, het bouwjaar, de oppervlakte van de woning en het energielabel.

Tabel 3 geeft een voorbeeld van het gemiddeld gasverbruik (in m³/jaar) op basis van deze kenmerken zoals deze opgenomen is in de CBS-data (CBS, 2020). Achter elk gemiddeld verbruik opgenomen in deze tabel zitten minimaal 50 woningen waarop elk gemiddeld verbruik gebaseerd is, waarbij in CBS (2020) wordt aangegeven hoeveel woningen achter elk van deze gemiddelden zit.

Tabel 3

Gemiddeld gasverbruik (in m³/jaar) voor appartementen gebouwd in de periode 1200 – 1929 per energielabel en oppervlakteklasse (CBS, 2020)⁸

Oppervlakteklasse	Geen	A	B	C	D	E	F	G
2m ² tot 15m ²	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
15m ² tot 50m ²	850	630	660	720	730	780	820	820
50m ² tot 75m ²	1 020	770	790	850	890	950	1 000	990
75m ² tot 100m ²	1 270	910	960	1 030	1 090	1 150	1 180	1 250
100m ² tot 150m ²	1 520	1 100	1 190	1 250	1 320	1 440	1 430	1 460
150m ² tot 250m ²	1 910	1 520	1 590	1 670	1 730	1 800	1 820	1 860
250m ² tot 500m ²	2 300	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
500m ² tot 10.000m ²	2 260	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.

Aanname is dat deze woningkenmerken van invloed zijn op het gasverbruik van een woning. Voor woningen zonder afgemeld energielabel bij RVO wordt een algemene categorie “Geen label” gebruikt. De inschatting van het gasverbruik van deze woningen is alleen gebaseerd op de eerste drie woningkenmerken en geeft hiermee een meer generieke inschatting van het gasverbruik. Op basis van deze gegevens is het mogelijk om een lineair verband vast te stellen waarbij het gasverbruik afhankelijk is van de oppervlakte van de woning. De stappen die worden gezet om van het gemiddelde gasverbruik voor de vier woningkenmerken te komen tot een lineair verband worden beschreven in Van den Wijngaart & Van Polen (2020).

Een overzicht van de resulterende lineaire verbanden per combinatie van woningtype, bouwjaar-klasse en energielabel is opgenomen in de bijlage van het functioneel ontwerp 5.0, tabel B.4 (Van der Molen et al, 2021).

Met de aanname dat het energielabel een proxy is voor het schillabel is het nu mogelijk om het verschil in gasverbruik te bepalen wanneer energiebesparende maatregelen worden toegepast. Het effect van energiebesparende maatregelen is daarbij wel afhankelijk van de grootte van de woning, net als het investeringsbedrag (zoals toegelicht in de volgende paragraaf). Daarbij wordt het effect van energiebesparende maatregelen bepaald door het verschil in gasverbruik vast te stellen bij het huidige schillabel (startlabel) en het verbruik bij betere energielabels.

Energiebesparing in de Startanalyse

Op verzoek van een aantal gemeenten is er in de tweede isolatieniveau toegevoegd binnen de berekeningen van de SA-2020. In de SA-2019 werd nog uitgegaan van één isolatieniveau (schillabel B), maar in de SA-2020 zijn er doorrekeningen met schillabel D toegevoegd. In de berekening wordt ervan uitgegaan dat woningen met een beter energielabel dan het doellabel (schillabel B of D) niet

⁸ N.g. betekent dat het cijfer onbekend is, onvoldoende betrouwbaar of geheim (meestal bij een laag aantal woningen voor een cel (minder dan 50 woningen))

meer hoeven te isoleren. Alleen bij woningen met een slechter schillabel dan het doellabel, of woningen zonder een afgemeld energielabel met een hoger gasverbruik dan bij het doellabel worden geïsoleerd binnen de Startanalyse. Het verschil in de methodes bij woningen met/zonder afgemeld energielabel wordt hieronder verder toegelicht.

Voor **woningen met een afgemeld energielabel** geldt dat alle woningen met een slechter energielabel dan het doellabel (schillabel B of D) geldt dat deze woningen gaan isoleren tot het niveau van het doellabel. Bijvoorbeeld, stel het huidige energielabel van een woning is het energielabel C. Wanneer een variant een doellabel heeft van label D, dan hoeft de woning geen energiebesparende maatregelen toe te passen omdat deze woning al een beter energielabel heeft dan het doellabel. De woning blijft dus op het huidige energielabel van C.

In de varianten met een doellabel B verandert dit. Het startlabel van de woning (C) is namelijk slechter dan het doellabel (B). Het gevolg is dat de woning energiebesparende maatregelen toepast om te komen tot doellabel B, hierdoor gaat het gasverbruik omlaag maar de woningeigenaar moet wel investeringen doen om de maatregelen te plaatsen (zie paragraaf 3.2.2).

Een aandachtspunt, dat naar voren kwam bij de analyse van de afgemelde energielabels, is nog wel dat sommige afgemelde energielabels strijdig waren met de toen geldende bouwvoorschriften. Bij de bouw van woningen na 2000 gelden verschillende bouwvoorschriften die al maken dat een minimum energielabel bereikt wordt. Wanneer het afgemelde energielabel slechter is dan deze minimum bouwvoorschriften voorschrijven wordt dit gecorrigeerd binnen de Startanalyse. Dit betekent dat het afgemelde energielabel wordt genegeerd en er wordt uitgegaan van de energieprestatie conform de bouwvoorschriften.

Bij **woningen zonder een afgemeld energielabel** is het iets minder eenvoudig. De woningen zonder energielabel hebben een aparte (meer generieke) inschatting van het gasverbruik voor ruimteverwarming. Er wordt wel onderscheid gemaakt naar bouwjaarklasse en woningtype, maar alle woningen zonder afgemeld energielabel worden gezamenlijk geanalyseerd bij de vaststelling van het gemiddelde gasverbruik. Deze wordt, net als bij woningen met energielabels, uitgedrukt in een lineair verband waarbij het gasverbruik afhankelijk is van oppervlakte, woningtype en bouwjaar-klasse. Op basis van dit lineaire verband kan worden berekend wat het gemiddelde gasverbruik is van een woning en of dit hoger is dan het gemiddelde gasverbruik bij een doellabel (schillabel B of D). Wanneer het gasverbruik lager is dan bij het doellabel dan gebeurt er niks in de woning, maar wanneer het gasverbruik hoger is dan bij het doellabel dan moeten energiebesparende maatregelen worden toegepast.

Stel dat het gasverbruik voor ruimteverwarming van een woning (rijwoning tussen, gebouwd tussen 1975 en 1991) zonder afgemeld energielabel circa 30 GJ/jaar is. Het gemiddelde gasverbruik bij doellabel D voor deze woning is 27,5 GJ/jaar en bij doellabel B is dit 23 GJ/jaar. In dit geval zal de woning zonder afgemeld energielabel bij beide doellabels investeren in energiebesparende maatregelen om te komen op het doellabel B of D. Bij woningen die later gebouwd zijn is het gemiddelde energieverbruik van een woning zonder energielabel lager. Een tussenwoning zonder energielabel gebouwd tussen 2015 en 2020 heeft een verbruik van circa 18 GJ/jaar. Het gemiddelde energieverbruik van een woning met label D in deze bouwjaar-klasse is 22 GJ/jaar en dat van doellabel B 17 GJ/jaar. Deze woning zonder energielabel zou in het geval van een doellabel D geen energiebesparende maatregelen nemen, maar in het geval van een doellabel B wel. De benodigde investeringen worden meegeschaald op basis van de verbetering in het energieverbruik, dit wordt verder toegelicht in paragraaf 3.2.2.

Tot slot

Het energielabel wordt gebruikt als proxy voor het schillabel binnen het Vesta MAIS-model. Door het energielabel te combineren met de data over woningtype, bouwjaarklasse en oppervlakteklasse en het gasverbruik per aansluiting is het mogelijk om een inschatting te maken van het gasverbruik voor ruimteverwarming per combinatie van deze kenmerken. Met deze gegevens is het vervolgens mogelijk om het effect van energiebesparing te berekenen door te kijken naar het verschil in gasverbruik tussen startlabel en doellabel. Binnen de Startanalyse wordt dit gebruikt als inschatting voor het effect van energiebesparing.

De Startanalyse hanteert twee verschillende doellabels; schillabel B en D. Ongeveer 18% van de woningen (zie paragraaf 4.3) heeft al een afgemeld energielabel B of A. Binnen de Startanalyse passen deze woningen geen energiebesparende maatregelen toe, omdat deze al voldoende geïsoleerd zijn voor alle varianten. Daarnaast zijn er nog woningen zonder afgemeld energielabel met een verbruik dat lager is dan label B, deze woningen passen ook geen energiebesparende maatregelen toe. In varianten met doellabel B passen de overige woningen energiebesparende maatregelen toe naar het niveau van schillabel B. Hierbij worden de woningen die niet voldoen aan het doellabel 'gedwongen' om energiebesparende maatregelen te nemen. Energiebesparende maatregelen binnen de Startanalyse worden niet doorgerekend op basis van rentabiliteit, maar alle woningen (ongeacht of het een positieve businesscase is) die niet voldoen aan doellabel worden energiebesparende maatregelen opgelegd.

Bij de varianten met doellabel D passen minder woningen energiebesparende maatregelen toe, omdat meer woningen al een afgemeld energielabel D of beter hebben. Circa 38% van de woningen heeft al een afgemeld energielabel van label D of beter en daarnaast zijn er woningen zonder afgemeld label met een lager gasverbruik dan bij label D die ook geen energiebesparende maatregelen hoeven te nemen. De huidige isolatiegraad kan van invloed zijn op de hoeveelheid woningen die energiebesparende maatregelen moeten nemen, waarbij dit ook van invloed kan zijn op de varianten met de laagste nationale kosten per buurt.

Gedurende de ontwikkeling van de twee versies van de Startanalyse liep er daarnaast ook een traject om een Standaard voor woningisolatie te ontwikkelen. Deze Standaard had als doel om een beeld te geven van wat goede en toekomstvaste woningisolatie kan worden beschouwd (Ministerie van BZK, 2021a). Met toekomstvaste woningisolatie wordt hier bedoeld dat de woning een mate van isolatie heeft die ongeacht de toekomstige warmtebron niet nogmaals geïsoleerd hoeft te worden of waar ingrijpende aanpassingen moeten worden gedaan aan het warmteafgiftesysteem. Het is namelijk nog onzeker hoe de toekomstige warmtevoorziening eruit gaat zien en met deze mate van isolatie kan een woning inspelen op alle vormen. Deze Standaard is niet direct vergelijkbaar met de schillabels, doordat bij schillabels wordt uitgegaan van de methode voor energielabels (die tot 2020 gebruikt is). Voor de Standaard is gebruik gemaakt van de rekenmethode NTA 8800, die ook ten grondslag ligt aan de bepaling van de energielabels vanaf 2021 (Ministerie van BZK, 2021b). Grofweg zit de Standaard voor vooroorlogse woningen in de buurt van schillabel D en voor naoorlogse woningen in de buurt van schillabel B (Ministerie van BZK, 2021b).

3.2.2 Woningen, investeringsbedragen bij energiebesparing

De vorige paragraaf geeft een beschrijving van de methode die wordt gebruikt voor de vaststelling van de hoeveelheid bespaarde energie bij een schilspiong. In deze paragraaf wordt ingegaan op de investeringen die moeten worden gedaan om deze energiebesparende maatregelen toe te passen. De basis voor de vaststelling van deze investeringsbedragen is dezelfde uitsplitsing als bij de

vaststelling van het energieverbruik. In de basis verschillen de investeringsbedragen voor de volgende kenmerken:

- Woningtype
- Bouwjaarklasse
- Oppervlakte van de woning

Daarbij wordt er onderscheid gemaakt naar verschillende schilsprongen, wat inhoudt dat het investeringsbedrag afhankelijk is van de hoeveelheid maatregelen die wordt genomen. Het investeringsbedrag vanaf startlabel E naar doellabel D is bijvoorbeeld lager dan het bedrag vanaf startlabel E naar doellabel B, omdat in het tweede geval meer maatregelen worden genomen. Hieronder wordt de methode kort beschreven, waarbij in bijlage B.1 in meer detail wordt ingegaan op de onderbouwing. De resulterende investeringsbedragen zijn te vinden in bijlage B.5 van het functioneel ontwerp 5.0 (Van der Molen et al, 2021). Voor elke combinatie van woningtype, bouwjaarklasse en schilsprong wordt een lineair verband opgesteld voor het investeringsbedrag, waarbij de richtingscoëfficiënt binnen dit lineaire verband gerelateerd is aan de oppervlakte van de woning. Wat hierbij opvalt is dat de investeringsbedragen gelijk zijn voor verschillende bouwjaarklassen of dat investeringsbedragen alleen een vaste waarde hebben (en geen oppervlakte-afhankelijk component). Beide observaties hebben te maken met het aantal observaties van een bepaalde schilsprong, wat in meer detail wordt toegelicht in bijlage B.1.

Pakketten van maatregelen

Binnen het Vesta MAIS-model geven schillabels het isolatieniveau van woningen aan en wordt energiebesparing aangegeven met de term van schilsprong. Een schilsprong houdt hierbij in dat de schil wordt aangepast van het huidige schillabel naar een beter schillabel. De besparing op het gasverbruik wordt toegelicht in paragraaf 3.2.1, maar om deze sprong te realiseren is een investering nodig. Hiervoor is een inschatting nodig van de maatregelpakketten van energiebesparende maatregelen die nodig zijn om te komen van schillabel X naar schillabel Y. De benodigde pakketten aan isolatiemaatregelen worden berekend met behulp van de TNO Variatietool. Een model dat de data uit de Woononderzoeken (WoON) combineert met data over de kosten om woningen te verduurzamen en zo uitspraken te kunnen doen over de kosten en baten van deze verduurzaming⁹. Voor de Startanalyse is dit model gebruikt om een inschattingen te maken van de investeringsbedragen voor de schilsprongen naar de schillabels B, C en D (doellabels). Hierbij gaat het om maatregelpakketten die kunnen springen van alle slechtere schillabels naar deze doellabels. Er is een grote variatie in de maatregelpakketten om deze schilsprong te realiseren, zo zou er meer vloerisolatie of gevelisolatie toegepast kunnen worden om het doellabel te bereiken maar de kosten verschillen wel per maatregel. Binnen de Variatietool worden verschillende configuraties van maatregelpakketten naast elkaar gezet om het doellabel te bereiken en het pakket met de laagste kosten wordt toegepast. Samengevat worden de volgende stappen doorlopen¹⁰:

1. TNO is gevraagd om maatregelpakketten door te rekenen naar schillabels B, C of D.
2. De basis van de TNO Variatietool zijn de woningen in de Woononderzoeken (WoON), met om de zes jaar een aparte module over energie (Ministerie van BZK, 2019). Het laatste WoON bevatte circa 4.500 woningen binnen de energiemodule. Bij al deze woningen is een inspecteur langs geweest om het energielabel vast te stellen.

⁹ Er is helaas geen openbare documentatie van de Variatietool, voor meer informatie kan contact op worden genomen met TNO

¹⁰ Doordat niet alle data openbaar is, is het niet mogelijk om deze stappen helemaal te reproduceren

3. Voor ongeveer de helft van de woningen (circa 2.350 woningen) was het mogelijk om een inschatting te maken van de energiebesparende maatregelen die konden worden gedaan om te komen tot minimaal label B. De andere helft van de woningen had al een energielabel B of beter (en hoeven dus niet meer te isoleren), of er waren andere redenen waarom geen maatregelen konden worden vastgesteld¹¹.
4. Het ingenieursbureau DGMR stelt vervolgens per woning verschillende pakketten van energiebesparende maatregelen vast die resulteren in betere schillabels voor deze woningen. Voor elke schilsprong worden verschillende pakketten van maatregelen samengesteld om het gewenste schillabel te bereiken. Hierbij wordt alleen gewerkt met isolatiemaatregelen voor vloer, gevel, bodem of glasoppervlak. Voor woningen met slechtere startlabels (bijvoorbeeld label F) kunnen meerdere schilsprongen in beeld gebracht worden, deze woningen kunnen namelijk nog springen naar doellabel D, C en B. In totaal worden er hierdoor ongeveer 3.350 schilsprongen in beeld gebracht voor de 2.350 woningen.
5. Vervolgens combineert TNO de pakketten van DGMR met kostendata van Arcadis (RVO, 2019) van de verschillende maatregelen.
6. Na deze combinatie is het mogelijk om de configuratie aan maatregelen te selecteren met de laagste kosten om de schilsprong te realiseren. Per woning wordt hiermee voor elke schilsprong naar doellabels B, C en D een inschatting gegeven van de investeringsbedragen om deze schilsprong te realiseren.

Deze gegevens zijn door TNO opgeleverd aan het PBL, waarbij het PBL nog één stap heeft toegevoegd. De investeringsbedragen worden nog vertaald naar een lineair verband, afhankelijk van de oppervlakte van de woning. De stappen die hierin worden gezet worden verder toegelicht in bijlage B.1.

Verschillen met de SA-2019

De eerste aanpassing in de SA-2020 ten opzichte van de SA-2019 is het gebruik van een nieuwe versie van de Woononderzoek 2018 (WoON-2018, Ministerie van BZK (2019)) in plaats van het Woononderzoek uit 2012 (WoON-2012, Ministerie van BZK (2013)). Het Woononderzoek (WoON) rapporteert over een uitgebreid enquêteonderzoek onder huishoudens met een lid van minimaal 18 jaar die woonachtig zijn in Nederland. In WoON-2018 ging het om ruim 67.500 ondervraagde personen. Begin 2019 is er het WoON-2018 gepubliceerd inclusief een hernieuwd onderdeel met vragen die specifiek gaan op energie (de energiemodule) (Ministerie van BZK, 2019). In totaal hebben circa 4.500 huishoudens de energiemodule ingevuld, waarbij deze energiemodule van het WoON een belangrijke input is voor de TNO Variatietool. Het was nog niet mogelijk om het nieuwe WoON mee te nemen bij de publicatie van de SA-2019, maar het nieuwe WoON is wel meegenomen binnen de resultaten van de SA-2020.

Deze update heeft direct gevolgen voor de inschatting van de investeringsbedragen doordat er andere woningen zijn opgenomen in de energiemodule van WoON. Doordat het hier gaat om beperkt aantal respondenten (4.500) kunnen relatief kleine wijzigingen in de opgenomen woningen impact hebben op de inschattingen van investeringsbedragen. In WoON-2018 zijn andere huishoudens geëncquêteerd en daarmee ook andere woningen. Een veranderde samenstelling van deze relatief kleine groep woningen kan invloed hebben op de samenstelling van pakketten van energiebesparende maatregelen en daarmee ook invloed op de inschattingen voor investeringsbedragen.

¹¹ Circa 34% van de woningen had een opgenomen energielabel door de inspecteur van label B of beter.

Daarnaast zijn er in de zes jaar tussen WoON-2012 en WoON-2018 ook stappen gezet in de gemiddelde isolatie van een woning, wat ook invloed kan hebben op de nog te behalen besparing met investeringen in energiebesparende maatregelen.

De tweede aanpassing betreft een update van de investeringsbedragen van Arcadis. In de SA-2019 versie werd nog gebruik gemaakt van Arcadis data uit 2017, maar deze database is in 2018 geüpdatet en de meest recente data zijn gebruikt als input voor de SA-2020 (RVO, 2019). De investeringsbedragen voor energiebesparing met deze nieuwe kentallen door deze update vielen hoger uit doordat de prijzen van grondstoffen en arbeid omhoog zijn gegaan. Deze verhoging van de investeringsbedragen werkt ook door in de investeringsbedragen van de Startanalyse.

Tot slot

De investeringsbedragen voor energiebesparing zijn regelmatig onderwerp van gesprek, voornamelijk doordat er een grote variatie bestaat in de inschattingen van deze bedragen. Deze variatie ontstaat vanwege verschillende redenen.

Ten eerste, er kunnen verschillen zijn in de scope van de investeringsbedragen. Gaat het alleen om de materiaalkosten van de isolatiemaatregelen, of worden ook de arbeidskosten meegenomen? Wordt hierbij alleen gekeken naar de benodigde investering van de plaatsing van de isolatie, of wordt ook de eventueel benodigde vervanging van een kozijn of muur meegenomen? Dit zijn enkele voorbeelden van verschillen in scope die invloed hebben op de hoogte van de investeringsbedragen, maar er zijn nog meer verschillen in scope die invloed kunnen hebben. Dit komt ook terug in de vergelijking van investeringsbedragen in ‘Validatie Vesta MAIS model schilisolatie Woningen’ (TNO, 2019a), waar de grote verschillen tussen de informatiebronnen een vergelijking complex maakt.

Ten tweede kunnen er ook verschillen zitten in de hoogte van de investeringen zelf. Het kan zijn dat er verschillen zitten in de kosten van materialen en arbeid die nodig zijn voor een isolatiemaatregel. Ook hier kunnen verschillen in scope een rol spelen, maar het kan ook zijn dat er andere inzichten zijn in de kostenniveaus van deze benodigdheden voor energiebesparing. Daarbij kunnen er ook verschillen zitten in de investeringsbedragen voor dezelfde woningtypen, bouwjaar en met hetzelfde oppervlakte. De vormgeving van het gebouw kan invloed hebben op het gemak waarmee energiebesparende maatregelen toegepast kunnen worden en daarmee ook op de resulterende investeringsbedragen.

In de investeringsbedragen voor energiebesparing binnen het Vesta MAIS-model wordt gewerkt met maatregelpakketten. Deze maatregelpakketten zijn combinaties van verschillende maatregelen om te komen tot een bepaald isolatieniveau horende bij een schillabel. Deze maatregelpakketten kunnen verschillen per woning, doordat bepaalde maatregelen bijvoorbeeld al wel/niet zijn toegepast of hogere kosten hebben. De berekende investeringsbedragen voor het Vesta MAIS-model zijn gebaseerd op circa 3.350 schilsprongen en trachten een zo goed mogelijk beeld voor de gemiddelde investeringen in Nederland te geven. Door een lineair verband, afhankelijk van de oppervlakte van de woning, toe te voegen wordt het effect van de grootte van de woning in beeld gebracht. De stappen die worden gezet om de lineaire verbanden per combinatie van woningtype, bouwjaarklasse en schilsprong toe te lichten worden toegelicht in bijlage B.1. Hierin wordt ook inzicht gegeven in het haalbare detailniveau per combinatie van deze woningkenmerken en schilsprong. Het Vesta MAIS-model vraagt namelijk om zeer gedetailleerde data en het is niet mogelijk

elk detail niveau te leveren op basis van de 3.350 woningen. Bijlage B.1 geeft inzicht in het detailniveau dat kan worden gegeven per woningcombinatie.

Over het geheel geven de investeringsbedragen binnen het Vesta MAIS-model een beeld van de benodigde investeringsbedragen om pakketten energiebesparende maatregelen toe te passen. Dit geeft een redelijk beeld van de gemiddelde benodigde investeringen in Nederland, maar individuele situaties kunnen zowel lager als hoger uitvallen door een grote hoeveelheid aan invloeden. Denk hierbij aan conjuncturele invloeden op de prijzen van grondstoffen en arbeid, eventuele technologische ontwikkelingen, aanscherpingen van andere (milieu-gerelateerde) eisen voor energiebesparing, mogelijkheden om als woningeigenaar zelf energiebesparing toe te passen en diverse andere invloeden op dit investeringsbedrag.

3.2.3 Utiliteitsgebouwen

De modellering van energiebesparing bij utiliteitsgebouwen volgt dezelfde opzet als bij woningen. Ook bij utiliteit wordt energiebesparing gekoppeld aan energielabels, waarbij ook hier de aanname wordt gedaan dat het energielabel een indicatie is van het schillabel. Het openbare databestand 'Ergielabels woningen en gebouwen' (RVO, 2020a) bevat niet alleen de afgemelde energielabels voor woningen, maar ook de afgemelde energielabels voor utiliteitsgebouwen. Hierbij geeft het afgemelde energielabel aan of er in een gebouw al meer maatregelen zijn toegepast binnen een gebouw. Niet alle utiliteitsgebouwen hebben al een afgemeld energielabel, maar het energieverbruik van deze gebouwen moet wel worden ingeschat binnen het Vesta MAIS-model. Bij woningen wordt dit ingeschat op basis van de brede categorie van 'Geen label', maar bij utiliteit wordt gebruik gemaakt van het default label. Dit default label wordt hieronder verder toegelicht. Vervolgens wordt ingegaan op het energieverbruik en de investeringsbedragen voor energiebesparende maatregelen. Als laatste wordt nog ingegaan op het punt dat er bij utiliteit geen onderscheid wordt gemaakt naar label B of D, maar dat utiliteit altijd minimaal label B heeft in de SA-2020.

Default labels

Binnen het Vesta MAIS-model krijgen alle utiliteitgebouwen een zogeheten 'default label'. Dit default label is een inschatting van het schillabel op basis van het type utiliteitsgebouw en de bouwjaar­klasse van het utiliteitsgebouw. Met name de bouwjaar­klasse speelt hier een belangrijke rol omdat in de afgelopen decennia er diverse momenten zijn geweest waarin de eisen aan de energetische kwaliteit van nieuwe gebouwen zijn aangescherpt. In Nieman (2021) wordt dit toegelicht voor woningen, maar dezelfde wetgeving geldt ook voor utiliteitsgebouwen. Met de verbetering van de energetische kwaliteit wordt ook het energielabel beter en daarom hebben recenter gebouwde gebouwen standaard betere default labels. De default labels voor utiliteit zoals deze zijn gehanteerd binnen het Vesta MAIS-model zijn vastgesteld bij de vaststelling van de verbruikscijfers voor utiliteit (CE Delft, 2015). In CE Delft (2015) wordt alleen geen overzicht van de default labels per combinatie van utiliteitstype en bouwjaar­klasse gepresenteerd, deze is wel te vinden in bijlage B.6 van het functioneel ontwerp 5.0 (Van der Molen et al, 2021).

Inschatting van het gas- en elektriciteitsverbruik

De basis voor de inschatting van het gas- en elektriciteitsverbruik van utiliteit binnen het Vesta MAIS-model is de studie Sipma (2014). Door combinatie van verschillende databronnen wordt in deze studie een zo goed mogelijk beeld gegeven van het referentiebeeld van de energieverbruiken per segment van een zeer diverse sector. De diversiteit in utiliteitsgebouwen is groot, waarbij de diversiteit ontstaat door grote verschillen in functie (onder andere kantoren en loodsen) en grote verschillen in oppervlakte (van rond de 100 m² tot 10.000 m²). Dit heeft allemaal invloed op het

energiegebruik van gebouwen en in Sipma (2014) wordt een zo goed mogelijk referentiebeeld gevormd. Tabel 4 geeft een overzicht van de uitgangspunten van het referentieniveau per bouwjaar-klasse voor kantoren. In deze tabel wordt ingegaan op de isolatiewaarde van de buitenmuur, het dak en de vloer. Daarnaast wordt aangegeven welke type glas aanwezig is, of er sprake is van warmteterugwinning (WTW) uit ventilatie en welk type ketel er geïnstalleerd is.

Tabel 4
Voorbeeld van het referentieniveau voor kantoren, met onderscheid naar verschillende bouwjaar-klassen (Sipma, 2014)

Bouwjaar- klassen	Buiten- muur (Rc- waarde)	Dak (Rc- waarde)	Vloer (Rc- waarde)	Glas	WTW	Ketel
0-1919	0,2	0,2	0,2	Enkel	Geen WTW	CR-ketel
1920 – 1974	0,4	0,4	0,4	Enkel	Geen WTW	VR-ketel
1975 – 1989	1,3	1,3	1,3	Dubbel	Geen WTW	HR100-ketel
1990 – 1994	2,0	2,0	2,0	Dubbel	Geen WTW	HR100-ketel
1994 - 2014	2,5	2,5	2,5	Dubbel	Geen WTW	HR107-ketel

Additioneel aan dit referentiebeeld geeft Sipma (2014) ook een beeld van de potentiële besparing op het gasverbruik na het toepassen van energiebesparende maatregelen. Hierbij geeft het rapport een beeld van het gasverbruik bij Rc-waardes van 3,5 en van 5,0, waarbij ervan wordt uitgegaan dat alle gebouwdelen worden geïsoleerd naar hetzelfde niveau. In CE Delft (2015) worden de gegevens uit Sipma (2014) omgezet naar inputbestanden voor het Vesta MAIS-model. Deze gegevens zijn allemaal gerelateerd aan het bruto vloeroppervlak (BVO) omdat er grote verschillen in de oppervlakte van de gebouwen en een vaste eenheid (gasverbruik of investering) geen recht zou doen aan de grote diversiteit in oppervlaktes.

CE Delft (2015) geeft een beeld van de potentiële besparing en de daarbij benodigde investeringen naar gemiddelde Rc-waardes van 3,5 en 5,0¹². Alleen binnen het Vesta MAIS-model wordt niet gerekend met Rc-waardes maar met energielabels. De hoogste mate van isolatie (Rc-waarde van 5,0) wordt gekoppeld aan de maximaal mogelijke isolatieklasse binnen het Vesta MAIS-model, schillabel A. Vervolgens wordt de Rc-waarde van 3,5 gekoppeld aan schillabel B. De schillabels A en B voor utiliteitsgebouwen moeten dus worden geïnterpreteerd als de Rc-waarden van 3,5 en 5,0. Dit geldt ook voor de Startanalyse, waarbij ervan wordt uitgegaan dat alle utiliteitsgebouwen worden geïsoleerd naar schillabel B (wordt verderop in deze paragraaf verder toegelicht). Dit betekent dat alle utiliteitsgebouwen worden geïsoleerd naar een gemiddelde Rc-waarde van 3,5.

De gegevens uit CE Delft (2015) zijn begin 2019 (in voorbereiding op de Startanalyse) gevalideerd, waarbij de resultaten van deze validatie zijn beschreven in TNO (2019b). Uit deze validatie volgen een aantal voorstellen voor aanpassingen, die waar mogelijk zijn overgenomen. De eerste aanpassing betreft een herijking van het referentiegebouw uit Sipma (2014). In de studie werd namelijk uitgegaan van één referentiegebouw, waarbij één verhouding werd aangehouden tussen de gevel

¹² Hierbij worden de investeringen gegeven voor een natuurlijk en zelfstandig moment, waarbij de SA-2020 gebruik maakt van de gemiddelde investeringsbedragen.

en het dak. Deze verhouding wordt wel een vormfactor genoemd. In Sipma & Rietkerk (2016) wordt een opdeling gegeven naar grootteklassen en bouwjaarklassen, met ook een opdeling naar grootteklassen binnen bouwjaarklassen. Dit geeft een spreiding in het gemiddelde gebruik per BVO bij verschillende oppervlaktegroottes, waarmee impliciet ook een spreiding van vormfactoren wordt gegeven. Voor het Vesta MAIS-model wordt een gewogen gemiddelde bepaald op basis van het werkelijke energieverbruik, o.b.v. Sipma & Rietkerk (2016), van de totale oppervlaktes (m^2 BVO) binnen dezelfde bouwjaarklasse en BAG-gebruiksfuncties. De tweede aanpassing heeft betrekking op de basis van de data voor het energiegebruik. In Sipma (2014) werd uitgegaan van de (theoretische) kengetallen voor energieverbruik (uit EPA-U). Sipma & Rietkerk (2016) geven de energiekentallen op basis van het gemeten gebruik per utiliteitsgebouw, waarbij gebruik wordt gemaakt van CBS-data over de leveringen van netbedrijven. Voor het Vesta MAIS worden deze energiekentallen op basis van het werkelijk gebruik overgenomen voor de referentiesituatie. De laatste aanpassing die wordt aangenomen is dat in alle situaties wordt uitgegaan van betere ketels, met een gemiddeld energetisch rendement van 90%.

In tabel 6 van TNO (2019b) wordt een overzicht gegeven van de resulterende functionele vraag voor ruimteverwarming na deze aanpassingen. Over het algemeen hebben deze aanpassingen geleid tot een lagere inschatting van het energieverbruik van de twee oudste bouwjaarklassen. De reden hiervoor is dat binnen de EPA-U data het gemiddelde gasgebruik van na-geïsoleerde utiliteitsgebouwen, in de twee oudste bouwjaarklassen, wordt overschat, zoals ook wordt aangetoond in Sipma & Niessink (2018). Voor gebouwen in recentere bouwjaarklassen vindt het omgekeerde effect plaats, de referentieverbruiken worden licht omhoog bijgesteld. Over het geheel is de inschatting het gas- en elektriciteitsverbruik van utiliteitsgebouwen hiermee verbeterd, maar zoals TNO (2019b) laat zien zijn er nog diverse mogelijkheden om de data verder te verbeteren. Eén van de aanbevelingen heeft betrekking op de investeringskosten, welke hieronder worden besproken.

De modellering van energiebesparing volgt verder dezelfde methode als bij woningen. Het utiliteitsgebouw gaat over van het huidige functionele warmteverbruik (per m^2 BVO) naar het functionele warmteverbruik bij label B (per m^2 BVO), vervolgens wordt het warmteverbruik van het gebouw berekend. Dit wordt gedaan door het bruto vloeroppervlak van het utiliteitsgebouw, afkomstig van de BAG, te vermenigvuldigen met het warmteverbruik per m^2 BVO. Net als bij woningen worden er geen energiebesparende maatregelen op het elektriciteitsverbruik meegenomen binnen de SA-2020. De focus van de energiebesparende maatregelen ligt dus op de reductie van de functionele warmtevraag voor verwarming.

Investeringsbedragen

Net als het energieverbruik worden ook de investeringsbedragen uitgedrukt in euro/ m^2 BVO. De basis voor de investeringsbedragen was tot en met de SA-2019 het rapport Sipma (2014). Maar één van de aanbevelingen uit de validatiesessies ter voorbereiding van de Startanalyse was om een herijking te doen van de investeringsbedragen voor energiebesparing bij utiliteit (TNO, 2019b). Het was niet meer mogelijk deze herijking te doen voor de SA-2019, maar het is wel mogelijk geweest dit te doen voor de SA-2020. Brink heeft op basis van referenties en ervaring adviezen gegeven voor correcties op de investeringskosten van schilmaatregelen van utiliteitsgebouwen (Brink, 2020). In bijlage B.7 van het Functioneel Ontwerp 5.0 is een overzicht te vinden van de resulterende investeringsbedragen die zijn gebruikt voor de SA-2020 (Van der Molen et al, 2021).

Alleen springen naar label B

Een belangrijk verschil tussen de utiliteitsbouw en de woningbouw is dat de extra varianten met sprong naar label D voor woningen in de SA-2020 geen verandering impliceert voor de utiliteitsgebouwen. Er is namelijk aangenomen dat energielabel B wordt bereikt of bijna bereikt met het vastgestelde beleid voor de utiliteit, zoals de verplichting om energiebesparende maatregelen toe te passen met een terugverdientijd van minder dan 5 jaar onder de Wet Milieubeheer en het verplichtte label C voor kantoren vanaf 2023. In de varianten met label D voor woningen worden de utiliteitsgebouwen die nog geen label B of beter hebben dus gerenoveerd met energiebesparende maatregelen naar label B.

Tot slot

De basis voor de modellering van energiebesparing binnen de utiliteitsbouw is hetzelfde als bij woningen, namelijk de koppeling aan labels. Daarbij is de inschatting van het energieverbruik en de investeringsbedragen voor energiebesparing complex voor utiliteitsgebouwen. Er is namelijk een groot aantal utiliteitstypen met relatief grote verschillen in energiegebruik, daarnaast zijn er ook nog relatief grote verschillen in de oppervlaktes van gebouwen. De kentallen geven een goed beeld van het gemiddelde niveau voor de landelijke vastgoedportefeuille, maar op individueel niveau kunnen er significante verschillen zijn.

In de methode wijkt de modellering verder op twee belangrijke punten af van de modellering van woningen binnen de SA-2020. Ten eerste wordt gebruik gemaakt van default labels voor utiliteitsgebouwen op basis van het bouwjaar. Ten tweede wordt bij alle utiliteitsgebouwen uitgegaan van energiebesparing naar label B ongeacht de variant. Dit betekent dat in varianten met label D, alleen de woningen isoleren naar label D en de utiliteitsgebouwen naar label B.

Als laatste is er na de Startanalyse een aanpassing geweest in het gemiddelde verbruik voor warm tapwater bij utiliteitsgebouwen. Tijdens de bewerking van verschillende datasets is er helaas een kleine fout geslopen in de waarden die zijn gebruikt voor warm tapwater. Dit is nu publicatie van de SA-2020 ontdekt. Dit heeft waarschijnlijk niet/nauwelijks invloed op de resultaten van de SA-2020, maar er zat dus een kleine fout in de resultaten van de Startanalyse met betrekking tot het warm tapwater. In het 'Functioneel Ontwerp 5.0' zijn de gecorrigeerde waarden opgenomen in bijlage B.6 (Van der Molen et al, 2021).

3.3 Vermogensvraag en gelijktijdigheid

Bij energiebesparing gaat het om de reductie in het volume van energie, maar bij de modellering van warmtepompen en warmtenetten gaat het niet alleen om het volume maar ook om het benodigde vermogen. Daarbij geldt in de basis dat des te groter de woning, des te groter de energievraag en daarmee ook het benodigde vermogen om aan deze energievraag te voldoen. Binnen het Vesta MAIS-model wordt onderscheid gemaakt naar de vermogensvraag voor ruimteverwarming van woningen (afhankelijk van de oppervlakte van de woning) en de vermogensvraag van warm tapwater. Voor de modellering van een warmtenet speelt niet alleen de vermogensvraag zelf, maar ook de mate waarin deze vermogens tegelijkertijd gevraagd worden. Deze drie aspecten worden hieronder toegelicht.

Vermogensvraag van ruimteverwarming

Zowel bij woningen als bij utiliteit is de vermogensvraag van ruimteverwarming afhankelijk van de oppervlakte van het gebouw. Voor woningen wordt binnen het Vesta MAIS-model onderscheid

gemaakt naar de vermogensvraag bij een goed geïsoleerde woning (label B) en een redelijk geïsoleerde woning (label D). Daarnaast wordt ook onderscheid gemaakt naar de vermogensvraag van meergezinswoningen (appartementen) en eengezinswoningen (rijtjeshuizen, 2-onder-1-kap en vrijstaande woningen). In totaal zijn er bij woningen dus vier categorieën voor de vermogensvraag van ruimteverwarming:

- Eengezinswoning, redelijk geïsoleerd
- Eengezinswoning, goed geïsoleerd
- Meergezinswoning, redelijk geïsoleerd
- Meergezinswoning, goed geïsoleerd

Voor elk van deze categorieën is eenmalig de vermogensvraag afgeleid door een combinatie van de functionele warmtevraag, de NEN-7120 en de totale woningvoorraad in Nederland. Deze stappen zijn als volgt:

1. Het startpunt zijn de Vesta MAIS-kentallen voor de functionele warmtevraag voor de labels B en D, zoals vermeld in tabel B.4 binnen het 'Functioneel Ontwerp 5.0' (Van der Molen et al, 2021). Deze functionele warmtevraag-kentallen bevatten een vast en variabel component (afhankelijk van oppervlakte) van de warmtevraag in GJ/jaar.
2. De NEN-7120 geeft aan dat het benodigde vermogen 25% (formule 14.30) is van de ruimteverwarmingsvraag (NEN, 2011).
3. De functionele vraag componenten worden beiden, zowel het vaste als variabele component, vermenigvuldigd met deze 25% om te komen tot de vermogensvraag per combinatie van bouwjaarklasse en woningtype.
4. Deze vermogens worden vervolgens vermenigvuldigd met het totaal aantal woningen per combinatie van woningtype en bouwjaarklasse om te komen tot de vaste en de oppervlakte-afhankelijke vermogensvraag in Nederland.
5. Deze worden gesommeerd over de eengezinswoningen en de meergezinswoningen om te komen tot een gemiddelde vermogensvraag.
6. Het resultaat is een gemiddelde vermogensvraag voor de vier bovenstaande categorieën.

De vermogensvragen voor label B en label D worden binnen het Vesta MAIS-model gebruikt als minimum en maximumwaarden voor de inschatting van het benodigde vermogen van een woning voor ruimteverwarming en de waarden zelf zijn vermeld in tabel A.9 binnen het 'Functioneel Ontwerp 5.0' (Van der Molen et al, 2021).

Voor utiliteit zijn dezelfde stappen doorlopen als voor woningen. Hier zijn de kentallen voor de ruimteverwarmingsvraag per m² voor label B en D, zoals vermeld in bijlage B.6 in het functioneel ontwerp 5.0 (Van der Molen et al, 2021), als startpunt genomen. Vervolgens zijn deze kentallen voor de ruimteverwarmingsvraag vermenigvuldigd met 25%, om te komen tot de vermogensvraag.

Deze vermogensvraag per bouwjaarklasse en utiliteitstype zijn vermenigvuldigd met de totale oppervlakte per bouwjaarklasse en utiliteitstype, waarna het gemiddelde is genomen bij label B en D. De resulterende vermogensvragen voor ruimteverwarming zijn opgenomen in tabel A.7 in functioneel ontwerp 5.0 (Van der Molen et al, 2021).

Vermogensvraag van warm tapwater

Tot de Startanalyse werd er binnen het Vesta MAIS-model geen onderscheid gemaakt tussen de vermogensvraag voor ruimteverwarming en warm tapwater, maar tijdens de validatiesessies van april 2019 kwam naar voren dat dit een goede verbetering van het model zou zijn en dit is daarom opgepakt. Om deze vermogensvraag te bepalen is het gemiddelde vraagvermogen voor ruimteverwarming bij een eengezinswoning (7,5 KW) afgetrokken van het totale warmtevraagvermogen dat tot dan toe werd gehanteerd (bijlage 3 in Folkert & van den Wijngaart, 2012). Hetzelfde werd

gedaan voor een meergezinswoning, waarbij het gemiddelde vermogen voor ruimteverwarming van een meergezinswoning (5 KW) is afgetrokken van het totale vermogen. Dit geeft een vermogensvraag voor warmtapwater voor eengezinswoningen van 4 KW en voor meergezinswoningen van 2 KW.

Gelijktijdigheid

In de berekeningen wordt ervan uitgegaan dat de vermogensvraag van de gebouwen niet tegelijkertijd geleverd hoeft te worden. Het is namelijk niet zo dat alle huishoudens tegelijk douchen of de verwarming aanzetten, binnen een buurt zullen deze pieken op verschillende momenten liggen. Dit wordt ook wel gelijktijdigheid genoemd en voor de vraagvermogens van warm tapwater en ruimteverwarming voor utiliteit en woningen worden verschillende gelijktijdigheidsfactoren (GTF) aangenomen. Voor woningen wordt uitgegaan van een GTF van 10% voor warm tapwater, 50% voor ruimteverwarming bij een MT-warmtenet (paragraaf 2.6 in CE Delft, 2019b) en 55% voor een ruimteverwarming bij een LT-warmtenet. Voor utiliteit wordt aangenomen dat deze gelijktijdigheid 95% is omdat deze gebouwen grotendeels om dezelfde tijd om verwarming vragen, kantoren starten bijvoorbeeld allemaal rond dezelfde tijd op en de vermogensvragen vallen hiermee veel samen.

Tot slot

In de modellering van warmtenetten speelt de benodigde vermogensvraag een belangrijke rol. Daarbij wordt voor HT/MT-warmtenetten de totale vermogensvraag per buurt vastgesteld. Deze vermogensvraag wordt vervolgens gecorrigeerd met een verliesfactor, zoals toegelicht in paragraaf 7.2.2.2 binnen het 'Functioneel Ontwerp 5.0' (Van der Molen et al, 2021). Het vermogen wordt gecorrigeerd omdat de leidingen van warmtenetten warmte verliezen bij transport en distributie van warmte. Om het gevraagde vermogen te kunnen leveren moet dus eigenlijk meer vermogen worden geleverd omdat er in het transport en de distributie van warmte verliezen zijn. De gehanteerde percentages voor deze verliezen zijn opgenomen in tabel A.5 binnen het 'Functioneel Ontwerp 5.0' (Van der Molen et al, 2021).

3.4 Warmtenetten

3.4.1 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 6.3 van het 'Functioneel Ontwerp 5.0' (Van der Molen et al, 2021) is een verdere verdieping van de modellering van een warmtenet opgenomen mochten de beschrijvingen in deze paragraaf niet voldoende gedetailleerd zijn.

Voordat wordt ingegaan op de modellering van warmtenetten is het goed om kort in te gaan op het modelleringsdoel van warmtenetten binnen het Vesta MAIS-model. Het doel kan namelijk verschillen en dit heeft impact op de resultaten. Doelen kunnen variëren tussen: een optimaal warmtenettracé aanleggen, zo veel mogelijk woningen aansluiten, alleen appartementen aansluiten of zoveel mogelijk van de (rest)warmte benutten die beschikbaar is. Sommige van deze doelen kunnen gecombineerd worden, maar niet allemaal. Bij de berekeningen in het Vesta MAIS-model wordt ervan uitgegaan dat de opbrengsten van warmte zo hoog mogelijk zijn voor de warmtebedrijven. De buurten waar de warmte het meeste oplevert (in €/GJ) voor het warmtebedrijf worden in principe aangesloten. Hiervoor gebruikt het model verschillende heuristieken en rekenregels om

de contributiemarges zo goed mogelijk in beeld te brengen, welke hieronder verder toegelicht worden. Het Vesta MAIS-model geeft hiermee geen optimalisatie van de netwerk lay-out van een warmtenetracé.

