



TECHNISCH EN ECONOMISCH POTENTIEEL VOOR EEN AARDGASVRIJE GEBOUWDE OMGEVING IN DE REGIO DRECHTSTEDEN

Verkenning met het Vesta MAIS ruimtelijk energiemodel voor
de gebouwde omgeving

Notitie

**Folckert van der Molen, Ruud van den Wijngaart, Steven van Polen en Bas
van Bommel**

13 november 2018

PBL

Colofon

Technisch en economisch potentieel voor een aardgasvrije gebouwde omgeving in de regio Drechtsteden

Stageonderzoek bij het PBL - Planbureau voor de Leefomgeving ©

Den Haag, 2018

PBL-publicatienummer [3419]

Auteurs

Folckert van der Molen, Ruud van den Wijngaart, Steven van Polen en Bas van Bemmelen

Contact: folckert.vandermolen@pbl.nl

Met dank aan Roosmarijn Sweers (regio Drechtsteden) voor het samenbrengen van alle partijen die deze studie mogelijk hebben gemaakt. Dank ook aan alle andere betrokkenen in de regio Drechtsteden die hebben meegedacht, feedback gegeven en data beschikbaar hebben gesteld als deelnemers aan de werkgroep warmtetransitieplan: Luc Brugman (HVC), Koen Seghers (Atrienensis), Erwin Zwijnenburg (Woonkracht 10), Thea Bodenhorst (Stedin), Margit Heine (gemeente Alblasterdam), Anita Groffen-Hopmans (gemeente Papendrecht), Suzan Mannens (gemeente Hardinxveld-Giessendam), Tanja Haring (provincie Zuid-Holland), Maarten de Vries en Anne Jansen (Overmorgen). Daarnaast ook dank aan Pieter Boot en Nico Hoogervorst (PBL) voor feedback en commentaar.

Delen uit dit rapport mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Folckert van der Molen (2018), Technisch en economisch potentieel voor een aardgasvrije gebouwde omgeving in de regio Drechtsteden, Den Haag: PBL.

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

Inhoudsopgave

| | |
|--|-----------|
| Samenvatting..... | 6 |
| Maatschappelijk technisch eindbeeld..... | 6 |
| Eindgebruikerskosten..... | 7 |
| Verwarmingsmethoden in het maatschappelijk meest kosteneffectieve technisch eindbeeld..... | 9 |
| Schillabelverdeling in de startsituatie..... | 10 |
| Schillabelverdeling in het maatschappelijk meest kosteneffectieve technisch eindbeeld..... | 11 |
| 1. Inleiding..... | 12 |
| 1.1 Achtergrond..... | 12 |
| 1.2 Doelstelling voor de regio..... | 14 |
| 1.3 Bijdrage van deze studie..... | 16 |
| 2. Proces..... | 17 |
| 2.1 Onderzoeksopzet..... | 17 |
| 2.2 Randvoorwaarden vanuit de werkgroep..... | 18 |
| 2.3 Eerste onderzoeksfase..... | 19 |
| 2.3.1 Scenario's..... | 19 |
| 2.3.2 Gevoeligheidsanalyses..... | 19 |
| 2.4 Tweede onderzoeksfase..... | 20 |
| 2.4.1 Individuele beleidsinstrumenten..... | 20 |
| 2.4.2 Gecombineerde beleidsinstrumenten..... | 20 |
| 3. Methode..... | 21 |
| 3.1 Werking Vesta MAIS..... | 21 |
| 3.1.1 Energiebesparing..... | 21 |
| 3.1.2 Elektrische verwarming..... | 22 |
| 3.1.3 Lage Temperatuur (LT)-warmtenetten..... | 22 |
| 3.1.4 Hoge Temperatuur (HT)-warmtenetten..... | 24 |
| 3.1.5 HT-warmtebronnen..... | 24 |
| 3.2 Dataverzameling en validatie..... | 25 |
| 3.2.1 Gebouwen voorraad startjaar..... | 25 |
| 3.2.2 Validatie energievraag startjaar..... | 26 |
| 3.2.3 Nieuwbouw en sloop..... | 27 |
| 3.2.4 Energieprijzen en kosten van technische maatregelen..... | 28 |
| 3.2.5 Validatie kengetallen..... | 29 |