Binnen de Startanalyse geldt bovenstaand principe in de basis ook, maar het Vesta MAIS-model is hier wat anders ingezet dan bij reguliere berekeningen met het model. In SA-berekeningen werd elke variant apart berekend, waarbij het doel was om voor zoveel mogelijk buurten een inschatting te geven van de kosten van een aardgasvrije warmtevoorziening. Voor individuele elektrische warmtepompen gaat dit relatief makkelijk, omdat er binnen het model geen ruimtelijk beperkingen zijn op de plaatsing van individuele elektrische warmtepompen. Voor warmtenetten geldt een ruimtelijke beperking en een beperkte beschikbaarheid van warmtecapaciteit. Om voor zoveel mogelijk buurten een beeld te kunnen geven van de kosteninschatting bij warmtenetten zijn daarom voor de varianten S2a en S2d een groot aantal iteraties doorlopen. In deze iteraties is de contributiemarge (wordt verderop in deze paragraaf toegelicht) met kleine stapjes verhoogd totdat zoveel mogelijk buurten aangesloten waren op een warmtenet en er voor zoveel mogelijk buurten een inschatting was van de kosten van een warmtenet.

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 14 (op pagina 66).

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 typen van dergelijke warmtebronnen onderscheiden. In S2a en S2d gaat het om warmtebronnen met rest- of aftapwarmte. Deze warmtebronnen hebben 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), biomassacentrales (BMC's) en gasgestookte elektriciteitscentrales. Deze puntbronnen kunnen warmte over hebben doordat bij een productieproces warmte nodig is maar dit vervolgens binnen de het bedrijfscomplex niet volledig 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 (voornamelijk) genereren van warmte, zoals biomassacentrales. Al deze vormen van puntbronnen worden meegenomen binnen de Startanalyse, waarbij het voornamelijk gaat om bestaande installaties en centrales (zie paragraaf 4.5 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 4.5.

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 enkel tracé dat 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. Met doorkoppelen bedoelen bij de eventuele aansluiting van meerdere buurten in hetzelfde tracé in plaats van een onafhankelijk tracé om elke buurt apart op de bron aan te sluiten. Deze term wordt later in de tekst verder toegelicht.

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 Warmte-Overdracht-Station (WOS), de Hulp-Warmte-Installatie (HWI), de hoofdleidingen, de onderstations, de zijleidingen en de aansluitleidingen.

Het startpunt voor de warmtelevering in de buurt is het 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 dat het 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 gasgestookte ketels en daarom wordt ook wel gesproken over hulpwarmteketels (HWK), deze term wordt ook nog gehanteerd in Figuur 14.

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 het 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 wegennet in de betreffende buurt. De inschatting van de lengte van het wegennet per buurt is gedaan door ingenieursbureau Greenvis, waarbij de gehanteerde methode is beschreven in bijlage B van CE Delft (2019b). De doorwerking van dit wegennet in de berekeningen voor de hoofd- en zijleidingen wordt in meer detail beschreven in paragraaf 7.2.2.5 van het Functioneel Ontwerp 5.0 (Van der Molen et al, 2021).

Het laatste element van het distributienet is de aansluiting van de weg naar het pand. Hiervoor wordt uitgegaan van de gemiddelde afstand van de panden tot aan de straat, per CBS-buurt (zoals blijkt uit de data over het wegennet en de panden in de buurt). 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 wel altijd het geval dat elk pand één woning bevat.

Inpandige distributie en warmtemeter

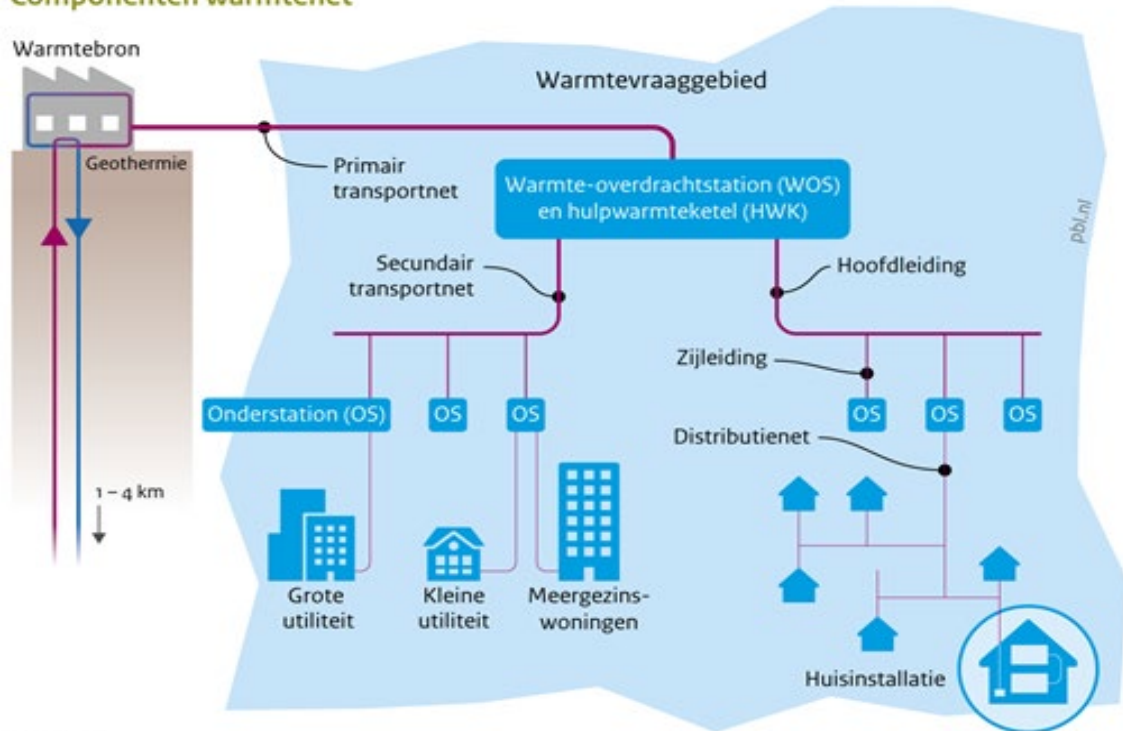
Het laatste component van een warmtenet gaat om de aanpassingen binnen de panden. Hierbij wordt onderscheid gemaakt naar aanpassingen in de installatie en de overige inpandige kosten. Met de installatie gaat het hierbij om de vervanging van de huidige Cv-ketel door een warmteafleveret. De overige inpandige kosten omschrijven de aanpassingen binnen het pand die nodig zijn om de warmte bij een aansluiting te krijgen. Bij appartementen gaat het om de inpandige kosten om elke aansluiting in het pand aan te sluiten. Hierbij kunnen de maatregelen verschillen tussen flats met een centrale ketel (blokverwarming) of allemaal individuele ketels. 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. Bij grondgebonden gaat het om de aanpassingen die in het pand worden gedaan om de woning aan te sluiten, bijvoorbeeld het

trekken van leidingen in de woning als de gasketel boven in de woning staat. De verschillen tussen deze situaties worden vertaald naar verschillende in pandige kosten per woningsituatie, zoals opgenomen in bijlage A.2 van het functioneel ontwerp 5.0 (Van der Molen et al, 2021).

Figuur 14

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

Componenten warmtenet



Bron: PBL

Bestaande warmtenetten binnen de Startanalyse

De Startanalyse houdt rekening met bestaande warmtenetten op buurtniveau, maar het is niet mogelijk om dit op gebouwniveau te doen. Ten tijde van het uitvoeren van de SA-2020 was er geen (openbare) data beschikbaar over de gebouwen die op een warmtenet zijn aangesloten. In plaats daarvan wordt gebruik gemaakt van informatie van het CBS (CBS, 2019), waarbij het CBS-informatie aangeeft voor het aandeel gebouwen in een buurt dat is aangesloten op een warmtenet¹³. Omdat we niet weten welk gebouw op het warmtenet zit, wordt het percentage toegepast op elk gebouw in de buurt. Als 60% van de buurt is aangesloten op een warmtenet, dan is elk gebouw voor 60% aangesloten op een warmtenet en voor 40% op gas. Deze informatie gebruikt het Vesta MAIS-model om de uitkomsten van berekeningen van warmtenetten per buurt achteraf proportioneel te corrigeren.

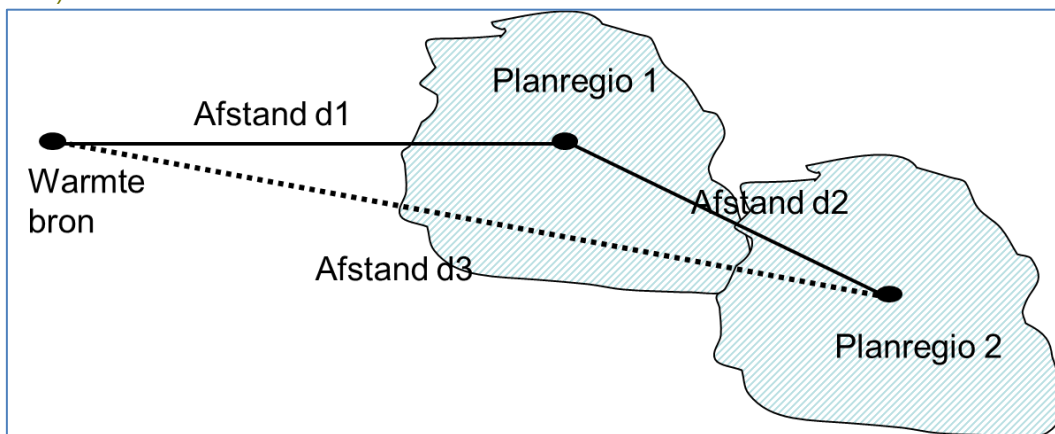
Uitrol van een warmtenet

Om de puntbronnen te verbinden met de buurten is het noodzakelijk om een primair net aan te leggen. Dit zou kunnen worden gedaan door elke keer een primair net aan te leggen vanuit de

¹³ Bij de inschatting van het aandeel warmtenetten is veelal gebruik gemaakt van data uit 2017, omdat in de 2018/2019 data er geen nieuwe informatie bekend was over het aandeel warmtenetten per buurt.

primaire bron naar een buurt, maar het is vaak efficiënter om meerdere nabijgelegen buurten aan te sluiten door middel van één tracé. Figuur 15 laat dit principe duidelijker zien. Om planregio 1 aan te sluiten op een warmtenet is het nodig om een primair net aan te leggen met de afstand d_1 . Als het warmtenet in planregio 1 rendabel is kan vervolgens de kansrijkheid van een warmtenet in planregio 2 worden doorgerekend. Wanneer planregio 2 direct zou worden aangesloten op de puntbron zou afstand d_3 moeten worden overbrugd met een primair net. In plaats daarvan is het ook mogelijk dat de primaire transportleiding van planregio 1 wordt doorgetrokken naar buurt 2, waarbij alleen afstand d_2 hoeft te worden overbrugd. Dit wordt aangeduid met de term doorkoppelen. Hiermee wordt de eventuele aansluiting van meerdere buurten in hetzelfde tracé bedoeld, in plaats van een onafhankelijk tracé om elke buurt op de bron aan te sluiten. De methode voor de vaststelling van dit tracé wordt hieronder verder toegelicht aan de hand van een hypothetisch rekenvoorbeeld in Figuur 16. In paragraaf 6.3.6.5 van het functioneel ontwerp 5.0 wordt de methode van het doorkoppelen in meer detail toegelicht (Van der Molen et al, 2021).

Figuur 15
Schematische weergave van het doorkoppelen van warmteleveringsgebieden (Van der Molen et al, 2021)



In Figuur 16 wordt in principe dezelfde methode beschreven als in Figuur 15, alleen nu zijn er hypothetische kosten aan toegevoegd om de werking van doorkoppelen verder te verduidelijken. Hierbij wordt de uitrol van warmtenetten toegelicht binnen de Startanalyse, waarbij gebruik wordt gemaakt van een specifieke toepassingsvorm van het Vesta MAIS-model. In het algemeen wordt binnen het Vesta MAIS-model namelijk de contributiemarge per eenheid capaciteitsvraag uitgerekend, zoals in detail wordt toegelicht in paragraaf 6.3.4.3 van het functioneel ontwerp 5.0 (Van der Molen et al, 2021). De contributiemarge geeft de balans van de kosten en baten van het aansluiten van een buurt op een warmtebron. Wanneer deze balans positief is dan kan een buurt aangesloten worden op een warmtenet (als er voldoende capaciteit is), wanneer deze negatief is dan wordt een buurt niet aangesloten op een warmtenet. Binnen de Startanalyse is er het doel om zoveel mogelijk warmtenetten aan te sluiten binnen de scenario's S_2 en S_3 , zodat bekend is wat de kosten zouden zijn wanneer een buurt aangesloten zou worden op een warmtenet. Hierbij kan de contributiemarge negatief zijn, maar als de warmtebron nog vermogen heeft dan wordt de buurt met de minst negatieve contributiemarge aangesloten.

In de volgende alinea's wordt de doorkoppeling van warmtenetten eerst uitgelegd aan de hand van de situatie dat de warmtebron voldoende warmtevermogen heeft om alle buurten aan te sluiten. Vervolgens wordt ingegaan op de situatie dat de warmtebron niet voldoende vermogen heeft om alle buurten van warmte te voorzien.

Warmtebron heeft voldoende warmtevermogen voor alle buurten

Het model doorloopt dan de volgende stappen:

1. De capaciteit van een warmtebron wordt als eerste toegekend aan de buurt waarvoor de contributiemarge per eenheid capaciteitsvraag het hoogst is. De buurt met de laagste contributiemarge is in dit voorbeeld buurt A. De warmtebron voorziet het grootste deel van de buurt in het startjaar al van warmte, maar een gedeelte van de buurt kan nog worden aangesloten op het warmtenet. Het Vesta MAIS-model berekent wat het kost om de rest van de buurt aan te sluiten op het warmtenet. Hiervoor worden geen kosten gerekend voor de aanleg van een primair net (oranje lijn in Figuur 16).
2. Na buurt A, heeft buurt B de hoogste contributiemarge (+€3/jaar), en er is voldoende capaciteit van de warmtebron om deze buurt aan te sluiten. Buurt B wordt hierbij aangesloten direct vanuit de warmtebron. De reden hiervoor is dat wordt aangenomen dat het bestaande primaire net voldoende vermogen heeft om de rest van de buurt aan te sluiten, maar niet voldoende vermogen om ook andere buurten aan te sluiten. Deze aanname wordt gedaan omdat niet bekend is welke vermogens de huidige primaire netten hebben in Nederland en het hiermee onbekend is of deze over gedimensioneerd zijn. In het Vesta MAIS-model wordt er daarom vanuit gegaan dat deze niet voldoende capaciteit hebben om nieuwe buurten op aan te sluiten.
3. De volgende buurt met de hoogste contributiemarge is buurt C, welke wordt aangesloten op het tracé van buurt B. Hierbij wordt dezelfde redenering aangehouden als in Figuur 15, waarbij stap 3b gelijk is aan d2 in Figuur 15 en stap 3a gelijk is aan d3. Omdat het een nieuw tracé (grijze leiding) is dat aangelegd wordt is het mogelijk om de capaciteit van het hele tracé te vergroten. De meerkosten van de aanleg van de grotere transportleiding tussen buurt B en de warmtebron komen voor rekening van de kosten voor een warmtenet buurt C. Hier is dus sprake van doorkoppeling van het primaire net van buurt B naar buurt C.
4. Als laatste worden de mogelijkheden berekenen voor buurt D. De afstand tussen de warmtebron en buurt D is kleiner dan de afstand tussen buurt D en de andere buurt, daarom wordt buurt D wel weer direct verbonden met de warmtebron.

Warmtebron heeft niet voldoende warmtevermogen voor alle buurten

Wanneer de warmtebron niet voldoende vermogen heeft voor alle buurten, worden in de basis dezelfde stappen doorlopen waarbij de capaciteit van de warmtebron als eerste wordt toegekend aan de buurt met de hoogste contributiemarge. In het rekenvoorbeeld wordt ervan uitgegaan dat de hypothetische warmtebron in Figuur 16 een vermogen heeft van 75 MW. Dan worden de volgende stappen doorlopen:

1. De warmtebron is gekoppeld aan het bestaande warmtenet (oranje raster) en om dit te leveren is 20 MW nodig. Deze 20 MW worden als eerste ingevuld. Vervolgens heeft buurt A de hoogste contributiemarge en daarom wordt gekeken of dit ingevuld kan worden met de warmtebron. Er is nog voldoende vermogen (55 MW beschikbaar) om deze 5 MW in te vullen. De rest van de buurt zal worden aangesloten omdat er voldoende vermogen beschikbaar is bij de bron en buurt A de hoogste contributiemarge heeft.
2. Vervolgens heeft buurt B de hoogste contributiemarge en er is nog voldoende capaciteit om deze buurt te voorzien van warmte. Er is namelijk nog 50 MW beschikbaar, en voor buurt B is maar 20 MW nodig. Deze buurt zal daarom op dezelfde manier worden aangesloten als hiervoor.
3. Voor buurt C verandert er wel iets nu de capaciteit van de warmtebron beperkt is. Voor de invulling van de warmtevraag vraagt deze buurt namelijk 50 MW, maar er is nog maar 30 MW beschikbaar. Er is dus niet voldoende vermogen om de hele buurt aan te sluiten op

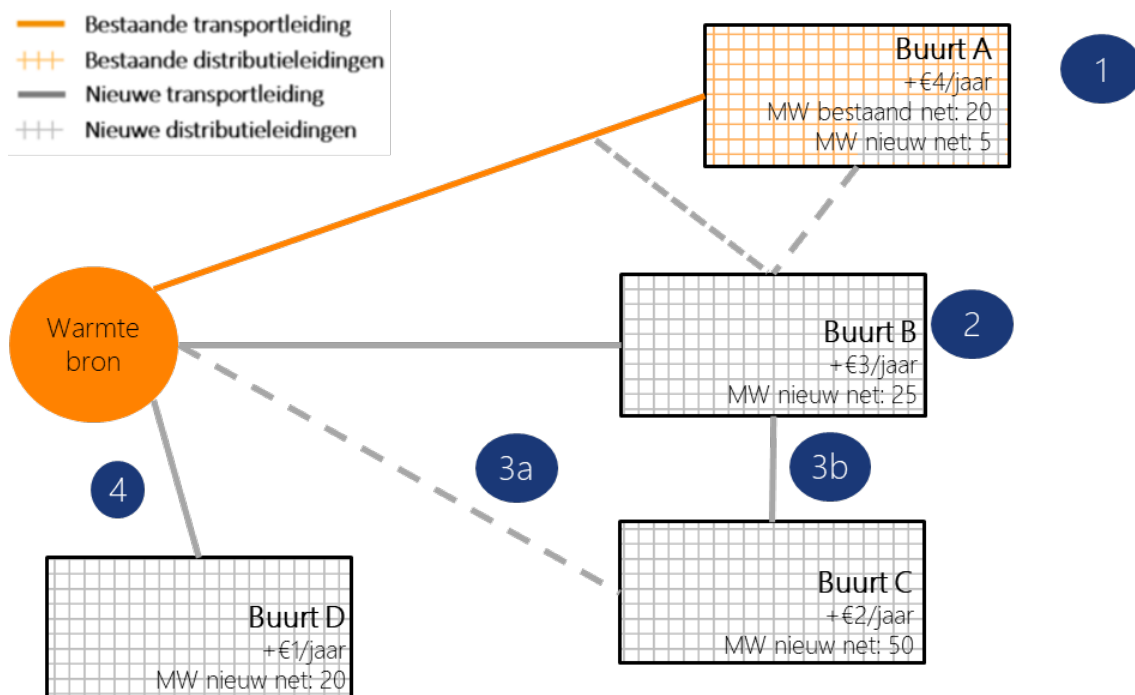
een warmtenet en daarom wordt buurt C in zijn geheel niet aangesloten op een warmtenet. Er wordt in dit geval dus niet doorgekoppeld, ook al is deze buurt qua contributiemarge gunstiger dan buurt D.

4. Voor buurt D is wel voldoende warmtevermogen beschikbaar bij de warmtebron, deze wordt daarom wel aangesloten op dezelfde manier als hiervoor. De overgebleven 5 MW vermogen van de warmtebron in dit hypothetische voorbeeld zou niet worden gebruikt.

De toekenning van een buurt op een warmtenet in de Startanalyse is dus afhankelijk van het beschikbare vermogen van een warmtebron, de contributiemarge van een buurt om aan te sluiten op de warmtebron en het totale gevraagde vermogen van een buurt om aangesloten te worden op een warmtenet. Daarbij kunnen de ontwikkelingen in nabijgelegen buurten ook invloed hebben op de uitrol van een warmtenet. Stel dat buurt B een negatieve contributiebijdrage zou hebben, dan zou er wel voldoende capaciteit zijn om buurt C aan te sluiten en dan is er niet voldoende capaciteit om buurt D aan te sluiten. De uitrol van het warmtenet ziet er dan anders uit voor alle drie de buurten doordat de contributiemarge van 1 buurt van positief naar negatief is gegaan.

Figuur 16

Schema voor de weergave van het (door)koppelen van warmtenetten binnen het Vesta MAIS-model, inclusief buurten met een bestaand warmtenet.



Het doel binnen de Startanalyse is om de warmtebronnen zoveel mogelijk te benutten in strategieën met warmtenetten zodat voor zoveel mogelijk buurten een beeld wordt gegeven van de kosten met warmtenetten. Hiervoor wordt de acceptabele contributiemarge steeds verder verlaagd zodat ook verliesgevend warmtenetten worden aangesloten waar nog wel capaciteit vanuit een warmtebron voor was. Op deze manier worden warmtenetten binnen de Startanalyse uitgebreid tot de capaciteit van de bron is uitgeput. 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, de methode wordt in meer detail beschreven in paragraaf 6.3.1. van het functioneel ontwerp 5.0 (Van der Molen et al, 2021). Dit betekent dat voor een groot deel van de buurten in Nederland een kostenraming kan worden gemaakt op basis van de hieruit

voortkomende beslisregels voor welke warmtebron waar wordt ingezet. Voor de buurten die niet aangesloten worden op een warmtenet met een restwarmtebron dan wordt de strategievariant voor deze buurt altijd een warmtenet variant met geothermie (met bestaande geothermiecontouren, dus S2b of S2e).

3.4.2 Lagetemperatuur-warmtenetten

Lagetemperatuur-warmtenetten (LT-warmtenetten) hebben in principe dezelfde basiscomponenten (primaire bron, distributienet, in pandige kosten, etc.) zoals HT/MT-warmtenetten, maar er zijn een aantal verschillen. Deze componenten zijn qua modelstructuur dus ongeveer hetzelfde, maar de invulling van deze componenten is anders. Bij LT-warmtenetten is er sprake van:

- Veel meer bronnen van LT-warmte dan van HT/MT-warmte;
- Capaciteit van de individuele bronnen is significant kleiner dan van HT/MT-warmtebronnen;
- Warmte wordt opgewaardeerd met collectieve of individuele warmtepompen;
- Meer uitwisseling met warmte/koude-netten;
- Diverse andere componenten die verschillen.

Qua modelstructuur vallen deze componenten onder dezelfde typering als distributienet en dergelijke, maar de invulling van deze componenten verschilt behoorlijk van HT/MT-warmtenetten. Een ander verschil is de schaalgrootte van de warmtenetten. In de berekeningen binnen Vesta MAIS wordt bij een HT/MT-warmtenet een buurt aangesloten, gemiddeld bestaande uit 1.000 tot 1.500 aansluitingen. LT-warmtenetten hebben een kleinere schaalgrootte en komen eerder uit op 100 tot 150 woningen of enkele utiliteitsgebouwen. De reden hiervoor is dat het beschikbare vermogen voor uitkoppeling van warmte vaak een stuk kleiner is voor LT-warmtebronnen. Met dit kleinere vermogen worden doorgaans clusters van gebouwen aangesloten in plaats van hele buurten.

Voor elk cluster worden vervolgens dezelfde type componenten uitgesplitst als voor de HT/MT-warmtenetten, alleen is er geen sprake van een primair net. De netten zijn namelijk zo klein dat ze geen grote verbinding hebben van een primaire bron naar een buurt, maar de primaire bron ligt zeer dichtbij de gebouwen. Daarnaast zijn er veel verschillende configuraties van LT-netten die worden meegenomen binnen de Startanalyse, zoals te zien in paragraaf 2.3.4. Het hangt van de configuratie af of er sprake is van een centraal punt waar de warmte wordt opgewaardeerd (met een collectieve warmtepomp) of dat er op gebouwniveau sprake is van opwerking. Dit maakt dat er ook verschillen kunnen zijn in de aanwezigheid van installaties als een WOS en/of de verspreiding via onderstations. Deze componenten zijn afhankelijk van de configuratie en kunnen ook afwezig zijn bij de aanleg van een LT-warmtenet.

Deze clusters worden niet vantevoren opgegeven, maar worden binnen het Vesta MAIS-model gecreëerd door op verschillende niveaus kosten-baten afwegingen te maken. Deze kosten-batenafwegingen worden samengevat met de term contributiemarge, welke verder wordt toegelicht in paragraaf 6.3.4.3 van het functioneel ontwerp 5.0 (Van der Molen et al, 2021). Deze clustering start op gebouwniveau, waarbij per gebouw wordt berekend of de contributiemarge van het aansluiten van een gebouw positief is. Wanneer de contributiemarge positief is wordt een stapje verder gekeken, namelijk of de contributiemarge positief is wanneer het gebouw op een LT-net gaat samen met nabijgelegen gebouw. Dat wil zeggen de contributiemarge van de aansluiting én het LT-net met het andere gebouw is gezamenlijk positief. Als dit zo is, wordt dit herhaalt met een steeds grotere clustering van gebouwen totdat er een negatieve contributiemarge is of de capaciteit van de bronnen is uitgeput. Deze clustering wordt binnen het model berekend en wordt sterk beïnvloedt

door de (lokale) omstandigheden, maar geeft wel een beeld hoe clusters gevormd zouden kunnen worden.

De componenten van LT-warmtenetten zijn in grote lijn hetzelfde als van de HT/MT-warmtenetten, maar de daadwerkelijke invulling van de componenten verschilt. In paragraaf 6.3 van het functioneel ontwerp 5.0 wordt dieper ingegaan op de methode van warmtenetten (Van der Molen et al, 2021). Aan de andere kant geven de infographics bij de Leidraad een goed beeld van de componenten die worden toegepast bij de modellering van de verschillende varianten van S3 (RVO, 2020c).

3.5 Gas- en elektriciteitsnetten

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, verwijderen van het bestaande aardgasnet of aanpassingen aan het bestaande gasnet voor transport van waterstof. De berekeningen van de kosten van aanpassingen zijn hieronder uitgelegd.

3.5.1 Berekening kosten van verzwaren van het elektriciteitsnet

Bij strategieën met warmtepompen kan het nodig zijn het elektriciteitsnet te verzwaren. Dat is afhankelijk van de capaciteitsruimte op het huidige laagspanningsnet¹⁴ en de capaciteit van de huidige gebouwaansluitingen. 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. Met hogere netvakken gaat het om netbeheer op een hoger aggregatieniveau, zoals een regionaal netvak. In paragraaf 7.3 van het Functioneel ontwerp 5.0 wordt de modellering in meer detail toegelicht (van der Molen et al, 2021).

3.5.2 Kosten voor 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. Deze kosten worden weergegeven in bijlage A.1 van het functioneel ontwerp 5.0 (Van der Molen et al, 2021). 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 volledig kan worden verwijderd, ook al gaan we er in deze analyse van uit dat dit wel gebeurt. Dit zou betekenen dat in de praktijk de gasnetten

¹⁴ Het gaat hier om de gegevens zoals aangeleverd door de verschillende netbeheerders, waarbij de data gebaseerd is op het zichtjaar 2018

in deze buurt niet in zijn geheel verwijderd worden, maar de impact van deze enkele gasleidingen is relatief beperkt op de resultaten.

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 (Hoogervorst, 2020a). Deze kosten zijn vanzelfsprekend alleen van toepassing op varianten van strategie S5.

In de SA-2019 werden nog kosten gerekend voor de vervanging van ‘grondroeringsgevoelige leidingen’. Dit zijn vaak oude leidingen gemaakt van grijs gietijzer of asbestcement die al een lange tijd in de grond liggen en gevoelig kunnen zijn voor veranderingen in de grond. 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 meegenomen in de berekening van de Startanalyse.

3.6 Opbouw van investeringen

De energiesector wordt veelal aangeduid als een kapitaalintensieve sector. Dit houdt in dat er relatief veel initiële investeringen moeten worden gedaan (kapitaal) om de productiefaciliteiten neer te zetten, zoals bij kolencentrales en windparken. Na de plaatsing van deze installaties is er relatief weinig arbeid nodig om vervolgens energie te produceren. Dit komt duidelijk terug in hoofdstuk 6 van de Klimaat- en Energieverkenning (Schoots & Hammingh, 2019). De kapitaalintensiteit geldt niet alleen voor de energiesector, maar eigenlijk voor de energietransitie in zijn geheel. Binnen de energietransitie gaat het om de installatie van nieuwe technologieën, het verbouwen van gebouwen zodat deze energiezuiniger worden en infrastructurele aanpassingen. Allemaal aanpassingen met hoge initiële investeringen.

Bij een goede inschatting van de totale kosten gerelateerd aan de energietransitie spelen de investeringen een belangrijke rol. Over de hoogte van de investeringen is regelmatig discussie. Deze discussie kan om verschillende redenen ontstaan. Eén van deze redenen is de afbakening van de investeringen. Welke investeringsposten worden wel/niet meegenomen bij de investeringsbedragen die worden gehanteerd? Dit kan grote verschillen opleveren tussen de investeringsinschattingen van verschillende studies. In deze paragraaf wordt ingegaan op de opbouw van investeringsbedragen binnen het Vesta MAIS-model. Daarbij wordt eerst ingegaan op enkele definities die worden gehanteerd en vervolgens op de investeringsposten voor verschillende typen investeringen, zoals energiebesparing of warmtenetten.

3.6.1 Gehanteerde definities

Bij de vaststelling van investeringen spelen verschillende elementen een rol, hierbij onderscheiden we:

- **Arbeidskosten:** Het gaat hier om de kosten die worden gemaakt voor de inzet van arbeid. Dit is vaak een vermenigvuldiging van het gemiddelde uurtarief van een arbeidskracht met het aantal uren dat een arbeidskracht bezig is om een maatregel (zoals het isoleren van een dak) uit te voeren.
- **Materiaalkosten:** Het gaat hierbij om de kosten van de benodigde materialen voor de toepassing van de technologie. Hierbij wordt de term materiaal breed gehanteerd, het kan

namelijk gaan om isolatiemateriaal maar ook om een complete installatie of apparaat (zoals een warmtepomp of warmteleiding).

- Indirecte kosten: Dit zijn kosten die niet direct te maken hebben met een verbouwing of de plaatsing van een apparaat, maar dit zijn voorbereidende en projectmatige kosten. Hierbij worden posten onderscheiden zoals:
 - Risico + winst
 - Bouwplaatskosten
 - Algemene kosten

Naast het onderscheid tussen verschillende kostenelementen, zijn er nog andere factoren die invloed hebben op de investeringsbedragen. Zo kan er onderscheid worden gemaakt naar:

- Zelfstandig vs. natuurlijk moment
Dit onderscheid is met name relevant bij energiebesparing. Het is namelijk mogelijk om energiebesparende maatregelen te treffen wanneer de gebouweigenaar toch al van plan was te gaan verbouwen. Dan moeten er natuurlijk nog wel meerkosten worden gemaakt voor de plaatsing van energiebesparende maatregelen, sommige kostenposten kunnen dan buiten beschouwing blijven omdat die ook zonder energiebesparingsmaatregelen 'toch al' gemaakt zouden worden, zoals bijvoorbeeld het aanbrengen van stijgers of het zorgen voor vervangende woonruimte tijdens een verbouwing. Dit wordt aangeduid met de term **kostenraming voor een natuurlijk moment**.
Wanneer de toepassing van energiebesparende maatregelen niet samenvalt met een dergelijk natuurlijk moment, dan spreken we van een **zelfstandig moment**. Dan zijn de kosten hoger dan op een natuurlijk moment omdat ook de bijkomende kosten (zoals bouwplaatskosten) dan in rekening worden gebracht. Bij vervanging van apparaten (zoals cv-ketels) op een zelfstandig moment worden ook kosten van versnelde afschrijving in rekening gebracht.
- Projectmatige vs. individuele aanpak
Naast het moment waarop een maatregel wordt toegepast, kan ook de mate van collectiviteit invloed hebben op de hoogte van de kosten. Als gevolg van schaalvoordelen kan het goedkoper zijn om bijvoorbeeld in één keer een heel blok van woningen te voorzien van energiebesparende maatregelen in plaats van dat bij alle woningen op een verschillend, al dan niet natuurlijk moment te doen. De kosten voor de organisatie van een bouwplaats worden dan bijvoorbeeld verdeeld over alle woningen en zijn dan per woning lager dan wanneer voor elke individuele woning een bouwplaats moet worden ingericht. Bij een projectmatige aanpak kunnen materialen ook collectief worden ingekocht (kwantumkorting) en kan de risico-opslag procentueel lager zijn.
- Leereffecten
Naast de huidige kosten zijn er ook nog de potentiële toekomstige ontwikkeling van kosten. Wordt ervan uitgegaan dat er nog veel innovatie en opschaling plaats vindt waardoor de investeringen flink dalen, of zijn de verwachtingen minder optimistisch en is de daling in kosten geringer? De veronderstellingen in de Startanalyse over toekomstige kostendaling worden toegelicht paragraaf 5.1.3.

Dit zijn belangrijke elementen en factoren die in acht moeten worden genomen bij het vergelijken van investeringsbedragen in verschillende studies, maar het is geen uitputtende lijst. Hieronder wordt ingegaan op de opbouw van investeringsbedragen binnen het Vesta MAIS-model en de Startanalyse.

3.6.2 Toelichting op investeringsposten

Binnen het Vesta MAIS-model wordt op een groot aantal plekken gerekend met investeringsbedragen. In deze paragraaf wordt dieper ingegaan op de algemene opbouw van investeringsposten bij investeringen in:

- Energiebesparing
- Conversietechnieken
- Gas- en elektriciteitsnetten
- Warmtenetten

De kostendefinities bij deze verschillende categorieën verschillen soms van elkaar en deze verschillen worden hieronder zo goed mogelijk geduid.

Energiebesparing

De methode voor het samenstellen van pakketten van energiebesparende maatregelen wordt beschreven in paragraaf 3.2. Uit deze beschrijving blijkt al dat de inschatting van de investeringsbedragen bij energiebesparing complex zijn, waarbij de bedragen afhankelijk zijn van:

- De maatregelen die al genomen zijn;
- De mogelijkheden om te isoleren (eventuele bouwkundige beperkingen, zoals geen spouwmuur of een monumentaal pand);
- Het gewenste isolatieniveau (hoe ver wil men isoleren, maximaal, goed of is redelijke isolatie voldoende).

Bij de investeringen in energiebesparing gaat het om de meerkosten die samenhangen met het upgraden van de bouw- en installatiedelen in plaats van het louter in stand houden van de oorspronkelijke kwaliteit aan het einde van de technisch-economische levensduur van de bouw- en installatiedelen.

RVO (2019) geeft een overzicht van isolatiemaatregelen die worden ingezet voor een energieprestatieadvies (EPA). Voorbeelden van EPA-maatregelen die zijn opgenomen in RVO (2019) zijn:

- Vloerisolatie: minerale wol 100mm aan onderzijde houten vloer
- Bodemisolatie: schuimbeton dik 300mm; 500kg/m³;
- Spouwmuurisolatie: 50mm minerale wol;
- Isolatieglas (U=2,7);
- Isolatieglas luchtgevuld (U=1,6).

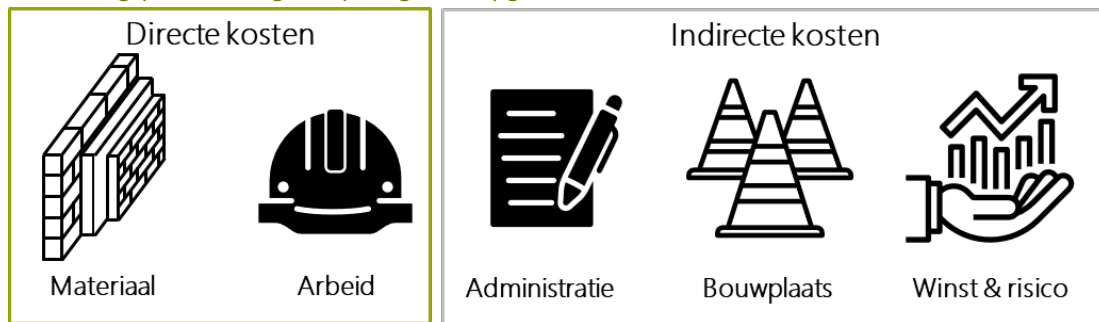
De EPA-maatregelenlijst bevat een uitgebreide lijst aan energiebesparende maatregelen. In deze lijst wordt per maatregel de kosten gespecificeerd naar:

- Verschillende woningtypen (eengezinswoning of meergezinswoning);
- Projectgrootte (enkele woning of meerdere woningen);
- Moment van uitvoering (natuurlijk moment of zelfstandig moment).

Voor elk van deze situaties worden de arbeidskosten, materiaalkosten en indirecte kosten gegeven. Deze kosten worden periodiek geactualiseerd door Arcadis, in opdracht van RVO. De indirecte kosten worden meegenomen door middel van een opslag, waarbij de opslagen voor winst en risico (3,3%), algemene bouwplaats kosten (8%) en algemene kosten (9,8%) worden meegenomen. In Arcadis (2018) wordt ingegaan op de onderbouwing van de indirecte kosten in het algemeen. Figuur 17 geeft een overzicht van de investeringsposten die worden meegenomen bij energiebesparing in het Vesta MAIS-model. In de SA-2020 is gebruik gemaakt van kostenramingen uit RVO (2019). De percentages voor indirecte kosten wijken iets af van die in Arcadis (2018) door diverse wijzigingen gedurende het jaar.

Figuur 17

Investeringsposten energiebesparing zoals opgenomen in de SA-2020



RVO (2019) is een uitgebreide en gedetailleerde dataset met landelijk gemiddelde kostencijfers, ontleend aan gerealiseerde projecten. In de lokale praktijk kunnen kosten in rekening worden gebracht die daarvan afwijken. Conjuncturele kostenontwikkelingen worden bijvoorbeeld niet meegenomen in de kostenkengetallen. Deze ontwikkelingen zijn sterk afhankelijk van de bouwconjunctuur, de aard en de omvang van het project, de aansluiting op regionaal beschikbare bouwcapaciteit en de bereidheid van de aannemer (RVO, 2019). Dit kan wel een grote invloed hebben op de kosten op het moment van ‘aanbesteden’. Daarnaast kunnen er ook verschillen zijn in de kosten tussen regio’s, maar deze invloeden zijn niet meegenomen in deze kostengetallen. Het gaat in de EPA-maatregelenlijst om kostenkentallen gebaseerd op landelijke gemiddelden.

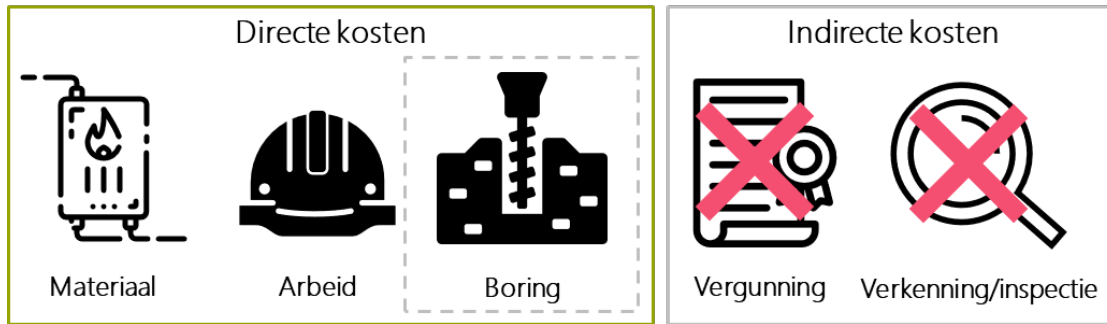
Conversietechnieken

Met conversietechnieken bedoelen we installaties die energie van de ene vorm of energiedragers converteren in een andere vorm, die worden geplaatst in individuele gebouwen, zoals (hybride) warmtepompen en HR-ketels. De inschattingen voor de investeringsbedragen van de conversietechnieken zijn afkomstig van diverse bronnen, zoals CE Delft (2019b), CE Delft (2019c), ECW (2020a) en ECW (2020b). In de investeringsbedragen zitten alleen de materiaalkosten en arbeidskosten, waarbij wel onderscheid wordt gemaakt tussen lage/hoge investeringsbedragen (zoals verder beschreven in hoofdstuk 5). Bij de conversietechnieken worden eventuele andere directe kosten, zoals de boring bij een bodem-warmtepomp ook meegenomen in de investeringsbedragen. Indirecte kosten zijn niet opgenomen in de investeringsbedragen.

De indirecte kosten zoals eventuele voorbereidende gesprekken met een installateur voor de plaatsing van een installatie zijn niet opgenomen in de investeringsbedragen. Ook andere indirecte kosten zoals de vergunningsaanvraag bij een bodemwarmtepomp zijn niet opgenomen in de investeringsbedragen van conversietechnieken. De grootste bedragen zitten in de apparaten (materiaal) en de plaatsing ervan (arbeid); eventuele voorbereidende gesprekken met een installateur of een vergunningsaanvraag zullen qua kosten maar beperkt invloed hebben op de totale investeringen van een installatie.

Figuur 18

Investeringsposten conversietechnieken zoals opgenomen in de SA-2020



Gas- en elektriciteitsnetten

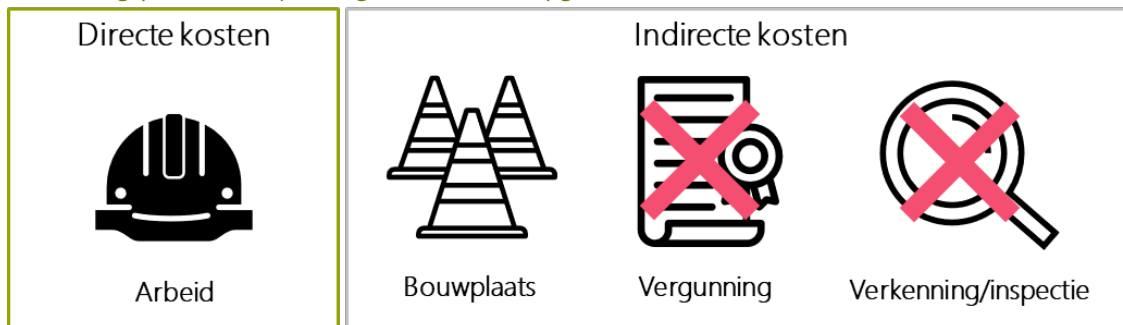
Bij de modellering van de gas- en elektriciteitsnetten is gezamenlijk met de netbeheerders gewerkt aan een systematiek die representatieve kosten voor de gas- en elektriciteitsinfrastructuur binnen de alternatieve strategieën voor aardgas in de SA-2020 geeft. Hierbij zijn gezamenlijk rekenregels opgesteld voor de verschillende werkzaamheden waarmee de netbeheerders te maken hebben. Daarnaast is ook gewerkt aan het beschikbaar stellen van de onderliggende statistische data, die aan de ene kant bestaan uit nationaal gemiddelde kentallen en aan de andere kant gegevens op buurtniveau. Het PBL draagt zelf zorg voor de uiteindelijke modellering van deze gegevens (PBL & NBNL, 2019).

Verwijderen gasnetten

In de kosteninschatting binnen het Vesta MAIS-model worden de kosten meegenomen voor de verschillende activiteiten die de netbeheerder kan plegen. Daarbij gaat het om de kosten voor het verwijderen van de gasleiding en de kosten voor het verwijderen van de aansluiting. Indirecte kosten, zoals de inzet van uren voor de aanvraag van een vergunning en andere procesmatige kosten om de gasnetten of aansluitingen te verwijderen zijn niet opgenomen in deze kosten.

Figuur 19

Investeringsposten verwijderen gasnetten zoals opgenomen in de SA-2020



Verzwaren elektriciteitsnetten

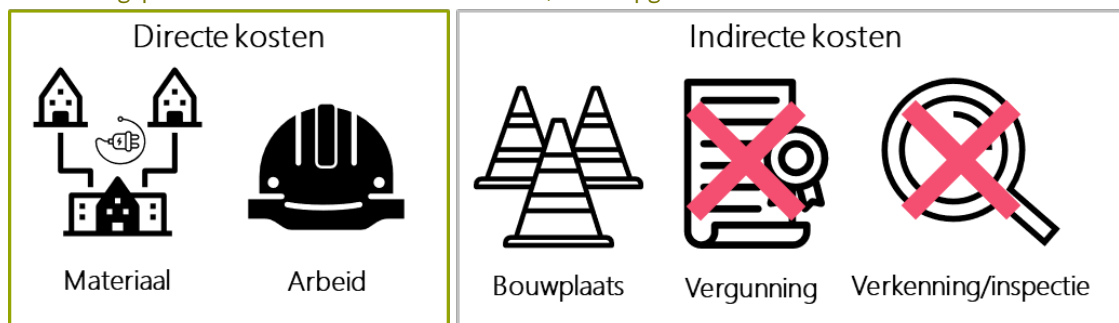
In de Startanalyse worden de kosten voor het verzwaren van de elektriciteitsnetten door netbeheerders berekend. Het gaat daarbij om de kosten voor het verzwaren van de elektriciteitsaansluitingen, het verzwaren van het laagspanningsnet en het verzwaren van de MS-ruimtes¹⁵ wanneer de

¹⁵ Dit zijn regionale distributiestationen waar elektriciteit op middenspanningsniveau wordt omgezet naar laagspanningsniveau zodat het verder gedistribueerd kan worden naar de aangesloten gebouwen.

huidige netcapaciteit in een buurt niet toereikend is om de benodigde capaciteit **voor alleen verwarmen** van gebouwen te leveren. Het Vesta MAIS-model kijkt bij elektriciteitsnetten niet naar de afhankelijkheden tussen buurten en de impact op hogere netvlakken. Ook hier zijn indirecte kosten (zoals proceskosten) niet meegenomen in de kostenschattingen voor het verzwaren van de elektriciteitsinfrastructuur.

Figuur 20

Investeringsposten verzwaren elektriciteitsnetten, zoals opgenomen in de SA-2020



Warmtenetten




De verschillende componenten van een warmtenet worden beschreven in paragraaf 3.4. Voor al deze componenten worden investeringsbedragen gehanteerd. In paragraaf 5.2.2 wordt ingegaan op enkele invloedrijke parameters in de berekening van warmtenetten, maar hieronder wordt ingegaan op de investeringsposten in het algemeen. De investeringsposten worden hierbij toegelicht aan de hand van Tabel 5.

In dit figuur zijn drie verschillende componenten van het warmtenet weergegeven, namelijk leidingen, de overdrachtstations en in pandig leidingwerk. Voor elk van deze componenten worden investeringsbedragen in beeld gebracht, maar het is niet altijd duidelijk welke kostenfactoren exact in de investeringsbedragen meegenomen worden. Om deze reden wordt in Tabel 5 aangegeven wat zeker is meegenomen (groene vink), wat zeker niet is meegenomen (rode kruis) en wat waarschijnlijk is meegenomen (gele golven) en wat vermoedelijk is meegenomen (oranje golf). Er zijn verschillende redenen voor deze onzekerheid. De eerste reden is dat er relatief weinig informatie openbaar beschikbaar is over de investeringskosten van warmtenetten. Een tweede reden is dat de wel beschikbare openbare data vaak zeer case-specifiek zijn, waardoor ze moeilijk te vertalen zijn naar nationaal representatieve kentallen. Ten derde zijn kostendata uit verschillende rapporten moeilijk te vergelijken door de verschillende afbakeningen die worden gehanteerd.

Tijdens de validatie sessies voor de Startanalyse is hier een goede stap in gezet door data van verschillende partijen naast elkaar te leggen en zo te komen tot goede kentallen (CE Delft, 2019b). Dit heeft geleid tot een aanzienlijke verbetering van de kentallen, waarbij we nu een redelijk beeld kunnen geven van de gemiddelde investeringskosten van warmtenetten in Nederland. Maar bij deze gezamenlijke inschatting zijn voornamelijk totale investeringskosten vergeleken en is nog niet ingegaan op de uitsplitsing naar verschillende kostenfactoren. Dit zou een goed vervolgonderzoek kunnen zijn.

Tabel 5

Investeringsposten van warmtenetcomponenten, zoals opgenomen in de SA-2020

		Materiaal	Arbeid	Indirecte kosten
Leidingen		Meegenomen	Waarschijnlijk meegenomen	Vermoedelijk meegenomen
Overdrachtstation		Meegenomen	Meegenomen	Niet meegenomen
Inpandig		Meegenomen	Waarschijnlijk meegenomen	Niet meegenomen

Leidingen

Een groot deel van de investeringen bij warmtenetten is gerelateerd aan de leidingen in de grond. Deze investeringen worden ingeschat op basis van de lengte van de warmtenetten die moet worden aangelegd en de investeringen van de warmtenetten per meter leiding. Daarbij zijn de investeringskosten per meter afhankelijk van het benodigde vermogen en het type ondergrond. De investeringsbedragen binnen het Vesta MAIS-model voor de SA-2020 zijn gebaseerd op informatie uit de validatiesessies (CE Delft, 2019b). Tabel 6 in dit rapport geeft een goed beeld van de spreiding van deze investeringsbedragen, waarbij de spreiding voornamelijk komt door omgevingsfactoren zoals aanleg in een weiland of in een dichtbebouwd gebied met asfaltwegen. Van deze investeringsbedragen wordt echter geen uitsplitsing gegeven naar arbeidskosten, materiaalkosten en indirecte kosten.

In Tabel 6 wordt een overzicht gegeven van de leidingkosten van verschillende typen infrastructuur (per meter leiding), zoals deze zijn opgenomen in het Vesta MAIS-model. Hierbij wordt onderscheid gemaakt naar verschillende vermogens, horend bij verschillende typen warmteleidingen (primaire net, distributienet, aansluitleiding). Uit Tabel 6 blijkt dat er een groot verschil zit in de kosten per meter leiding van gas- en elektriciteitsnetten en warmtenetten. Een gedeelte van dit verschil zou kunnen zitten in hogere kosten voor de materialen van warmtenetten, maar dit verklaart niet het hele verschil. Waarschijnlijk zitten de arbeidskosten voor het openmaken van de straat (circa 200 - 350 euro/meter) ook in het investeringsbedrag van warmtenetten. Dan blijft er nog een verschil tussen gas- en elektriciteitsnetten en warmtenetten, dit zou vermoedelijk kunnen zitten in de kosten voor vergunningsaanvragen en andere procesmatige kosten.

Tabel 6

Leidingkosten van verschillende typen infrastructuur, in Euro per meter

	Gemiddeld	Min	Max
Gas- en elektriciteitsnet, Verwijderen LD-gasnet	100		
Gas- en elektriciteitsnet, Verzwaren LS- electriciteitsnet	110		
Warmtenet, vermogen 1 MW	805	610	1000
Warmtenet, vermogen 5 MW	1097	870	1325
Warmtenet vermogen 10 MW	1330	1064	1596
Warmtenet vermogen 20 MW	1673	1339	2007

Overdrachtstations en hulpketels

Voor de kosteninschatting van de WOS-en, OS-en en HWI's wordt gewerkt met kentallen die afhankelijk zijn van het benodigde vermogen. In deze kentallen wordt rekening gehouden met de materiaalkosten voor de installatie, de materiaalkosten voor het gebouw waar deze in geplaatst moet worden en de arbeidskosten om dit te plaatsen. De kosten die niet zijn meegenomen zijn de locatie en de daaraan gekoppelde kosten voor de grond. Daarnaast zijn de indirecte kosten voor de aanvraag van een vergunning en andere procesmatige kosten niet meegenomen in deze kosten van dit warmtenetcomponent

Inpandige kosten

De inpandige kosten van warmtenetten verschillen per bouwtype. Bij woningen wordt onderscheid gemaakt naar grondgebonden woningen en appartementen, waarbij bij appartementen een splitsing wordt gemaakt naar kosten met/zonder blokverwarming. De inpandige kosten zijn dus afhankelijk van het type woning, waarbij de kosten bestaan uit materiaalkosten (voor o.a. de afleverset) en waarschijnlijk arbeidskosten. In CE Delft (2019b) wordt, in tabel 4, een overzicht van de inschattingen voor inpandige kosten gegeven vanuit verschillende informatiebronnen.

Warmtenetten in zijn geheel

Voor de warmtenetten als geheel worden de arbeids- en materiaalkosten redelijk goed in beeld gebracht, waarbij de indirecte kosten vermoedelijk ook worden meegenomen in de kosten van warmteleidingen. Kosten die niet zijn meegenomen zijn kosten voor planvorming en andere procesmatige kosten die komen kijken bij de plaatsing van een warmtenet. Zoals de kosten voor de grond waarop de WOS geplaatst wordt. Dit zijn kosten die zeer specifiek zijn per situatie en kunnen moeilijk meegenomen kunnen worden in generieke berekeningen voor warmtenetten in Nederland.

Verder is het bij de interpretatie van de kosten van alle strategieën van belang om het verschil tussen eindgebruikerskosten en nationale kosten in het achterhoofd te houden. Dit verschil zit met name in de rentevoeten die worden gehanteerd en de invloed van belastingen op de businesscase van actoren. Dit kan maken dat een strategie gunstig is wat betreft nationale kosten, maar dat een ander beeld kan ontstaan wanneer de eindgebruikerskosten van verschillende actoren in ogenschouw worden genomen. Dit wordt verder toegelicht in paragraaf 5.1.2 van Hoogervorst et al (2020).

4 Startsituatie

In de transitie naar een aardgasvrije warmtevoorziening is het van belang om een startpunt te bepalen voor deze transitie. Dit startpunt bevat een beeld van de gebouwvoorraad die verduurzaamd moeten worden, de mate waarin energiebesparende maatregelen zijn genomen (d.m.v. energielabels) en de huidige beschikbare warmtebronnen voor warmtenetten. Met deze informatie is het mogelijk om verkenningen te maken naar de vormen van aardgasvrije warmtevoorziening, zoals gedaan binnen de SA-2020. Dit hoofdstuk gaat in achtereenvolgende paragrafen op de gasvraag van de gebouwde omgeving, de indeling van CBS-buurtten en de deelsectoren woningen en utiliteit. Vervolgens worden de warmtebronnen besproken, waarbij ook wordt ingegaan op de input die is geleverd door gemeenten voor de warmtebronnen in hun gemeenten.

In dit hoofdstuk worden verschillende figuren gepresenteerd. De tabellen met de onderliggende waarden zijn opgenomen in bijlage B.2.

4.1 Gasvraag gebouwde omgeving

De Startanalyse heeft uitsluitend betrekking op de sector ‘Gebouwde omgeving’. Dit betekent dat het alleen gaat om woningen en utiliteitsgebouwen en dat de glastuinbouw niet wordt meegenomen. De glastuinbouw is, binnen het kader van het Klimaatakkoord, onderdeel van de sector ‘Landbouw en Landgebruik’. De functionaliteit van Vesta MAIS betreffende glastuinbouw is daarom buiten beschouwing gelaten in de Startanalyse.

De totale aardgasvraag, voor woningen en utiliteit, binnen de Startanalyse is circa 412 petajoule in 2019. Dit komt goed overeen met de inschatting van het totale aardgasverbruik zoals berekend in de Klimaat- en Energieverkenning 2019 (Schoots & Hammingh, 2019). Dit is het temperatuurgecorrigeerde aardgasverbruik, wat betekent dat het gasverbruik voor ruimteverwarming is gecorrigeerd o.b.v. de temperatuur in een gemiddeld jaar in Nederland. Dit is dezelfde methode zoals gehanteerd in de KEV, maar het gasverbruik wijkt wel af van CBS-data over het gasverbruik omdat het CBS het daadwerkelijke gasverbruik rapporteert.

4.2 CBS-buurtten

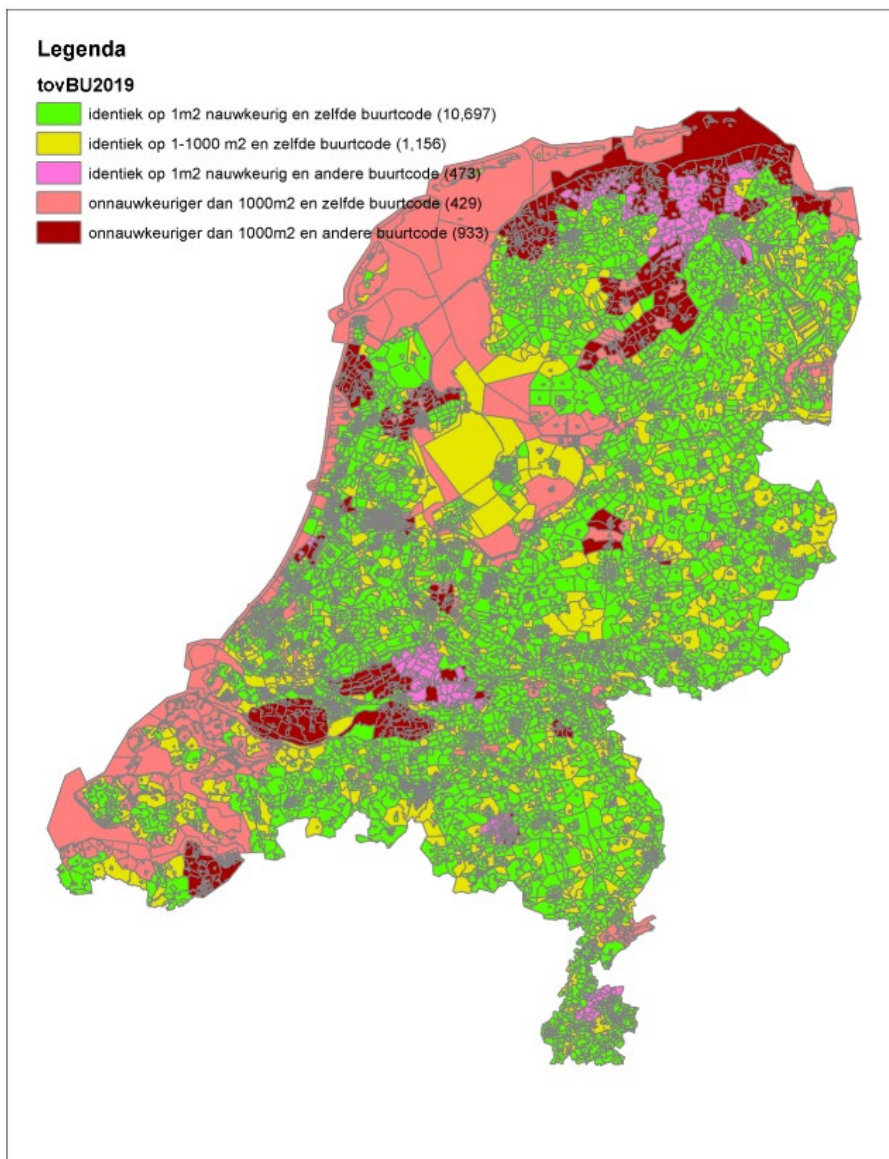
De Startanalyse presenteert de resultaten op buurtniveau, maar tussen de SA-2019 en SA-2020 werd de CBS-buurtindeling aangepast. Het totaal aantal buurten in Nederland ligt met deze nieuwe indeling rond de 13.700 buurten (in 2019), waar de buurtindeling van de SA-2019 nog 13.400 buurten (in 2018) bevatte. Het totaal aantal buurten is dus toegenomen, maar naast de toevoeging van nieuwe buurten zijn er ook bestaande buurten aangepast (o.a. om ruimte te maken voor nieuwe buurten). In Figuur 21 wordt op kaart een overzicht gegeven van de wijzigingen in het aantal buurten, Tabel 47 bevat dezelfde data maar dan in tabelvorm.

Wat hierin opvalt is dat de meeste buurten dezelfde buurtcode en oppervlakte hebben behouden (circa 80%). Het aantal met een gelijke oppervlakte is zelfs circa 83%, wanneer ook buurten met een wijziging in buurtcode worden meegenomen. De overige 17% van de buurten zijn wel gewijzigd, waarbij zowel veranderingen zitten in de buurtcodes als de oppervlakten van de buurten. Uit Figuur 21 blijkt dat er overal verspreid in Nederland wijzigingen zijn geweest in de buurten, maar

dat de grootste wijzigingen zijn gedaan in Friesland, Groningen, Noord-Brabant en de buurtindeling van zeegebieden. Deze laatste hebben geen invloed op de Startanalyse, voor deze buurten worden namelijk geen berekeningen gedaan.

Deze wijzigingen in de buurtindeling van Nederland hebben invloed op de resultaten van de aangepaste buurten in de SA-2020. Het kan bijvoorbeeld voorkomen dat 1 buurt in de SA-2019 is opgedeeld in 2 verschillende buurten in de SA-2020. Dit heeft invloed op de berekening van HT/MT-warmtenetten, die worden gedimensioneerd op buurtniveau en de investeringen verschillen, binnen het Vesta MAIS-model, nu het niet 1 grote buurt is maar 2 afzonderlijke buurten. Dergelijke verschillen komen voor, maar het grootste deel van de buurten is gelijk gebleven dus hier zal dit geen verschillen opleveren.

Figuur 21
Wijzigingen in CBS-buurten tussen de SA-2019 en de SA-2020



4.3 Woningen

Het grootste gedeelte van de gebouwen in Nederland zijn woningen. In deze paragraaf wordt ingegaan op de woningen die zijn meegenomen binnen de SA-2020, waarbij wordt ingegaan op de verdeling over woningtype en bouwjaarklasse, energielabel en de totale energievraag. De basis voor de woningvoorraad in de SA-2020 is een snapshot van de BAG op 01-01-2020. Dit geeft dus het totale aantal woningen zoals bekend aan het einde van 2019.

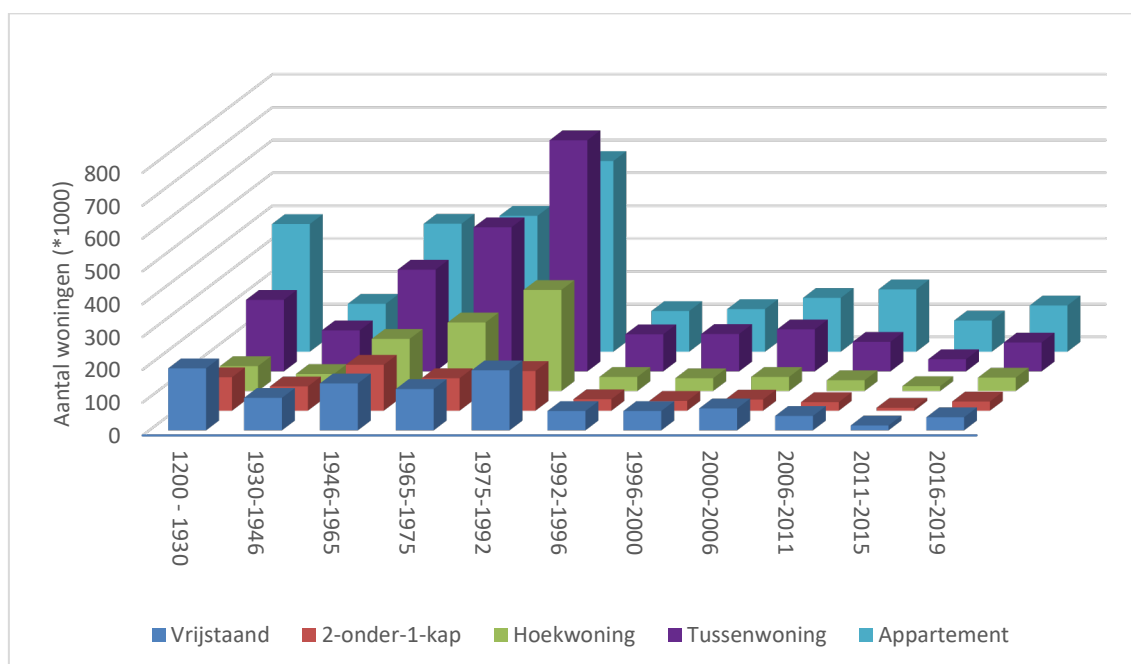
4.3.1 Aantal woningen

Het totaal aantal woningen dat wordt meegenomen binnen de SA-2020 is circa 7,9 miljoen woningen. In Figuur 22 wordt een overzicht gepresenteerd van deze woningen, waarbij de woningen zijn uitgesplitst naar woningtype en bouwjaarklasse. Wat opvalt in Figuur 22 is dat circa tweederde van de Nederlandse woningvoorraad bestaat uit appartementen (35%) en tussenwoningen (30%). De overige 35% is verdeeld over vrijstaande woningen (13%), hoekwoningen (13%) en 2-onder-1-kap woningen (9%). Daarnaast is goed te zien dat meer dan de helft van de woningen is gebouwd in de 45 jaar na de 2^e wereldoorlog, respectievelijk 24% in de periode van 1975-1992, 16% in de periode van 1965 – 1975 en 15% tussen 1946 en 1965. De overige woningen zijn voor 19% gebouwd in de periode t/m 1945 en 26% is gebouwd na 1992. Ook hier zitten de grootste woningaantallen bij tussenwoningen en appartementen.

De geografische verdeling van deze woningen over Nederland verschilt wel, zo zitten de appartementen grotendeels in de steden en staan de vrijstaande woningen meer in buitengebieden. Onderstaande verdeling geeft dus geen beeld van de verdeling in een bepaalde buurt in Nederland, maar geeft wel een beeld voor Nederland als geheel. Daarbij hebben de bouwperiodes invloed op de verdeling van energielabels in Nederland, zoals ook wordt toegelicht in de volgende paragraaf.

Figuur 22

Verdeling van het totaal aantal woningen binnen de SA-2020 op basis van woningtype en bouwjaar-klasse (BAG 01-01-2020).

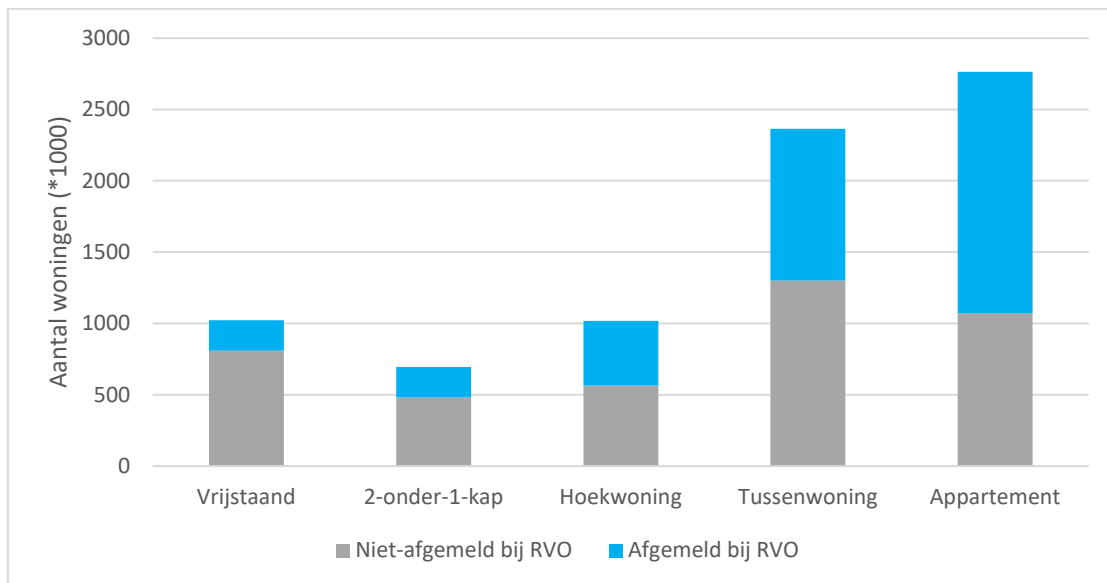


4.3.2 Labelverdeling bij woningen

De afgelopen jaren neemt het totaal aantal geregistreerde energielabels snel toe, waarbij in de Startanalyse bijna de helft van de woningen een geregistreerd energielabel heeft. De energielabels worden afgemeld bij RVO en de database van RVO wordt elke dag geüpdatet. Voor de SA-2020 is gebruik gemaakt van de database zoals deze bekend was op 01-01-2020. In Figuur 23 wordt een overzicht gegeven van de verdeling van de afgemelde energielabels bij RVO op deze datum. Hierin is te zien dat er grote verschillen zitten in het aantal afgemelde energielabels per woningtype. Bij vrijstaande woningen heeft ongeveer 20% van de woningen een afgemelde energielabel bij RVO, waar bij appartementen circa 60% van de woningen een afgemeld energielabel bij RVO heeft. Een verklaring hiervoor is het relatief grote aandeel van appartementen dat valt onder de sociale huur, waarbij er een doelstelling voor de sociale huursector is om een gemiddeld energielabel van hun woningvoorraad te behalen. Om dit in beeld te brengen moesten de energielabels worden afgemeld bij RVO en zodoende heeft een groot aandeel van de woningen in de sociale huur een afgemeld energielabel. Dit zou een reden kunnen zijn voor het grotere aandeel tussenwoningen en appartementen met een afgemeld energielabel bij RVO ten opzichte van de andere woningtypen.

Figuur 23

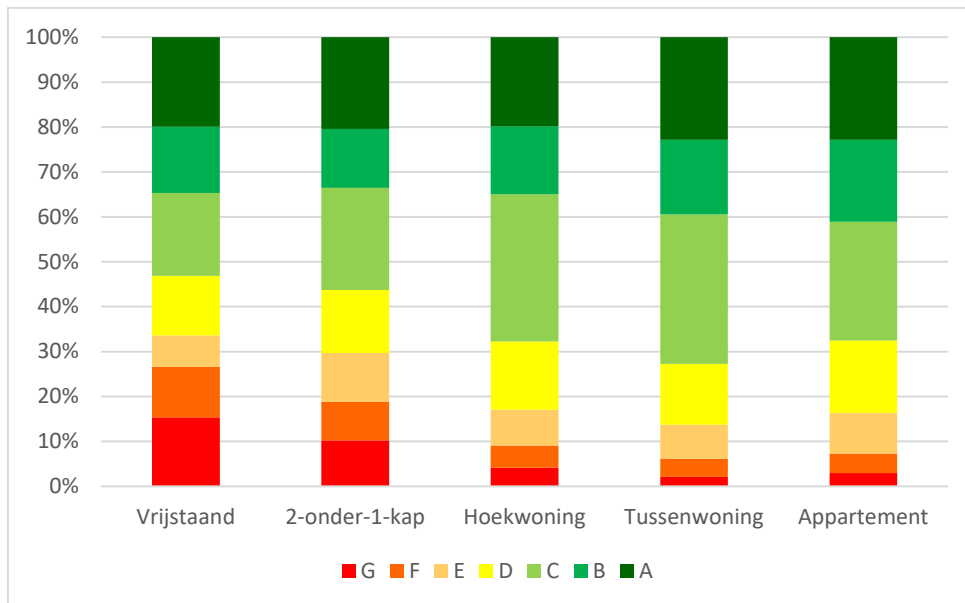
Aantal woningen met afgemelde en niet-afgemelde energielabels bij RVO (01-01-2020), per woningtype



De afgemelde energielabels bij RVO kunnen verder worden uitgesplitst naar de verschillende energielabels. Figuur 24 geeft een overzicht van de verschillende energielabels zoals afgemeld bij RVO voor de verschillende woningtypen. Hierin is te zien dat het relatieve aandeel van energielabel A ongeveer gelijk is voor alle woningtypen. Ook het relatieve aandeel van energielabel B is nog relatief gelijk, maar de verdeling van de andere energielabel niveaus verschilt tussen de woningtypen. Hierbij valt met name op dat het aandeel afgemelde G en F woningen bij vrijstaande en 2-onder-1-kap woningen hoog is ten opzichte van de andere woningtypen.

Figuur 24

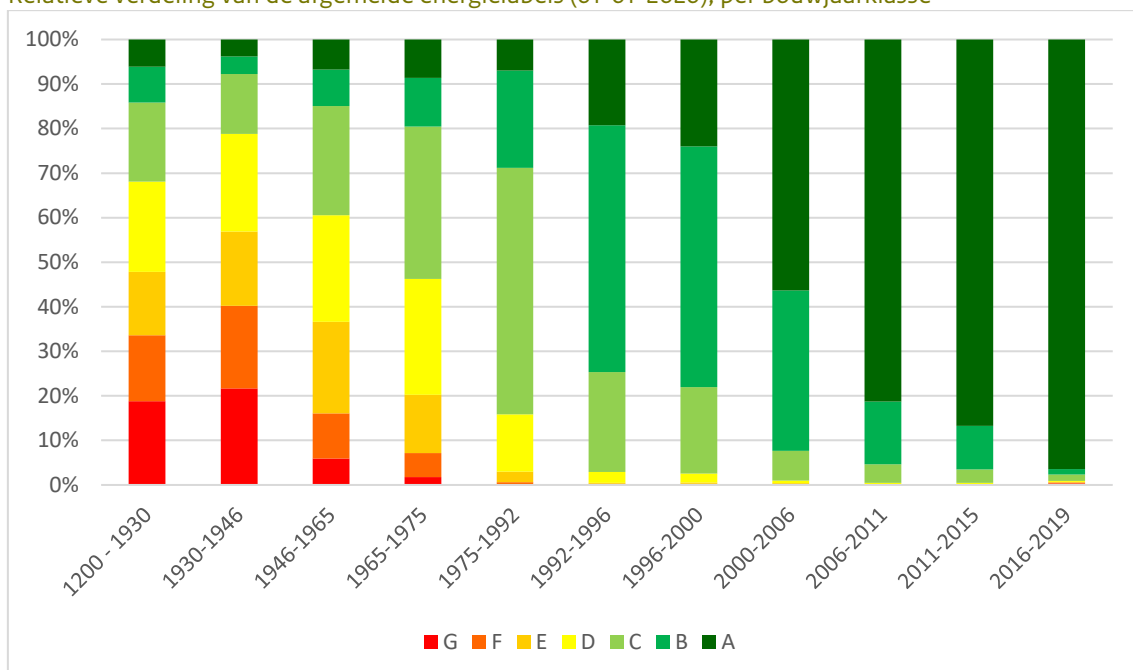
Verdeling van de afgemelde energielabels bij RVO (01-01-2020), per woningtype



Wanneer de afgemelde energielabels bij RVO worden verdeeld per bouwjaarklasse, dan valt op dat de recentere bouwjaarclassen betere energielabels hebben. Dit is ook conform verwachting, omdat over de tijd de bouwvoorschriften voor energiebesparende maatregelen zijn aangescherpt waardoor recenter gebouwde woningen betere energielabels hebben. Dit komt ook duidelijk terug in Figuur 25, waarbij de woningen gebouwd vanaf 2000 praktisch allemaal een energielabel B of beter hebben.

Figuur 25

Relatieve verdeling van de afgemelde energielabels (01-01-2020), per bouwjaarklasse



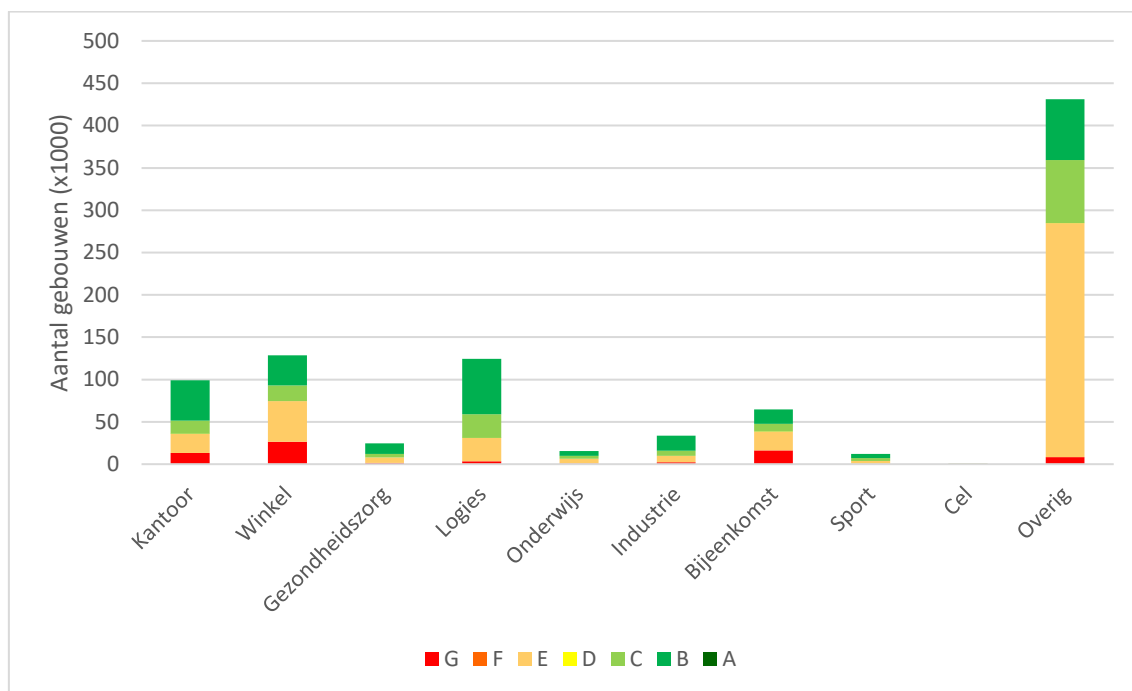
4.4 Utiliteit

De gebouwen van de utiliteitssector bevatten een grote diversiteit aan utiliteitsfuncties, welke binnen het Vesta MAIS-model worden ingedeeld in 10 utiliteitstypen. In Figuur 26 wordt een overzicht gegeven van de aantallen per utiliteitstype, zoals bekend in de BAG van 01-01-2020. Hierin is te zien dat ongeveer de helft van de utiliteitsgebouwen is ingedeeld in de categorie 'Overig'. De grootte van deze categorie is opvallend, maar goed te verklaren door de diversiteit aan utiliteitsfuncties. Sommige utiliteitsgebouwen zijn vrij goed te verdelen, zoals bijvoorbeeld supermarkten of hotels. Maar er zijn ook gebouwen die moeilijk in te delen zijn, zoals parkeergarages, stroomdistributiestationen en diverse andere gebouwen. In BAG (2021) wordt een toelichting gegeven op de verschillende typen gebouwen binnen de BAG.

In Figuur 26 worden niet alleen de totale aantallen utiliteitsgebouwen gegeven, maar ook de onderverdeling over default energielabels. Deze default labels worden vastgesteld op basis van de bouwjaarperiode en het utiliteitstype, zoals toegelicht in paragraaf 3.2.3. **Het gaat dus niet om afgemelde energielabels bij RVO.** Daarbij gaat het in Figuur 26 om de startsituatie van utiliteitsgebouwen binnen de SA-2020. De utiliteitstypen 'Kantoor', 'Winkel' en 'Bijeenkomst' hebben de hoogste percentages van gebouwen met label G, dit zijn voornamelijk oude gebouwen. Aan de andere kant hebben de utiliteitstypen 'Cel', 'Logies' en 'Gezondheidszorg' de hoogste percentages gebouwen met label B. Deze gebouwen hoeven dan ook niet meer te springen naar label B binnen de Startanalyse.

Figuur 26

Verdeling van default energielabels (o.b.v. bouwjaarperiode, dus geen energielabel afgemeld bij RVO) over verschillende utiliteitstypen, aantal gebouwen (*1000). Bron: BAG 01-01-2020, met bewerking door het PBL

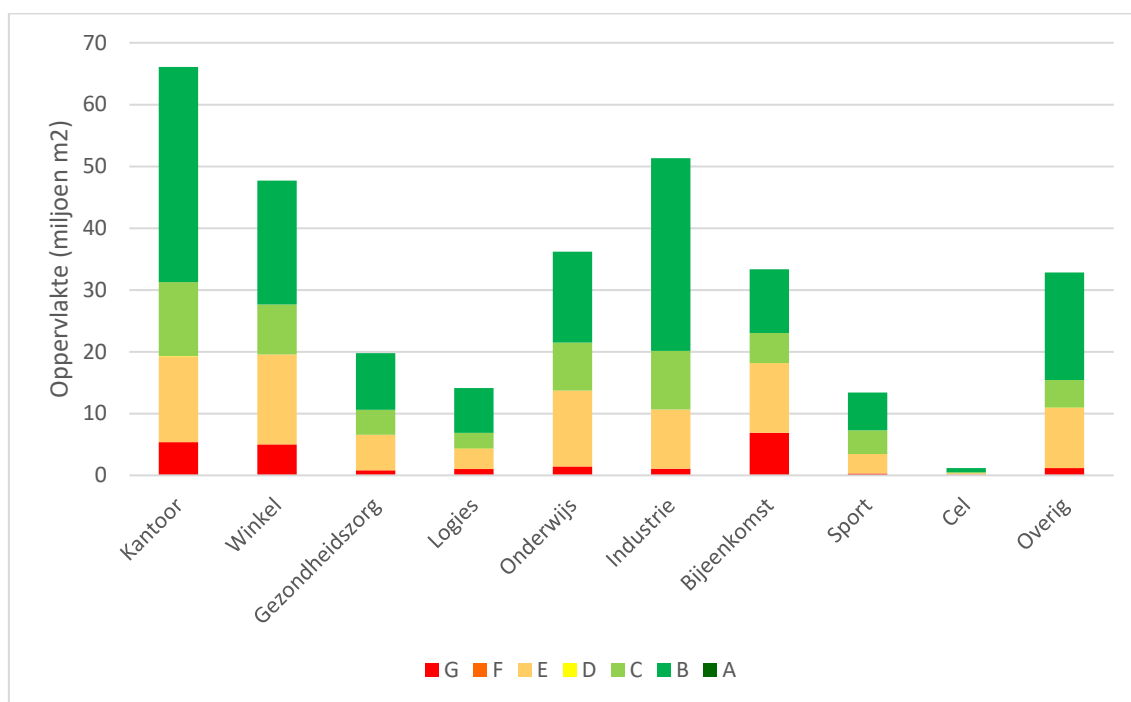


Figuur 26 geeft een overzicht van het aantal gebouwen, maar het energieverbruik binnen het Vesta MAIS-model wordt berekend op basis van de oppervlakte van de gebouwen. De totale oppervlakte van gebouwen per utiliteitstype wordt weergegeven in Figuur 27. De verdeling van de oppervlakte

over verschillende utiliteitstypen laat een afwijkende verdeling zien van het aantal gebouwen. Het utiliteitstype 'Overig' is nu niet meer overheersend, het gaat bij dit utiliteitstype dus voornamelijk om veel gebouwen met een relatief klein oppervlakte. Het utiliteitstype met het grootste oppervlak is 'Kantoor' en 'Cel' is zowel qua gebouwen als oppervlakte het kleinste.

Figuur 27

Verdeling van default energielabels (o.b.v. bouwjaarperiode, dus geen energielabel afgemeld bij RVO) over de oppervlakten van utiliteit, miljoen m² oppervlakte. Bron: BAG 01-01-2020, met bewerking door het PBL



De verdeling van de oppervlakten over verschillende energielabels verschilt ook met de verdeling van energielabels bij het aantal utiliteitsgebouwen. Bij de verdeling van het aantal gebouwen heeft circa 45% startlabel E en 30% startlabel B, maar wanneer wordt gekeken naar de verdeling van oppervlakten gaat het om 27% startlabel E en 48% startlabel B. Het aandeel van de oppervlakte dat al op het doellabel zit is groter dan het aantal gebouwen.

4.5 Warmtebronnen

Binnen de strategieën S₂ en S₃ van de Startanalyse wordt de toepassing van warmtenetten doorge-rekend. De basis voor een warmtenet is de primaire bron van warmte. Deze primaire bron van warmte kan een AVI zijn, een elektriciteitscentrale, een geothermiebron, een RWZI, een supermarkt of diverse andere bronnen. Al deze bronnen verschillen in de ligging in Nederland, de potentiële hoeveelheid warmte die kan worden geleverd, mogelijk de energiedrager die nodig is om de warmte te produceren en diverse andere facetten. Kortom, er is een grote hoeveelheid aan warmtebronnen in Nederland, met daarin een grote variatie aan typen warmtebronnen.

De informatie over deze warmtebronnen is beperkt. De Warmteatlas van RVO geeft een zo goed mogelijk beeld van de warmtebronnen op basis van openbaar beschikbare informatie (RVO, 2020b). De meest recente versie van de Warmteatlas is ook gebruikt voor de SA-2019. Voor de SA-2020 is er een verbeterslag geweest op de data uit de Warmteatlas, door gemeenten te vragen om

informatie aan te leveren over de warmtebronnen in hun gemeente. Het ECW had in het najaar van 2019 [een oproep](#) gedaan aan gemeenten en provincies om data op te sturen en circa 55 partijen hebben op deze oproep gereageerd. In deze data zaten zowel nieuwe warmtebronnen, werd aangegeven dat warmtebronnen niet meer bestonden of werd verbeterde data aangeleverd over bestaande bronnen. Het PBL heeft deze data verwerkt in een nieuw bestand, wat nu ook beschikbaar is op de Warmteatlas (RVO, 2020b) en welke ook te vinden is in de viewer van de Startanalyse.

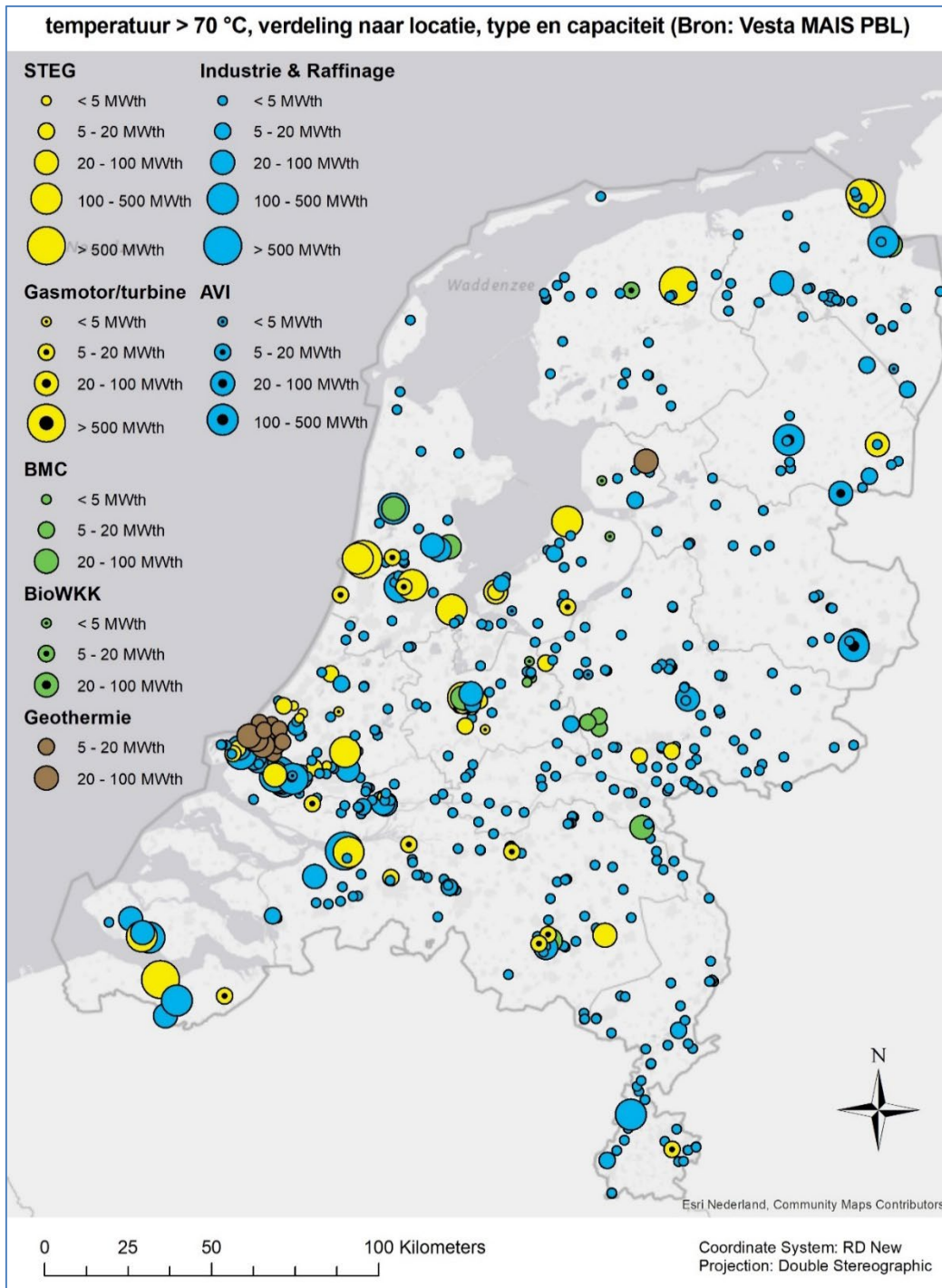
In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de verschillende warmtebronnen zoals die zijn meegenomen binnen de Startanalyse. Deze data zijn verrijkt door verschillende partijen aan het begin van 2020, maar het is nog altijd raadzaam dat gemeenten, die een warmtenet overwegen, contact opnemen met potentiële producenten van restwarmte voor nadere informatie over de capaciteit, het vermogen de bestendigheid van de bron.