| | |
|---|-----------|
| 3.2.6 Bestaande warmtenetten | 29 |
| 3.2.7 HT-Warmtebronnen | 30 |
| 3.3 Maatschappelijke CO ₂ -prijs | 30 |
| 3.4 Scenario's | 32 |
| 3.4.1 Referentiebeeld..... | 33 |
| 3.4.2 Energiebesparing – Elektrisch | 34 |
| 3.4.3 Energiebesparing – Lage Temperatuur | 35 |
| 3.4.4 Collectief – Hoge Temperatuur | 36 |
| 3.4.5 Collectief – Warmteladder | 37 |
| 3.5 Beleidsinstrumenten | 38 |
| 3.5.1 Energiebelasting..... | 38 |
| 3.5.2 Subsidie gebouwmaatregelen..... | 38 |
| 3.5.3 Subsidie warmte-infrastructuur | 38 |
| 3.5.4 Afwijkende aardgasreferentie..... | 38 |
| 3.6 Beperkingen en kanttekeningen | 39 |
| 3.6.1 Gedragsfactoren..... | 39 |
| 3.6.2 Generieke kengetallen | 39 |
| 3.6.3 Koken op aardgas en afsluitbijdrage | 39 |
| 3.6.4 Temperatuurniveaus HT-warmte | 40 |
| 3.6.5 Fasering en afbouw gasnetten | 40 |
| 3.6.6 Afbakening warmteleveringsgebieden..... | 40 |
| 3.6.7 Overstappen van verwarmingstechniek..... | 41 |
| 3.6.8 Generieke toepassing van bestaande technieken..... | 41 |
| 3.6.9 Aardgasverbruik in hulpketels van warmtenetten..... | 41 |
| 4. Resultaten..... | 42 |
| 4.1 Maatschappelijke scenario's en referentiebeeld | 42 |
| 4.1.1 Referentiebeeld..... | 43 |
| 4.1.2 Energiebesparing – Elektrisch | 46 |
| 4.1.3 Energiebesparing – Lage Temperatuur | 50 |
| 4.1.4 Collectief – Hoge Temperatuur | 53 |
| 4.1.5 Collectief – Warmteladder | 57 |
| 4.1.6 Vergelijking maatschappelijke scenario's..... | 61 |
| 4.2 Gevoeligheidsanalyse | 63 |
| 4.2.1 Leereffecten technologie | 63 |

| | |
|---|------------|
| 4.2.2 Deelnamepercentage warmtenetten..... | 64 |
| 4.2.3 Besparing tot maximaal B..... | 66 |
| 4.2.4 Verdeling pieklast – basislast | 68 |
| 4.3 Individuele beleidsinstrumenten | 69 |
| 4.3.1 Energiebelasting..... | 69 |
| 4.3.2 Subsidie gebouwmaatregelen..... | 71 |
| 4.3.3 Subsidie warmte-infrastructuur | 73 |
| 4.3.4 Afwijkende aardgasreferentie | 75 |
| 4.4 Gecombineerde beleidsinstrumenten | 76 |
| 4.4.1 Combinatie van beleidsinstrumenten..... | 77 |
| 4.4.2 Resultaten per niveau van beleidsintensiteit..... | 78 |
| 4.4.3 Gevoeligheid beslisboom | 80 |
| 4.4.4 Kostenverdeling..... | 79 |
| 4.4.5 Controle randvoorwaarden..... | 86 |
| 5. Conclusies..... | 87 |
| 5.1 Maatschappelijke scenario's | 87 |
| 5.2 Maatschappelijk kosteneffectief maatregelenpakket..... | 89 |
| 5.3 Gevoeligheidsanalyse | 90 |
| 5.4 Beleidsinstrumenten | 89 |
| 5.5 Gecombineerde instrumenten..... | 92 |
| 5.6 Kostenverdeling..... | 94 |
| Nawoord regio Drechtsteden..... | 98 |
| Referenties | 100 |
| Bijlagen | 99 |
| Bijlage A: vergelijking kengetallen Vesta - Atriensis..... | 99 |
| Bijlage B: vergelijking kengetallen Vesta - HVC..... | 103 |
| Bijlage C: vergelijking kengetallen Vesta - Stedin..... | 104 |
| Bijlage D: belastingschuif elektriciteit naar aardgas | 105 |
| Bijlage E: Factsheet 'Besparing', variant 'Elektrisch' | 106 |
| Bijlage F: Factsheet 'Besparing', variant 'Lage-Temperatuur' | 107 |
| Bijlage G: Factsheet 'Collectief', variant 'Hoge-Temperatuur' | 108 |
| Bijlage H: Factsheet 'Collectief', variant 'Warmteladder' | 109 |
| Bijlage I: Schillabels bij maatschappelijk kosteneffectief technisch eindbeeld 'Warmteladder' | 110 |