4.5.1 Puntbronnen

Er zijn verschillende warmtebronnen met een vaste locatie binnen Nederland, deze worden binnen het Vesta MAIS-model aangeduid met de term 'puntbron'. Tussen de SA-2019 en de SA-2020 is er een verrijking geweest van de data door de aangeleverde informatie van gemeenten. In Tabel 54 (in bijlage B.2) wordt een overzicht gegeven van de verschillen tussen de SA-2019 en de SA-2020 voor verschillende typen MT-warmtebronnen. Wat hierbij opvalt is dat zowel het totaal aantal warmtebronnen als het beschikbare warmtebronvermogen is toegenomen als gevolg van deze dataverrijking. Eén van de opvallende aanvullingen zijn geothermie-installaties als warmtebron. Deze geothermiebronnen hebben al een specifieke locatie in Nederland en worden daarom ook berekend als 'puntbron', waarbij de eigenschappen als beschikbaar vermogen bekend zijn voor deze warmtebron. Deze geothermiebronnen kunnen hierdoor preciezer berekend worden, waarbij nog expliciet bij de gemeentes is nagevraagd of het gaat om het beschikbare warmtevermogen nadat de warmtevraag van de glastuinbouw is ingevuld. Gemeenten hebben aangegeven dat het gerapporteerde vermogen beschikbaar is voor levering aan de gebouwde omgeving. Bij de andere bronnen zijn er geen hele grote veranderingen geweest, alleen bij de AVI's was in de SA-2019 sprake van een typefout en deze is in de SA-2020 gecorrigeerd waardoor het totale vermogen behoorlijk is toegenomen.

Figuur 28 geeft een overzicht van de HT/MT-warmtebronnen zoals opgenomen in de SA-2020, waarbij de verschillende vormen van warmtebronnen terugkomen.

Figuur 28
Potentiële MT-warmtebronnen in Nederland



Voor de LT-warmtebronnen is het niet mogelijk om eenzelfde figuur als Figuur 28 te maken, omdat het aantal LT-warmtebronnen daarvoor te hoog is. Maar het is wel mogelijk in tabelvorm de verschillen tussen de SA-2019 en de SA-2020 weer te geven voor de LT-warmtebronnen, zoals wordt gedaan in Tabel 7. In deze tabel valt op dat het aantal gemalen is afgenomen, dit had met name te maken met het feit dat sommige gemalen er in de SA-2019 nog dubbel in zaten als ‘Gemaal-Warmte’ en ‘GemaalKoud’. De focus in de Startanalyse licht op warmte en daarom zijn deze dubbelingen eruit gehaald en zijn er daarnaast ook diverse gemalen door de gemeente uitgehaald, dit heeft geresulteerd in een forse daling van het aantal gemalen. Daarnaast is het aantal

supermarkten fors toegenomen tussen de SA-2019 en de SA-2020, maar blijft het beschikbare vermogen gelijk. De reden hiervoor is dat voor de toegevoegde supermarkten geen beschikbaar vermogen was opgegeven. Als er geen vermogen is opgegeven dan wordt uitgegaan van het default vermogen en in het geval van supermarkten is dit default vermogen 0, zoals vermeld in tabel 10 van Hoogervorst et al (2019). Voor de overige typen warmtebronnen zijn er geen grote wijzigingen tussen de SA-2019 en de SA-2020.

Tabel 7
Verschillen tussen aantal warmtebronnen en beschikbaar vermogen (MWth) van LT-warmtebronnen binnen de SA-2019 en de SA-2020

Type warmtebron	Bronnen SA-2019	Bronnen SA-2020	Vermogen SA-2019	Vermogen SA-2020
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

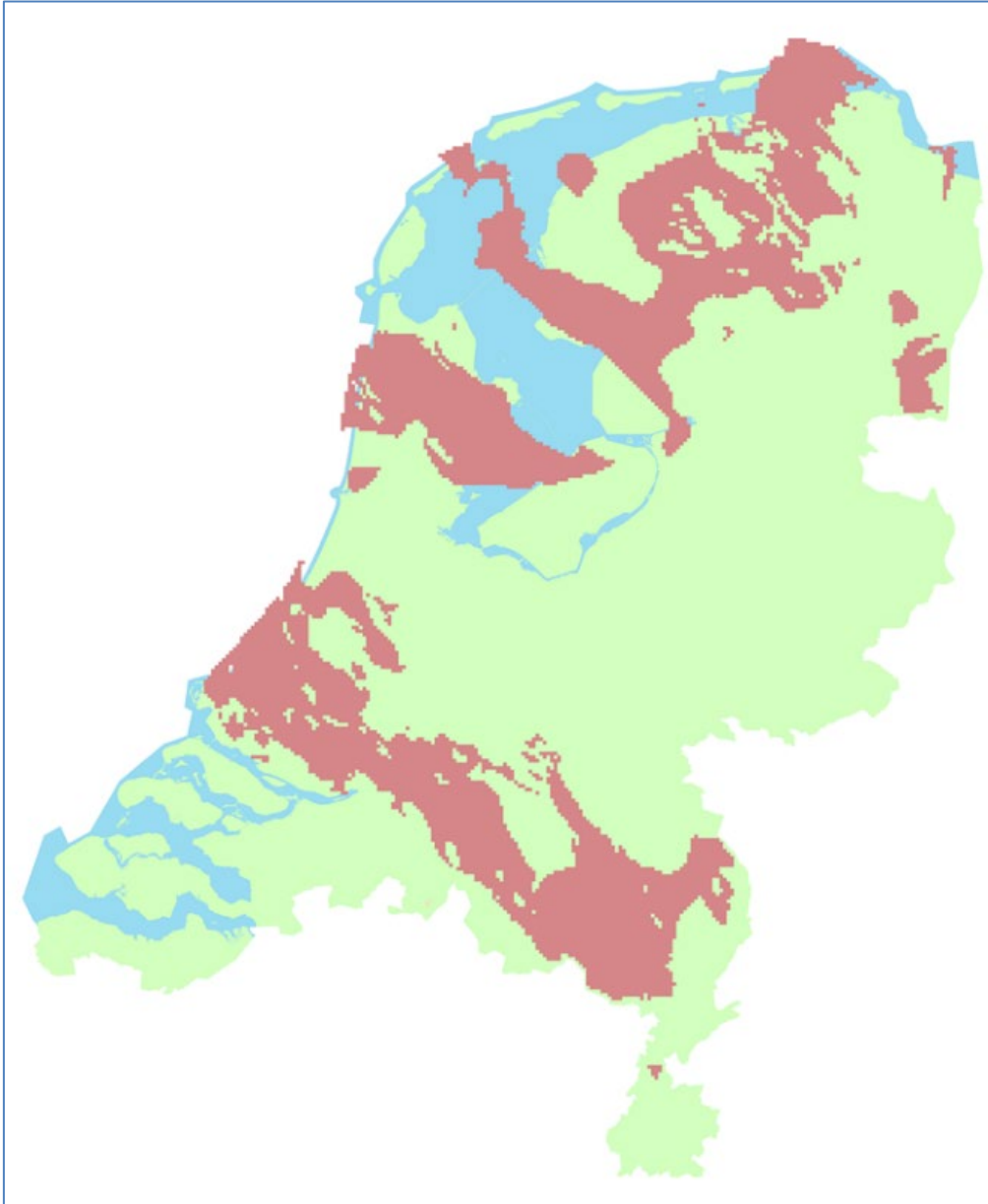
4.5.2 Geothermiecontour

De rode gebieden in Figuur 29 geven een beeld van de kansrijke gebieden voor geothermie. Gezamenlijk worden deze gebieden aangeduid met de term ‘contour’. De data zijn afkomstig van Thermogis 2.1, waarbij deze voor het laatst is geraadpleegd in maart 2019 (TNO, 2020). Deze contour beschrijft de kaartlaag “Technisch Potentieel” en is geclassificeerd op basis van het aantal theoretisch winbare MW thermisch. De keuze is gemaakt om alle gebieden met een goede indicatie van meer dan 5 MWh aan te merken als kansrijke gebieden. Deze gebieden zijn in Figuur 29 rood gekleurd.

In andere gebieden is ofwel te weinig data beschikbaar ofwel is er uit de beschikbare data niet naar voren gekomen dat er aan dit minimumpotentieel wordt voldaan. In deze contour zijn niet alle mogelijk geschikte lagen voor aardwarmte uit de Nederlandse ondergrond opgenomen, omdat niet van alle lagen voldoende informatie beschikbaar is om een potentiekaart te maken. Ook is nog geen rekening gehouden met gebieden waar in de komende tijd meer informatie beschikbaar kan komen vanuit het SCAN-project (EBN, 2020).

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.

Figuur 29
Theoretisch kansrijke gebieden (in het rood) voor geothermie



4.5.3 WKO-contour

Naast de contour voor geothermie is er ook een contour die de geschiktheid van de ondergrond voor WKO-installaties aangeeft. In Figuur 11 wordt het beeld gegeven van de ondergrond in Nederland die wel of niet geschikt is voor de toepassing van WKO. Het grootste deel van Nederland is geschikt voor de toepassing van WKO, alleen er zijn uitzonderingen zoals drinkwatergebieden. De basis voor de WKO-contour is afkomstig van de Warmteatlas (RVO, 2020b), waarna de grondwaterbeschermingsgebieden zijn 'geknipt' uit deze contour. Dit geeft het beeld in Figuur 30, waarbij de contour aangeeft of de grond wel/niet geschikt is maar het geeft geen indicatie van de capaciteit

in de bodem. Bij het voornemen om een WKO-installatie zal deze capaciteit altijd geverifieerd moeten worden voordat de installatie geplaatst kan worden.

Figuur 30
Overzicht van Nederland waar WKO wel/niet is toegestaan



4.5.4 Beschikbaar oppervlaktewater

De WKO-installaties kunnen gecombineerd worden met aquathermie wanneer oppervlaktewater aanwezig is. Deze oppervlaktewateren worden ook weergegeven in een contour, zoals weergegeven in Figuur 31. Deze contour is opgezet in samenwerking met Syntraal en Deltares in de eerste maanden van 2020 zodat de meest recente data was opgenomen in de SA-2020. Onderstaand figuur geeft een overzicht van de wateren waar energie uit oppervlaktewater gewonnen kan worden. Het is hierbij nog onzeker of het water ook daadwerkelijk gewonnen kan worden, dit kan namelijk worden beïnvloed door verschillende factoren. Kleine wateren, zoals greppels, sloten en droogvallende beken zijn uitgesloten omdat het potentieel voor energiewinning hier zeer klein is. Voor

onderstaande contour is gebruik gemaakt van diverse bronnen, welke worden beschreven in paragraaf 5.1.5.1 in het Functioneel Ontwerp 5.0 (Van der Molen et al, 2021).

Figuur 31

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



UITGANGSPUNTEN VOOR 2030

5 Uitgangspunten voor strategieën

Het doel van de Startanalyse is om inzicht te geven in de consequenties van verschillende vormen van aardgasvrije warmtevoorziening. Om deze toekomstige vormen van warmtevoorziening te verkennen moeten eerst enkele algemene veronderstellingen worden gedaan over algemene ontwikkelingen richting de toekomst, zoals de veranderingen in het klimaat of het aantal gebouwen. Deze algemene uitgangspunten worden beschreven in paragraaf 5.1. Vervolgens worden in de Startanalyse verschillende aardgasvrije vormen van warmtevoorziening verkend waarbij een groot aantal technologieën een rol spelen. In paragraaf 5.2 worden de uitgangspunten voor technologieën per strategie toegelicht. Hierbij is het niet mogelijk om alle technische uitgangspunten te beschrijven, maar wordt ingegaan op parameters die zijn gewijzigd sinds de SA-2019 en parameters die een relatief grote invloed kunnen hebben op de uitkomsten van de Startanalyse.

5.1 Algemene uitgangspunten

5.1.1 Toekomstige bebouwing

Toekomstige ontwikkelingen in de gebouwvoorraad, zoals de bouw van nieuwe gebouwen of de sloop van bestaande gebouwen worden buiten beschouwing gelaten in de Startanalyse. Voor nieuwbouw geldt, sinds juli 2018, dat de aansluitplicht van gebouwen op aardgas is vervallen (Rijksoverheid, 2018). Dit betekent dat de aardgasvrije warmtevoorziening een integraal onderdeel is van de nieuwbouwontwikkelingen.

Dit betekent niet dat er in de praktijk geen sprake kan zijn van potentiële synergievoordelen tussen de ontwikkelingen van de warmtevoorziening voor nieuwbouw en het uitfaseren van aardgas binnen de bestaande bouw. Bij de ontwikkeling van collectieve energiesystemen kan daar sprake van zijn. Het identificeren van dergelijke aanknopingspunten valt buiten de scope van de Startanalyse, maar het strekt wel tot aanbeveling deze mogelijkheid bij nieuwbouwontwikkelingen te verkennen. Toekomstige sloop van bestaande gebouwen is ook buiten beschouwing gelaten. Dat komt omdat geen landsdekkend beeld bestaat voor sloopplannen tot 2030, het zichtjaar waar de Startanalyse voor rekt. Dit betekent mogelijk een overschatting van de kosten. Het is aannemelijk dat bouwkundig slechte gebouwen op termijn niet verder worden geïsoleerd maar worden gesloopt en eventueel worden vervangen door nieuwe, goed geïsoleerde gebouwen.

5.1.2 Klimaateffect

De gemiddelde temperatuur in Nederland stijgt en deze trend zet door in de toekomst. Deze hogere temperatuur heeft invloed op de benodigde energie om ruimtes te verwarmen doordat onder andere 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 (KNMI, 2014). Binnen het Vesta MAIS-model wordt rekening gehouden met dit veranderende klimaat, waarbij de gehanteerde methode in detail wordt beschreven in paragraaf 6.6.5.3 van het functioneel ontwerp 5.0 (Van der Molen et al, 2021). In de Startanalyse wordt uitgegaan van het WL-scenario, wat uitgaat van opwarming met een gemiddelde temperatuurstijging van 2°C.

5.1.3 Kostenontwikkelingen tot 2030

Van de meeste technieken is de verwachting dat ze door innovatie, standaardisatie en opschaling in de loop der tijd goedkoper kunnen worden. Met name voor relatief nieuwe technologieën (zoals een warmtepomp bij huishoudens) wordt verwacht dat hier nog relatief veel winst te behalen valt. Dergelijke verwachtingen worden binnen het Vesta MAIS-model meegenomen door middel van leercurves. Deze leercurves geven een beeld van de procentuele daling in kosten die wordt verwacht in een bepaalde periode. Deze verwachting zijn omgeven met onzekerheid en daarom wordt in het Vesta MAIS-model gewerkt met (grote) bandbreedtes voor deze ontwikkelingen. Waarbij voor de onderkant van de bandbreedte, de meeste optimistische waarde, wordt uitgegaan van de potentiële kostenreducties zoals aangenomen in het Klimaatakkoord (Hoogervorst, Menkveld & Tigchelaar, 2019). Voor de bovenkant van de bandbreedte, de meest pessimistische waarde, wordt ervan uitgegaan dat de kosten niet dalen en op het huidige kostenniveau blijven. Voor de Startanalyse wordt het gemiddelde genomen tussen deze twee waarden voor het jaar 2030. In Tabel 8 wordt een overzicht gegeven van enkele van de leercurves zoals deze worden meegenomen binnen de Startanalyse. Bijlage B.12 van het functioneel ontwerp 5.0 (Van der Molen et al, 2021) bevat een overzicht van alle leercurves binnen het Vesta MAIS-model.

Tabel 8
Uitgangspunten voor kostendalingen van technologieën in de SA-2020

	Pessimistisch 2030	Optimistisch 2030	Gemiddeld 2030 (Uitgangspunt SA)
Warmtenetten (algemeen)	100%	79%	89,5%
Geothermiebron	100%	74%	87%
Elektrische warmtepomp	100%	62%	81%
Hybride warmtepomp	100%	55%	77,5%
Isolatiemaatregelen voor label B	100%	82%	91%

5.1.4 Afschrijvingstermijnen

Binnen de Startanalyse worden de nationale kosten van de verschillende strategieën en varianten berekend. Om deze nationale kosten uit te rekenen worden de investeringen omgerekend naar jaarlijkse kapitaallasten door middel van een afschrijvingstermijn en een discontovoet. Omdat het om de nationale kosten gaat is de discontovoet hetzelfde voor alle investeringen, namelijk de maatschappelijke discontovoet van 3%. De afschrijvingstermijnen kunnen wel verschillen per technologie en Tabel 9 geeft een overzicht van de afschrijvingstermijnen.

Tabel 9
Afschrijvingstermijnen van technologieën in de SA-2020

Technologie	Afschrijvingstermijn
Warmtenetten	30 jaar
Energiebesparing	30 jaar
Gas- en elektriciteitsnetten	50 jaar
Conversietechnieken (zoals warmtepompen en Hr-ketels)	15 jaar ¹⁶

5.2 Uitgangspunten per strategie

De Startanalyse geeft een groot aantal varianten om over te gaan naar aardgasvrije vormen van warmtevoorziening. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een groot aantal technologieën, met elk haar eigen kenmerken. In deze paragraaf wordt ingegaan op de belangrijke uitgangspunten voor de verschillende technologieën. Hierbij wordt zoveel mogelijk onderscheid gemaakt naar de verschillende varianten, waarbij het onderscheid binnen S1 snel duidelijk is (lucht-warmtepomp of bodem-warmtepomp). Voor S3 worden niet alle varianten beschreven omdat veel varianten afhankelijk zijn van dezelfde componenten en een beschrijving van varianten daarom minder zinvol is.

In de opgenomen tabellen wordt waar mogelijk de vergelijking gemaakt tussen de uitgangspunten voor de SA-2019 en de SA-2020, zodat de verschillen tussen deze SA-varianten duidelijk worden. Dit is niet altijd mogelijk doordat er nieuwe methoden zijn toegevoegd die nog niet waren opgenomen in de SA-2019, deze worden aangeduid met een “n.v.t.” binnen de SA-2019 kolom. Verder wordt in onderstaande tabellen niet alleen de middenwaarde gepresenteerd, maar ook de onder- en bovenkant van de bandbreedte. Deze bandbreedtes worden gegeven om een beeld te geven van de onzekerheid, maar in de hoofdberekeningen van de SA-2020 wordt uitgegaan van de middenwaardes.

5.2.1 S1 - Individuele elektrische warmtepomp

De eerste strategie gaat uit van individuele elektrische warmtepompen per gebouw. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen verwarming met een lucht-warmtepomp (variant S1a) en met een bodemwarmtepomp (variant S1b). In beide varianten worden de gebouwen geïsoleerd naar label B en worden de elektriciteitsnetten verzawaard, deze investeringskosten worden berekend op basis van de methoden besproken in hoofdstuk 3. In de tabellen hieronder wordt ingegaan op de investeringskosten en andere uitgangspunten voor de beide typen individuele elektrische warmtepompen.

Lucht-water warmtepomp

In de eerste rij van onderstaande tabel staan de investeringskosten van het lagetemperatuur afgiftesysteem (LTAS). Dit afgiftesysteem is een vervanging van de huidige radiatoren. De huidige radiatoren zijn veelal radiatoren die zijn ontworpen om gebouwen te verwarmen op basis van hogere temperaturen (70-90°C). Warmtepompen leveren lagere temperaturen en hebben daarom een

¹⁶ Uitgangspunt is dat alle conversietechnieken binnen de Startanalyse een afschrijvingstermijn hebben van 15 jaar, behalve de bodemwarmtepomp. Bij de investering in een bodemwarmtepomp heeft de boring (40%) een afschrijvingstermijn van 30 jaar en de warmtepomp zelf een afschrijvingstermijn van 15 jaar.

ander afgiftesysteem nodig om de gebouwen te kunnen verwarmen, dit is het LTAS. De benodigde investeringen voor de LTAS bij woningen zijn gebaseerd op TNO (2019a).

De volgende rij gaat in op de Seasonal Performance Factor (SPF) van lucht-water warmtepompen bij woningen met schillabel B. Deze factor geeft het gemiddelde rendement van een warmtepomp over een volledig stookseizoen en wordt ook wel aangeduid als Seasonal Coefficient of Performance (SCOP). Het verschil met de Coefficient of Performance (COP) is dat bij de SPF-berekening wordt gehouden met de effecten van temperatuurswisselingen op het gemiddelde rendement. De inschattingen voor de SPF hebben een relatief grote bandbreedte bij woningen. De optimistische inschatting geeft het theoretisch haalbare gemiddelde rendement (CE Delft, 2019c) en de pessimistische inschatting gebaseerd is op Duitse praktijkdata over warmtepompen (Brockmann, 2019). Voor utiliteit is de aanname voor de COP overgenomen voor de onderkant van de bandbreedte en ook hier is de bovenkant van de bandbreedte gebaseerd op CE Delft (2019c).

Het investeringsbedrag voor warmtepompen binnen het Vesta MAIS-model is opgebouwd uit een vast en variabel component. Het variabele component is afhankelijk van de vermogensvraag voor warmte, zoals beschreven in paragraaf 3.3. De investeringsbedragen bij woningen voor zowel het vaste als variabele component zijn gebaseerd op CE Delft (2019c). Voor de investeringsbedragen bij utiliteit is een verdiepend onderzoek gedaan door het ECW in 2020 (ECW, 2020a). In dit onderzoek is nieuwe data aangeleverd door diverse bronnen en hierdoor was het mogelijk een nieuwe inschatting te maken van het lineaire verband van investeringskosten van warmtepompen binnen utiliteit. Voor al deze investeringsbedragen geldt dat dit de investeringsbedragen zijn zonder dat leereffecten zijn meegenomen. Bij de uiteindelijke berekeningen van de Startanalyse worden de investeringsbedragen nog gecorrigeerd voor de leereffecten, zoals benoemd in paragraaf 5.1.3.

Tabel 10

Selectie van kenmerkende parameters voor de lucht-water warmtepomp, genoemde bedragen zijn exclusief btw en uitgedrukt in prijspeil 2018.

Sector	Parameter	Eenheid	Ondergrens SA-2020	Bovengrens SA-2020	Middenwaarde SA-2020	Middenwaarde SA-2019
Woningen						
	LTAS ¹⁷	€/woning	401 - 957	2015 - 3222	1208 - 2090	1208 - 2090
	SPF ruimteverwarming, label B	-	312%	449%	381%	381%
	Investeringskosten, vast	€/aansl.	5359	4637	4998	4998
	Investeringskosten, variabel	€/kW	320	500	410	410
Utiliteit						
	LTAS	€/m ²	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

De inschattingen voor de bodem-warmtepomp kennen grotendeels dezelfde basis als de lucht-warmtepomp, op twee aspecten na. Het eerste aspect betreft de noodzakelijke boring in de grond bij bodem-warmtepompen. Circa 40% van de investering van het totale investeringsbedrag is noodzakelijk voor de boring (CE Delft, 2019c) en dit heeft voornamelijk effect op de kapitaallasten. De boring heeft namelijk een langere afschrijftermijn (30 jaar i.p.v. 15) en hierdoor zijn de kapitaallasten voor dit deel lager. Voor het aandeel van de boring in de totale investeringskosten wordt hetzelfde percentage aangehouden voor woningen en utiliteit. Het tweede aspect waarop de investeringsbedragen verschillen is dat bij bodem-warmtepompen een verschil wordt gemaakt tussen grote en kleine vermogensvragen. In het verdiepende onderzoek van het ECW werd duidelijk dat de investeringsbedragen voor kleine en grote utiliteit anders zijn opgebouwd bij bodem-warmtepompen (ECW, 2020a). Om hier recht aan te doen wordt dit onderscheid meegenomen in de investeringsbedragen. Dit wordt nu gedaan voor bodem-warmtepompen, maar mogelijk dat dit (o.b.v. meer onderzoek) ook gedaan zou kunnen worden voor andere typen investeringen.

¹⁷ Het verschil in de twee getallen per kolom komt door het verschil tussen eengezinswoningen en meergezinswoningen. De inschattingen zijn gebaseerd op de tabel 5 van TNO (2019a), T35-55. De bedragen uit TNO (2019a) zijn gecorrigeerd naar het prijspeil van 2018.

Tabel 11

Selectie van kenmerkende parameters voor de bodemwater warmtepomp bij woningen. Genoemde bedragen zijn exclusief btw en uitgedrukt in prijspeil 2018.

Parameter	Eenheid	Ondergrens SA-2020	Bovengrens SA-2020	Middewaarde SA-2020	Middewaarde SA-2019
LTAS	€/woning	401 -957	2015 - 3222	1208 - 2090	1208 - 2090
SPF, schillabel B	-	345%	468%	407%	407%
Investeringskosten, vast	€/aansl.	4628	8460	6544	6544
Investeringskosten, variabel	€/kW	899	753	826	736
Aandeel boring in totale investeringskosten	-	40%	40%	40%	40%

Tabel 12

Selectie van kenmerkende parameters voor de bodemwater warmtepomp bij utiliteit. Genoemde bedragen zijn exclusief btw en uitgedrukt in prijspeil 2018.

Parameter	Eenheid	Ondergrens SA-2020	Bovengrens SA-2020	Middewaarde SA-2020	Middewaarde SA-2019
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%

5.2.2 S2 - Warmtenet met midden- en hogetemperatuurbron

De componenten van een warmtenet worden beschreven in paragraaf 3.4 en in paragraaf 3.6 wordt ingegaan op de verschillende investeringsposten. In de tabellen hieronder wordt ingegaan op enkele van de investeringsbedragen die worden gehanteerd voor een warmtenet met HT/MT-warmtebron. Hierbij is het grootste deel van de investeringsbedragen voor warmtenetten hetzelfde voor de verschillende typen warmtebronnen. Het voornaamste verschil zit in de variabele kosten per GJ te leveren warmte en de investeringskosten voor de installatie (uitkoppeling van een bestaande bron of een nieuwe geothermiebron).

Het eerste warmtenetcomponent dat terugkomt in Tabel 13 zijn de inpandige kosten. De inschattingen die hier worden gepresenteerd zijn opgehaald tijdens de validatiesessies in april van 2019 (CE Delft, 2019b). Het aandeel appartementen met blokverwarming is gebaseerd op de kerncijfers over wijken en buurten van het CBS (CBS, 2019). Deze kerncijfers worden voor verschillende zichtjaren gepubliceerd, waarbij niet voor elke buurt elk jaar een aandeel blokverwarming wordt gepubliceerd. Het PBL heeft verschillende publicatiejaren van de buurt- en wijkdata gecombineerd om te komen tot een totale inschatting van het aandeel appartementen met blokverwarming. De inschatting van deze kosten komt terug in tabel 22 van Schepers et al (2019).

De investeringsbedragen buiten de woningen bevatten verschillende componenten, waaronder de leidingen van het warmtenet en de investeringskosten voor warmtebronnen. De inschatting voor de leidingen van het warmtenet zijn gebaseerd op de input die is verkregen tijdens de validatiesessies in april 2019 (CE Delft, 2019b). Diverse partijen hebben toen informatie aangeleverd over de investeringskosten voor leidingen gegeven verschillende omstandigheden, bijvoorbeeld van de ondergrond waarin de leiding geplaatst wordt. Dergelijke factoren spelen een rol bij de onderkant en bovenkant van de bandbreedte. De onderkant van de bandbreedte beschrijft de investeringsbedragen die nodig zijn wanneer het warmtenet wordt aangelegd in een weideveld, wat relatief makkelijk gaat. De bovenkant van de bandbreedte beschrijft de investeringsbedragen die nodig zijn in een dichtbevolkter gebied waar veel wegen (met asfalt) zijn. Met deze bandbreedte kan een gebruiker van het model uitersten verkennen, maar binnen de Startanalyse wordt uitgegaan van de gemiddelde investeringsbedragen.

De laatste warmtenet component in Tabel 13 zijn de investeringsbedragen voor de warmtebronnen. Hierbij zijn de investeringsbedragen voor geothermie gebaseerd op de meest recente inschattingen binnen de SDE++ (PBL, 2020a). De investeringsbedragen voor de uitkoppeling van de andere bronnen voor restwarmte zijn gebaseerd op tabel 2 in CE Delft (2011). Hierbij zijn er verschillende investeringsbedragen voor de verschillende typen bronnen van warmte.

Tabel 13

Selectie van kenmerkende parameters voor de investeringskosten van warmtenetten gevoed met een HT/MT-warmtebron. Genoemde bedragen zijn exclusief btw en uitgedrukt in prijspeil 2018.

Parameter	Eenheid	Ondergrens SA-2020	Bovengrens SA-2020	Middewaarde SA-2020	Middewaarde SA-2019
Inpandige kosten, woningen					
Inpandige kosten, grondgebonden woningen	€/aansl.	2500	2500	2500	2500
Inpandige kosten, meergezinswoningen¹⁸	€/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)	€/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-uitkoppeling¹⁹	€/kW	150 - 800	175 - 1800	162.5 - 1300	162.5 - 1300

Er zijn nog enkele andere parameters die veel invloed kunnen hebben op de kosten en opbrengsten van een warmtenet. De eerste parameter is het verlies van warmte in het distributienet. Binnen het

¹⁸ Inpandige kosten bij meergezinswoningen hangen ervan af of een pand blokverwarming heeft of niet. Indien er blokverwarming aanwezig is zijn de kosten lager.

¹⁹ De uitkoppelkosten zijn afhankelijk van het brontype waar restwarmte van wordt afgenomen

Vesta MAIS-model wordt uitgegaan van 28% verlies, waarbij dit percentage een resultante is van de validatiesessies in april 2019 (CE Delft, 2019b). In paragraaf 2.7 van CE Delft (2019b) wordt ingegaan op het leidingverlies bij warmtenetten. Zoals beschreven in paragraaf 3.3 wordt bij HT/MT-warmtebronnen het totale warmtevraagvermogen per CBS-buurt berekend. Dit vermogen wordt ingevuld door een primaire warmtebron (geothermie, industriële restwarmte of iets anders) en een Hulpwarmte installatie (HWI). Hierbij wordt ervan uitgegaan dat de primaire bron de basislast levert van het volume en daarom een groot aandeel van het volume levert, maar dat hiervoor een beperkt vermogen nodig is. De hulpwarmteketel levert een relatief klein deel van het volume, maar deze wordt zo gedimensioneerd dat deze de vermogensvraag in kan vullen indien nodig (bij onderhoud of uitval van de primaire bron). De werking van de primaire bron en de HWI wordt in meer detail toegelicht op pagina 108 van Schepers et al (2019).

Tabel 14

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

Omschrijving	Ondergrens SA-2020	Bovengrens SA-2020	Middenwaarde SA-2020	Middenwaarde SA-2019
Warmteverlies binnen distributienet	20%	36%	28%	28%
Vermogen HWI t.o.v. gevraagd vermogen	70%	100%	85%	85%
Vermogen prim. bron t.o.v. gevraagd vermogen	30%	30%	30%	30%
Aandeel warmtelevering door HWI	30%	10%	20%	20%
Aandeel warmtelevering door prim. bron	70%	90%	80%	80%

5.2.3 S3 - Warmtenet met lagetemperatuurbron

Voor de modellering van warmtenetten met een LT-warmtenetten is een grote hoeveelheid parameters nodig. De reden hiervoor is dat configuraties afhankelijk zijn van de temperatuur van de warmtebron, de benodigde aflevertemperatuur, het energielabel en de individuele/collectieve opwaardering van warmte. In het Functioneel Ontwerp LT-warmtenetten gebouwde omgeving wordt de opzet van de verschillende configuraties voor LT-warmtenetten binnen het Vesta MAIS-model toegelicht (CE Delft, 2019d). Dit is opgenomen in het Vesta MAIS-model, zoals beschreven in paragraaf 3.3 van het Functioneel Ontwerp 5.0 (Van der Molen et al, 2021). In deze paragraaf wordt eerst ingegaan op de parameters voor LT-warmtenetten met individuele opwaardering van de warmte en vervolgens wordt ingegaan op de LT-warmtenetten met collectieve opwaardering van warmte.

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

Er worden twee verschillende typen warmtepompen ingezet voor individuele opwaardering, namelijk de booster warmtepomp en de warmtepomp. In Tabel 15 wordt een overzicht gegeven van de verschillende combinaties van label, aflevertemperatuur en typen warmtepompen die worden onderscheiden bij warmtenetten met individuele opwaardering. Het uitgangspunt hierbij is dat wanneer de aangeleverde warmte voldoende is om direct de ruimtes mee te verwarmen dan is er alleen een booster warmtepomp nodig voor het warm tapwater. Wanneer de aangeleverde warmte onvoldoende is om direct de ruimtes mee te verwarmen dan is het nodig om een complete warmtepomp te installeren.

Tabel 15

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

Schillabels	Aflevertemperatuur aan gebouw	Type warmtepomp
Schillabel A	$\leq 35\text{ °C}$	Booster warmtepomp
Schillabel A	$> 35\text{ °C} \ \& \ \leq 55\text{ °C}$	Booster warmtepomp
Schillabel B	$\leq 35\text{ °C}$	Complete warmtepomp
Schillabel B	$> 35\text{ °C} \ \& \ \leq 55\text{ °C}$	Booster warmtepomp
Schillabel C - E	$\leq 35\text{ °C}$	Complete warmtepomp
Schillabel C - E	$> 35\text{ °C} \ \& \ \leq 55\text{ °C}$	Complete warmtepomp

In Tabel 16 wordt een overzicht gegeven van de parameters voor LT-warmtenetten met individuele opwaardering van LT-warmte. In deze tabel wordt ingegaan op een aantal parameters, namelijk de eigen opwekking, de SPF en het type warmtepomp. Daarbij wordt ook onderscheid gemaakt naar de verschillende energielabels, omdat deze invloed hebben op de mate waarin de temperatuur van de afgeleverde warmte voldoende is om de warmtevraag direct in te vullen. Als wordt gekeken naar de eerste rij dan gaat het om het aandeel eigen opwekking bij verschillende aanlevertemperaturen. Wanneer de aangeleverde temperatuur vanuit het warmtenet lager is dan 35 °C dan moet de booster warmtepomp nog 60% van de warmte leveren, maar wanneer de temperatuur van de afgeleverde warmte tussen de 35 °C en 55 °C dan hoeft de booster warmtepomp nog maar 30% van de warmte te leveren. De warmte die de booster warmtepomp moet leveren wordt geleverd met een SPF van 8 (4^e rij in Tabel 16). De data voor deze individuele warmtepompen is afkomstig van CE Delft (2019c) en CE Delft (2019d). Dit is ook de manier waarop de andere rijen afgelezen kunnen worden in deze tabel. In de laatste kolom wordt nog aangegeven of er veranderingen zijn geweest tussen de SA-2019 en de SA-2020. Voor het grootste deel van de parameters is dit niet het geval, behalve voor de SPF van warm tapwater. Hier was in de SA-2019 namelijk de SPF van een andere technologie meegenomen in plaats van de booster warmtepomp, dit is aangepast in de SA-2020.

Tabel 16
Parameters voor LT-warmtenetten met individuele opwaardering

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

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

Naast de LT-warmtenetten met individuele opwaardering worden in de SA-2020 verschillende varianten meegenomen waarbij wordt uitgegaan van collectieve opwaardering van warmte. In deze varianten wordt de warmte dus niet meer verwarmd binnen de gebouwen zelf, maar moet de warmte al voldoende zijn om de ruimtes te verwarmen en het warme tapwater te kunnen leveren. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van LT-warmtebronnen die warmte van verschillende temperatuurniveaus kunnen leveren. Zo levert WKO zeer lage temperatuur warmte en dit kost relatief veel energie om te brengen naar temperatuurniveaus die voldoende comfort leveren bij woningen met label D. Andere warmtebronnen (zoals datacenters) leveren warmte van hogere temperaturen en om deze reden zal minder energie kosten om deze warmte te opwaarderen naar andere temperatuurniveaus. In Tabel 17 wordt een overzicht gegeven van de SPF's bij verschillende temperatuurniveaus, waarbij de SPF's gebaseerd zijn op CE Delft (2019d).

Tabel 17

SPF's (Rendement collectieve warmtepomp) voor LT-warmtenetten met collectieve opwaardering

Omschrijving	Middenwaarde	Middenwaarde
	SA-2020	SA-2019
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 ≤ 55 °C	420%	420%
SPF van ≤ 35 °C naar > 55 °C	320%	320%

Investeringskosten voor individuele en collectieve warmtepompen

In de tabellen hiervoor ging het met name om de benodigde inzet van energie binnen de verschillende configuraties van LT-warmtenetten. Tabel 18 geeft een overzicht van de investeringsbedragen die horen bij individuele warmtepompen binnen warmtenetten met LT-warmtebronnen, Tabel 18 geeft dezelfde informatie voor collectieve warmtepompen. Deze investeringsbedragen worden verder toegelicht en onderbouwd in de rapporten CE Delft (2019c) en CE Delft (2019d). In Tabel 18 & Tabel 19 worden verschillende investeringsbedragen gegeven, waarbij voor sommige investeringsbedragen geen inschatting beschikbaar is van de onder- en bovengrens en alleen de middenwaarde wordt gegeven. Voor de hoofdberekeningen van de SA-2020 heeft dit geen invloed omdat hier overal wordt uitgegaan van de middenwaarde.

Tabel 18

Investeringskosten voor individuele warmtepompen binnen warmtenetten met LT-warmtebronnen.

Genoemde bedragen zijn exclusief btw, uitgedrukt in prijspeil 2018.

Parameter	Eenheid	Ondergrens SA-2020	Bovengrens SA-2020	Middenwaarde SA-2020	Middenwaarde SA-2019
Woningen, boosterwarmtepomp	€/aansl.	2226	2561	2393	3910
Woningen, warmtepomp bij schillabel B	€/aansl.	Geen inschatting		4500	4500
Woningen, warmtepomp bij schillabel C-E	€/aansl.	Geen inschatting		7000	7000
Utiliteit, warmtepomp utiliteit	€/kW	Geen inschatting		700	700

Tabel 19

Investeringskosten voor collectieve warmtepompen binnen warmtenetten met LT-warmtebronnen. Genoemde bedragen zijn exclusief btw, uitgedrukt in prijspeil 2018.

Parameter	Eenheid	Ondergrens SA-2020	Boven- grens SA-2020	Midden- waarde SA-2020	Midden- waarde SA-2019
Investeringskosten voor uitkoppeling bestaande LT-bron	€/kW	50	250	150	150
Aanleg buffervat voor seizoens- en dagopslag	€/gebouw	1000	1000	1000	1000
Minimale investering voor aanleg buffervat	€	Geen inschatting	100000	100000	100000
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 investeringen regeneratie bij WKO zonder TEO	% inv. WKO	Geen inschatting	10%	10%	10%
Investeringskosten collectieve warmtepomp	€/kW	Geen inschatting	548	548	548
Investeringskosten warmteoverdrachtstation	€/kW	114	139	127	127

5.2.4 S4 – Groengas

In de volgende hoofdstukken wordt ingegaan op de kosten van de energiedrager groengas en de verdeling van het beperkt beschikbare groengas over buurten binnen de SA-2020. In deze paragraaf wordt ingegaan op de technologieën waar groengas wordt ingezet, namelijk de hybride warmtepomp en de HR-ketel. Eerst wordt daarbij ingegaan op de kenmerkende parameters van de hybride warmtepomp, waar een aantal wijzigingen zijn aangebracht sinds de SA-2019. Daarna wordt nog kort ingegaan op de kenmerkende parameters van de HR-ketel.

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.

Hybride warmtepomp

Een hybride warmtepomp is een combinatie van een lucht-water warmtepomp met een HR-ketel. De warmtepomp wordt ingezet wanneer deze efficiënt warmte kan leveren, maar wanneer de efficiëntie te laag wordt kan de HR-ketel de productie van warmte overnemen. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn op koude dagen wanneer de warmtepomp minder efficiënt werkt en veel elektriciteit vraagt om de benodigde warmte te kunnen leveren, de HR-ketel kan deze warmte dan efficiënter leveren. De HR-ketel levert ook het warme tapwater.

In de periode tussen de SA-2019 en de SA-2020 is door het ECW uitgebreid onderzoek gedaan naar de hybride warmtepomp. De resultaten van dit onderzoek zijn beschreven in ECW (2020b).

De eerste aanpassing betreft de investeringskosten voor de hybride warmtepomp. De investeringskosten zoals vermeld in Tabel 20 & Tabel 21 zijn de meerkosten bovenop de investeringskosten van de HR-ketel. In de SA-2019 werd nog uitgegaan van een vast bedrag voor alle hybride warmtepompen, maar deze investeringskosten zijn nu afhankelijk van het benodigde vermogen van een warmtepomp. Hiervoor wordt aangenomen dat het warmtepompvermogen ongeveer 40% van het totale benodigde vermogen is, dit percentage wordt ook wel aangeduid met de term bèta-factor. Voor utiliteit wordt deze bèta-factor lager ingeschat en daarnaast is ook voor deze sector een nieuwe inschatting gemaakt van de investeringskosten voor de hybride warmtepomp.

Naast de investeringsbedragen is ook aandacht besteed aan de efficiency van de warmtepomp. Hierbij wordt er binnen de SA-2020 vanuit gegaan dat de warmtepomp circa 78% van de ruimteverwarmingvraag invult, met een SPF van 3,2. Daarbij wordt op dit moment geen onderscheid gemaakt naar deze factoren tussen verschillende isolatieniveaus. Voor utiliteit wordt aangenomen dat de warmtepomp een kleiner deel van het warmtevraagvolume in kan vullen (circa 60%), maar de SPF van wordt wel iets hoger ingeschat (3,42). Deze inschattingen voor utiliteit zijn gebaseerd op gegevens van bureau Brink (Brink, 2020).

Tabel 20

Selectie van kenmerkende parameters voor de hybride warmtepomp bij woningen, genoemde bedragen zijn exclusief btw en uitgedrukt in prijspeil 2018.

Parameter	Eenheid	Ondergrens SA-2020	Bovengrens SA-2020	Middewaarde SA-2020	Middewaarde SA-2019
Investeringskosten ²⁰ , vast	€/woning	2315	2315	2315	3690
Investeringskosten, variabel	€/kW	250	250	250	0
Warmtepompvermogen als aandeel van totaal benodigd vermogen	-	Geen inschatting		40%	100%
SPF hybride warmtepomp (bij alle schillabels)	-	320%	320%	320%	440%
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%

Tabel 21

Selectie van kenmerkende parameters voor de hybride warmtepomp bij utiliteit, genoemde bedragen zijn exclusief btw en uitgedrukt in prijspeil 2018.

Parameter	Eenheid	Ondergrens SA-2020	Bovengrens SA-2020	Middewaarde SA-2020	Middewaarde SA-2019
Investeringskosten, vast	€/gebouw	3769	6281	5025	0
Investeringskosten, variabel	€/kW	555	925	740	849
Warmtepompvermogen als aandeel van totaal benodigd vermogen	-	Geen inschatting	25%	100%	
SPF hybride warmtepomp (bij alle schillabels)	-	342%	342%	342%	366%
Aandeel elektrisch bij label A	-	60%	60%	60%	55%
Aandeel elektrisch bij label B	-	60%	60%	60%	52%

HR-ketel

Voor de HR-ketel wordt ervan uitgegaan dat de kosten en de efficiency gelijk blijven aan de huidige situatie. Daarbij zijn de investeringskosten afhankelijk van het warmtevraagvermogen van een woning, zoals beschreven in paragraaf 3.3. De uitgangspunten voor de HR-ketel worden weergegeven in Tabel 22.

²⁰ Dit zijn meerkosten bovenop de Hr-ketel, zowel de vaste als variabele kosten.

Tabel 22Selectie van kenmerkende parameters voor de HR-ketel²¹

Parameter (bedragen exclusief BTW, uitgedrukt in prijspeil 2018)	Eenheid	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 start- jaar	-	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

5.2.5 S5 – Waterstof

Om waterstof te kunnen modelleren is door CE Delft een onderzoek gedaan naar de parameters die het Vesta MAIS-model nodig heeft om waterstof te kunnen modelleren (CE Delft, 2020a). De gehanteerde kosten van de energiedrager waterstof, met onderscheid naar blauwe en groene waterstof, worden toegelicht in Hoogervorst (2020a). In paragraaf 7.4 wordt een toelichting gegeven op de kosten van waterstof binnen de SA-2020. Naast de kosten van de energiedrager zelf, zijn er ook kosten voor mogelijke infrastructurele aanpassingen en aanpassingen op gebouwniveau om waterstof in te zetten voor verwarming binnen de gebouwde omgeving. In deze paragraaf wordt ingegaan op de benodigde investeringskosten per aansluiting. Tabel 23 geeft een overzicht van de verschillende kostencomponenten die een rol spelen bij de aansluiting van waterstof, waarbij in Hoogervorst (2020a) een meer gedetailleerde beschrijving wordt gegeven van waterstof binnen de SA-2020 als geheel.

Het bestaande aardgasnet kan met weinig ingrepen en tegen geringe kosten geschikt worden gemaakt voor distributie van waterstof. Bijmengen van waterstof in het aardgasnet zonder deze ingrepen is om technische en juridische redenen beperkt mogelijk. Substantiële toepassing van waterstof heeft een landsdekkend transportnet en lokale distributienetten nodig. Dat stelsel kan ontstaan door stapsgewijs leidingen voor aardgas om te bouwen tot leidingen voor waterstof. De Taskforce Infrastructuur Klimaatakkoord Industrie heeft de contouren van een Nederlands waterstofnet geschetst en adviseert als eerste stap een backbone aan te leggen die belangrijke industriële centra met elkaar, met havens en met België en Duitsland verbindt. Woonwijken langs die backbone krijgen zo de *mogelijkheid* om op relatief korte afstand (en dus tegen relatief beperkte netwerkkosten) waterstof-levering aan te boren.

Binnen woonwijken moet het gasnet worden aangepast om het geschikt te maken voor distributie van waterstof. Netbeheerders moeten eenmalig kosten maken voor dynamisch of automatische sectionering van het gasnet, voor controle op graafschade, extra controles op verontreinigingen bij invoedingspunten, extra odorisatie, opleiding en bijscholing van personeel; samen gemiddeld 200 euro per aansluiting (Kiwa, 2018; pagina 53). Er zijn ook aanpassingen in de gebouwen nodig om

²¹ De rendementen in deze tabel zijn op onderwaarde, het rendement op bovenwaarde ligt +/- 10 procentpunt lager voor ruimteverwarming en +/- 7 procentpunt lager voor warm tapwater

waterstof te kunnen toepassen. Bestaande gasmeters moeten waarschijnlijk opnieuw worden getest of worden vervangen door exemplaren die geschikt zijn voor waterstof (Hoogervorst, 2020a). Als laatste moet ook de HR-ketel of hybride warmtepomp geschikt zijn/worden gemaakt voor de verbranding van waterstof (Hoogervorst, 2020a).

Tabel 23

Investeringskosten voor het overschakelen op waterstof (infrastructuur en gebouwen), bedragen zijn exclusief BTW en uitgedrukt in prijspeil 2018

Parameter	Eenheid	Ondergrens SA-2020	Bovengrens SA-2020	Middenwaarde SA-2020	Middenwaarde SA-2019
Infrastructuur: eenmalige netkosten	€/woning	200	200	200	n.v.t.
Gebouwen: aanpassing gasmeters	€/woning	150	251	173	n.v.t.
Gebouwen: aanpassing HR-ketel (ook bij hybride warmtepomp)	€/installatie	0	500	300	n.v.t.

6 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
 - Warmte uit de buitenlucht
 - Warmte uit oppervlaktewater
 - Warmte uit afvalwater
 - Warmte uit de bodem
 - Bodemwarmte opgeslagen in aquifers
- 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 acceptabele 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 biogrondstoffen (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.

6.1 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 (Hoogervorst, 2020b).

6.2 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 producenten van restwarmte 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 energie-strategie (RES) kunnen worden opgepakt.

6.3 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 worden 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 alweer 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.

6.4 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 milieueffecten, 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.

6.4.1 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).

6.4.2 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 pieklast. 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.

6.4.3 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. 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.

6.5 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.

6.5.1 Bronnen en technologieën voor groengasproductie

Groengas kan worden geproduceerd met verschillende technieken en grondstoffen. In Tabel 24 wordt een overzicht gegeven van enkele technieken waarvan wordt verwacht dat hier in de toekomst meer groengas mee geproduceerd kan worden (De Gemeeynt, 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, 2020d). 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 24
Kenmerken van technieken voor groengasproductie

Techniek	Grondstof of substraat	Belemmeringen
Vergisting : rioolslib-vergisting	AWZI- en RWZI-slib	
Vergisting : monomestvergisting klein (<400 KW)	Vaak rundermest	Afzet digestaat
Vergisting : monomestvergisting groot (>400 KW)	Mix varkens- en rundermest	Idem
Vergisting : allesvergisters	Mest 55-90% + cosubstraat V&G-industrie	Idem
Vergassing : vergassing biograndstoffen	Vaste biomassa, houtsnippers	Duurzaamheids-criteria
Vergassing: vergassing B-hout	Onbewerkt sloophout	Beschikbaarheid ongewis
Vergassing : superkritische watervergassing	Natte biomassa	Onvoldragen technologie
Vergassing : bio-raffinage	Planten(resten)	onbekend

6.5.2 Huidige productie van groengas

Op dit moment is de omvang van de groengasproductie nog bescheiden, maar zoals te zien in Tabel 25 neemt de productie van groengas de laatste jaren wel toe. Voor 2018 is in CE Delft (2020b) 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, 2020b) 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 vermenigvuldigd 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 25Productiecapaciteit van groengas (in mln m³/jaar) in recente jaren²²

Referentie	Jaar	Biogas	Groengas
NBNL (2018)	2016		80
NBNL (2018)	2017		100
CE Delft (2020b)	2018	300	139
CE Delft (2020b)	2019		180

6.5.3 Productie van groengas in 2030

Zoals te zien in

Tabel 26 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 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 Gemeynt (2018) en GTS (2017) komt de stijging voornamelijk door een snelle groei van vergassingstechnologieën.

Tabel 26Ramingen voor biogas en groengasproductie in 2030²³

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

²² De productiecapaciteit van groengas is hier berekend met de hoogcalorische waarde van gas (35.17 MJ/m³)

²³ 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.

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 Rijksoverheid (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.

6.5.4 Groengas binnen de Startanalyse

De inschattingen in

Tabel 26 zijn voor groengasproductie in 2030, maar voor de Startanalyse, die de mogelijkheden van een klimaatneutrale gebouwde omgeving in 2050 verkent, is relevant hoeveel groengas beschikbaar is in 2050. 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 27Verwachte ontwikkeling productie groengas (mln m³/jaar) conform Green Liaisons (Gemeynt, 2018)

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

Ook in deze raming zit een grote mate van onzekerheid, maar de potentie van groengasproductie kan wel significant groeien 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 verslechtert. 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 ervoor nu voor gekozen om hier uit te gaan van een bekende technologie, een hulpketel gevoed met groengas. Hierbij wordt verondersteld dat de hulpwarmteketels voor 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. Volgens 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 economische 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:

1. Rangschik buurten naar afnemende waarde groengas
2. Begin met toedeling van groengas aan de buurt waar de waarde van groengas per m³ groengas het hoogst is
3. Ga daarmee door tot 1,5 miljard m³ groengas is toegedeeld.

De uitgespaarde nationale kosten worden als volgt berekend:

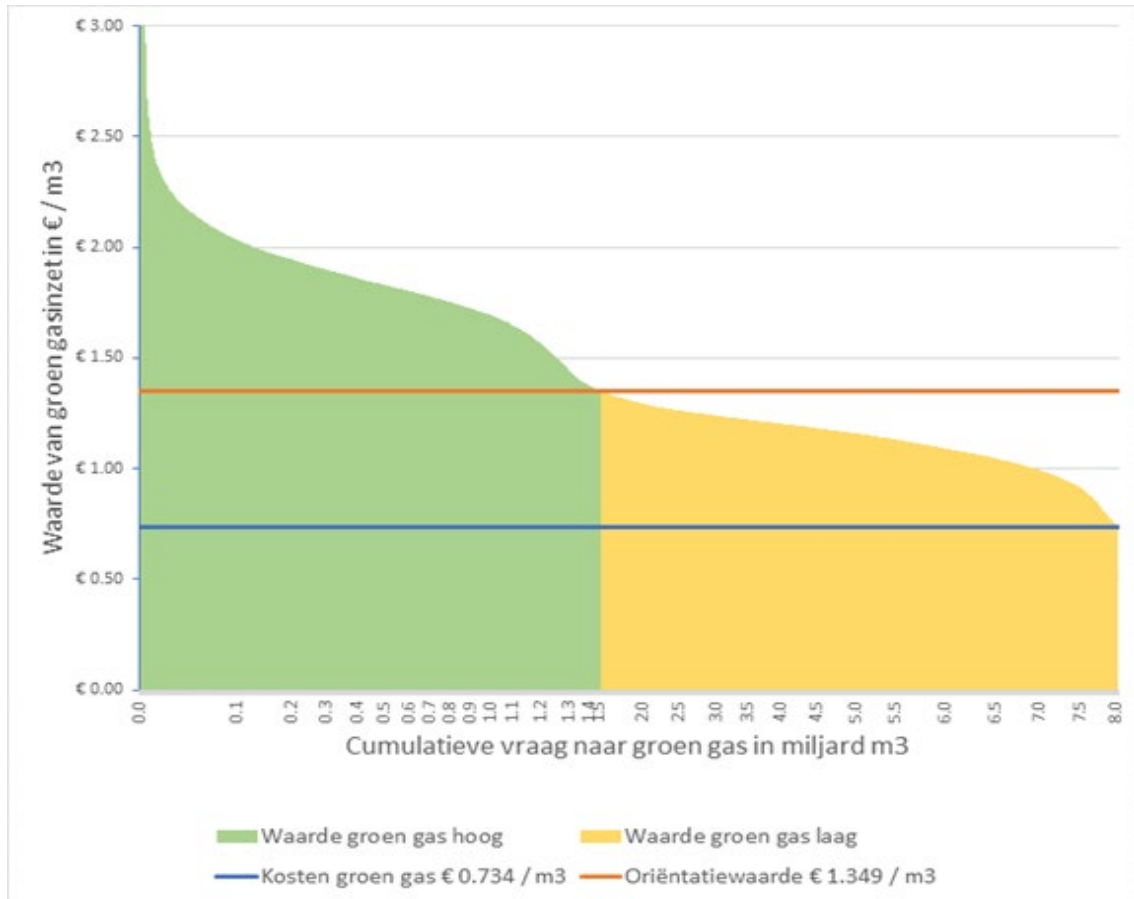
- Bereken voor elke buurt de nationale kosten van elke strategie voor aardgasloos verwarmen.
- De uitgespaarde kosten = kosten strategie X – kosten groengasstrategie.
De 'waarde van groengas' = gemiddelde productiekosten groengas + uitgespaarde kosten.
Dit is het bedrag dat een buurt maximaal voor groengas zou kunnen betalen zonder hogere kosten te hebben dan bij uitvoering van de andere optie met de een-na-laagste kosten.

De resultaten van deze procedure zijn weergegeven in Figuur 32. 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; 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 vier groengasvarianten 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 'meedingen' 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 32
Geschatte waarde van groengas bij alle varianten van S4 tezamen



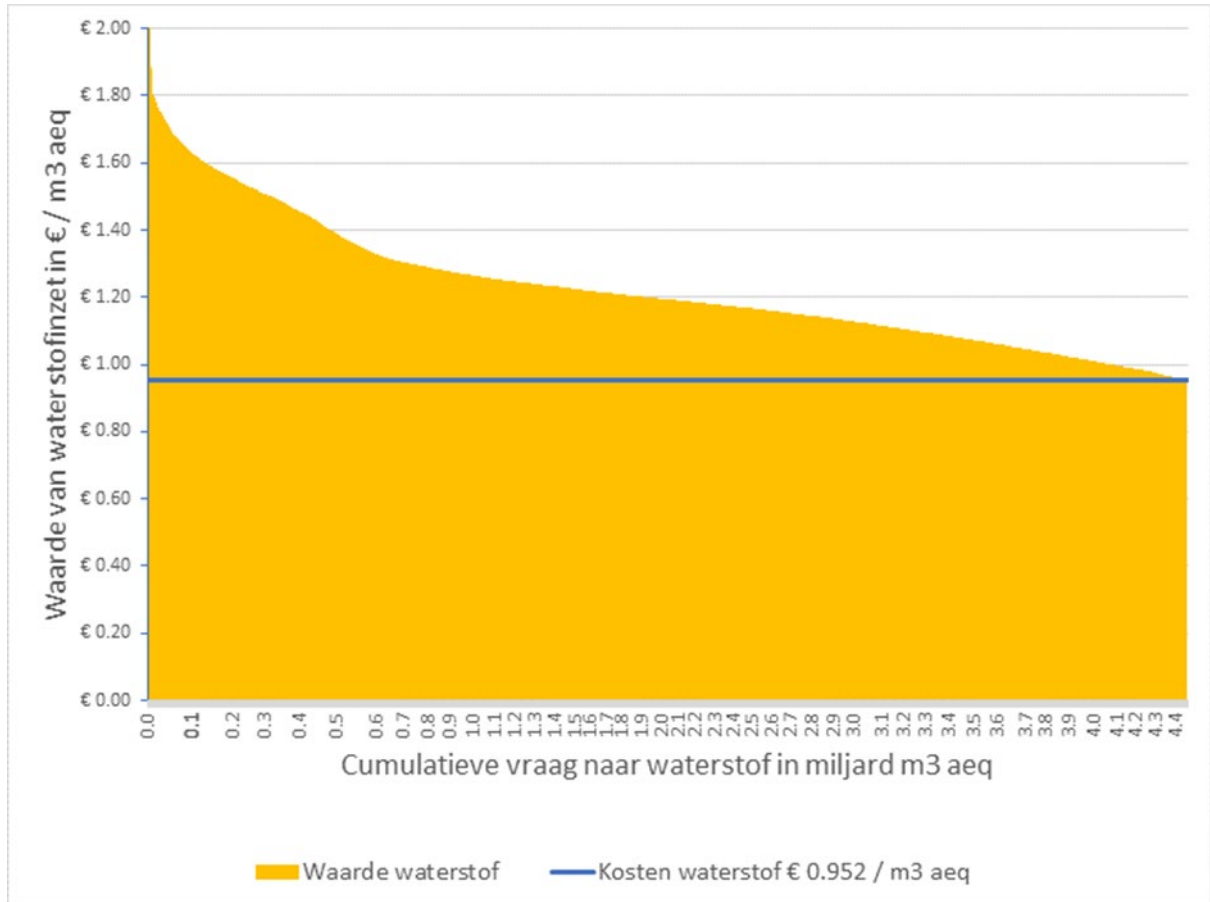
6.6 Waterstof

Anders dan bij groengas was er bij het voorbereiden van de Startanalyse 2020 geen breed gedeeld beeld over de hoeveelheid waterstof die op termijn beschikbaar zou kunnen komen voor de gebouwde omgeving. Sommige deskundigen waren daarover zeer optimistisch; anderen zagen het niet gebeuren. Wel achtte men het niet waarschijnlijk dat in 2030 waterstof op enige schaal van betekenis beschikbaar zou komen voor verwarming van gebouwen. Er wordt gewerkt aan 2 proefprojecten (in Hogeveen en in Stad aan het Haringvliet) waar enkele woningen met waterstof verwarmd gaan worden.

Dit betekent dat in de Startanalyse geen allocatie heeft plaatsgevonden van een beperkte beschikbare hoeveelheid waterstof aan buurten waar die het meest efficiënt kan worden ingezet, zoals bij groengas.

Het was wel mogelijk om voor elke buurt de waarde van waterstof te bepalen, analoog aan de manier waarop dat bij groengas is gedaan.

Figuur 33
Geschatte waarde van waterstof in strategie S5



7 Nationale kosten van energiedragers

In dit hoofdstuk zal worden ingegaan op de onderbouwing van de nationale kosten van energiedragers. De energiedragers die hier worden beschreven zijn de verschillende vormen van energie die kunnen worden ingezet binnen de warmtetransitie: klimaatneutrale elektriciteit, warm water (van verschillende temperaturen), aardgas, groengas en waterstof. Hierbij zijn er wel wijzigingen geweest in de kosten van energiedragers tussen de SA-2019 en de SA-2020, deze zullen per energiedrager worden toegelicht. Als laatste wordt ook kort ingegaan op de kosten voor waterstof binnen de SA-2020. Hier zal voornamelijk een samenvatting worden gegeven van de achtergrondnotitie over de kosten voor waterstof.

7.1 Nationale variabele kosten van elektriciteit

Elektriciteit is een onmisbare energiedrager binnen de huidige samenleving en de rol van elektriciteit in ons toekomstige energiesysteem wordt alleen maar groter. Ook als gevolg van de warmtetransitie in de gebouwde omgeving ontstaat een toename in de vraag naar elektriciteit als gebouwen gaan verwarmen met een (hybride) warmtepomp. Deze elektriciteit kan op verschillende manieren worden opgewekt, waarbij gebruik kan worden gemaakt van zowel fossiele als duurzame productiemethoden. In 2020 was het aandeel hernieuwbare elektriciteit circa 26% van de totale elektriciteitsproductie (CBS, 2021) en in de KEV 2019 wordt geraamd dat dit aandeel in 2030 rond de 70% ligt (Schoots & Hammingh, 2019). In deze raming wordt het grootste deel van de elektriciteit opgewekt met behulp van duurzame bronnen, maar nog niet alles. De duurzame bronnen voor elektriciteit zijn namelijk veelal fluctuerende bronnen die afhankelijk zijn van het weer, wat deze bronnen minder goed regelbaar maakt. Om deze reden is er regelbare back-up capaciteit nodig voor de productie van elektriciteit wanneer de weersafhankelijke bronnen geen elektriciteit leveren.

Deze back-up capaciteit bestaat binnen de KEV 2019 nog voornamelijk uit elektriciteitscentrales die fossiele energiedragers inzetten voor de productie van elektriciteit, zoals aardgas. Om over te gaan naar een compleet duurzame elektriciteitsvoorziening zal ook deze back-up capaciteit ingevuld moeten worden met duurzame alternatieven. In de Startanalyse wordt een verkenning gemaakt van een compleet duurzaam energiesysteem en daarom is ook een inschatting gemaakt van de kosten wanneer ook de back-up capaciteit wordt ingevuld met duurzame energiedragers. De onderbouwing van deze kosteninschatting voor de productie van klimaatneutrale elektriciteit wordt beschreven in een aparte notitie (Hoogervorst, 2020b).

De kosten van klimaatneutrale elektriciteit worden toegepast op de strategiekosten voor eindbeelden. Alleen in het referentiescenario (Ref. 2030) wordt uitgegaan van de verwachte kosten van niet-klimaatneutrale elektriciteit in 2030, ontleend aan de ramingen in de KEV-2019. Niet-klimaatneutrale elektriciteit houdt hierbij in dat wordt uitgegaan van de elektriciteitsproductie die voor +/- 70% hernieuwbaar wordt geproduceerd, zoals in de KEV 2019. In deze paragraaf worden de kosten gegeven voor beide vormen van elektriciteit.

Voor de interpretatie van de onderstaande is het van belang om te benadrukken dat wordt uitgegaan van de uitgangspunten in de KEV 2019. Tijdens het schrijven van de achtergrondnotities over

de kosten van energiedragers (mei 2020) waren de prijzen voor de KEV 2020 nog niet bekend en om de consistentie tussen de uitgangspunten in de achtergrondnotities en de SA-2020 zelf gelijk te houden is besloten overal uit te gaan van de KEV 2019 en niet van de KEV 2020.

Om aan te sluiten bij de rekenmethodiek van het Vesta-model, zijn een aantal vaste kosten vertaald in variabele kosten, dus kosten per geleverde kWh elektriciteit. Dat geldt met name voor uitbreiding van de transportnetten. Die kosten worden gemaakt om het landelijke netwerk te kunnen laten functioneren en komen dus aan elke buurt en elke afnemer ten goede. De kosten voor aanpassingen in het distributienet zijn hier niet inbegrepen omdat deze elders in de berekeningen van de Startanalyse op wijkniveau worden berekend.

7.1.1 Opbouw van nationale variabele kosten van elektriciteit

Omdat binnen de Startanalyse wordt gerekend met nationale kosten, worden de componenten voor belasting (energiebelasting, ODE en btw) niet meegenomen. De componenten die wel worden meegenomen in de nationale kosten zijn:

- Productiekosten
- Overheadkosten
- Variabele transportkosten

De onderbouwing en toelichting op deze kostencomponenten wordt gegeven in de volgende paragrafen, waarbij voor sommige componenten ook onderscheid wordt gemaakt naar verschillende zogenoemde gebruikersklassen. Deze gebruikersklassen verdeelt de elektriciteitsverbruikers in vier verschillende groepen, zoals te zien in onderstaande tabel. Deze verdeling gebeurt op basis het jaarlijkse verbruik, waarbij de hier gehanteerde klassen overeenkomen met de klassen die worden gehanteerd voor verschillende belastingtarieven. Naast verschillen in belasting (geen invloed op deze studie) zijn er ook andere kostencomponenten die verschillen tussen gebruikersklassen, zoals de overheadkosten.

Tabel 28
Gehanteerde gebruikersklassen voor elektriciteit (in kWh/jaar)

	Ondergrens	Bovengrens
Kleingebruikers	0	10.000
Klein-middelgroot gebruik	10.001	50.000
Midden-middelgroot gebruik	50.001	10.000.000
Grootgebruik	10.000.001	∞

7.1.2 Nationale productiekosten van elektriciteit

Het eerste component van de nationale kosten betreft de nationale productiekosten van elektriciteit, welke is opgebouwd uit drie sub-componenten zoals te zien in Tabel 29. Het eerste sub-component zijn de private productiekosten en deze weerspiegelen de kosten van producenten om 1 kWh elektriciteit te produceren. Deze kosten zijn afhankelijk van de installatie waar elektriciteit mee geproduceerd wordt, waarbij de elektriciteitsproducenten constant actief zijn op de elektriciteitsmarkt om hun elektriciteit voor de beste prijs te verkopen. De prijs die ontstaat in de concurrentie tussen producenten om elektriciteitshoeveelheden te leveren op bepaalde momenten wordt aangeduid met de groothandelsprijs. Deze groothandelsprijs fluctueert per uur, maar het is mogelijk om op basis van deze uurlijkse waarden een jaarlijks gemiddelde prijs vast te stellen. Wanneer

wordt aangenomen dat de marginale opbrengsten bij deze groothandelsprijs gelijk zijn aan de marginale kosten van de producenten, dan is de groothandelsprijs een goede indicatie is voor de nationale productiekosten. De KEV 2019 geeft een raming voor de gemiddelde groothandelsprijs in 2030 en deze wordt ook gebruikt als indicatie voor de private productieprijs voor niet-klimaatneutrale elektriciteit in 2030 (Schoots & Hammingh, 2019). De KEV bevat geen raming voor de private productiekosten voor *klimaatneutrale* elektriciteit, deze moesten daarom separaat worden vastgesteld voor de Startanalyse. De gehanteerde methode hiervoor wordt beschreven in Hoogervorst (2020b).

In de Startanalyse wordt uitgegaan van de nationale kosten en hier worden de kosten van belastingen en subsidies niet meegenomen in de berekeningen. Om de ingroei van hernieuwbare elektriciteitsproductie te stimuleren wordt in Nederland gebruik gemaakt van de Subsidie Duurzame Energie (SDE). Deze subsidie compenseert het verschil tussen de productiekosten met fossiele energiedragers en met hernieuwbare technologie. Door de te betalen SDE-subsidies toe te voegen aan de private productiekosten wordt een bruikbare indicatie verkregen van de ongesubsidieerde productiekosten van elektriciteit (Hoogervorst, 2020b). Dit speelt alleen bij de vertaling van de groothandelsprijs naar nationale productiekosten voor niet-klimaatneutrale elektriciteit. De inschatting voor klimaatneutrale elektriciteit volgt een andere methode waarin de subsidie niet bij de private productiekosten hoeft te worden opgeteld.

De laatste sub-component betreft de onbalanskosten. Dit zijn niet de kosten voor back-up capaciteit maar de kosten die worden gemaakt om de onbalans in het elektriciteitssysteem als geheel te compenseren. Onbalans gaat over kleine verschillen tussen productie en verbruik van elektriciteit die zich binnen korte perioden (0-15 minuten) kunnen voordoen. De onbalanskosten van 2019 zijn bekend en onderdeel van de productiekosten. De productiekosten en (day ahead) groothandelsprijzen voor 2030 worden berekend met een computermodel dat wel rekening kan houden met kosten van back-up maar niet met onbalanskosten. De inschatting van de onbalanskosten in 2030 is ontleend aan de PBL-analyse voor de effecten van het Klimaatakkoord (Van Hout et al, 2019).

Tabel 29

Opbouw van nationale productiekosten van elektriciteit (tussen haakjes de gehanteerde waarden voor de uitgevoerde gevoeligheidsanalyses), in Euro₂₀₁₈/kWh (excl. btw).

	2019	2030, Niet-klimaatneutraal	2030, Klimaatneutraal
Private productiekosten	0,061	0,057	0,085 (0,045 - 0,110)
SDE-kosten	0,010	0,015	N.v.t.
Onbalanskosten	0	0,006	0,006
Nationale productiekosten	0,071	0,078	0,091 (0,051 - 0,116)

7.1.3 Nationale overheadkosten van elektriciteit

De nationale productiekosten zijn een onderdeel van de kosten die de afnemer van elektriciteit moet betalen voor de geleverde elektriciteit. De uiteindelijke leveringskosten voor elektriciteit bestaan uit zowel productiekosten als overheadkosten. De overheadkosten zijn een combinatie van verschillen kostenposten van de leverancier, zoals de kosten voor het handelen in elektriciteit, administratieve kosten en diverse andere kosten om de elektriciteit te kunnen leveren aan de afnemer

van elektriciteit, inclusief een winstmarge. De overheadkosten worden uitgedrukt per kWh geleverde elektriciteit maar verschillen wel voor de gebruikersklassen. Redenen hiervoor kunnen zijn dat er een verschil zit in de marge die wordt gehanteerd bij grootverbruikers, of de administratiekosten die lager zijn bij één grootgebruiker dan bij veel kleinverbruikers.

Berekening huidige overheadkosten

Voor de berekening van de huidige overheadkosten wordt gebruik gemaakt van de leveringsprijzen van het CBS (CBS Statline, 2021a). Dit databestand van het CBS bevat de jaarlijkse gemiddelde leveringsprijzen van verschillende gebruikersklassen vanaf 2007, welke kunnen worden vertaald naar de gebruikersklassen die worden gehanteerd binnen Vesta MAIS. De leveringsprijzen per gebruikersklasse zijn een optelling van de vaste kosten (uitgedrukt in euro/kWh), variabele productiekosten en overheadkosten. Binnen de CBS-data wordt geen onderscheid gemaakt tussen deze kostenposten. Omdat het Vesta MAIS-model wel onderscheid maakt tussen vaste en variabele kosten, is een aanpak bedacht om deze kostenposten wel te kunnen onderscheiden.

We illustreren die aanpak voor de Vesta MAIS-categorie 'kleingebruikers'. De CBS-data geven voor de periode 2007-2019 voor deze categorie jaarlijks vier datapunten: vier waarden voor de gemiddelde variabele leveringsprijs behorende bij vier gebruiksklassen. Het eerste datapunt wordt in de verdere analyses niet meegenomen, omdat dit datapunt (verbruik < 1 MWh) ook huishoudens bevat die meer elektriciteit produceren dan consumeren. Deze opbrengsten worden meegenomen als negatieve prijzen en geven daardoor een vertekend beeld van de gemiddelde prijs. Voor het jaar 2019 zijn de drie andere waarden weergegeven met de blauwe lijn in onderstaande grafiek. Daarbij is het gemiddelde verbruik per klasse geschat als het gemiddelde van de klassegrenzen, de mediaan. In de praktijk kan het gemiddelde afwijken van de mediaan maar CBS geeft hierover geen informatie. We weten dat elk datapunt is berekend door (per gebruiksklasse) de vaste leveringskosten te delen door het gemiddelde verbruik en daarbij de gemiddelde variabele leveringskosten op te tellen. We veronderstellen dat de overheadkosten onderdeel zijn van de variabele leveringskosten. De uitsplitsing van overhead- en productiekosten leggen we later in deze paragraaf uit, eerst beschrijven we de afsplitsing van de vaste kostencomponent van de totale leveringskosten.

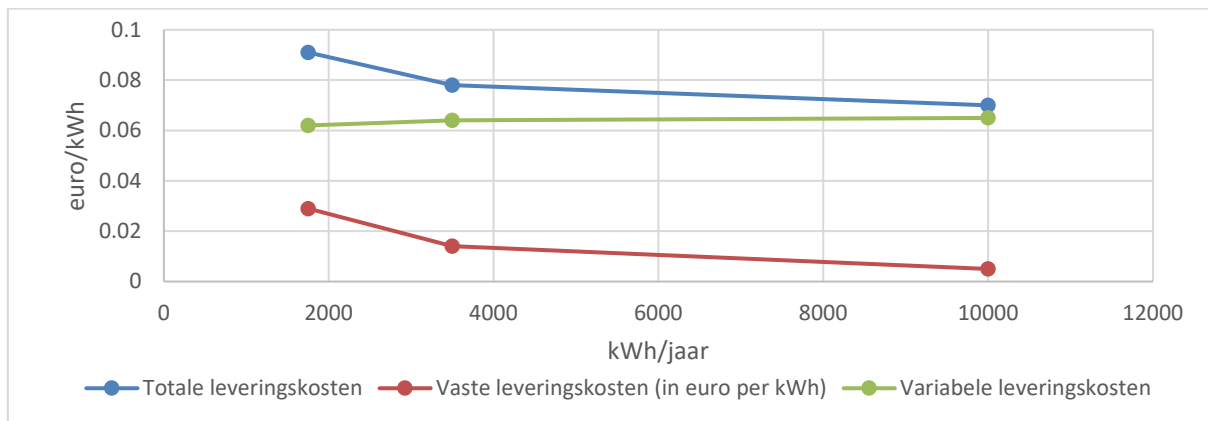
Voordat de methode zelf wordt toegelicht, geven we eerst meer duidelijkheid over de waarden waar we naar op zoek zijn aan de hand van data voor 2019. Het CBS geeft ook de uitsplitsing van de energierekening waarbij de vaste leveringskosten worden uitgesplitst voor kleingebruikers (CBS Statline, 2021b). Met deze informatie kunnen we onze methode toetsen.

Voor de splitsing van vaste en variabele leveringskosten zijn twee veronderstellingen nodig: a) iedere afnemer betaalt hetzelfde vaste leveringsbedrag (vastrecht), ongeacht zijn verbruik (binnen de categorie kleinverbruikers); en b) het variabele leveringstarief ofwel de prijs per geleverde kWh is ook gelijk voor iedere afnemer. In de praktijk gelden deze veronderstellingen mogelijk wel voor individuele afnemers, zolang die hun contract niet aanpassen en een vaste prijs hebben afgesproken met hun leverancier. Maar omdat we hier te maken hebben met gemiddelden van miljoenen afnemers per verbruikscategorie, zullen de veronderstellingen wel ongeveer aansluiten bij de realiteit maar niet exact. In onderstaande grafiek geeft de rode lijn de gemiddelde vaste kosten per kWh aan bij absolute vaste kosten van 50,41 euro (exclusief btw) per afnemer, conform veronderstelling a. De groene lijn toont de variabele leveringskosten, berekend als het verschil tussen de totale leveringskosten (blauwe lijn) en de gemiddelde vaste leveringskosten (rode lijn). Volgens veronderstelling b zou de groene lijn geheel recht moeten zijn en horizontaal moeten lopen maar de grafiek laat

zien dat aan die voorwaarden niet geheel wordt voldaan. Toch zijn de afwijkingen dermate klein, dat we het resultaat acceptabel vinden.

Figuur 34

Opbouw van leveringsprijs (excl. btw) bij verschillende verbruikshoeveelheden (voor kleingebruikers) uitgesplitst naar vaste kosten per kWh en het variabele leveringstarief (voor 2019). Bron: CBS Statline, 2021a



Bovenstaande aanpak is bruikbaar voor data over 2019 omdat we voor dat jaar de vaste kosten kenden, maar deze gegevens zijn niet bekend voor eerdere jaren en andere gebruikersklassen. Deze moeten wel worden vastgesteld als input voor het Vesta MAIS model en hiervoor is een methode ontwikkeld die stoelt op de veronderstellingen a en b. Het doel van deze methode is om per gebruikersklasse de stabiele groene lijn te vinden zonder dat informatie bekend is over de vaste kosten. Deze stabiele groene lijn zou, per gebruikersklasse, onafhankelijk moeten zijn van het verbruik en relatief stabiel moeten blijven. De verschillen in de totale leveringskosten tussen de datapunten wordt dan geheel veroorzaakt door de variatie in de vaste kosten gedeeld door het totale verbruik. In Figuur 34 is te zien dat de totale leveringskosten dalen bij een hoger verbruik. Deze daling zit in de vaste kosten/kWh, als we uitgaan van veronderstelling a. Maar het doel is om de leveringskosten onafhankelijk van het verbruik vast te stellen, dus eigenlijk de omgekeerde werking. Om deze omgekeerde werking te vinden wordt gebruik gemaakt van de inverse van het verbruik. Met deze inverse van het verbruik kan de relatie tussen de totale leveringskosten onafhankelijk van het verbruik worden vastgesteld. De inverse voor de drie datapunten bij kleinverbruikers komen op 0,00057 (klasse 1-2,5 MWh), 0,00027 (klasse 2,5-5 MWh) en 0,0001 (klasse 5-15 MWh).

De totale leveringsprijzen vanuit de CBS-data voor de drie datapunten kunnen worden gecombineerd met de resulterende inverse verbruiken. Het resultaat is een combinatie van het inverse verbruik en de totale leveringskosten per datapunt, zoals weergegeven in Figuur 35. Deze figuur is gespiegeld ten opzichte van de vorige figuur omdat het inverse verbruik voor de grootste gebruikersklasse (5 – 15 MWh) het laagst is. Het datapunt van de grootste gebruikersklasse ligt nu links in de grafiek, dicht bij de Y-as. Het figuur laat zien dat de prijzen bij een laag invers verbruik lager zijn dan bij een hoog invers gebruik, en onze veronderstelling is dat dit met name ontstaat door de vaste kosten. Om vast te stellen hoe groot de invloed van de vaste kosten is, veronderstellen we een lineaire functie die het verband legt tussen de inverse van het verbruik (X) en de totale leveringskosten (Y):

$$Y = aX + b$$

Waarbij:

Y = totale leveringskosten (in €/kWh)

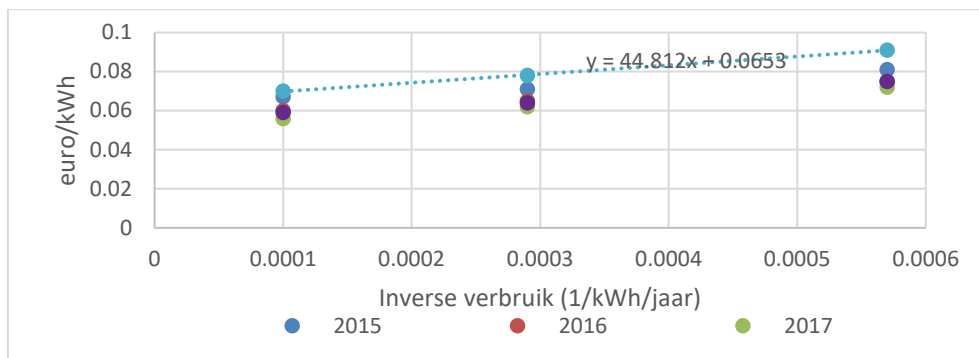
X = inverse van het jaarverbruik (in 1/kWh)

Bij benadering zou de coëfficiënt a gelijk moeten zijn aan de jaarlijkse vaste kosten per aansluiting (in €) en coëfficiënt b zou gelijk moeten zijn aan de variabele leveringskosten (in €/kWh).

In Figuur 35 is een dergelijk lineair verband weergegeven voor 2019. Uitgaande van de veronderstelling dat de variabele kosten gelijk zijn voor alle drie de punten ontstaat de richtingscoëfficiënt van de lijn (a) door de vaste kosten. Wanneer voor x een 0 wordt ingevuld blijven de variabele kosten over. Voor 2019 zouden de variabele leveringskosten dan uitkomen op 0,0653 euro/kWh. Dit is vergelijkbaar met de waarden op de groene lijn in Figuur 35. Volgens deze vergelijking zouden de vaste kosten 44,81 euro bedragen in 2019, waarmee het in dezelfde ordergrootte zit als de waarde (50,61) die het CBS voor 2019 berekende²⁴. Met deze methode kunnen ook de vaste en variabele leveringskosten worden geschat voor de andere jaren.

Figuur 35

Combinatie van invers gebruik en totale leveringskosten (excl. btw) voor kleingebruikers tussen 2015 en 2019, met voor 2019 het resultaat van de inschatting van een lineaire regressie.



Het resultaat van deze stap is dat per gebruikersklasse nu de variabele leveringskosten kunnen worden geschat. Vervolgens moet nog het onderscheid gemaakt worden tussen variabele overheadkosten en variabele productiekosten. Om dit te doen wordt aangenomen dat de variabele overheadkosten van de grootgebruikers nagenoeg 0 zijn. Dat is plausibel omdat er maar een minimaal verschil is tussen de leveringskosten en de groothandelsprijs. Met deze veronderstelling is de waarde van de variabele leveringskosten van grootverbruikers een indicatie voor de productiekosten²⁵.

Vervolgens is het mogelijk om de productiekosten af te trekken van de variabele leveringskosten en zo de overheadkosten per gebruikersklasse vast te stellen. Dit kan worden gedaan voor de jaren 2007 tot en met 2019. die berekeningen resulteren in enige fluctuatie in de overheadkosten, met een spreiding van ongeveer 25%. Om te komen tot een stabiel beeld wordt het gemiddelde genomen van de afgelopen 5 jaar.

²⁴ CBS schatte voor 2019 de vaste leveringskosten op 61 euro per gemiddelde aansluiting inclusief btw (CBS Statline 2021b); dat komt overeen met 50,61 ex btw. Milieu Centraal schatte de vaste leveringskosten voor dat jaar op 68 euro inclusief btw (Milieu Centraal, 2021).

²⁵ We ontleen hier de nationale productiekosten niet aan de methode uit paragraaf 9.1.2 omdat de groothandelsprijzen niet bekend zijn voor alle historische jaren. Daardoor kunnen we met die methode geen beeld krijgen van de afgelopen 5 jaar.

Als laatste stap worden de gebruikersklassen van het CBS vertaald naar de Vesta MAIS-gebruikersklassen en dit geeft het beeld voor 'Huidig' in Tabel 32.

Berekening overheadkosten in 2030

In de achterliggende jaren hebben we de (door ons afgeleide) overheadkosten van elektriciteitslevering licht zien stijgen, zoals ook te zien in de data van het CBS in Tabel 30. Omdat tussen nu en 2030 de hoeveelheid fluctuerende hernieuwbare elektriciteit zal toenemen, is te verwachten dat er meer kosten gemaakt zullen worden voor monitoring en fijnregeling dan in het huidige systeem. Daarnaast zijn er nog diverse andere uiteenlopende kostencomponenten die (licht) kunnen toenemen. In Hoogervorst (2020b) wordt een toelichting gegeven op de kostenontwikkeling van de extra overheadkosten bij niet-klimaatneutrale en klimaatneutrale productie van elektriciteit. De overheadkosten in 2030 worden berekend door de overheadkosten in 2019 (huidig) te verhogen met de veronderstelde extra overheadkosten in 2030, weergegeven in Tabel 31.

Tabel 30

Vaste leveringskosten voor huishoudens tussen 2018 – 2021 (juli), in €/jaar (CBS Statline, 2021b).

	2018	2019	2020	2021 (juni)	2021 (juli)
Vast leveringstarief	45,8	54,9	56,7	59,6	60,6

Tabel 31

Overheadkosten per gebruikersklasse voor elektriciteit, zowel huidig als extra overheadkosten voor klimaatneutrale als niet-klimaatneutrale elektriciteit. In Euro₂₀₁₈/kWh (excl. btw).

	Huidig (2019)	Niet-klimaat-neutraal, Extra (2030)	Niet-klimaat-neutraal, Totaal (2030)	Klimaatneutraal, Extra (2030)	Klimaatneutraal, Totaal (2030)
Kleingebruikers	0,016	0,010	0,026	0,015	0,031
Klein-middelgroot gebruik	0,016	0,010	0,026	0,015	0,031
Midden-middelgroot gebruik	0,002	0,001	0,003	0,002	0,004
Grootgebruik	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

7.1.4 Nationale variabele transportkosten

Het laatste sub-component voor de variabele nationale productiecosten van elektriciteit zijn de nationale variabele transportkosten. Het gaat hier om de kosten voor aanpassing van het landelijke elektriciteitsnet, exclusief de distributienetten. Hieronder vallen onder andere de kosten van het transportnet en kosten voor grotere aansluitingen dan de standaardaansluiting. De standaardaansluitingen worden voornamelijk geplaatst bij kleinverbruikers, de andere gebruikersklassen hebben vaak zwaardere aansluitingen. De additionele kosten die gemaakt worden voor deze zwaardere aansluiting komen terug in de variabele transportkosten. In de praktijk is dit een vast bedrag per (zwaardere) aansluiting, waarbij het tarief hoger wordt des te zwaarder de aansluiting. Om dit effect mee te nemen wordt binnen het Vesta MAIS-model aangenomen dat de transportkosten toenemen als het verbruik toeneemt. Daarom worden de kosten uitgedrukt in kosten per kWh. Alleen bij grootgebruikers is het tarief lager omdat hier de kosten worden verdeeld over zeer grote hoeveelheden elektriciteit.

De extra variabele transportkosten in 2030 zijn het gevolg van extra kosten voor het aansluiten van nieuwe windturbines en zonneparken, extra interconnectie faciliteiten en extra voorzieningen voor

balancing. Deze extra kosten worden verder toegelicht in Hoogervorst (2020b), waarbij ook het onderscheid wordt gemaakt tussen deze additionele kosten voor niet-klimaatneutrale elektriciteit en klimaatneutrale elektriciteit.

Tabel 32

Variabele transportkosten per gebruikersklasse voor klimaatneutrale en niet-klimaatneutrale elektriciteit. In Euro₂₀₁₈/kWh (excl. btw)

	Huidig (2019)	Niet-klimaatneutraal, Extra (2030)	Niet-klimaatneutraal, Totaal (2030)	Klimaatneutraal, Extra (2030)	Klimaatneutraal, Totaal (2030)
Kleingebruikers	0,000	0,006	0,006	0,015	0,015
Klein-middelgroot gebruik	0,022	0,006	0,028	0,015	0,037
Midden-middelgroot gebruik	0,033	0,006	0,039	0,015	0,048
Grootgebruik	0,001	0,006	0,007	0,015	0,016

7.1.5 Totale nationale variabele kosten van elektriciteit

Al deze kostencomponenten gezamenlijk vormen de totale nationale variabele kosten van elektriciteit. In Tabel 33 wordt een overzicht gegeven van de totale nationale variabele kosten van elektriciteit voor kleingebruikers. Op basis van bovenstaande kostencomponenten is het ook mogelijk de totale nationale variabele kosten te berekenen voor andere eindgebruikersklassen. Deze zijn opgenomen in het Functioneel Ontwerp 5.0 van het Vesta MAIS-model (Van der Molen et al, 2021).

Tabel 33Totale nationale variabele kosten van elektriciteit voor kleingebruikers. In Euro₂₀₁₈/kWh (excl. btw).

	2019	Niet- klimaatneutraal, SA-2020 (2030)	Klimaatneutraal, SA-2020 (2030)	Niet- klimaatneutraal, SA-2019 (2030)
Nat. productiekosten	0,071	0,078	0,091 (0,051 - 0,116)	
Nat. overheadkosten	0,016	0,026	0,031	
Nat. transportkosten	0,000	0,006	0,015	
Totale nationale variabele kosten	0,087	0,110	0,137 (0,097 - 0,162)	0,086 (0,065 - 0,108)

Bovenstaande tabel geeft een overzicht van de gehanteerde nationale variabele kosten van elektriciteit, die wordt gehanteerd voor alle strategieën, behalve bij S1. In strategie S1 (met elektrische warmtepompen) wordt nog een additionele toeslag gehanteerd die nodig is om de kosten te dekken van extra back-up tijdens piekuren in de winter, als alle warmtepompen tegelijk extra elektriciteit nodig hebben. Op jaarbasis gaan de gemiddelde kosten met 0,005 euro per kWh omhoog (Hoogervorst, 2020b). Deze additionele kosten gelden alleen binnen de strategie S1.

7.2 Nationale kosten van rest- en omgevingswarmte

7.2.1 Restwarmte

Veel restwarmte wordt momenteel geloosd in de lucht of het oppervlaktewater. Daar maken bedrijven kosten voor. Bedrijven zullen ook kosten moeten maken om restwarmte te kunnen aanbieden aan warmtenetten. Er is weinig bruikbare informatie beschikbaar over de hoogte van deze kosten. In de Startanalyse is verondersteld, dat de extra kosten van het leveren van industriële restwarmte aan een warmtenet nihil zijn en opwegen tegen de kosten die bedrijven nu al maken om restwarmte kwijt te raken. Een overzicht van deze kosten wordt gepresenteerd in onderstaande tabel, gebaseerd op de methode en formules die zijn beschreven in paragraaf 7.2.1.1 het functioneel ontwerp 5.0 (Van der Molen et al, 2021). De voornaamste invoerwaarden voor de berekeningen zijn de efficiencyfactor van (rest)warmtebronnen en de prijzen van energiedragers die worden gebruikt door de desbetreffende bron.

Tabel 34Kosten per GJ (Euro₂₀₁₈/GJ) geproduceerde warmte voor verschillende warmtebronnen

	2030
STEG, aardgas	5,4
STEG, waterstof	20,1
BMC	5,5
Gasmotor (aardgas)	8,4
BioWKK	11,5
Industrie	0,0
Geothermie	1,0
AVI	4,3

7.2.2 Omgevingswarmte

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

De kosten van warmtewinning uit geothermie zijn overgenomen van kostenberekeningen voor onderbouwing van de basisbedragen opgenomen in het conceptadvies voor de SDE++ 2021 (in 't Groen et al, 2020).