Samenvatting

Zoals alle Nederlandse gemeenten hebben de gemeenten in de regio Drechtsteden de opgave om op korte termijn te bepalen hoe zij de gebouwde omgeving in de toekomst van warmte gaan voorzien zonder daarvoor aardgas te gebruiken. Deze opgave wordt op dit moment in regionaal verband vormgegeven door de werkgroep warmtetransitieplan, als onderdeel van de Regionale Energiestrategie. De voorliggende studie dient om inzichten te vergaren over regionale uitdagingen in de warmtetransitie, en om de werkgroep warmtetransitieplan in de regio te ondersteunen in de analysefase van deze opgave.

Het doel van dit stageonderzoek is het verkennen van het technisch en economisch potentieel voor het verminderen van het aardgasverbruik in de gebouwde omgeving in de regio Drechtsteden in 2035 met minimaal 90%. Daarvoor wordt gebruik gemaakt van het Vesta MAIS ruimtelijk energiemodel voor de gebouwde omgeving van het PBL. Dit open-source model is ontwikkeld om kennis te vergaren ter ondersteuning van beleidskeuzes, door de warmtevoorziening als ruimtelijk systeem te simuleren.

Maatschappelijk technisch eindbeeld

Op basis van een maatschappelijke kostenbenadering is bevonden dat de juiste mix van technische maatregelen essentieel is voor maatschappelijke kosteneffectiviteit. Dit betekent het vinden van de juiste combinatie van technische maatregelen per gebouw en per buurt. Vooral energiebesparing door gebouwverbeteringen zorgt voor lagere totale maatschappelijke kosten op lange termijn.

In ongeveer de helft van de gebouwen is warmtelevering op hoge temperaturen (tot 90 °C), maatschappelijk het meest kosteneffectieve alternatief voor aardgas. Deze gebouwen moeten wel minimaal tot energielabel B of C worden geïsoleerd. Mogelijke regionale bronnen voor deze warmte zijn restwarmte van de afvalcentrale in Dordrecht, van industrie uit het havengebied, of (diepe) geothermie.

Voor gebieden waar een hoge-temperatuur warmtenet niet haalbaar is, is verwarming op lage temperaturen (tot 60 °C) met een elektrische warmtepomp, of een lokaal lage-temperatuur warmtenet maatschappelijk gezien een goed alternatief. Welke van deze twee opties maatschappelijk gezien kosteneffectiever is hangt sterk af van de toekomstige ontwikkeling van de investeringskosten van deze technieken. Voor lage-temperatuur warmtenetten kan warmte- en koude opslag een bron vormen, wellicht in combinatie met thermische energie uit oppervlakte- of afvalwater.

Een deel van de gebouwen is ook in 2035 moeilijk af te sluiten van aardgas. Als alternatief kunnen innovatieve technieken die nu nog in de kinderschoenen staan een rol spelen. In gebieden waar vastgesteld kan worden dat er geen hoge-temperatuur warmte geleverd gaat worden moeten gebouwen in ieder geval tot minimaal energielabel A+ worden gerenoveerd, om 90% reductie van het totale aardgasverbruik in de regio te kunnen halen. In de regio Drechtsteden houdt dit in dat de helft van de gebouwen energielabel A+ zal moeten krijgen, in het bijzonder in de minder dicht bebouwde gebieden. Of deze gebouwen uiteindelijk verwarmd worden met een individuele warmtepomp of een (lokaal) lage-temperatuur warmtenet, zal moeten afhangen van de kostenontwikkeling en de voorkeuren van de betrokkenen.