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

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

7.3 Nationale variabele kosten van aardgas en groengas

Binnen de Startanalyse worden drie gasvormige energiedragers meegenomen, namelijk aardgas, groengas en waterstof. Hierbij zijn aardgas en groengas substituten van elkaar met als voornaamste verschil dat aardgas niet-klimaatneutraal is en groengas wel. Waterstof is geen direct substituuat van de andere twee gasvormen, daarom worden de kosten voor waterstof behandeld in de volgende paragraaf. In deze paragraaf wordt eerst ingegaan op gehanteerde gebruikersklassen voor gas en de overheadkosten voor gas. Vervolgens wordt separaat ingegaan op de totale variabele nationale kosten voor aardgas en daarna op de totale variabele nationale kosten voor groengas.

7.3.1 Opbouw van nationale variabele kosten voor gas

De opbouw van kosten voor aardgas en groengas binnen de Startanalyse is in de basis hetzelfde als voor elektriciteit. Alleen bij de productie van deze gasvormen speelt het balanceringsvraagstuk een minder grote rol waardoor er minder afzonderlijke factoren invloed hebben op de opbouw van kosten. Over het geheel wordt voornamelijk het onderscheid gemaakt tussen productiekosten en overheadkosten, waarbij de overheadkosten voor groengas en aardgas hetzelfde zijn maar de productiekosten wel verschillen. Ook bij de onderbouwing van de overheadkosten voor gas wordt onderscheid gemaakt naar gebruikersklassen. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de gehanteerde gebruikersklassen binnen de SA.

Tabel 35

Gehanteerde gebruikersklassen voor gas, in m³/jaar.

	Ondergrens	Bovengrens
Kleingebruikers	0	5.000
Klein-middelgroot gebruik	5.001	170.000
Midden-middelgroot gebruik	170.001	1.000.000
Grootgebruik	1.000.001	∞

Vaststelling overheadkosten

De methodiek voor de vaststelling van de overheadkosten voor gas is hetzelfde als voor elektriciteit. Het startpunt zijn de totale leveringskosten voor aardgas, inclusief de vaste leveringskosten, de productiekosten en de overheadkosten (CBS Statline, 2021a). Vervolgens wordt de inverse bepaald van het gemiddelde verbruik per CBS-gebruikersklasse. Dit levert daarna de datapunten op met een combinatie van de inverse verbruiken en de totale leveringskosten. Op basis van deze datapunten kan vervolgens een lineaire regressielijn worden vastgesteld, waarbij het snijpunt met de y-as (x = 0) de inschatting geeft van de variabele leveringskosten. Met de aanname dat de overheadkosten bij de grootste gebruikersklasse minimaal zijn geven de variabele leveringskosten in deze gebruikersklasse een goede indicatie voor de productiekosten. Deze productiekosten worden vervolgens afgetrokken van de variabele leveringskosten binnen de andere gebruikersklassen om te komen tot de overheadkosten per gebruikersklasse. Hiervan wordt het gemiddelde genomen van de laatste 5 jaar en de resulterende gemiddelde overheadkosten zijn gepresenteerd in onderstaande tabel.

Tabel 36

Nationale overheadkosten per gebruikersklasse voor gas, Euro₂₀₁₈/m³ (excl. btw).

	2019	2030
Kleingebruikers	0,118	0,118
Klein-middelgroot gebruik	0,072	0,072
Midden-middelgroot gebruik	0,006	0,006
Grootgebruik	0,006	0,006

Een verschil met de overheadkosten voor elektriciteit is dat bij elektriciteit inschattingen zijn gemaakt voor een toename in de overheadkosten in de periode tot 2030 als gevolg van een toenemend complexere afstemming binnen de elektriciteitsmarkt. Dergelijke inschattingen zijn niet gemaakt voor gas, omdat de verwachting is dat deze markt tot 2030 relatief stabiel blijft. De overheadkosten worden daarom constant verondersteld tot 2030.

7.3.2 Nationale variabele kosten aardgas

Aardgas wordt alleen ingezet in de (niet-klimaatneutrale) referentiestrategie en komt niet terug in de aardgasvrije strategieën. Voor de niet-klimaatneutrale referentiestrategie wordt bij elektriciteit aangenomen dat de productiekosten gelijk zijn aan de groothandelsprijs in de KEV 2019. Deze aanname wordt ook toegepast voor aardgas. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de groothandelsprijzen voor aardgas binnen de KEV 2019 (Schoots & Hammingh, 2019).

Tabel 37

Nationale variabele productiekosten van aardgas, euro₂₀₁₈/m³ (excl. btw).

	2019	2030
Nationale productiekosten	0,205	0,250

Met deze inschatting voor de productiekosten van aardgas en de overheadkosten is het mogelijk om de totale productiekosten van aardgas vast te stellen. Tabel 38 geeft een overzicht van de totale nationale variabele kosten van aardgas voor de verschillende gebruikersklassen.

Tabel 38

Totale nationale variabele kosten van aardgas, per gebruikersklasse. In Euro₂₀₁₈/m³ (excl. btw).

	2019	2030
Kleingebruikers	0,323	0,368
Klein-middelgroot gebruik	0,277	0,322
Midden-middelgroot gebruik	0,211	0,256
Grootgebruik	0,211	0,256

7.3.3 Nationale variabele kosten van groengas

In de basis is de methode voor de vaststelling van de kosten van groengas ongewijzigd ten opzichte van de methode in de SA-2019. Er zijn echter wel enkele aanscherpingen aangebracht en daarnaast zijn de meest recente inzichten uit de SDE++ meegenomen in de berekeningen. Eén van de aanscherpingen betreft het harmoniseren van de uitgangspunten met betrekking tot de nationale kosten. In de SA-2019 werd uitgegaan van de basisbedragen zoals genoemd in de SDE+(+). In de berekening van deze basisbedragen worden echter een aantal factoren meegenomen die geen rol spelen bij het vaststellen van nationale kosten. Het gaat hierbij voornamelijk om de vereiste return on equity en de vennootschapsbelasting. Bij de berekening van de basisbedragen zijn dit belangrijke parameters omdat dit invloed heeft op de aantrekkelijkheid van de investering voor een producent. Maar bij nationale kosten wordt uitgegaan van een maatschappelijke return on equity en worden belastingen in het geheel buiten de berekening gelaten. Met deze aanscherpingen in de uitgangspunten voor SA-2020 zijn de kosten nu in zijn geheel in lijn met de nationale kostenmethode. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de algemene uitgangspunten die zijn aangepast ten opzichte van de SDE++ methode.

Tabel 39

Verschil in uitgangspunten voor SDE+(+) en nationale kosten.

	SDE+ 2019	SDE++ 2020	SDE++ 2021	Aannames voor nationale kosten
Inflatie	2%	2%	2%	0%
Rente lening	3%	2%	2%	3%
Vereiste return on equity	15%	15%	15%	3%
Vennootschapsbelasting	25%	22%	22%	0%

Nationale kosten van vergisting en vergassing tot en met 2021

Groengas wordt momenteel hoofdzakelijk geproduceerd d.m.v. vergisting van zuiverings-slib, GFT, mest en afval uit de voedings- en genotmiddelenindustrie. Naast vergisting is het ook mogelijk om groengas te maken d.m.v. vergassing. De productie van groengas d.m.v. vergassing is een grote belofte voor de toekomst, maar de ontwikkeling van deze technologie staat nog aan het begin en is daarmee ook onzeker. De SDE+(+) geeft elk jaar een inschatting van de kosten voor zowel vergisting- als vergassingstechnieken op basis van de laatste inzichten uit de markt. Deze inzichten worden gepresenteerd als basisbedragen, die voor deze studie worden vertaald naar nationale kosten door de uitgangspunten uit Tabel 39 te hanteren. Bij de kosteninschattingen voor vergassing wordt binnen de SDE+(+) met name uitgegaan van de kosten voor de vergassing van hout. Mogelijk dat in de toekomst ook gebruik wordt gemaakt van andere bronnen voor vergassing, maar voor nu wordt ervan uitgegaan dat de vergassing van hout een goede indicatie van de productiekosten. Tabel 40 geeft een overzicht van de nationale productiekosten voor groengas o.b.v. vergisting- en vergassingstechnieken tussen 2015 en 2021. De basisbedragen die ten grondslag liggen aan deze tabel zijn te vinden in de publicaties over de SDE+(+), namelijk PBL (2019a), PBL (2019b), PBL (2020b) en PBL (2020c).

Tabel 40Nationale productiekosten van groengas o.b.v. vergisting- en vergassingstechnieken tussen 2015 en 2021 (ca staat hierbij voor conceptadvies). In ct₂₀₁₈/Nm³ (excl. btw).

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021ca
verbeterde slibvergisting	0	0	0	24	25	25	25
monomestvergisting <400kW gas	0	0	0	74	65	69	69
monomestvergisting >400kW gas	0	0	0	49	54	54	54
allesvergister groen gas	49	47	48	43	48	51	51
vergassing biomassa >95% biogeen	0	0	0	92	83	77	66
vergassing biomassa B-hout	0	0	0	68	61	55	44

Gemiddelde productiekosten van groengas in 2030

Met bovenstaande kosten wordt een beeld gegeven van de huidige stand van zaken, maar binnen de SA wordt gerekend met kosten in 2030. Er moet dus nog een inschatting worden gemaakt van de ontwikkeling tot 2030. Binnen de SA wordt voor deze inschattingen gebruik gemaakt van pessimistische inschattingen (er is geen daling in de kosten tot 2030) en optimistische inschattingen. Voor de optimistische inschattingen voor vergistingstechnieken wordt gebruikt gemaakt van een studie van CE Delft (2018b). Mogelijke kostendalingen voor vergassingstechnieken zijn ontleend

aan De Gemeynt (2018) omdat die beter aansluit bij recente ontwikkelingen in SDE-berekeningen en meer kostenreductie voorziet dan de CE-studie (45% t.o.v. 34%). De pessimistische en optimistische inschattingen worden gebruikt voor de gevoeligheidsanalyses (zie Tabel 41), voor de reguliere berekeningen wordt uitgegaan van het gemiddelde van deze twee inschattingen.

Tabel 41

Pessimistische, optimistische en gemiddelde inschatting voor kostendaling 2019-2030 bij technieken voor groengasproductie.

	Pessimistisch	Gemiddeld	Optimistisch
verbeterde slibvergisting	0,0%	4,6%	9,3%
monomestvergisting <400kW gas	0,0%	7,9%	15,8%
monomestvergisting >400kW gas	0,0%	3,9%	7,8%
allesvergister groen gas	0,0%	4,6%	9,3%
vergassing biomassa >95% biogeen	0,0%	22,5%	45,0%
vergassing biomassa B-hout	0,0%	22,5%	45,0%

Om een inschatting van de gemiddelde productiekosten van groengas te maken is de volgende stap om een inschatting te geven van de volumes aan groengas die worden geproduceerd met de verschillende technieken. De onderbouwing voor de gehanteerde volumes per techniek is ontleend aan De Gemeynt (2018) en toegelicht in het achtergrondrapport bij de SA-2019 (Hoogervorst et al, 2019). Die volumes tellen op tot 1,96 bcm groengas, wat overeenkomt met de 2 bcm in 2030 die in het Klimaatakkoord zijn genoemd en die in de Startanalyse is gebruikt als maximaal beschikbare hoeveelheid in 2030. Hierin zijn geen aanpassingen in geweest bij de berekeningen voor de SA-2020. Een recentere studie van CE Delft (2020b) die naar de toekomstige beschikbaarheid van grondstoffen heeft gekeken, kwam tot soortgelijke schattingen over volumes in 2030.

De berekening van gemiddelde productiekosten van groengas is toegelicht in onderstaande tabel. De eerste kolom voor 2030 geeft de kosten per technologie, waarbij de dikgedrukte rijen gewogen gemiddeldes weergeven van de technieken. Dit gewogen gemiddelde wordt vastgesteld op basis van het beoogde volume dat een techniek gaat leveren en de kosten van deze techniek in 2030. Omdat toen nog geen onderbouwde kostenramingen van kritische watervergassing beschikbaar waren, zijn de kosten van die techniek gelijkgesteld aan die van vergassing van biomassa.

Tabel 42

Gemiddelde productiekosten groengas in 2030.

	Productiekosten per techniek (2019), ct ₂₀₁₈ /Nm ³	Productiekosten per techniek (2020), ct ₂₀₁₈ /Nm ³	Productiekosten per techniek (2030), ct ₂₀₁₈ /Nm ³	Productie per techniek (2030), Mln. m ³	Totale productiekosten (2030), Mln. ct ₂₀₁₈
verbeterde slibvergisting	25	25	24	99	2383
monomestvergisting <400kW gas	65	69	63	118	7494
monomestvergisting >400kW gas	54	54	66	21	1409
allesvergister groen gas	48	51	52	222	11437
Totaal vergisting			49	460	22724
Houtvergassing	61	55	43	188	7989
Vergisting + houtvergassing			47	648	30713
kritische watervergassing			60	1055	62886
bioraffinage/ vergassing biomassa	83	77	60	256	15256
Totaal vergisting + vergassing			56	1958	108855

Totale nationale kosten groengas in 2030

In de methode van SA-2019 werd al rekening gehouden met de extra kosten van CO₂-verwijdering bij groengas en dit is hetzelfde gehouden binnen de SA-2020. De onderbouwing voor de kosten van CO₂-afvang worden gegeven in het achtergrondrapport voor de SA-2019 (Hoogervorst et al, 2019). Een toevoeging ten opzichte van de methode gehanteerd in de SA-2019 is wel dat de overheadkosten nu ook worden meegenomen bij de kosten van groengas. Hiervoor worden de overheadkosten aangenomen van gas in het algemeen, zoals toegelicht in paragraaf 7.3.1. Al deze kosten tezamen geven de totale nationale kosten van groengas, die voor kleinverbruikers in Tabel 43 worden gepresenteerd. Op basis van bovenstaande kostencomponenten is het ook mogelijk de totale nationale variabele kosten te berekenen voor andere eindgebruikers (het verschil zit alleen bij de overheadkosten) en voor de pessimistische en optimistische variant. Deze zijn ook opgenomen in het Functioneel Ontwerp 5.0 van het Vesta MAIS-model (Van der Molen et al, 2021).

Tabel 43Nationale kosten van groengas voor kleingebruikers, in ct₂₀₁₈/Nm³ (excl. btw).

	Optimistisch	Gemiddeld	Pessimistisch
Productiekosten	45	56	69
Kosten CO₂-afvang	8	11	14
Overheadkosten van gas	12	12	12
Totale nationale kosten van groengas	65	79	95

Verschil SA-2019 en SA-2020

In de SA-2019 waren de gemiddelde kosten van groengas op 103 ct₂₀₁₈/m³ geschat, een significant verschil ten opzichte van de inschatting binnen de SA-2020 (79 ct₂₀₁₈/m³). Dit verschil komt voornamelijk door twee ontwikkelingen. De eerste betreft de constatering dat in de basisbedragen wordt gerekend met factoren die belangrijk zijn voor de businesscase van eindgebruikers, maar die niet meegenomen dienen te worden in de berekening van nationale kosten. De aanpassingen die zijn gedaan om deze factoren in lijn te brengen met de nationale kostendefinitie, heeft geresulteerd in

lagere kosteninschattingen voor groengas binnen de SA-2020. Daarnaast zijn de kosten voor vergassingstechnieken in het algemeen significant gedaald tussen de SDE+ 2020 inschatting en de SDE++ 2021 inschatting. Doordat wordt voorzien dat deze vergassingsopties een relatief groot deel van het groengasvolume in 2030 gaan leveren hebben deze kostendalingen een grote invloed op de totale kosteninschatting van groengas.

7.4 Nationale variabele kosten van waterstof

In het Klimaatakkoord is afgesproken om de mogelijkheden te verkennen van verwarmen met waterstof, als klimaatneutraal alternatief voor verwarmen met aardgas. De productie van waterstof uit aardgas is een beproefde technologie maar daarbij komt nog veel CO₂ bij vrij. Productie van klimaatneutrale waterstof (zonder CO₂-uitstoot) staat nog in de kinderschoenen. Dat maakt het moeilijk om hiervan betrouwbare ramingen van nationale productiekosten in 2030 te maken. Voor dat doel is een aparte studie uitgevoerd (Hoogervorst, 2020a) waarin een literatuurstudie is gecombineerd met interviews met Nederlandse deskundigen. De belangrijkste resultaten uit die studie worden hier samengevat.

Veel is nog onduidelijk over de toekomstige kosten en beschikbaarheid van klimaatneutrale waterstof. We weten dat de kosten van waterstofproductie op termijn dalen zullen, afhankelijk van het tempo waarin de productie mondiaal wordt uitgebreid. We weten niet hoe snel dat gaat gebeuren en in welk tempo de kosten gaan dalen. Daarom hanteren we in de Startanalyse een bandbreedte bij de berekening van de nationale kosten van de (varianten van de) waterstofstrategie. Voor berekeningen met het Vesta MAIS-model worden de variabele kosten uitgedrukt in €/kilo H₂, waarbij onderscheid wordt gemaakt naar de productiekosten en de overheadkosten. In deze paragraaf worden beiden afzonderlijk toegelicht.

7.4.1 Integrale nationale productiekosten van waterstof

Klimaatneutrale waterstof kan (globaal gesproken) op diverse manieren worden gemaakt. De belangrijkste zijn productie uit aardgas met CCS (blauwe waterstof) en uit elektrolyse van water (groene waterstof). Voor de afnemers van waterstof is de productiewijze op zichzelf niet relevant, maar die heeft wel gevolgen voor de kosten, de beschikbaarheid en het tempo waarin die op termijn gaan veranderen.

Tabel 44

Opbouw nationale productiekosten van blauwe waterstof in 2030. Bron: Hoogervorst 2020b, in €/kg H₂

Kostenopbouw	Laag	Midden	Hoog	Toelichting
Capex+Opex SMR	0.31	0.31	0.31	3% rente, 25 jaar
Aardgas-inkoop groothandel	0.84	1.40	1.96	KEV-2019
H ₂ -opslag in zoutkoepels	0.45	0.79	1.55	Zie bronrapport
H ₂ -transport per pijpleiding	0.15	0.16	0.18	5, 10, 50 km
CCS-kosten	0.59	0.85	1.07	Zie bronrapport
Kosten restemissie	0.05	0.10	0.20	met ETS-prijzen
Totaal blauwe waterstof	2.40	3.61	5.27	
<i>Vgl private kosten blauwe waterstof</i>	1.40	2.20	2.80	CE Delft 2020
Totaal blauwe waterstof (€/m ³ aeq ow)	0.634	0.952	1.392	omgerekend
vgl kosten aardgas (ow) (€/m ³ aeq.)	0.150	0.250	0.350	

De productie van blauwe waterstof kan waarschijnlijk sneller opgeschaald worden dan die van groene waterstof omdat die grotendeels steunt op bewezen technieken, zoals Steam Methane Reformers (SMR-omvormers). Het is nog wel onzeker of de combinatie met CCS snel van de grond zal komen en of het CO₂-afvangpercentage snel genoeg kan toenemen (van 55% nu naar 90% zo snel mogelijk) tegen aanvaardbare kosten.

De meeste studies die productiekosten van blauwe waterstof publiceren hanteren nauwere systeemgrenzen dan voor ons doel wenselijk is en hanteren vaak het perspectief van marktpartijen terwijl wij hier een nationaal-economisch perspectief nodig hebben. Aandachtspunt is dat gerekend is met een afvangpercentage van 90%, wat hoger is dan veelal wordt gerealiseerd maar eigenlijk nog niet hoog genoeg is om blauwe waterstof helemaal klimaatneutraal te kunnen noemen.

Productie van groene waterstof met stroom van een windpark op zee is een van de goedkoopste methoden voor Nederlandse omstandigheden. In 2030 bedragen de geraamde nationale kosten hiervan gemiddeld 3,83 €/kg H₂, inclusief kosten voor elektriciteitstransport naar het vaste land en seizoensopslag van waterstof, met een bandbreedte van 2,80 tot 5,33 €/kg H₂. Hierbij zijn vrij optimistische veronderstellingen gedaan over de kosten van elektrolyzers, die in 10 jaar tijd zouden moeten halveren tot 767 €/kW. Desondanks zijn de kosten dan nog hoger dan die van blauwe waterstof.

Voor het beoordelen van de aantrekkelijkheid van waterstof als energiedrager voor de gebouwde omgeving is het te verwachten kostenniveau een relevante parameter. Voor 2030 hanteren we het kostenniveau van blauwe waterstof, omdat over het productieproces van blauwe waterstof meer zekerheid bestaat dan over dat van groene waterstof. Dat betekent dat we in de Startanalyse rekenen met 3,61 €/kg H₂ (ofwel 95 cent per m³ aardgasequivalent) bij een bandbreedte van 2,40 tot 5,27 €/kg H₂. Na 2030 kunnen zowel bij blauwe als groene waterstof de productiekosten verder dalen. Het is ook goed mogelijk dat import van klimaatneutrale waterstof na 2030 goedkoper wordt dan nationale productie.

7.4.2 Nationale overheadkosten van waterstof

Binnen de SA-2020 verschilt de methode voor de overheadkosten van waterstof ten opzichte van de overheadkosten van gas en elektriciteit. De overheadkosten van gas en elektriciteit zijn een verbruiksafhankelijk kostencomponent, maar bij waterstof is het een jaarlijks bedrag per aansluiting. Dit jaarlijkse bedrag is opgenomen in het grotere pakket aan kostenposten, zoals behandeld in paragraaf 5.2.5. Een reden hiervoor is dat het niet mogelijk is om het onderscheid te maken naar gebruikersklasse, omdat gebruikersklassen van waterstof simpelweg nog niet bestaan. Daarbij focust de waterstofstrategie zich met name op de kosten van kleingebruikers, zoals vermeld in paragraaf 5.2.5.

TOT SLOT

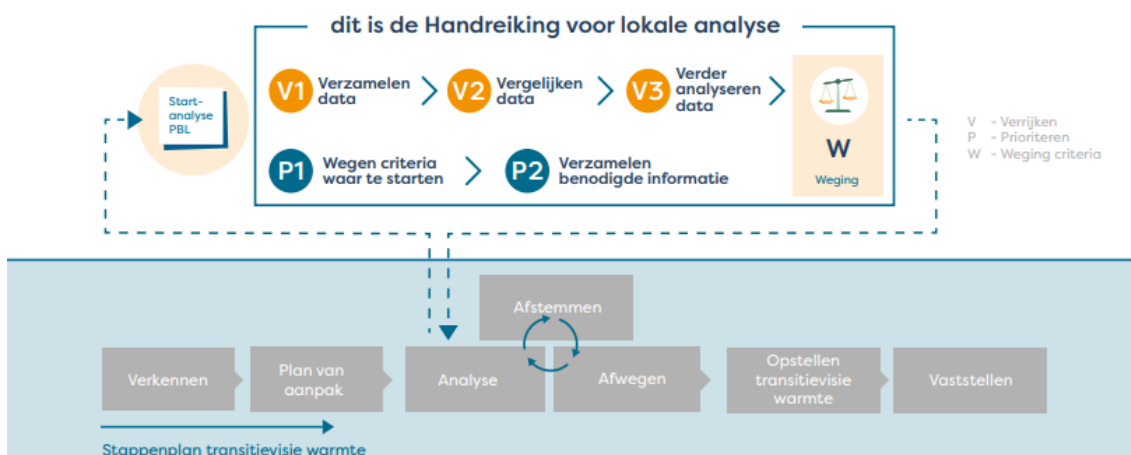
8 Rapportages over de Startanalyse en de Leidraad

8.1 De Leidraad in relatie tot de transitievisie warmte

In het Klimaatakkoord is afgesproken dat gemeenten uiterlijk eind 2021 een transitievisie warmte hebben opgesteld. In de handreiking voor lokale analyse (ECW, 2021) wordt een overzicht gegeven van de stappen om te komen tot een transitievisie warmte, met daarin ook de rol van de Leidraad opgenomen. Figuur 36 geeft dit overzichtelijk weer, waarbij ook wordt ingegaan op de rol van de Startanalyse en de Handreiking voor lokale analyse. De Startanalyse geeft hiermee een eerste analyse welke kan worden verrijkt met lokale data, zoals beschreven in de handreiking voor lokale analyse. In de handreiking voor lokale analyse wordt vervolgens ook beschreven welke stappen de gemeenten kunnen zetten nadat de analyse is verrijkt en gemeenten moeten komen tot de transitievisie warmte. In deze stappen is het ECW ook altijd bereikbaar voor gemeenten.

Figuur 36

De producten van de leidraad in het stappenplan van een transitievisie warmte. Bron figuur: Handreiking voor lokale analyse (ECW, 2021)



8.2 Rapportage van de Startanalyse

De focus van dit achtergrondrapport ligt 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 buurtniveau 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 kunnen zijn voor vervolgstudies door consultants, experts en modelleers. Het wordt op aanvraag ter beschikking gesteld.

8.2.1 Viewer

De viewer is een online tool²⁶, die niet alleen algemene informatie biedt maar ook de mogelijkheid biedt om in heel Nederland gemeenten en buurten te selecteren en buurtspecifiek gedetailleerde resultaten te tonen.

Voor elke gebied is een reeks kaarten beschikbaar die zowel buurteigenschappen en context informatie tonen in het startjaar 2019 als de resultaten tonen van de kostenberekening per strategie. De modelresultaten zijn per buurt in klassen weergegeven, elke klasse heeft een eigen kleurcodering. Daarnaast er is ook de mogelijkheid om vanuit de viewer de gemeenterapporten te downloaden met daarbij een link naar de tabellen met resultaten per buurt.

8.2.2 Gemeenterapport

Het gemeenterapport bestaat uit twee delen, een algemene inhoud voor alle gemeenten en deel met specifieke inhoud van buurten voor iedere gemeente.

Het eerste deel geeft informatie over hoe u de resultaten van de analyse in de praktijk kunt gebruiken. De tekst licht de verschillende strategieën en 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 resultaten van berekeningen voor elke buurt in de 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 en 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 per variant gepresenteerd.

Al deze informatie kan als hulpmiddel worden gebruikt door de gemeenten bij het opstellen van de Transitievisie warmte. Het gemeenterapport geeft expliciet geen advies; gemeenten moeten hun eigen keuzes maken.

²⁶ De viewer van de Startanalyse is te vinden via de volgende [website](#)

8.2.3 Datapakket

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

8.3 Veelgestelde vragen

De Startanalyse is een zeer uitgebreide publicatie met resultaten op een relatief laag aggregatieniveau (buurt) in Nederland. Daarbij is gebruik gemaakt van een model en de uitkomsten van het Vesta MAIS-model binnen de Startanalyse heeft bij verschillende gemeenten geleid tot vragen over de uitkomsten. Het ECW behandelt de veelgestelde vragen [in de FAQ](#), maar er zijn twee vragen die regelmatig terug blijven komen en die hieronder wat uitgebreider worden toegelicht. Hierbij wordt gebruik gemaakt van voorbeelden uit de gemeente Amersfoort, maar dit is alleen als voorbeeld om opvallende uitkomsten te illustreren.

8.3.1 Waarom is een buurt wel/niet aangesloten op een warmtenet met een HT/MT-restwarmtebron (S2a of S2d)?

De eerste vraag heeft betrekking op de modellering van warmtenetten met HT/MT-restwarmtebronnen. De methode die hiervoor wordt gebruikt wordt toegelicht in paragraaf 3.4. Om de gevolgen van deze methode te illustreren worden hieronder drie figuren gepresenteerd:

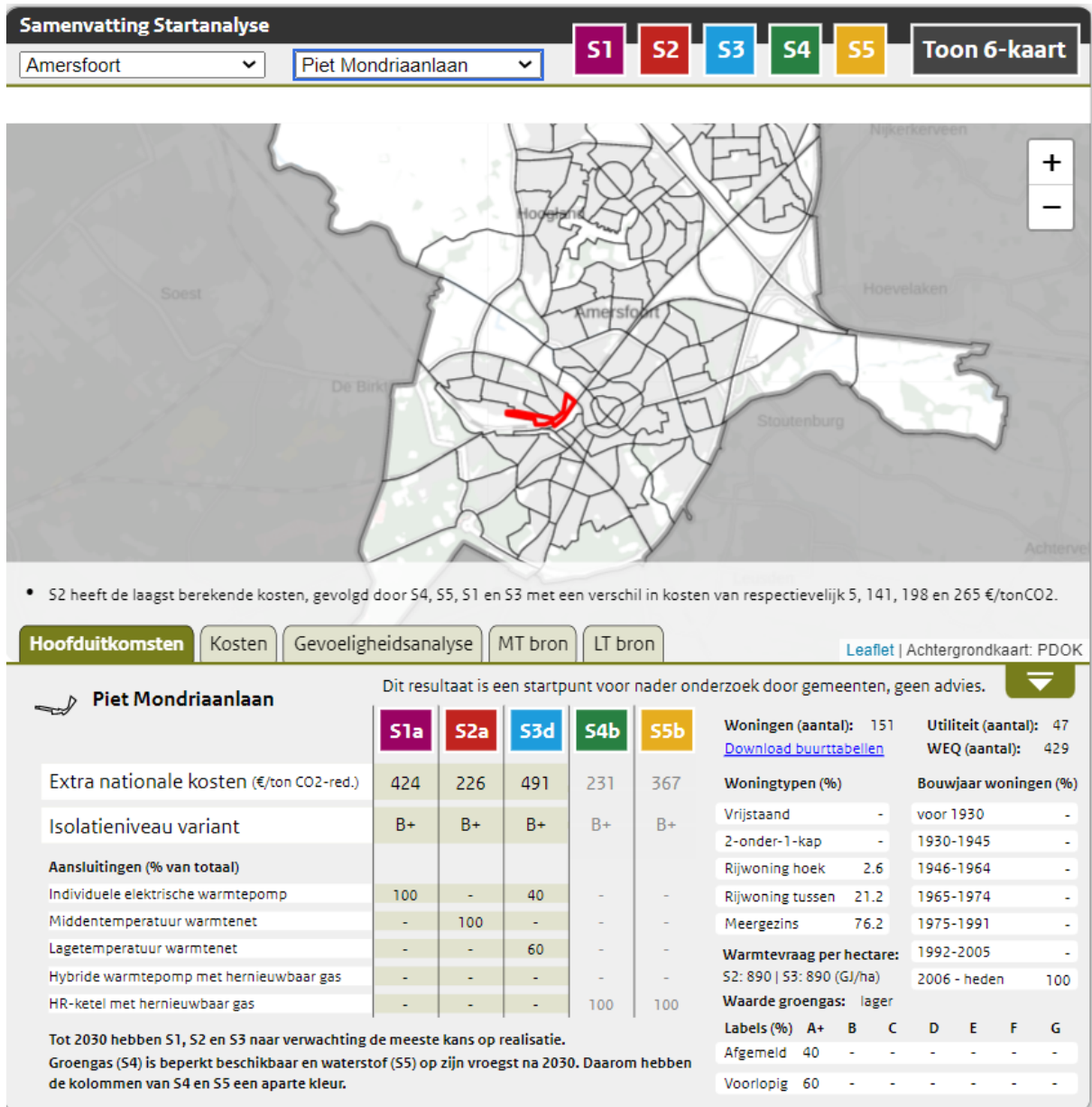
- Figuur 37 geeft de resultaten weer voor de 'Piet Mondriaanlaan' buurt in Amersfoort. Voor strategie S2 komt hier de variant S2a als goedkoopste naar voren, de variant waarin gebouwen worden aangesloten op een warmtenet met HT/MT-warmtebron en isoleren naar schillabel B. De restwarmtebron (BMC de Nieuwe Stad) heeft voldoende capaciteit om deze buurt aan te sluiten en deze buurt heeft een relatief goede contributiemarge, omdat deze een hogere prioriteit heeft dan andere buurten.
- Figuur 38 geeft de resultaten weer voor de buurt 'G. van Stellingwerfstraat' in Amersfoort. Ook deze buurt kan nog aangesloten worden op de een warmtenet gevoed door BMC de Nieuwe Stad, waarbij de kosten worden weergegeven voor de variant S2d. De variant waarin gebouwen worden aangesloten op een warmtenet met HT/MT-warmtebron en isoleren naar schillabel D. Daarbij zijn de nationale kosten wel iets hoger dan binnen de buurt 'Piet Mondriaanlaan', maar de contributiemarge is nog wel gunstiger dan voor andere buurten.

- Figuur 39 geeft de resultaten voor de buurt 'Bloemenbuurt-Oost' in Amersfoort. Voor Strategie 2 komt nu de variant S2e als goedkoopste naar voren, de variant waarin woningen isoleren naar schillabel D en de gebouwen worden aangesloten op een warmtenet gevoed door een geothermiebron. Deze buurt wordt niet meer aangesloten op een warmtenet met een HT/MT-restwarmtebron binnen de Startanalyse resultaten. Reden hiervoor is dat er niet voldoende capaciteit beschikbaar is van HT/MT-restwarmtebronnen om heel Amersfoort van warmte te voorzien. De contributiemarge van de Bloemenbuurt-Oost is lager dan van andere buurten en daarom wordt de beschikbare capaciteit niet aan deze buurt toebe-deeld.

Deze drie figuren laten in grote lijnen zien hoe de methode voor warmtenetten doorwerkt in de toekenning van warmtenetten met HT/MT-warmtebronnen.

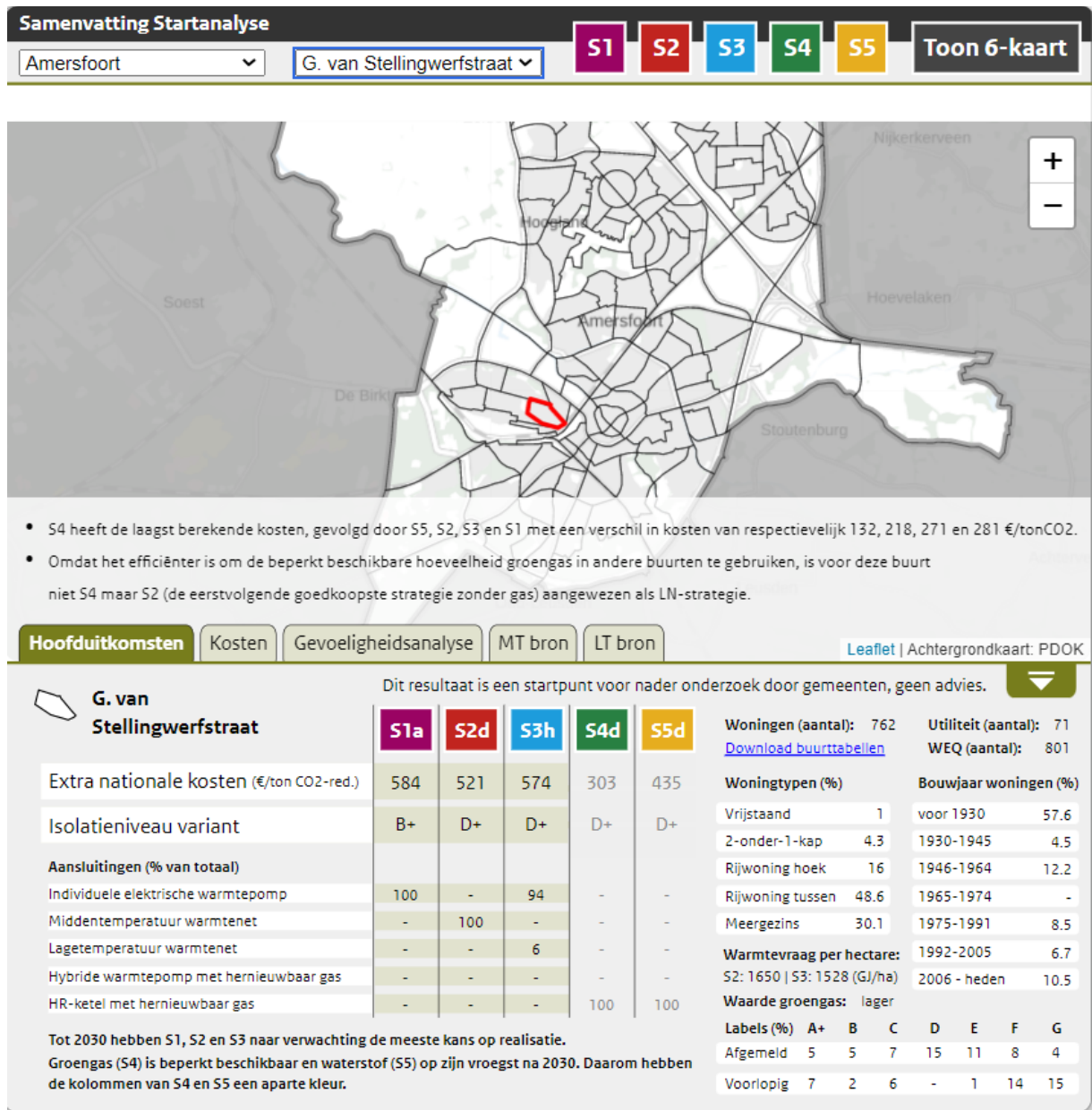
Figuur 37

Samenvattende kaart binnen de viewer van de Startanalyse voor de buurt 'Piet Mondriaanlaan' in Amersfoort



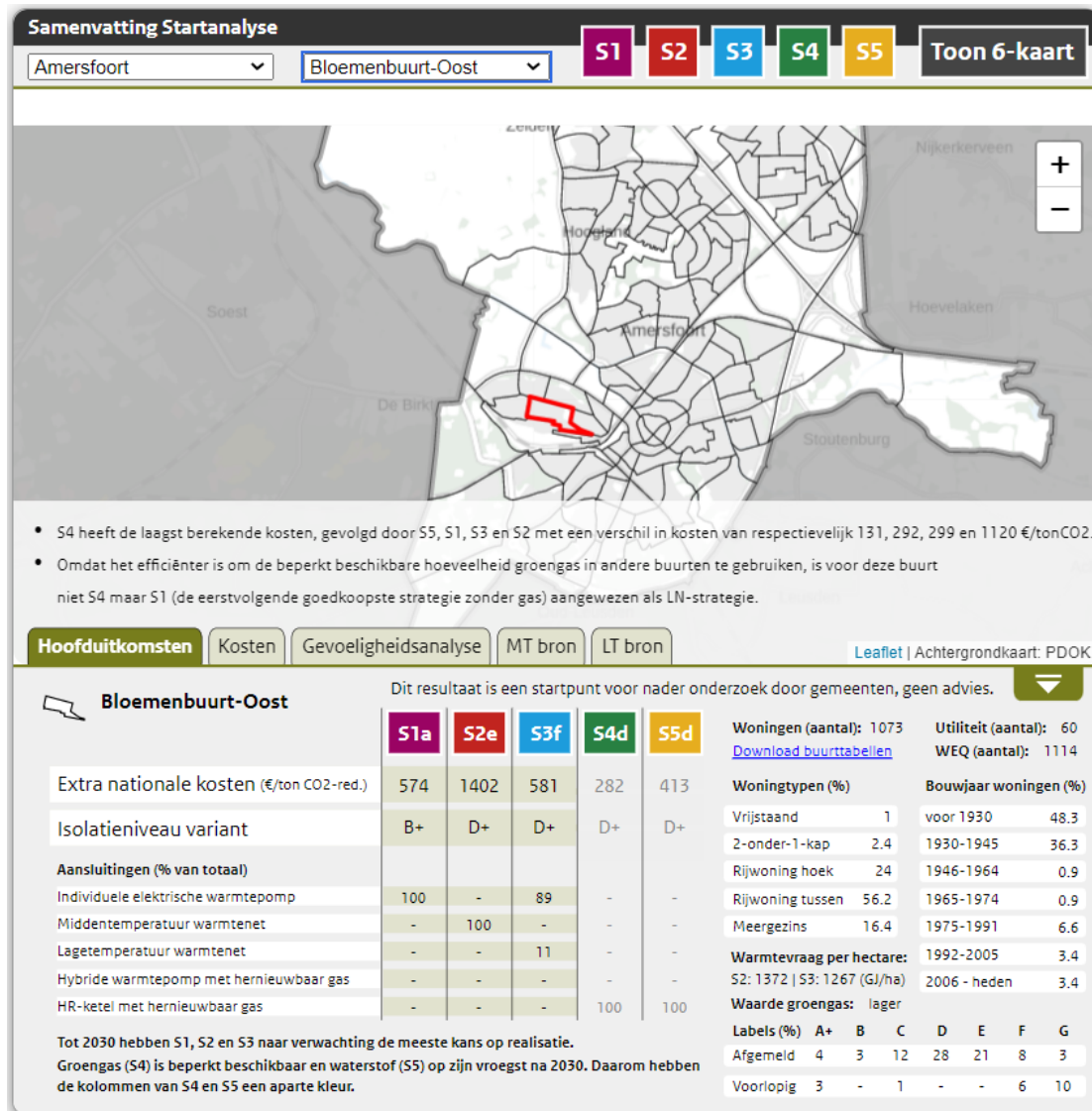
Figuur 38

Samenvattende kaart binnen de viewer van de Startanalyse voor de buurt 'G. van Stellingwerfstraat' in Amersfoort



Figuur 39

Samenvattende kaart binnen de viewer van de Startanalyse voor de buurt 'Bloemenbuurt-Oost' in Amersfoort



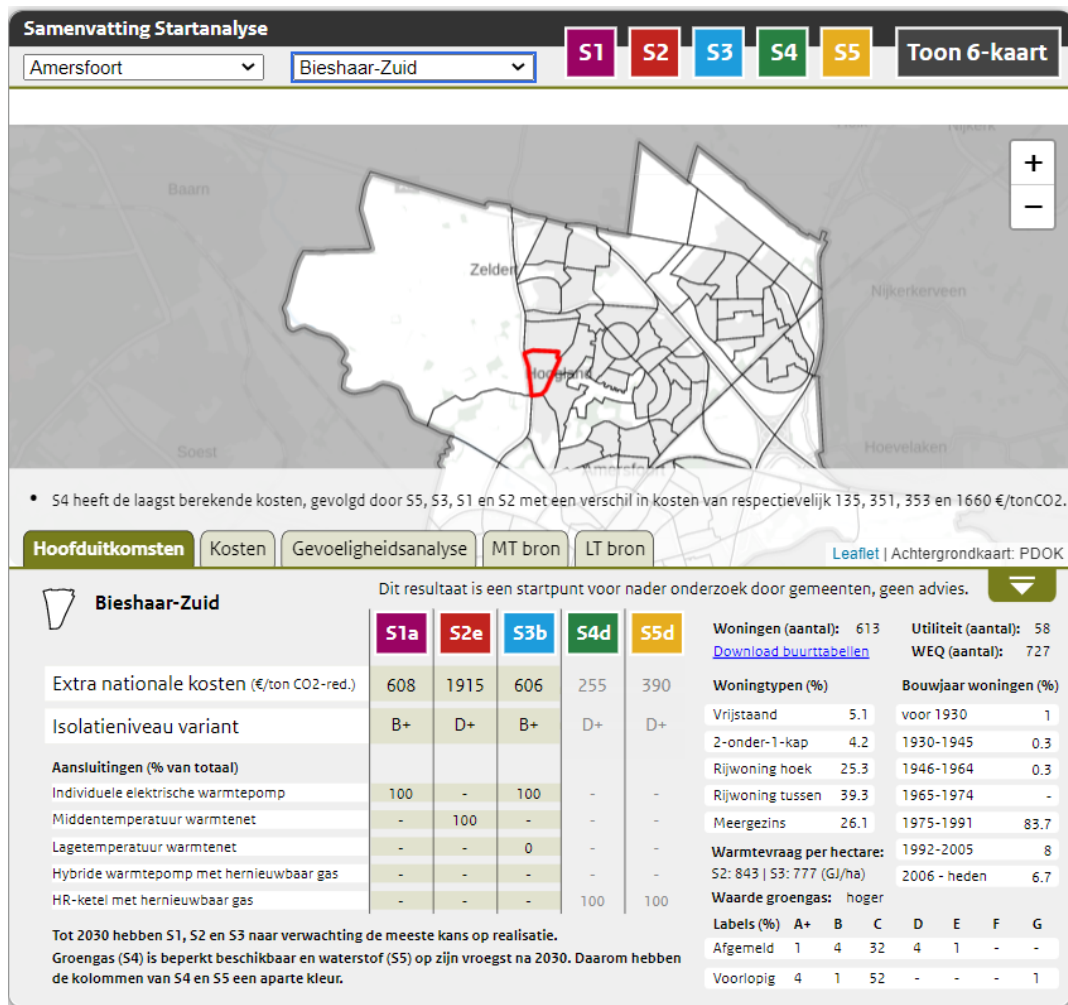
8.3.2 Hoe moet ik de resultaten van S3 interpreteren?