De andere helft van de gebouwen komt in aanmerking voor warmtelevering op hoge temperaturen. Dit is echter wel afhankelijk van het deelnamepercentage onder gebouweigenaren in buurten waar het warmtenet wordt aangeboden. Als veel gebouweigenaren kiezen om niet aangesloten te worden kan dit als gevolg hebben dat in een aantal buurten de aanleg niet maatschappelijk kosteneffectief is. Als door

efficiëntieverbeteringen in de toekomst minder bijstook in warmtenetten nodig is, wordt het juist in meer buurten maatschappelijk kosteneffectief om hoge-temperatuur warmte aan te bieden. De inzet van verschillende warmteopties in het maatschappelijk technisch eindbeeld is op gebouwniveau te zien op de kaart op pagina 9. De kaarten op pagina 10 en 11 laten op gebouwniveau het schillabel zien in de startsituatie in 2015 en in 2035 nadat het hier beschreven pakket technische maatregelen is uitgevoerd.

Eindgebruikerskosten

Bij ongewijzigd beleid is het voor eindgebruikers rendabel om in 2035 29% minder aardgas te verbruiken dan in 2015, door besparing en alternatieve verwarmingsmethoden. Het pakket technische maatregelen waarmee in het maatschappelijk technisch eindbeeld het doel van 90% aardgasreductie wordt gehaald is, hoewel het maatschappelijk kosteneffectief is, voor eindgebruikers die de investeringen moeten doen bij ongewijzigd beleid in 2035 niet rendabel. Aanvullend beleid is nodig om dit pakket technische maatregelen wel rendabel te maken. Dit beleid moet ofwel zorgen voor lagere kosten van technische maatregelen voor de eindgebruiker, ofwel hogere baten uit warmtelevering en/of vermeden inkoopkosten van energie.

Een verschuiving van de energiebelasting van elektriciteit naar aardgas voor kleingebruikers kan een rol spelen. Dit maakt energiebesparing aantrekkelijker, de kosten van elektrische verwarming worden lager, en wanneer de maximumprijs van warmtelevering meestijgt met de gasreferentie wordt de aanleg van warmtenetten makkelijker terugverdiend. Als dit als enige instrument wordt ingezet zou de energiebelasting op aardgas met minimaal 75 cent per m³ moeten stijgen, om 85% reductie van de aardgasvraag van gebouwen te bereiken met rendabele investeringen voor eindgebruikers.

Als met subsidies wordt gestuurd kan door ofwel de aanleg van warmte-infrastructuur ofwel investeringen in gebouwverbetering te subsidiëren, gezorgd worden dat de benodigde technische maatregelen rendabel worden. Beide manieren van subsidiëren afzonderlijk leveren meer dan 50% aardgasreductie op als meer dan 45% van de investeringskosten uit subsidies wordt betaald.