Bij de interpretatie van de resultaten voor S3 ontstaat regelmatig onduidelijkheid. Dit heeft met name te maken met de verdeling van de aansluitingen over 'individuele elektrische warmtepomp' en 'Lagetemperatuur warmtenet'. In veel buurten is het bij S3 een verdeling over deze typen aansluitingen, terwijl de strategie uitgaat van lagetemperatuur warmtenetten. Dit heeft met name te maken met de (beperkte) capaciteit van lagetemperatuur warmtebronnen. De capaciteit is vaak maar voldoende om een relatief klein aantal gebouwen (enkele utiliteitsgebouwen, of minder dan 250 woningen) aan te sluiten. Dit is meestal maar een gedeelte van de gebouwen in een buurt en daarom is het niet mogelijk om alle gebouwen in de buurt aan te sluiten op deze LT-warmtebron. In de Startanalyse is ervoor gekozen om zoveel mogelijk gebouwen aan te sluiten op deze LT-warmtebron, maar de gebouwen die niet aangesloten worden gaan over op een individuele elektrische warmtepomp. De doorwerking wordt toegelicht aan de hand van drie figuren:

- Figuur 39 beschrijft de buurt 'Bloemenbuurt-Oost' in Amersfoort. Hierin is te zien dat S3f de variant met de laagste kosten binnen strategie 3 is. Daarbij wordt aangegeven dat 11% van deze buurt daadwerkelijk zou worden aangesloten op een warmtenet gevoed door een LT-warmtebron. In deze variant wordt de temperatuur van de LT-warmtebron collectief opgewaardeerd naar 70°C en worden de woningen geïsoleerd naar schillabel D. Deze 11% van de aansluitingen zal binnen de Startanalyse daarom niet verder hoeven te isoleren dan schillabel D. Na het invullen van de warmtevraag van deze 11% is de capaciteit van de LT-warmtebron 'op'. De overige 89% van de aansluitingen gaat daarom over op een individuele elektrische warmtepomp, waarbij deze gebouwen wel moet isoleren naar minimaal schillabel B.
- Figuur 40 geeft de samenvattende kaart binnen de viewer van de Startanalyse voor de buurt 'Bieshaar-Zuid' in de gemeente Amersfoort. Hierin heeft variant S3b de laagste nationale kosten voor een zeer klein gedeelte van de aansluitingen. Het percentage is kleiner dan 0,5% en hierdoor komt het afgeronde aandeel van warmtenetten uit op 0.
- Figuur 41 geeft de samenvattende kaart binnen de viewer van de Startanalyse voor de buurt 'Nimmerdor' in de gemeente Amersfoort. In deze buurt zijn geen LT-warmtebronnen aanwezig of in de nabije omgeving, waardoor het niet mogelijk is om voor deze buurt S3 door te rekenen. Om deze reden worden er ook geen resultaten gegeven voor deze buurt.

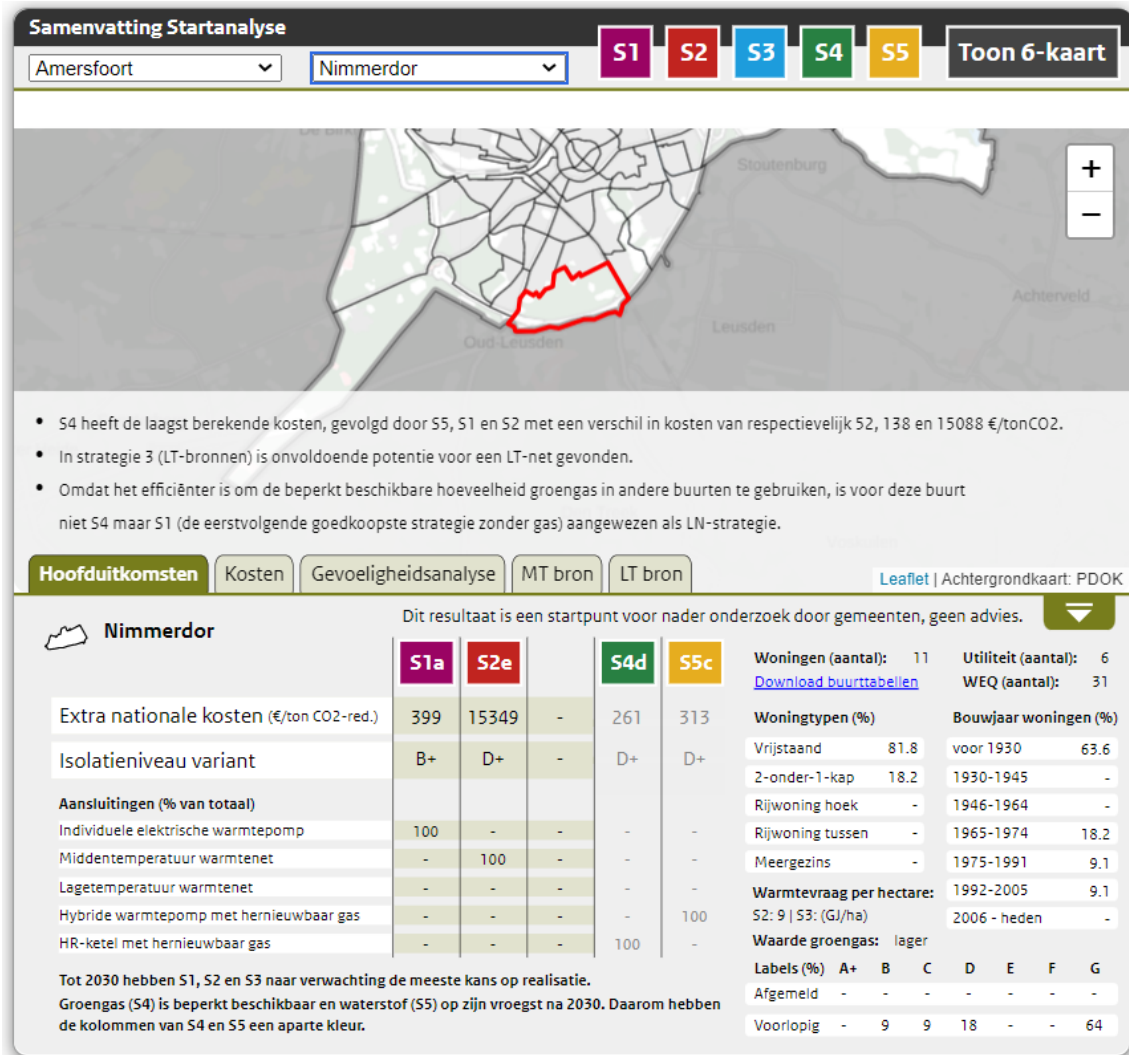
Figuur 40

Samenvattende kaart binnen de viewer van de Startanalyse voor de buurt 'Bieshaar-Zuid' in Amersfoort



Figuur 41

Samenvattende kaart binnen de viewer van de Startanalyse voor buurt 'Nimmerdor' in Amersfoort



8.4 Gevoeligheidsanalyses

De hoogte van de kosten in 2030 wordt door tal van factoren beïnvloed. Het is niet exact te voorspellen hoe die factoren zich in de komende jaren zullen ontwikkelen; het is wel mogelijk de gevoeligheden te onderzoeken door de bandbreedte van de kosten voor enkele belangrijke onzekere factoren aan te geven. Die bandbreedte is bepaald voor twee factoren die naar verwachting de grootste invloed hebben op de hoogte van de nationale kosten van strategieën:

- de kostenreductie tot 2030 door leerprocessen, schaalvoordelen en ontwikkeling van technologieën;
- de ontwikkeling van energiekosten voor elektriciteit, groengas en waterstof.

In paragraaf 5.1.4 van het gemeenterapport wordt in meer detail ingegaan op het gebruik van de gevoeligheidsanalyse (Hoogervorst et al, 2020).

8.4.1 Bandbreedte in de kosten van technische maatregelen in 2030

De eerste gevoeligheidsanalyse geeft een eerste beeld of kostenverschillen tussen strategieën afhankelijk zijn van de gekozen investeringskosten voor technische maatregelen. Dit wordt gedaan

door de kosten weer te geven wanneer de investeringskosten zich zeer gunstig (optimistisch) of zeer ongunstig (pessimistisch) ontwikkelen. Het optimistische beeld ontstaat hierbij door de optimistische leercurves uit paragraaf 5.1.3 te combineren met de onderwaarden voor investeringskosten, zoals opgenomen in paragraaf 5.2. Voor het pessimistische wordt het tegenovergestelde gedaan en wordt dus uitgegaan van de pessimistische leercurves en de bovenwaarden voor investeringskosten.

8.4.2 Bandbreedte in kosten van energiedragers in 2030

Hoofdstuk 7 geeft een uitgebreide beschrijving van de kosten van energiedragers, waarbij ook wordt ingegaan op de onderbouwing van de bandbreedtes. In Tabel 45 wordt nog een samenvattend overzicht gepresenteerd van de bandbreedtes voor de verschillende energiedragers.

Tabel 45

Bandbreedte van nationale kosten van energiedragers in 2030 (exclusief btw) voor kleinverbruikers.

	Laag, Optimistisch	Gemiddeld	Hoog, Pessimistisch
Klimaatneutrale elektriciteit (€₂₀₁₈/kWh) (<10.000 kWh/j)	0,088	0,128	0,153
Groengas (€₂₀₁₈/Nm³)	0,65	0,79	0,95
Waterstof (€₂₀₁₈/kg H₂)	2,40	3,61	5,27

Referenties

- Arcadis, 2018. Kostenoptimalisatiestudie BENG; Investeringskosten energiebesparende maatregelen utiliteitsbouw en woningbouw.
Website: <https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/rapporten/2018/12/17/kostenoptimaliteitsstudie-beng-eisen/Kostenkengetallen+KOS+BENG.pdf>
- Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG), 2020. Basisregistratie Adressen en Gebouwen, Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties.
Website: <https://www.geobasisregistraties.nl/basisregistraties/adressen-en-gebouwen>
- Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG), 2021. Brongegevens, omschrijving en definities in de BAG.
Website: https://gemeente.incijfers.nl/info/BAG_ABF.html
- Berenschot, 2020. WARM; Waarde van Aardwarmte en Regionale mogelijkheden. Een studie naar de potentie van aardwarmte als duurzame warmtebron voor de gebouwde omgeving, glas-tuinbouw en industrie.
Website: <https://www.ebn.nl/energietransitie/new-energy/aard-warmte/warm/#:~:text=WARM%20staat%20voor%20Waarde%20van,warmtevraag%20tot%20100%20graden%20Celsius.>
- Brink, 2020. Beoordeling verduurzamingskosten utiliteitsbouw. Referentie B001168/2000271/RJ/ISO:JvD/lm/em.
Website: <https://www.expertisecentrumwarmte.nl/themas/bibliotheek/2021043.aspx> (aan te vragen bij het ECW)
- Brockmann, H. (2019) webgestützten Wärmepumpen Verbrauchsdatenbank. Geraadpleegd juli 2019
Website: waermepumpen-verbrauchsdatenbank.de
- CBS, 2019. Kerncijfers wijken en buurten 2019.
Website: <https://www.cbs.nl/nl-nl/maatwerk/2019/31/kerncijfers-wijken-en-buurten-2019>
- CBS, 2020. Energielevering woningen naar energielabel en PV, 2018.
Website: <https://www.cbs.nl/nl-nl/maatwerk/2020/13/energielevering-woningen-naar-energielabel-en-pv-2018>
- CBS, 2021. Productie groene stroom met 40 procent gestegen.
Website: <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2021/08/productie-groene-stroom-met-40-procent-gestegen>
- CBS Statline, 2021a. Aardgas en elektriciteit, gemiddelde prijzen van eindverbruikers.
Website: <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/81309NED/table?dl=3A4B4>
- CBS Statline, 2021b. Gemiddelde energietarieven voor consumenten
Website: <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/84672NED/table>
- CE Delft, 2011. Functioneel ontwerp Vesta.
Website: <https://ce.nl/publicaties/functioneel-ontwerp-vesta/>
- CE Delft, 2015. Energiekennallen utiliteitsgebouwen Vesta 2.0
Website: <https://www.pbl.nl/modellen/vesta>
- CE Delft, 2018a. Weg van gas; Kansen voor de nieuwe concepten LageTemperatuurAardwarmte en Mijwater. Publicatienummer: 18.3K61.o6o
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, 2019a. Hybride warmtenetten; Kansen voor Den Haag. Delft, maart 2019. Publicatienummer 19.180062.047
Website: <https://www.ce.nl/publicaties/2273/hybride-warmtenetten-kansen-voor-den-haag>
- CE Delft, 2019b. Overzicht aanpassingen Vesta MAIS. Delft, juli 2019. Publicatienummer 198.190141.105.
Website: <https://www.expertisecentrumwarmte.nl/themas/bibliotheek/1428415.aspx>
- CE Delft, 2019c. Generalisatie conversietechnieken in Vesta; Functioneel ontwerp voor het modelleren van individuele warmtetechnieken. Delft, CE Delft, november 2019.
Website: <https://ce.nl/publicaties/generalisatie-conversietechnieken-in-vesta-functioneel-ontwerp-voor-het-modelleren-van-individuele-warmtetechnieken/>
- CE Delft, 2019d. Functioneel ontwerp LT-warmtenetten gebouwde omgeving; Concept voor validatie Vesta. Maart 2019.
Website: <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2019/04/Functioneel%20ontwerp%20LT-warmtenetten.pdf>
- CE Delft, 2020a. Waterstof in Vesta MAIS; Parameters voor modellering.
Website: https://ce.nl/wp-content/uploads/2021/07/CE_Delft_5T37_Waterstof_voor_Vesta-MAIS_DEF.pdf
- CE Delft, 2020b. 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>
- De 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-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
Website: <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/blg-821268.pdf>
- Ecorys, 2021. Verschillenanalyse; Startanalyse 2020 versus Startanalyse 2019.
Website: <https://expertisecentrumwarmte.nl/themas/de+leidraad/startanalyse/default.aspx>
- ECW, 2020a. Analyse investeringskosten warmtepompen voor utiliteitsgebouwen.
Website: <https://www.expertisecentrumwarmte.nl/themas/bibliotheek/2021043.aspx>
- ECW, 2020b. Notitie over de methode voor het doorrekenen van de hybride warmtepomp in het Vesta MAIS-model t.b.v. de Startanalyse
Website: <https://www.expertisecentrumwarmte.nl/themas/bibliotheek/2021043.aspx>
- ECW, 2021. Handreiking voor lokale analyse; Verrijking Startanalyse ten behoeve van de transitievisie warmte.

Website: <https://www.expertisecentrumwarmte.nl/themas/de+leidraad/handreiking+voor+lokale+analyse/default.aspx>

Folkert, R. & R.A. van den Wijngaart (2012), Vesta ruimtelijk energiemodel voor de gebouwde omgeving. Data en methoden, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving

Website: <https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/PBL-2012-vesta-ruimtelijk-energiemodel-voor-de-gebouwde-omgeving-data-en-methoden-500264001.pdf>

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

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

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 Klimaatkoord: Gebouwde omgeving, Den Haag: PBL

Website: <https://www.pbl.nl/publicaties/achtergronddocument-effecten-ontwerp-klimaat-akkoord-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.

Website: <https://themasites.pbl.nl/leidraad-warmte/2020/>

Hoogervorst, N., 2020a. Waterstof voor de gebouwde omgeving; operationalisering in de Startanalyse 2020, Den Haag: PBL.

Website: <https://www.pbl.nl/publicaties/waterstof-voor-de-gebouwde-omgeving-operationalisering-in-de-startanalyse-2020>

Hoogervorst, N., 2020b. Kosten van klimaatneutrale elektriciteit in 2030; Operationalisering voor de Startanalyse 2020, Den Haag: PBL.

Website: <https://www.pbl.nl/publicaties/kosten-van-klimaatneutrale-elektriciteit-in-2030-schatting-voor-de-startanalyse-2020>

Hoogervorst, N. et al., 2020. Startanalyse aardgasvrije buurten (versie 24 september 2020); Gemeenterapport met toelichting bij tabellen met resultaten van de Startanalyse, Den Haag: PBL

Website: <https://www.pbl.nl/publicaties/achtergrondrapport-bij-de-startanalyse-aardgas-vrije-buurten>

in 't Groen B., Tolsma S., Mijnlief H., Smekens K., Lensink S., 2020. Conceptadvies SDE++ 2021 Geothermie, Den Haag: PBL.

Website: https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2020-conceptadvies-sde-plus-plus-2021-geothermie_4110.pdf

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

Website: https://www.netbeheernederland.nl/_upload/Files/Toekomstbestendige_gasdistributienetten_133.pdf

- KNMI, 2014. Klimaatscenario's voor Nederland.
Website: https://cdn.knmi.nl/knmi/pdf/bibliotheek/klimaatbrochures/Brochure_KNMI14_NL.pdf
- Milieu Centraal, 2020a. Lage temperatuur verwarming (ltv).
Website: <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/energiezuinig-huis/energiezuinig-verwarmen-en-warm-water/lage-temperatuur-verwarming-ltv/>
- Milieu Centraal, 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/>
- Milieu Centraal 2021. Energierekening.
Website: <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/inzicht-in-je-energierekening/energierekening/>
- Ministerie van BZK, 2013. Wonen in ongewone tijden; De resultaten van het WoonOnderzoek Nederland 2012.
Website: <https://www.woononderzoek.nl/documenten/Rapporten>
- Ministerie van BZK, 2019. Ruimte voor wonen; De resultaten van het WoonOnderzoek Nederland 2018.
Website: <https://www.woononderzoek.nl/documenten/Rapporten>
- Ministerie van BZK, 2021a. Standaard voor woningisolatie. Kenmerk: 2021-0000125785.
Website: [Kamerbrief standaard voor woningisolatie | Kamerstuk | Rijksoverheid.nl](https://www.kamerstuk.nl/kamerstukken/2021/0000125785)
- Ministerie van BZK, 2021b. Wegwijzer Dashboard Eindgebruikerskosten.
Website: <https://expertisecentrumwarmte.nl/documenten/wegwijzer/handlerdownloadfiles.ashx?idnv=1971003>
- Natuur en Milieu, 2020. Gasmonitor 2020; Marktcijfers warmtetechnieken.
Website: <https://www.natuurenmilieu.nl/nieuwsberichten/gasmonitor-2020-piekjaar-verkoop-hr-ketels/>
- 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
- NEN, 2011. Nederlandse norm NEN 7120. Energieprestatie van gebouwen – bepalingmethode.
- Nieman, 2021. Standaard en streefwaardes bestaande woningbouw; Referentie warmtevraag bestaande bouw.
Website: <https://www.nieman.nl/nieuws/standaard-voor-isolatie-van-bestaande-woningen/>
- 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
Website: <https://www.pbl.nl/publicaties/conceptadvies-sde-2020-verbranding-en-vergisting-van-biomassa>

- PBL, 2019b. Conceptadvies SDE++ 2020 Verbranding en vergassing van biomassa, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving; PBL-publicatienummer: 3689
Website: <https://www.pbl.nl/publicaties/conceptadvies-sde-2020-verbranding-en-vergassing-van-biomassa>
- PBL & NBNL, 2019. Notitie wijzigingen Vesta MAIS model; Functioneel Ontwerp: Technische aanpassingen elektriciteits- en gasinfrastructuur als gevolg van veranderingen in de warmtevoorziening.
Website: <https://github.com/RuudvandenWijngaart/VestaDV/tree/Vesta50/doc>
- PBL, 2020a. Eindadvies basisbedragen SDE++ 2020.
Website: <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2020/04/Eindadvies%20Basisbedragen%20SDE%20plus%20plus%202020.PDF>
- PBL, 2020b. Conceptadvies SDE++ 2021 Vergisting van biomassa, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving; PBL-publicatienummer: 4108
Website: https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2020-conceptadvies-sde-plus-plus-2021-vergisting-van-biomassa_4108.pdf
- PBL, 2020c. Conceptadvies SDE++ 2021 Verbranding en vergassing van biomassa, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving; PBL-publicatienummer: 4107
Website: https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2020-conceptadvies-sde-plus-plus-2021-verbranding-en-vergassing-van-biomassa_4107.pdf
- 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 inwerkingtreding van de Wijziging van de Elektriciteitswet 1998 en van de Gaswet (voortgang energietransitie).
Website: <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stb-2018-129.pdf>
- Rijksoverheid, 2019. Klimaatakkoord Den Haag 28 juni 2019.
Website: <https://www.klimaatakkoord.nl/>
- Rijksoverheid, 2020. Routekaart Groen Gas. Kamerstuk 32813 nr. 487.
Website: <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-32813-487.html>
- RVO, 2019. Investeringskosten EPA-woningbouw, Arcadis.
Website: <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/technieken-beheer-en-innovatie/investeringskosten-energiebesparende-maatregelen>
- RVO, 2020a. Energielabel woningen en gebouwen.
Website: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/energielabel-woningen-en-gebouwen/energielabel-utiliteitsbouw>
- RVO, 2020b. Warmteatlas.
Website: <https://rvo.b3p.nl/viewer/app/Warmteatlas/v2>
- RVO, 2020c. Infographic over warmtestrategieën Startanalyse aangepast.
Website: <https://www.expertisecentrumwarmte.nl/nieuws/1758324.aspx>

RVO, 2020d. Vergisting en vergassing.

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

Schepers, B., N. Naber, R. van den Wijngaart, S. van Polen, F. van der Molen, T. Langeveld, B. van Bommel, A. Oei, M. Hilferink & M. van Beek, 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 (KEV-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>

Sipma, J.M., 2014. Verbetering referentiebeeld utiliteitssector: voorraadgegevens; energiegebruik; besparingspotentieel; investeringskosten en arbeidsinzet. ECN-E—13-069.

Website: <https://repository.tno.nl/islandora/object/uuid%3A6c43a6ac-1a4a-423b-b4ad-dcab9eae86d7>

Sipma, J.M. & M.D.A. Rietkerk, 2016. Ontwikkeling energiekentallen utiliteitsgebouwen; Een analyse van 24 gebouwtypen in de dienstensector en 12 industriële sectoren. ECN-E—15-068

Website: <https://publicaties.ecn.nl/PdfFetch.aspx?nr=ECN-E--15-068>

Sipma, J.M. & R.J.M. Niessink, 2018. Energielabels en het daadwerkelijk energieverbruik van scholen en tehuizen in de zorg. ECN-E—18-011

Website: <https://publicaties.ecn.nl/PdfFetch.aspx?nr=ECN-E--18-011#:~:text=Om%20het%20daadwerkelijk%20energieverbruik%20van,de%20klantenbestanden%20van%20het%20CBS.&text=Door%20een%20ondergrens%20voor%20het,getracht%20leegstand%20eruit%20te%20filteren.>

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>

- TNO & EBN, 2018. Play-based portfolio benadering, eerste inzicht in zes voordelen voor veilig en verantwoord, kosteneffectief versnellen van geothermie.
Website: <https://kennisbank.ebn.nl/play-based-portfolio-benadering-geothermie/>
- TNO, 2019a. Validatie Vesta MAIS model schilisolatie Woningen. Projectnummer 060.39468.
Website: <https://www.expertisecentrumwarmte.nl/themas/bibliotheek/1428415.aspx>
- TNO, 2019b. Notitie aanpassingen VESTA model schilmaatregelen utiliteitsgebouwen; Ten behoeve van functioneel ontwerp VESTA 4.0.
Website: <https://www.expertisecentrumwarmte.nl/themas/bibliotheek/1428415.aspx>
- TNO, 2020. ThermoGis 2.1.
Website: <https://www.thermogis.nl/>
- TNO, 2021. Eindgebruikerskosten; Technische achtergrondrapportage. Projectnr. 060.45709 / 060.47795.
Website: <https://energy.nl/tools/dashboard-eindgebruikerskosten>
- Van den Wijngaart, R, R. Folkert & M. van Middelkoop, 2014. Op weg naar een klimaatneutrale woningvoorraad in 2050. Achtergronden en uitgebreide resultaten. Den Haag: PBL.
Website: https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2014-op-weg-naar-een-klimaatneutrale-woningvoorraad-in-2050-achtergrond_1333_1.pdf
- Van den Wijngaart, R. en S. van Polen, Bepaling energiebesparing door isolatie van woningen in de Startanalyse 2020; Schatting op basis van gemeten en berekend aardgasverbruik, Den Haag: PBL
Website: <https://www.pbl.nl/publicaties/bepaling-energiebesparing-door-isolatie-van-gebouwen-in-de-startanalyse-2020>
- Van der Molen, F., S. van Polen, R. van den Wijngaart, J. Tavares, B. van Bommel, J. Langeveld & N. Hoogervorst, 2021. Functioneel Ontwerp Vesta MAIS 5.0, Den Haag: PBL.
Website: <https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2021-functioneel-ontwerp-vesta-mais-5.0-4583.pdf>
- Van Hout M., Koutstaal P.R., Özdemir O. (2019) Achtergrondrapport effecten ontwerp klimaatakkoord: Elektriciteit, Den Haag: PBL
Website: https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2019-achtergrondrapport-effecten-ontwerp-klimaatakkoord-elektriciteit_3685.pdf
- Van Middelkoop, M. et al. (2018), Meten met twee maten. Een studie naar de betaalbaarheid van de energierekening van huishoudens, Den Haag: PBL Planbureau voor de Leefomgeving.
Website: <https://www.pbl.nl/publicaties/betaalbaarheid-energierekening-in-breder-perspectief>

Bijlagen

Bijlage 1 Achtergrond bij vaststelling investeringsbedragen energiebesparing

In voorbereiding op de publicatie van de Startanalyse zijn de kengetallensets van Vesta MAIS betreffende bestaande woningbouw op de aspecten functionele warmtevraag en schilmaatregelen geüpdatet. Hierbij zijn de volgende updates doorgevoerd:

- er is een nieuwe bouwjaarklasse-indeling aangehouden;
- de kosten voor schilmaatregelen zijn geüpdatet op nieuwe data uit het Woon-2018 (voorheen gebaseerd op Woon-2012 onderzoek);
- in toevoeging op kengetallen voor een labelstap naar B twee sets additionele kengetallen uitgewerkt voor berekening van kosten bij een labelstap naar C en een labelstap naar D. In de Startanalyse 2020 is alle gebruik gemaakt van de labelstappen naar D en B;
- de set 'default-labels' welke Vesta MAIS

Alle in deze bijlage vermelde bedragen zijn exclusief BTW, niet geïndexeerd en berekend op basis van kengetallen met basisjaar 2018. De verdeling van energielabels en vermelding van woningaantallen zijn gebaseerd op een combinatie van een snapshot van de BAG op 1-1-2020 en een snapshot van de energie-labeldatabase van RVO op 1-1-2020.

De belangrijkste aandachtspunten die naar voren zijn gekomen zijn bij de update van de default labels en de investeringsbedragen zijn:

- De default-labels worden voor een aantal van de oudste bouwjaarklassen naar boven bijgesteld (Hoofdstuk 1).
- De dataset met investeringsbedragen van schilsprongen aangeleverd door TNO bevat onvoldoende datapunten om voor alle gewenste 660 combinaties van woningtype-bouwjaarklasse-labelstap een uniek kengetal af te kunnen leiden. Daarom zijn de kengetallen voor een aantal (minder vaak voorkomende) combinaties op een grover aggregatieniveau op bouwjaar afgeleid (Hoofdstuk 2).
- Een grote spreiding in de investeringsbedragen en de daaruit resulterende kengetallenset voor Vesta MAIS limiteert de bruikbaarheid van Vesta MAIS voor het berekenen van investeringskosten in schilmaatregelen op lagere ruimtelijke aggregatieniveaus. Dat is een belangrijk aandachtspunt bij de interpretatie van resultaten, in het bijzonder op individueel woningniveau (Hoofdstuk 2).
- Bij bepaalde vloeroppervlakken kunnen de kosten voor een labelstap naar C iets hoger uitkomen ten opzichte van de kosten voor een labelstap naar D. Het strekt daarom tot aanbeveling uitsluitend een labelstap naar B of D op te nemen als mogelijke schilmaatregelen in Vesta MAIS.
- Alleen in de labelstap naar B zijn investeringskosten voor implementatie van een ventilatie-installatie opgenomen. Voor een labelstap naar D is aangenomen dat mechanische, geforceerde ventilatie niet noodzakelijk is en zijn deze investeringskosten buiten beschouwing gelaten.

1 - Update default labels woningen in Vesta MAIS

De 'default labels' werden tot de SA-2019 gebruikt als indicatie van het energielabel voor woningen zonder energielabel. In de voorbereidingen op de Startanalyse zijn de default labels voor bestaande woningen geüpdatet, maar **deze default labels bij woningen worden niet meer gebruikt in de berekeningen van de Startanalyse**. In het energiekentallenbestand voor de woningen zijn de default labels wel aangepast en in dit hoofdstuk wordt uiteengezet hoe de nieuwe default labels zijn vastgesteld. De default-labels zijn geüpdatet op basis van de actuele verdeling van labels binnen de energielabeldatabase van RVO en geüpdatet naar een nieuwe bouwjaarklasse-indeling.

1.1 - Doel

In aanloop naar de SA-2020 is het aantal gehanteerde bouwjaarklassen binnen het Vesta MAIS-model uitgebreid naar 11 bouwjaarklassen om beter aan te sluiten op de bouwjaarklassen die worden gehanteerd binnen andere studies (zoals de Standaard en Streefwaarden). Daarnaast wordt binnen het Vesta MAIS-model onderscheid tussen een vijftal verschillende woningtypen. Voor elke combinatie van woningtype en bouwjaarklasse kan een uitganglabel bepaald worden.

1.2 - Methode

Aan de hand van de energielabeldatabase van RVO is de verdeling van gecertificeerde energielabels over woningtypen en bouwjaarklassen in kaart gebracht, separaat voor twee typen afmeldingen van de labels:

- Gecertificeerde energielabels waarvoor zowel een energielabel als energie-index zijn afgemeld
- Gecertificeerde energielabels waarvoor alleen een energielabel is afgemeld en geen energie-index beschikbaar is

De energielabeldatabase is op basis van het genoemde tweetal dwarsdoorsnedes op gemiddeld of dominant label per combinatie van woningtype en bouwperiode geanalyseerd:

- Berekening van de gemiddelde Energie-Index (EI) over het aandeel van de woningen waarvoor een EI beschikbaar is en een vertaling van de gemiddelde EI naar label. In de RVO-labeldatabase is voor 69% van de woningen een EI beschikbaar.
- Voor de woningen waarvoor wel een label maar geen EI is afgemeld, is per combinatie van woningtype en bouwjaarklasse de verdeling van woningen over verschillende labels in de RVO-database in kaart gebracht.

Per categorie woningtype-bouwjaarklasse zijn de volgende aspecten geanalyseerd:

- Voor welk aandeel van de woningen in de energielabeldatabase wel/geen EI beschikbaar is.
- De verdeling van energielabels over de groep woningen waarvoor wel een EI beschikbaar is
- De verdeling van energielabels over de groep woningen waarvoor geen EI beschikbaar is

Aan de hand van de resulterende overzichten is gecontroleerd in hoeverre de berekende gemiddelde EI-index een voor de algehele categorie woningtype-bouwperiode representatief resultaat oplevert. Het resultaat is als niet-representatief beschouwd wanneer aan de volgende twee criteria wordt voldaan:

- Er is sprake van een relatief groot aandeel woningen waarvoor wel een label maar geen EI is afgemeld.
- De verdeling over energielabels van woningen waarvoor wel een EI-index beschikbaar is vertoont een duidelijke afwijking ten opzichte van de verdeling over energielabels van woningen waarvoor geen EI is afgemeld.

Voor de categorieën woningtype-bouwperiode waarvoor de gemiddelde EI-index als niet-representatief is beschouwd is het uitganglabel met één labelstap naar boven of beneden bijgesteld. Hier was de vergelijking tussen de Huidig default label Vesta 4.0 en Gemiddeld label o.b.v. Energy Index; een label hoger dan de Huidig default label Vesta 4.0 was gekozen.

1.3 - Resultaat

Onderstaande figuur toont de resulterende lijst met default-labels.

Figuur 42
Default labels per woningtype en bouwjaarklasse

Bouwjaar klasse	Woningen Totaal	Woningen Met Label	Woningen Zonder Label	Huidig default label Vesta 4.0	Gemiddeld label o.b.v. Energie Index	Gekozen default label	Opmerking
Vrijstaand							
1200-1929	188,802	36,464	152,338	G	E	F	Gemiddelde o.b.v. El met één labelstap naar beneden bijgesteld
1930-1945	98,820	20,686	78,134	G	E	F	Gemiddelde o.b.v. El met één labelstap naar beneden bijgesteld
1946-1964	142,894	31,174	111,720	F	E	F	Gemiddelde o.b.v. El met één labelstap naar beneden bijgesteld
1965-1974	126,428	27,302	99,126	D	D	D	Gemiddelde o.b.v. El overgenomen
1975-1991	183,605	37,622	145,983	C	C	C	Gemiddelde o.b.v. El overgenomen
1992-1995	59,671	11,958	47,713	B	B	B	Gemiddelde o.b.v. El overgenomen
1996-1999	58,835	12,279	46,556	B	B	B	Gemiddelde o.b.v. El overgenomen
2000-2005	67,763	15,342	52,421	B	B	B	Gemiddelde o.b.v. El overgenomen
2006-2010	43,786	9,316	34,470	A	A	A	Gemiddelde o.b.v. El overgenomen
2011-2014	19,231	2,636	16,595	A	A	A	Gemiddelde o.b.v. El overgenomen
2015-nu	26,271	4,817	21,454	A	A	A	Gemiddelde o.b.v. El overgenomen
2 onder 1 kap							
1200-1929	102,440	25,041	77,399	G	E	F	Gemiddelde o.b.v. El met één labelstap naar beneden bijgesteld
1930-1945	74,043	18,544	55,499	G	E	F	Gemiddelde o.b.v. El met één labelstap naar beneden bijgesteld
1946-1964	139,608	53,300	86,308	F	D	E	Gemiddelde o.b.v. El met één labelstap naar beneden bijgesteld
1965-1974	98,389	29,218	69,171	E	D	D	Gemiddelde o.b.v. El overgenomen
1975-1991	120,560	31,776	88,784	C	C	C	Gemiddelde o.b.v. El overgenomen
1992-1995	35,336	8,106	27,230	B	B	B	Gemiddelde o.b.v. El overgenomen
1996-1999	30,165	7,098	23,067	B	B	B	Gemiddelde o.b.v. El overgenomen
2000-2005	33,690	9,821	23,869	B	B	A	Gemiddelde o.b.v. El overgenomen
2006-2010	25,525	8,150	17,375	B	A	A	Gemiddelde o.b.v. El overgenomen
2011-2014	10,898	3,335	7,563	B	A	A	Gemiddelde o.b.v. El overgenomen
2015-nu	18,960	12,286	6,674	B	A	A	Gemiddelde o.b.v. El overgenomen
Hoekwoningen							
1200-1929	75,810	25,741	50,069	G	D	E	Gemiddelde o.b.v. El met één labelstap naar beneden bijgesteld
1930-1945	52,401	16,882	35,519	G	D	E	Gemiddelde o.b.v. El met één labelstap naar beneden bijgesteld
1946-1964	159,876	83,187	76,689	E	D	E	Gemiddelde o.b.v. El met één labelstap naar beneden bijgesteld
1965-1974	208,958	100,153	108,805	D	D	D	Gemiddelde o.b.v. El overgenomen
1975-1991	308,222	126,786	181,436	C	C	C	Gemiddelde o.b.v. El overgenomen
1992-1995	43,374	14,450	28,924	C	B	B	Gemiddelde o.b.v. El overgenomen
1996-1999	38,615	11,938	26,677	C	B	B	Gemiddelde o.b.v. El overgenomen
2000-2005	42,610	15,701	26,909	C	B	A	Gemiddelde o.b.v. El overgenomen
2006-2010	32,943	14,384	18,559	A	A	A	Gemiddelde o.b.v. El overgenomen
2011-2014	19,736	9,953	9,783	A	A	A	Gemiddelde o.b.v. El overgenomen
2015-nu	28,572	23,553	5,019	A	A	A	Gemiddelde o.b.v. El overgenomen
Tussenwoningen							
1200-1929	216,358	76,261	140,097	F	D	E	Gemiddelde o.b.v. El met één labelstap naar beneden bijgesteld
1930-1945	124,868	44,415	80,453	F	D	E	Gemiddelde o.b.v. El met één labelstap naar beneden bijgesteld
1946-1964	311,224	171,272	139,952	E	D	D	Gemiddelde o.b.v. El overgenomen
1965-1974	439,260	211,441	227,819	D	C	C	Gemiddelde o.b.v. El overgenomen
1975-1991	703,748	290,817	412,931	C	C	C	Gemiddelde o.b.v. El overgenomen
1992-1995	112,646	39,183	73,463	B	B	B	Gemiddelde o.b.v. El overgenomen
1996-1999	113,971	37,400	76,571	B	B	B	Gemiddelde o.b.v. El overgenomen
2000-2005	128,207	50,134	78,073	B	A	A	Gemiddelde o.b.v. El overgenomen
2006-2010	89,613	40,914	48,699	A	A	A	Gemiddelde o.b.v. El overgenomen
2011-2014	46,586	24,950	21,636	A	A	A	Gemiddelde o.b.v. El overgenomen
2015-nu	60,935	51,918	9,017	A	A	A	Gemiddelde o.b.v. El overgenomen
Appartementen							
1200-1929	370,088	158,139	211,949	F	D	E	Gemiddelde o.b.v. El met één labelstap naar beneden bijgesteld
1930-1945	145,092	59,827	85,265	F	D	E	Gemiddelde o.b.v. El met één labelstap naar beneden bijgesteld
1946-1964	390,997	258,691	132,306	E	D	D	Gemiddelde o.b.v. El overgenomen
1965-1974	413,979	305,199	108,780	D	D	D	Gemiddelde o.b.v. El overgenomen
1975-1991	577,665	399,079	178,586	C	C	C	Gemiddelde o.b.v. El overgenomen
1992-1995	122,894	78,483	44,411	C	C	B	Gemiddelde o.b.v. El overgenomen
1996-1999	129,780	75,979	53,801	C	B	B	Gemiddelde o.b.v. El overgenomen
2000-2005	162,647	87,538	75,109	C	B	B	Gemiddelde o.b.v. El overgenomen
2006-2010	190,406	116,167	74,239	A	B	A	Gemiddelde o.b.v. El overgenomen
2011-2014	118,772	80,044	38,728	A	A	A	Gemiddelde o.b.v. El overgenomen
2015-nu	89,415	71,479	17,936	A	A	A	Gemiddelde o.b.v. El overgenomen

2 - Update kengetallen investeringskosten schilmaatregelen

In voorbereiding op de publicatie van de Startanalyse zijn de kengetallen voor investeringskosten in schilmaatregelen voor bestaande woningen geüpdatet. Aan de hand van deze kengetallen berekent Vesta MAIS de investeringskosten voor het verbeteren van de energiezuinigheid van woningen. De kengetallen zijn geüpdatet op basis van nieuwe data aangeleverd door TNO waarin TNO de resultaten uit het Woon2018 onderzoek heeft verwerkt. Daarnaast zijn de kengetallen geüpdatet naar een nieuwe bouwjaarklasse-indeling.

2.1 - Doel

Voor elke combinatie van woningtype (5 woningtypen) en bouwjaarklasse (11 bouwjaarklassen) dient een tweetal coëfficiënten ($ax + b$) bepaald te worden. Aan de hand van deze coëfficiënten berekent Vesta MAIS op basis van het vloeroppervlak (x) van een woning de investeringskosten voor een bepaalde labelstap. TNO heeft een dataset aangeleverd waarin voor drie typen labelstappen investeringskosten zijn opgenomen om tot deze coëfficiënten te komen:

- Een labelstap van het huidige schillabel naar schillabel D
- Een labelstap van het huidige schillabel naar schillabel C
- Een labelstap van het huidige schillabel naar schillabel B

Voor elk van deze labelstappen worden twee sets coëfficiënten bepaald, op basis waarvan Vesta MAIS de minimale en maximale investeringskosten kan berekenen. Voor de Startanalyse worden uitsluitend de kengetallen voor de stap naar D en B toegepast.

2.2 - Methode

TNO heeft een dataset aangeleverd afkomstig uit de variatietool van TNO met informatie over de investeringskosten bij drie typen schillabelstappen (van het huidige schillabel naar schillabel D, C of B). In deze dataset is op woningniveau per Woon2018-respondent het resultaat van een berekening gespecificeerd. De berekening bestaat uit de investeringskosten voor het realiseren van een schillabelstap op zowel een natuurlijk projectmatig (lagere kosten) als een zelfstandig (hogere kosten) moment; zie TNO (2019a) voor meer detail over kosten. Bij de berekening van de investeringskosten is rekening gehouden met de specifieke geometrie van de woning en zijn aan de hand van kengetallen voor investeringskosten in schilmaatregelen (RVO, 2019) de gecombineerde kosten van maatregelen berekend om een bepaalde schilsprong te maken.

Minimale en maximale investeringskosten

Het Vesta MAIS kengetal voor minimale investeringskosten wordt gebaseerd op de investeringskosten op een natuurlijk moment, het kengetal voor maximale investeringskosten wordt gebaseerd op de investeringskosten op een zelfstandig moment.

Lineaire regressie op vloeroppervlak

Om in Vesta MAIS bij de berekening van de investeringskosten in schilmaatregelen onderscheid te maken op woninggrootte is per categorie woningtype-bouwjaarklasse uit de trendlijn tussen woningoppervlak en investeringskosten een tweetal coëfficiënten afgeleid: een vast deel per woning en een variabel deel per vierkante meter vloeroppervlak.

Het huidige functionele ontwerp van Vesta MAIS vereist voor alle te modelleren labelsprongen per categorie woningtype-bouwperiode een set coëfficiënten voor de berekening van investeringskosten. De dataset van TNO bevat uitsluitend informatie over labelsprongen naar de doellabels C, D of B. Het startlabel kan een van alle denkbare lagere labels zijn waarvandaan wordt gesprongen. De tabel op de volgende

pagina toont de volledige set combinaties waarvoor in de kengetallenset van Vesta MAIS een set coëfficiënten aanwezig moet zijn. Dit zijn 1.320 coëfficiënten (5 woningtypen x 11 bouwjaarklassen x 12 labelstapen x 2 coëfficiënten per labelstap). In de tabel is een kleurenschaal gebruikt om de hogere- (rood) en lagere- (wit) investeringskosten te benadrukken.

Figuur 43
Aantal respondenten per combinatie van woningtype-bouwjaarklasse-labelstap

Type woning	Bouwjaar klasse	Woningen Totaal	Labelstap naar B					Labelstap naar C				Labelstap naar D		
			C-B	D-B	E-B	F-B	G-B	D-C	E-C	F-C	G-C	E-D	F-D	G-D
Vrijstaand	1200-1929	188.516	120	23	12	10	11	16	14	13	10	59	33	10
Vrijstaand	1930-1945	98.704	120	23	12	10	11	80	36	31	15	59	33	16
Vrijstaand	1946-1964	142.714	120	23	12	10	11	80	36	31	15	14	12	16
Vrijstaand	1965-1974	126.384	20	12	19	10	11	21	13	38	15	59	36	17
Vrijstaand	1975-1991	183.266	52	17	19	10	11	38	15	38	15	59	36	17
Vrijstaand	1992-1995	59.461	80	17	19	10	11	38	15	38	15	59	36	17
Vrijstaand	1996-1999	58.642	120	23	19	10	11	80	51	38	15	59	36	17
Vrijstaand	2000-2005	67.346	120	23	19	10	11	80	51	38	15	59	36	17
Vrijstaand	2006-2010	43.828	120	23	19	10	11	80	51	38	15	59	36	17
Vrijstaand	2011-2014	15.256	120	23	19	10	11	80	51	38	15	59	36	17
Vrijstaand	2015-nu	39.572	120	23	19	10	11	80	51	38	15	59	36	17
2 onder 1 kap	1200-1929	102.447	10	26	8	7	3	16	12	14	10	40	13	11
2 onder 1 kap	1930-1945	73.996	10	26	8	7	3	13	32	21	10	40	20	11
2 onder 1 kap	1946-1964	139.574	10	26	8	7	3	51	11	21	10	12	20	11
2 onder 1 kap	1965-1974	98.528	105	26	8	7	3	79	37	21	10	40	21	12
2 onder 1 kap	1975-1991	120.723	72	26	8	7	3	79	37	21	10	40	21	12
2 onder 1 kap	1992-1995	35.273	105	26	8	7	3	79	37	21	10	40	21	12
2 onder 1 kap	1996-1999	30.133	116	26	8	7	3	79	37	21	10	40	21	12
2 onder 1 kap	2000-2005	33.716	116	26	8	7	3	79	37	21	10	40	21	12
2 onder 1 kap	2006-2010	25.565	116	26	8	7	3	79	37	21	10	40	21	12
2 onder 1 kap	2011-2014	8.586	116	26	8	7	3	79	37	21	10	40	21	12
2 onder 1 kap	2015-nu	27.569	116	26	8	7	3	79	37	21	10	40	21	12
Hoekwoningen	1200-1929	75.809	134	41	17	3	5	35	30	22	5	33	18	9
Hoekwoningen	1930-1945	52.300	134	41	17	3	5	35	30	22	5	33	18	9
Hoekwoningen	1946-1964	159.385	134	41	17	3	5	22	16	22	5	18	10	9
Hoekwoningen	1965-1974	208.826	134	41	17	3	5	84	45	23	5	17	19	9
Hoekwoningen	1975-1991	307.986	134	41	17	3	5	84	45	23	5	17	19	9
Hoekwoningen	1992-1995	43.452	134	41	17	3	5	84	45	23	5	17	19	9
Hoekwoningen	1996-1999	38.632	134	41	17	3	5	84	45	23	5	50	19	9
Hoekwoningen	2000-2005	42.559	134	41	17	3	5	84	45	23	5	50	19	9
Hoekwoningen	2006-2010	32.996	134	41	17	3	5	84	45	23	5	50	19	9
Hoekwoningen	2011-2014	15.152	134	41	17	3	5	84	45	23	5	50	19	9
Hoekwoningen	2015-nu	41.024	134	41	17	3	5	84	45	23	5	50	19	9
Tussenwoningen	1200-1929	218.472	25	16	14	12	10	119	20	12	12	21	24	11
Tussenwoningen	1930-1945	124.908	10	37	28	12	10	31	21	18	12	73	24	11
Tussenwoningen	1946-1964	310.422	24	15	11	12	10	54	26	18	12	31	24	11
Tussenwoningen	1965-1974	439.055	265	29	33	12	10	181	74	18	12	81	24	14
Tussenwoningen	1975-1991	703.756	265	37	33	12	10	181	74	18	12	81	24	14
Tussenwoningen	1992-1995	112.950	265	37	33	12	10	181	74	18	12	81	24	14
Tussenwoningen	1996-1999	114.051	329	74	33	12	10	181	74	18	12	81	24	14
Tussenwoningen	2000-2005	127.964	329	74	33	12	10	181	74	18	12	81	24	14
Tussenwoningen	2006-2010	89.842	329	74	33	12	10	181	74	18	12	81	24	14
Tussenwoningen	2011-2014	36.581	329	74	33	12	10	181	74	18	12	81	24	14
Tussenwoningen	2015-nu	87.617	329	74	33	12	10	181	74	18	12	81	24	14
Appartementen	1200-1929	389.565	44	30	20	15	13	95	29	21	36	103	13	16
Appartementen	1930-1945	145.973	14	14	10	22	15	18	14	40	36	103	29	32
Appartementen	1946-1964	389.957	47	25	15	22	15	95	70	40	20	27	29	12
Appartementen	1965-1974	414.683	117	15	63	27	16	31	31	15	10	103	17	43
Appartementen	1975-1991	581.068	73	22	63	27	16	56	37	16	10	103	18	43
Appartementen	1992-1995	123.524	117	22	63	27	16	56	37	16	10	103	18	43
Appartementen	1996-1999	130.025	12	91	63	27	16	153	107	56	46	103	47	43
Appartementen	2000-2005	164.104	12	91	63	27	16	153	107	56	46	103	47	43
Appartementen	2006-2010	190.175	12	91	63	27	16	153	107	56	46	103	47	43
Appartementen	2011-2014	95.648	12	91	63	27	16	153	107	56	46	103	47	43
Appartementen	2015-nu	140.467	12	91	63	27	16	153	107	56	46	103	47	43

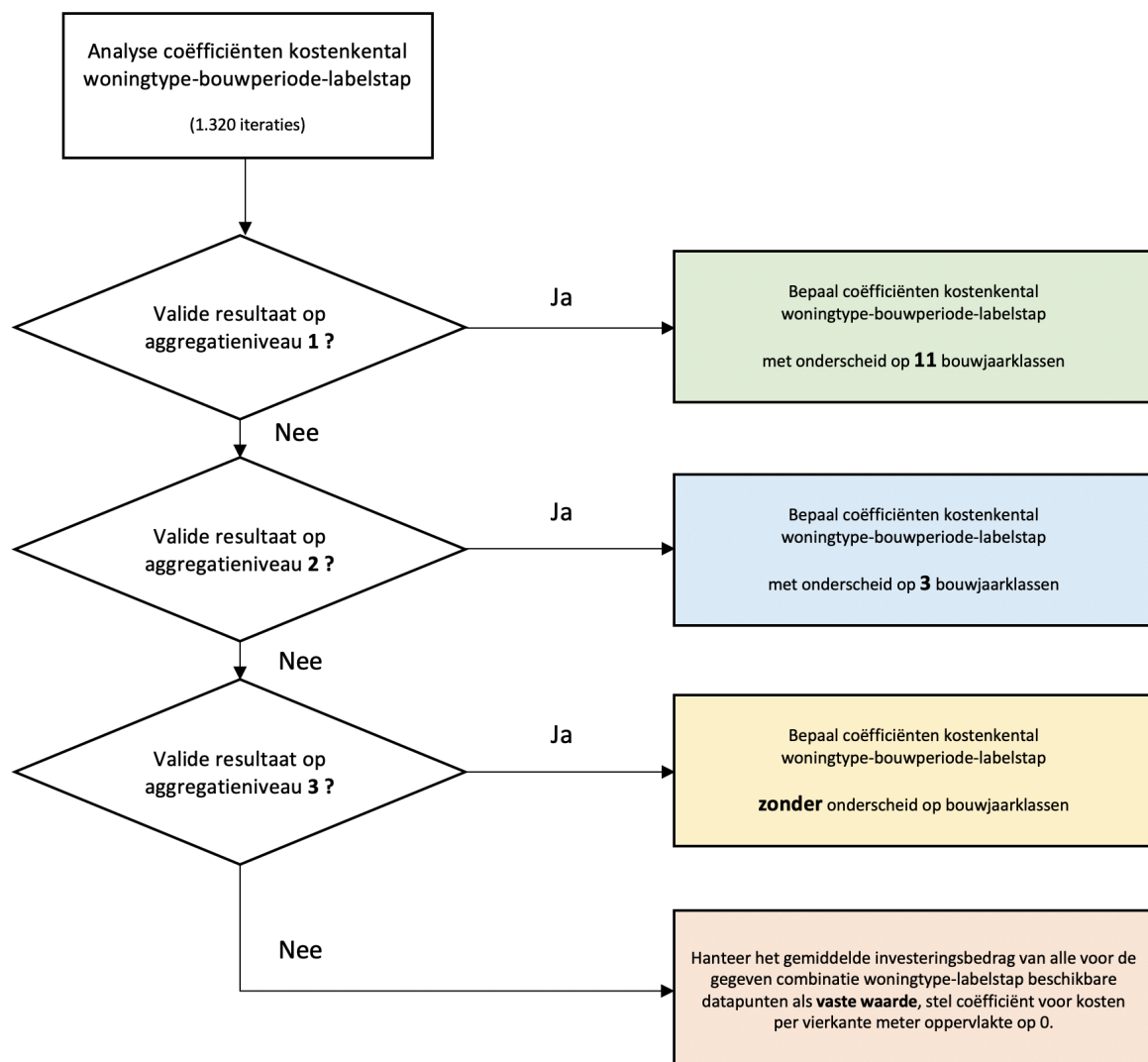
De getoonde aantallen vertegenwoordigen het aantal vanuit de dataset van TNO beschikbare datapunten (woningen) per combinatie van woningtype-bouwperiode-labelstap. Dit telt op tot in totaal circa 3.100

datapunten. De tabel laat zien dat in veel gevallen slechts een zeer klein of onvoldoende aantal datapunten beschikbaar is om een trend in investeringskosten en vloeroppervlak uit af te kunnen lezen.

Dynamische variatie in aggregatieniveaus

Om ondanks het relatief beperkte beschikbare aantal datapunten tot de gewenste 1.320 coëfficiënten te komen wordt voor combinaties waarvoor onvoldoende datapunten beschikbaar zijn systematisch naar een hoger aggregatieniveau op bouwjaarklassen uitgeweken. Daarbij wordt onderstaande flowchart aangehouden.

Figuur 44
Flowchart mechanisme aggregatieniveau bouwperiode



- Voor elk van de 660 mogelijke combinaties van woningtype, bouwperiode en labelstap wordt gecheckt op welk aggregatieniveau een valide set coëfficiënten berekend kan worden.
- Een resulterende set coëfficiënten wordt valide beschouwd wanneer aan de volgende drie criteria wordt voldaan:
 - Er zijn minimaal 10 datapunten beschikbaar om de trendanalyse op uit te voeren
 - Coëfficiënt a in $ax + b$ (waarin x = aantal vierkante meter vloeroppervlak) is positief (stijgende kosten bij toename van vloeroppervlak)

- $ax + b$ levert een positief resultaat bij 40 m² vloeroppervlak
- Als het resultaat op een bepaald aggregatieniveau niet aan genoemde voorwaarden voldoet, wordt naar een hoger, grover aggregatieniveau op bouwperiodes uitgeweken. Hierbij wordt van een onderscheid op elf bouwperiodes (niveau 1) naar drie (niveau 2) tot nul (geen onderscheid op) bouwperiodes (niveau 3) gestapt. Wanneer er ook op niveau 3 zonder onderscheid op bouwperiodes geen valide trendlijn afgelezen kan worden, wordt teruggevallen op een berekening van het gemiddelde over alle beschikbare datapunten voor de gegeven combinatie woningtype-labelstap, wat als vaste waarde wordt gehanteerd. De variabele coëfficiënt wordt dan op 0 €/m² gesteld.

Als alternatief voor aggregatie op bouwjaarklasse is ook kort onderzocht of het mogelijk is te aggregeren op het uitganglabel (het label waar vanaf de stap wordt gemaakt). In dat geval zouden bijvoorbeeld voor een labelstap van F naar B alle datapunten voor de kosten bij een labelstap van E, F en G naar B worden gecombineerd ter input voor de trendanalyse. De variatie in het aantal datapunten wat beschikbaar is voor verschillende stappen varieert echter sterk waarbij er voor de lagere labels over het algemeen significant meer datapunten beschikbaar zijn. Aggregatie op uitganglabel zou daardoor tot een overschatting van kosten leiden, bij aggregatie op bouwjaarklasse speelt dit probleem niet.

Figuur 45 toont de gehanteerde grenzen op bouwjaar van woningen binnen aggregatieniveaus 1 t/m 3 en de terugvaloptie op niveau 4 wanneer het berekenen van een valide vloeroppervlak-specifieke variabele coëfficiënt niet mogelijk is.

Figuur 45
Aggregatieniveaus

Aggregatieniveaus				
Bouwperiode	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4
1200-1929	1	1	ax + b zonder onderscheid op bouwjaarklasse	0x + b op basis van gemiddelde over alle beschikbare datapunten zonder onderscheid op bouwjaarklasse
1930-1945	2			
1946-1964	3			
1965-1974	4	2		
1975-1991	5			
1992-1995	6			
1996-1999	7	3		
2000-2005	8			
2006-2010	9			
2011-2014	10			
2015-2020	11			

2.3 - Resultaat

Dekking aggregatieniveaus

Figuur 46 toont voor alle 660 combinaties van woningtype-bouwperiode-labelstap op welk aggregatieniveau (1,2,3 of 4) de uiteindelijke coëfficiënten ter input voor Vesta MAIS zijn berekend. In de tabel heeft elk aggregatieniveau een vaste kleur (1=groen, 2=geel, 3=rood, 4=grijs).

Figuur 46

Resultierend gehanteerd aggregatieniveau per combinatie woningtype-bouwjaar-klasse-labelstap

Type woning	Bouwjaar klasse	Woningen Totaal	Labelstap naar B					Labelstap naar C				Labelstap naar D		
			C-B	D-B	E-B	F-B	G-B	D-C	E-C	F-C	G-C	E-D	F-D	G-D
Vrijstaand	1200-1929	188.516	3	3	2	3	3	1	1	1	1	4	2	1
Vrijstaand	1930-1945	98.704	3	3	2	3	3	3	2	2	2	4	2	2
Vrijstaand	1946-1964	142.714	3	3	2	3	3	3	2	2	2	1	1	2
Vrijstaand	1965-1974	126.384	1	1	3	3	3	1	1	3	3	4	3	3
Vrijstaand	1975-1991	183.266	1	2	3	3	3	2	2	3	3	4	3	3
Vrijstaand	1992-1995	59.461	2	2	3	3	3	2	2	3	3	4	3	3
Vrijstaand	1996-1999	58.642	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3
Vrijstaand	2000-2005	67.346	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3
Vrijstaand	2006-2010	43.828	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3
Vrijstaand	2011-2014	15.256	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3
Vrijstaand	2015-nu	39.572	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3
2 onder 1 kap	1200-1929	102.447	2	4	4	4	4	1	1	1	2	3	1	2
2 onder 1 kap	1930-1945	73.996	2	4	4	4	4	1	2	2	2	3	2	2
2 onder 1 kap	1946-1964	139.574	2	4	4	4	4	2	1	2	2	1	2	2
2 onder 1 kap	1965-1974	98.528	2	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3
2 onder 1 kap	1975-1991	120.723	1	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3
2 onder 1 kap	1992-1995	35.273	2	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3
2 onder 1 kap	1996-1999	30.133	3	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3
2 onder 1 kap	2000-2005	33.716	3	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3
2 onder 1 kap	2006-2010	25.565	3	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3
2 onder 1 kap	2011-2014	8.586	3	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3
2 onder 1 kap	2015-nu	27.569	3	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3
Hoekwoningen	1200-1929	75.809	3	3	3	4	4	2	2	2	4	2	2	4
Hoekwoningen	1930-1945	52.300	3	3	3	4	4	2	2	2	4	2	2	4
Hoekwoningen	1946-1964	159.385	3	3	3	4	4	1	1	2	4	1	1	4
Hoekwoningen	1965-1974	208.826	3	3	3	4	4	3	3	3	4	2	3	4
Hoekwoningen	1975-1991	307.986	3	3	3	4	4	3	3	3	4	2	3	4
Hoekwoningen	1992-1995	43.452	3	3	3	4	4	3	3	3	4	2	3	4
Hoekwoningen	1996-1999	38.632	3	3	3	4	4	3	3	3	4	3	3	4
Hoekwoningen	2000-2005	42.559	3	3	3	4	4	3	3	3	4	3	3	4
Hoekwoningen	2006-2010	32.996	3	3	3	4	4	3	3	3	4	3	3	4
Hoekwoningen	2011-2014	15.152	3	3	3	4	4	3	3	3	4	3	3	4
Hoekwoningen	2015-nu	41.024	3	3	3	4	4	3	3	3	4	3	3	4
Tussenwoningen	1200-1929	218.472	1	1	1	2	2	2	1	1	4	1	2	2
Tussenwoningen	1930-1945	124.908	1	2	2	2	2	1	1	2	4	2	2	2
Tussenwoningen	1946-1964	310.422	1	1	1	2	2	1	1	2	4	1	2	2
Tussenwoningen	1965-1974	439.055	2	1	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3
Tussenwoningen	1975-1991	703.756	2	2	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3
Tussenwoningen	1992-1995	112.950	2	2	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3
Tussenwoningen	1996-1999	114.051	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3
Tussenwoningen	2000-2005	127.964	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3
Tussenwoningen	2006-2010	89.842	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3
Tussenwoningen	2011-2014	36.581	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3
Tussenwoningen	2015-nu	87.617	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3
Appartementen	1200-1929	389.565	1	1	1	1	1	2	1	1	2	3	1	1
Appartementen	1930-1945	145.973	1	1	1	2	2	1	1	2	2	3	2	2
Appartementen	1946-1964	389.957	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	2	1
Appartementen	1965-1974	414.683	2	1	3	3	3	1	1	1	2	3	1	3
Appartementen	1975-1991	581.068	1	2	3	3	3	2	2	2	2	3	2	3
Appartementen	1992-1995	123.524	2	2	3	3	3	2	2	2	2	3	2	3
Appartementen	1996-1999	130.025	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Appartementen	2000-2005	164.104	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Appartementen	2006-2010	190.175	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Appartementen	2011-2014	95.648	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Appartementen	2015-nu	140.467	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Voorbeeldberekening investeringskosten

Figuur 47 en Figuur 48 tonen het resultaat van een voorbeeldberekening op basis van de verkregen set coëfficiënten. De cellen tonen de resulterende investeringskosten bij toepassing op een voorbeeldwoning met een gemiddeld vloeroppervlak. Figuur 47 bestaat uit minimale waarden om natuurlijke momenten te vertegenwoordigen. Figuur 48 bestaat uit maximale waarden om zelfstandig momenten te vertegenwoordigen. In beide tabellen is een kleurenschaal gebruikt om de hogere- (rood) en lagere- (groen) investeringskosten te benadrukken.

Figuur 47

Resultaat voorbeeldberekening investeringskosten bij gemiddeld vloeroppervlak (minimale waarde).

Type woning	Bouwjaar klasse	Woningen Totaal	Gemiddeld vloeroppervlak (m2)	Labelstap naar B					Labelstap naar C				Labelstap naar D		
				C-B	D-B	E-B	F-B	G-B	D-C	E-C	F-C	G-C	E-D	F-D	G-D
Vrijstaand	1200-1929	188.516	160	11.750	22.756	19.549	24.284	32.443	5.609	9.460	13.303	21.974	4.205	6.454	19.438
Vrijstaand	1930-1945	98.704	154	11.616	22.517	19.330	23.608	32.441	5.976	8.507	11.727	19.309	4.205	6.306	17.408
Vrijstaand	1946-1964	142.714	150	11.530	22.365	19.191	23.176	32.440	5.961	8.398	11.606	18.838	2.821	5.609	17.263
Vrijstaand	1965-1974	126.384	161	11.745	25.799	23.382	24.364	32.443	5.589	16.761	14.212	20.135	4.205	7.207	17.897
Vrijstaand	1975-1991	183.266	168	11.056	26.278	23.904	25.168	32.445	6.047	16.214	14.437	21.012	4.205	7.411	18.158
Vrijstaand	1992-1995	59.461	167	11.290	26.229	23.816	25.033	32.445	6.034	16.191	14.399	20.865	4.205	7.377	18.115
Vrijstaand	1996-1999	58.642	171	11.998	23.196	24.140	25.533	32.446	6.043	11.162	14.539	21.411	4.205	7.504	18.277
Vrijstaand	2000-2005	67.346	178	12.147	23.459	24.626	26.281	32.448	6.069	11.327	14.749	22.228	4.205	7.694	18.520
Vrijstaand	2006-2010	43.828	182	12.227	23.602	24.887	26.684	32.449	6.083	11.417	14.862	22.668	4.205	7.797	18.651
Vrijstaand	2011-2014	15.256	180	12.192	23.538	24.771	26.505	32.449	6.077	11.377	14.812	22.472	4.205	7.751	18.593
Vrijstaand	2015-nu	39.572	174	12.044	23.277	24.289	25.762	32.447	6.051	11.212	14.604	21.661	4.205	7.563	18.352
2 onder 1 kap	1200-1929	102.447	134	11.326	15.262	20.055	18.139	18.139	4.100	7.875	11.173	13.422	2.817	5.498	10.891
2 onder 1 kap	1930-1945	73.996	132	11.214	15.262	20.055	18.139	18.139	3.246	6.320	9.753	13.361	2.799	4.843	10.835
2 onder 1 kap	1946-1964	139.574	119	10.398	15.262	20.055	18.139	18.139	3.348	5.383	9.329	12.926	2.426	4.423	10.428
2 onder 1 kap	1965-1974	98.528	132	7.575	15.262	20.055	18.139	18.139	3.696	7.583	9.743	13.351	2.795	5.119	11.097
2 onder 1 kap	1975-1991	120.723	137	6.799	15.262	20.055	18.139	18.139	3.785	7.821	9.909	13.522	2.849	5.281	11.244
2 onder 1 kap	1992-1995	35.273	142	7.722	15.262	20.055	18.139	18.139	3.874	8.059	10.075	13.692	2.903	5.442	11.392
2 onder 1 kap	1996-1999	30.133	149	8.323	15.262	20.055	18.139	18.139	4.002	8.402	10.314	13.938	2.980	5.674	11.605
2 onder 1 kap	2000-2005	33.716	159	8.592	15.262	20.055	18.139	18.139	4.174	8.863	10.636	14.269	3.084	5.986	11.891
2 onder 1 kap	2006-2010	25.565	163	8.704	15.262	20.055	18.139	18.139	4.246	9.055	10.770	14.407	3.127	6.117	12.010
2 onder 1 kap	2011-2014	8.586	150	8.350	15.262	20.055	18.139	18.139	4.019	8.449	10.347	13.972	2.990	5.706	11.634
2 onder 1 kap	2015-nu	27.569	153	8.437	15.262	20.055	18.139	18.139	4.075	8.598	10.451	14.079	3.024	5.807	11.726
Hoekwoningen	1200-1929	75.809	121	7.108	16.252	15.044	13.360	13.360	2.436	5.777	8.195	14.207	2.844	4.370	10.368
Hoekwoningen	1930-1945	52.300	123	7.111	16.405	15.080	13.360	13.360	2.448	5.841	8.208	14.207	2.870	4.382	10.368
Hoekwoningen	1946-1964	159.385	105	7.077	14.860	14.714	13.360	13.360	2.054	5.031	8.073	14.207	2.632	3.599	10.368
Hoekwoningen	1965-1974	208.826	119	7.103	16.045	14.995	13.360	13.360	2.970	6.837	8.680	14.207	1.673	4.837	10.368
Hoekwoningen	1975-1991	307.986	119	7.103	16.038	14.993	13.360	13.360	2.969	6.835	8.678	14.207	1.673	4.836	10.368
Hoekwoningen	1992-1995	43.452	125	7.115	16.610	15.129	13.360	13.360	3.045	7.009	8.798	14.207	1.676	4.948	10.368
Hoekwoningen	1996-1999	38.632	133	7.131	17.329	15.299	13.360	13.360	3.141	7.226	8.949	14.207	2.441	5.089	10.368
Hoekwoningen	2000-2005	42.559	141	7.145	17.976	15.453	13.360	13.360	3.228	7.422	9.084	14.207	2.483	5.216	10.368
Hoekwoningen	2006-2010	32.996	143	7.150	18.182	15.502	13.360	13.360	3.256	7.485	9.127	14.207	2.497	5.257	10.368
Hoekwoningen	2011-2014	15.152	128	7.122	16.892	15.196	13.360	13.360	3.083	7.094	8.857	14.207	2.413	5.003	10.368
Hoekwoningen	2015-nu	41.024	128	7.121	16.848	15.185	13.360	13.360	3.077	7.081	8.848	14.207	2.410	4.995	10.368
Tussenwoningen	1200-1929	218.472	116	7.712	10.506	10.765	12.664	12.086	2.105	4.617	9.114	10.939	2.505	4.400	5.528
Tussenwoningen	1930-1945	124.908	114	6.266	9.542	10.925	12.577	12.033	1.545	4.239	7.914	10.939	1.800	4.388	5.506
Tussenwoningen	1946-1964	310.422	101	7.423	8.005	9.906	12.008	11.685	1.641	3.634	7.437	10.939	1.381	4.308	5.366
Tussenwoningen	1965-1974	439.055	117	6.623	12.697	11.739	12.698	12.106	2.114	4.511	8.015	10.939	1.744	4.405	6.141
Tussenwoningen	1975-1991	703.756	115	6.545	12.930	11.692	12.604	12.049	2.074	4.464	7.937	10.939	1.736	4.391	6.127
Tussenwoningen	1992-1995	112.950	119	6.703	13.356	11.788	12.794	12.166	2.156	4.559	8.097	10.939	1.752	4.418	6.155
Tussenwoningen	1996-1999	114.051	125	7.212	11.876	11.924	13.063	12.330	2.272	4.694	8.322	10.939	1.776	4.456	6.195
Tussenwoningen	2000-2005	127.964	133	7.493	12.251	12.075	13.362	12.513	2.401	4.843	8.572	10.939	1.801	4.498	6.239
Tussenwoningen	2006-2010	89.842	136	7.626	12.429	12.147	13.504	12.599	2.463	4.914	8.691	10.939	1.814	4.518	6.260
Tussenwoningen	2011-2014	36.581	123	7.130	11.767	11.880	12.976	12.277	2.235	4.650	8.249	10.939	1.768	4.444	6.182
Tussenwoningen	2015-nu	87.617	124	7.140	11.779	11.885	12.986	12.283	2.239	4.655	8.257	10.939	1.769	4.445	6.184
Appartementen	1200-1929	389.565	82	6.474	8.065	9.323	12.263	11.938	1.551	4.340	6.584	6.615	1.846	3.771	7.578
Appartementen	1930-1945	145.973	81	5.501	7.302	10.106	11.123	11.879	1.446	4.494	4.867	6.579	1.816	2.873	6.061
Appartementen	1946-1964	389.957	72	4.843	7.474	6.957	9.762	11.454	1.518	3.526	4.481	4.477	1.264	2.802	4.571
Appartementen	1965-1974	414.683	78	5.339	7.402	8.423	10.080	11.853	2.248	4.393	5.621	7.173	1.745	3.447	5.784
Appartementen	1975-1991	581.068	72	5.426	7.670	8.014	9.562	11.598	2.216	4.452	5.366	7.027	1.622	3.128	5.494
Appartementen	1992-1995	123.524	80	5.376	7.829	8.553	10.244	11.934	2.453	4.779	5.756	7.220	1.785	3.587	5.877
Appartementen	1996-1999	130.025	85	5.675	7.900	8.923	10.713	12.164	1.932	4.388	5.369	6.824	1.897	3.216	6.139
Appartementen	2000-2005	164.104	95	5.736	8.207	9.690	11.686	12.642	2.058	4.835	5.889	7.090	2.129	3.450	6.685
Appartementen	2006-2010	190.175	92	5.720	8.128	9.493	11.435	12.519	2.026	4.720	5.755	7.021	2.069	3.390	6.544
Appartementen	2011-2014	95.648	83,20684177	5.666	7.855	8.811	10.572	12.094	1.913	4.323	5.293	6.785	1.863	3.182	6.060
Appartementen	2015-nu	140.467	75	5.619	7.621	8.224	9.828	11.729	1.816	3.982	4.895	6.582	1.685	3.003	5.643

Figuur 48

Resultaat voorbeeldberekening investeringskosten bij gemiddeld vloeroppervlak (maximale waarde).

Type woning	Bouwjaar klasse	Woningen Totaal	Gemiddeld vloeroppervlak (m2)	Labelstap naar B					Labelstap naar C				Labelstap naar D		
				C-B	D-B	E-B	F-B	G-B	D-C	E-C	F-C	G-C	E-D	F-D	G-D
Vrijstaand	1200-1929	188.516	160	16.499	29.891	26.256	35.501	42.606	8.223	13.700	17.297	28.916	7.016	9.870	25.025
Vrijstaand	1930-1945	98.704	154	16.300	29.568	25.903	34.177	42.530	8.977	12.186	16.382	26.017	7.016	9.586	22.987
Vrijstaand	1946-1964	142.714	150	16.173	29.362	25.677	33.330	42.482	8.959	12.060	16.132	25.280	4.429	8.188	22.728
Vrijstaand	1965-1974	126.384	161	16.242	33.794	33.313	35.658	42.615	8.640	22.289	20.415	27.306	7.016	10.683	23.927
Vrijstaand	1975-1991	183.266	168	16.181	34.390	34.291	37.232	42.705	9.523	20.018	20.908	28.675	7.016	11.041	24.393
Vrijstaand	1992-1995	59.461	167	16.342	34.313	34.127	36.969	42.690	9.507	19.972	20.825	28.446	7.016	10.981	24.315
Vrijstaand	1996-1999	58.642	171	16.867	30.487	34.736	37.947	42.747	9.056	14.957	21.132	29.297	7.016	11.203	24.605
Vrijstaand	2000-2005	67.346	178	17.088	30.845	35.647	39.413	42.831	9.087	15.168	21.591	30.573	7.016	11.535	25.039
Vrijstaand	2006-2010	43.828	182	17.207	31.038	36.138	40.203	42.876	9.103	15.282	21.838	31.260	7.016	11.715	25.273
Vrijstaand	2011-2014	15.256	180	17.154	30.952	35.920	39.852	42.856	9.096	15.232	21.728	30.955	7.016	11.635	25.169
Vrijstaand	2015-nu	39.572	174	16.935	30.597	35.015	38.397	42.772	9.065	15.022	21.272	29.689	7.016	11.305	24.738
2 onder 1 kap	1200-1929	102.447	134	14.921	20.667	27.983	28.810	28.810	5.825	10.046	16.051	19.675	4.472	11.252	18.308
2 onder 1 kap	1930-1945	73.996	132	14.788	20.667	27.983	28.810	28.810	5.560	8.201	14.810	19.558	4.438	9.018	18.286
2 onder 1 kap	1946-1964	139.574	119	13.825	20.667	27.983	28.810	28.810	4.958	6.819	14.252	18.719	3.437	8.472	18.122
2 onder 1 kap	1965-1974	98.528	132	11.155	20.667	27.983	28.810	28.810	5.681	10.126	14.797	19.538	4.432	9.293	17.975
2 onder 1 kap	1975-1991	120.723	137	10.171	20.667	27.983	28.810	28.810	5.860	10.450	15.015	19.868	4.528	9.503	18.053
2 onder 1 kap	1992-1995	35.273	142	11.452	20.667	27.983	28.810	28.810	6.039	10.773	15.234	20.197	4.623	9.713	18.130
2 onder 1 kap	1996-1999	30.133	149	12.403	20.667	27.983	28.810	28.810	6.296	11.239	15.549	20.671	4.761	10.016	18.242
2 onder 1 kap	2000-2005	33.716	159	12.942	20.667	27.983	28.810	28.810	6.643	11.866	15.972	21.309	4.946	10.423	18.393
2 onder 1 kap	2006-2010	25.565	163	13.167	20.667	27.983	28.810	28.810	6.787	12.129	16.149	21.576	5.023	10.593	18.456
2 onder 1 kap	2011-2014	8.586	150	12.458	20.667	27.983	28.810	28.810	6.332	11.304	15.592	20.736	4.780	10.058	18.258
2 onder 1 kap	2015-nu	27.569	153	12.633	20.667	27.983	28.810	28.810	6.444	11.507	15.729	20.943	4.840	10.189	18.306
Hoekwoningen	1200-1929	75.809	121	9.933	21.509	20.942	20.770	20.770	4.003	7.495	11.080	20.414	4.930	6.627	14.255
Hoekwoningen	1930-1945	52.300	123	9.941	21.769	20.985	20.770	20.770	4.023	7.568	11.119	20.414	4.980	6.657	14.255
Hoekwoningen	1946-1964	159.385	105	9.864	19.139	20.548	20.770	20.770	3.365	6.064	10.723	20.414	4.994	4.822	14.255
Hoekwoningen	1965-1974	208.826	119	9.923	21.157	20.884	20.770	20.770	5.144	8.394	11.635	20.414	4.761	7.326	14.255
Hoekwoningen	1975-1991	307.986	119	9.922	21.145	20.882	20.770	20.770	5.143	8.392	11.632	20.414	4.759	7.324	14.255
Hoekwoningen	1992-1995	43.452	125	9.951	22.119	21.043	20.770	20.770	5.246	8.513	11.864	20.414	4.924	7.540	14.255
Hoekwoningen	1996-1999	38.632	133	9.986	23.343	21.247	20.770	20.770	5.376	8.665	12.154	20.414	5.205	7.812	14.255
Hoekwoningen	2000-2005	42.559	141	10.018	24.445	21.430	20.770	20.770	5.493	8.802	12.416	20.414	5.403	8.056	14.255
Hoekwoningen	2006-2010	32.996	143	10.028	24.796	21.488	20.770	20.770	5.531	8.845	12.500	20.414	5.466	8.134	14.255
Hoekwoningen	2011-2014	15.152	128	9.965	22.599	21.123	20.770	20.770	5.297	8.573	11.978	20.414	5.072	7.646	14.255
Hoekwoningen	2015-nu	41.024	128	9.963	22.525	21.111	20.770	20.770	5.290	8.564	11.960	20.414	5.058	7.630	14.255
Tussenwoningen	1200-1929	218.472	116	10.538	15.355	14.575	19.492	19.453	3.318	10.089	14.960	17.077	3.931	7.116	10.933
Tussenwoningen	1930-1945	124.908	114	8.730	14.074	15.149	19.325	19.197	2.578	6.146	13.112	17.077	2.932	7.079	10.907
Tussenwoningen	1946-1964	310.422	101	10.437	13.108	13.875	18.222	17.506	2.463	5.967	12.159	17.077	2.303	6.832	10.737
Tussenwoningen	1965-1974	439.055	117	9.448	16.519	16.460	19.558	19.554	3.667	7.852	13.313	17.077	3.053	7.131	11.364
Tussenwoningen	1975-1991	703.756	115	9.307	17.488	16.409	19.376	19.276	3.576	7.688	13.156	17.077	3.042	7.090	11.343
Tussenwoningen	1992-1995	112.950	119	9.593	18.076	16.512	19.746	19.842	3.761	8.021	13.475	17.077	3.065	7.173	11.385
Tussenwoningen	1996-1999	114.051	125	10.346	16.696	16.657	20.265	20.638	4.022	8.488	13.924	17.077	3.097	7.289	11.444
Tussenwoningen	2000-2005	127.964	133	10.818	17.247	16.819	20.844	21.526	4.313	9.009	14.425	17.077	3.133	7.419	11.510
Tussenwoningen	2006-2010	89.842	136	11.042	17.508	16.895	21.119	21.946	4.451	9.256	14.662	17.077	3.151	7.480	11.542
Tussenwoningen	2011-2014	36.581	123	10.209	16.536	16.610	20.098	20.381	3.938	8.337	13.780	17.077	3.087	7.252	11.425
Tussenwoningen	2015-nu	87.617	124	10.225	16.554	16.616	20.117	20.411	3.948	8.355	13.796	17.077	3.088	7.256	11.428
Appartementen	1200-1929	389.565	82	10.042	12.646	14.357	18.082	21.954	2.753	6.872	12.013	14.119	4.754	5.969	15.597
Appartementen	1930-1945	145.973	81	7.408	10.214	15.597	17.024	22.607	2.257	7.858	10.210	14.072	4.692	5.799	13.008
Appartementen	1946-1964	389.957	72	7.361	11.330	12.837	15.481	22.418	2.507	6.673	9.551	9.955	3.118	5.523	10.862
Appartementen	1965-1974	414.683	78	8.346	12.710	14.507	17.257	22.128	4.475	10.753	14.270	16.855	4.544	8.980	12.623
Appartementen	1975-1991	581.068	72	8.830	13.808	13.733	16.401	21.988	5.260	10.871	14.076	16.764	4.285	8.342	12.316
Appartementen	1992-1995	123.524	80	8.393	14.422	14.753	17.530	22.172	5.755	11.543	14.359	16.884	4.626	8.998	12.721
Appartementen	1996-1999	130.025	85	9.674	12.766	15.454	18.305	22.299	4.039	8.821	11.807	14.838	4.860	7.189	12.999
Appartementen	2000-2005	164.104	95	9.894	13.539	16.907	19.914	22.562	4.461	9.339	12.760	15.110	5.346	7.669	13.576
Appartementen	2006-2010	190.175	92	9.837	13.340	16.533	19.500	22.495	4.353	9.206	12.515	15.040	5.221	7.546	13.428
Appartementen	2011-2014	95.648	83	9.642	12.654	15.242	18.071	22.261	3.977	8.746	11.669	14.799	4.790	7.119	12.915
Appartementen	2015-nu	140.467	75	9.473	12.063	14.130	16.840	22.060	3.654	8.350	10.940	14.591	4.418	6.752	12.473

Visuele inspectie van de resultaten geeft aan dat, als verwacht, de omvang van de kosten is beïnvloed door het woningtype en de labelsprong. In het bijzonder laten de resultaten zien dat:

- de kosten voor woningen met een groter verliesoppervlak aangrenzend aan buitenlucht (vrijstaand en twee-onder-één kap) vallen hoger uit ten opzichte van woningtypen waarin dit te isoleren oppervlak relatief kleiner is zoals bij tussenwoningen en appartementen;
- een grotere labelsprong resulteert in hogere kosten.

Er is aanwijzing dat in de steekproef de bouwperiode beperkt invloed op de hoogte van het investeringsbedrag heeft. Dit is hoofdzakelijk te verklaren uit het feit dat in veel gevallen een grover

aggregatieniveau op bouwperiodes is gehanteerd wegens de beperkte beschikbaarheid van datapunten, maar wordt mogelijk ook deels veroorzaakt uit een beperkt onderscheid op bouwperiode bij de berekening van de kosten in de variatietool van TNO. Overwogen kan worden om nadere afstemming met TNO of DGMR te zoeken hoe in de achterliggende berekeningen met een onderscheid op bouwperiode wordt omgegaan.

Investeringskosten ventilatie

De data uit de variatietool bevat uitsluitend de investeringskosten in schilmaatregelen, installaties maken hier geen onderdeel van uit. De investeringskosten voor ventilatie zijn hierbij separaat door TNO toegevoegd, waarbij steeds één van twee vaste bedragen zijn aangehouden zoals genoteerd in Tabel 46. Het gemiddelde van deze bedragen is bij de investeringskosten voor schilmaatregelen opgeteld door dit bedrag bij de vaste coëfficiënt op te tellen.

Tabel 46
Investeringskosten ventilatie (€/woning, exclusief btw)

	Bedrag 1	Bedrag 2	Gehanteerd bedrag
Zelfstandig	2797	2828	2.813
Natuurlijk	2590	2619	2.605

De kosten voor ventilatie zijn alleen toegepast op de schillabelstap naar B, in de kosten voor de schillabelstappen naar C en D is de kostenpost voor ventilatie achterwege gelaten, onder de aanname dat mechanische, geforceerde ventilatie niet noodzakelijk is bij toepassing van schillabel C of D.

Spreiding bedragen investeringskosten in brondata

Uit de trendanalyse blijkt dat er slechts in beperkte mate sprake is van een correlatie tussen het aantal vierkante meters vloeroppervlak en investeringskosten. Dit houdt in dat het berekende bedrag aan investeringskosten in feite een gemiddelde van een verzameling van waarnemingen uit de Variatietool reflecteert waarbinnen de individuele investeringsbedragen per woning in sommige gevallen sterk uiteen kunnen lopen.

Wel is er in de meeste gevallen een trend van stijgende kosten bij een toename van het aantal vierkante meters vloeroppervlak zichtbaar. Let op dat deze bandbreedte niet wordt gevangen in de minimum en maximumwaarde in de uiteindelijke kengetallenset waar Vesta MAIS mee rekent. De minimum en maximumwaarde reflecteren het verschil in kosten bij implementatie van schilmaatregelen op een natuurlijk (minimum) of zelfstandig (maximum) moment. Beide bedragen reflecteren de op basis van de trendlijn berekende gemiddelde investeringskosten zoals geïllustreerd in de grafiek.

De grote spreiding in kosten kan erop duiden dat enkel de kenmerken vloeroppervlak, woningtype en bouwjaar onvoldoende houvast bieden om een accurate schatting van de investeringskosten voor een specifieke, individuele woning te maken. Gegeven de beperkte additionele beschikbaarheid van data over dergelijke kenmerken op individueel woningniveau is dit niet nader onderzocht.

De grote spreiding in de investeringsbedragen en de daaruit resulterende kengetallenset voor Vesta MAIS limiteert de bruikbaarheid van Vesta MAIS voor het berekenen van investeringskosten in schilmaatregelen op lagere ruimtelijke aggregatieniveaus. Dat is een belangrijk aandachtspunt bij de interpretatie van resultaten, in het bijzonder op individueel woningniveau.

Bijlage 2 Overzichtstabellen Startsituatie

Tabel 47

Wijzigingen in CBS-buurtten tussen de SA-2019 en de SA-2020. **Vraag:** Zijn de buurtcodes en de oppervlaktes gelijk tussen de SA-2019 en de SA-2020? Begingetallen zijn gelijk aan de codes in Figuur 21.

Antwoorden	Aantal buurten
<u>Gelijke buurtcode</u>	<u>12186</u>
1. identiek op 1 m ² nauwkeurig	10696
2. identiek op 1 - 1000 m ²	1156
4. onnauwkeuriger dan 1000 m ²	334
<u>Verschil in buurtcode</u>	<u>1501</u>
3. identiek op 1 m ² nauwkeurig	473
2. identiek op 1 - 1000 m ²	95
5. onnauwkeuriger dan 1000 m ²	933
<u>Totaal aantal buurten</u>	<u>13687</u>

Tabel 48

Verdeling van het totaal aantal woningen binnen de SA-2020 op basis van woningtype en bouwjaar-klasse (BAG 01-01-2020).

	Vrij- staand	2-onder- 1-kap	Hoek woning	Tussen woning	Apparte- ment	Totaal
1200 - 1930	188516	102447	75809	218472	389565	974809
1930-1946	98704	73996	52300	124908	145973	495881
1946-1965	142714	139574	159385	310422	389957	1142052
1965-1975	126384	98528	208826	439055	414683	1287476
1975-1992	183266	120723	307986	703756	581068	1896799
1992-1996	59461	35273	43452	112950	123524	374660
1996-2000	58642	30133	38632	114051	130025	371483
2000-2006	67346	33716	42559	127964	164104	435689
2006-2011	43828	25565	32996	89842	190175	382406
2011-2015	15256	8586	15152	36581	95648	171223
2016-2019	39572	27569	41024	87617	140467	336249
Totaal	1023689	696110	1018121	2365618	2765189	7868727

Tabel 49

Aantal woningen met afgemelde en niet-afgemelde energielabels bij RVO (01-01-2020), per woningtype

	Niet-afgemeld bij RVO	Afgemeld bij RVO	Totaal
Vrijstaand	809328	214361	1023689
2-onder-1-kap	482208	213902	696110
Hoekwoning	563619	454502	1018121
Tussenwoning	1301202	1064416	2365618
Appartement	1071050	1694139	2765189
Totaal	4227407	3641320	7868727

Tabel 50

Verdeling van de afgemelde energielabels bij RVO, per woningtype (01-01-2020)

	Geen afgemeld label bij RVO	G	F	E	D	C	B	A	Totaal
Vrijstaand	809328	32979	24078	14932	28465	39644	31614	42649	1023689
2-onder-1-kap	482208	21828	18562	23127	30038	48631	27954	43762	696110
Hoekwoning	563619	19112	22289	36177	69110	149024	68398	90392	1018121
Tussenwoning	1301202	22502	43326	80550	144138	353883	176806	243211	2365618
Appartement	1071050	50411	72881	153967	273131	447515	309234	387000	2765189
Totaal	4227407	146832	181136	308753	544882	1038697	614006	807014	7868727

Tabel 51

Verdeling van de afgemelde energielabels (01-01-2020), per bouwjaarklasse

	Geen afgemeld label bij RVO	G	F	E	D	C	B	A	Totaal
1200 - 1930	647923	61348	48485	46650	66249	57963	26337	19854	974809
1930-1946	334634	34994	29900	26810	35350	21663	6389	6141	495881
1946-1965	542192	35651	60803	123108	143834	147064	48923	40477	1142052
1965-1975	607337	12080	36769	88954	176593	232694	74678	58371	1287476
1975-1992	1008086	1381	4067	21414	113923	491753	194034	62141	1896799
1992-1996	222831	186	154	427	3671	34010	84167	29214	374660
1996-2000	228220	115	211	419	2941	27738	77475	34364	371483
2000-2006	258528	107	155	395	1102	11874	63711	99817	435689
2006-2011	197699	76	96	163	478	7789	25980	150125	382406
2011-2015	75459	77	41	71	271	2862	9357	83085	171223
2016-2019	104498	817	455	342	470	3287	2955	223425	336249
Totaal	4227407	146832	181136	308753	544882	1038697	614006	807014	7868727

Tabel 52

Verdeling van aantal utiliteitsgebouwen (x1000) over verschillende utiliteitstypen

	G	F	E	D	C	B	A	Totaal
Kantoor	13	0	23	0	16	48	0	99
Winkel	26	0	48	0	18	36	0	129
Gezondheidszorg	2	0	6	0	4	13	0	25
Logies	3	0	28	0	28	65	0	125
Onderwijs	1	0	6	0	3	6	0	16
Industrie	2	0	7	0	6	18	0	34
Bijeenkomst	16	0	22	0	9	17	0	65
Sport	0	0	3	0	3	5	0	12
Cel	0	0	0	0	0	0	0	0
Overig	8	0	276	0	74	72	0	431
Totaal	73	0	420	0	162	279	0	935

Tabel 53Verdeling van de oppervlakte (in miljoen m²) van utiliteitstypen over verschillende utiliteitstypen

	G	F	E	D	C	B	A	Totaal
Kantoor	5	0	14	0	12	35	0	66
Winkel	5	0	15	0	8	20	0	48
Gezondheidszorg	1	0	6	0	4	9	0	20
Logies	1	0	3	0	3	7	0	14
Onderwijs	1	0	12	0	8	15	0	36
Industrie	1	0	10	0	9	31	0	51
Bijeenkomst	7	0	11	0	5	10	0	33
Sport	0	0	3	0	4	6	0	13
Cel	0	0	0	0	0	1	0	1
Overig	1	0	10	0	4	17	0	33
Totaal	23	0	84	0	57	152	0	316

Tabel 54

MT-warmtebronnen, aantal warmtebronnen en beschikbaar vermogen uitgesplitst naar verschillende typen MT-warmtebronnen.

Type warmtebron	Aantal warmtebronnen SA-2019	Aantal warmtebronnen SA-2020	Beschikbaar vermogen (MWth) SA-2019	Beschikbaar vermogen (MWth) SA-2020
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