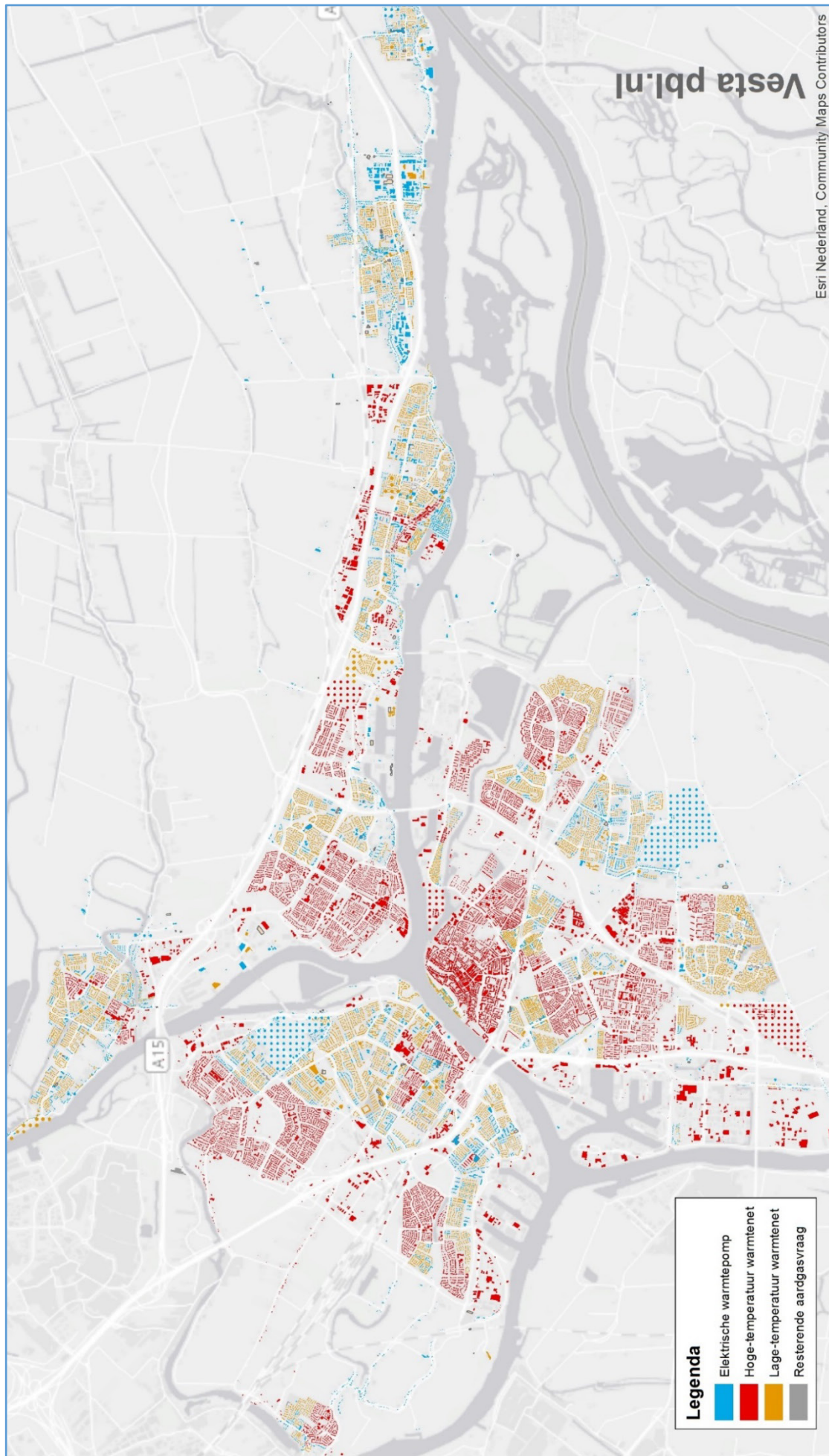
Een combinatie van instrumenten zorgt dat elk individueel instrument minder intensief hoeft te worden ingezet. In een doorrekening van een indicatief pakket van beleidsinstrumenten wordt de totale aardgasvraag van gebouwen in de regio met 85% verminderd. Dit is mogelijk door een combinatie van verlaging van de energiebelasting op elektriciteit met 7 cent per kWh, verhoging van de energiebelasting op aardgas met 20 cent per m³, en subsidies voor zowel gebouwmaatregelen als warmte-infrastructuur die kunnen oplopen tot 40% voor de duurste maatregelen. Door dit pakket aan beleidsinstrumenten zou het voor eindgebruikers rendabel worden om tussen nu en 2035 voor ruim twee miljard euro aan investeringen te doen in de regio Drechtsteden.

Als geen technische maatregelen worden genomen stijgen de totale energiekosten van gebouwen in 2035 met 25% ten opzichte van 2015. Als technische maatregelen met behulp van dit beleidspakket rendabel worden kan deze stijging worden voorkomen. Warmtebedrijven en gebouweigenaren zouden door deze subsidies en de verschuiving van de energiebelasting een solide businesscase hebben om de benodigde technische maatregelen te nemen.

Belangrijke kanttekening bij dit onderzoek is dat alleen conventionele technische maatregelen en generieke beleidsinstrumenten zijn meegenomen, en dat alleen op basis van technisch-economisch potentieel is gerekend. Een noodzakelijke volgende stap is om per gebouw en per buurt op basis van de

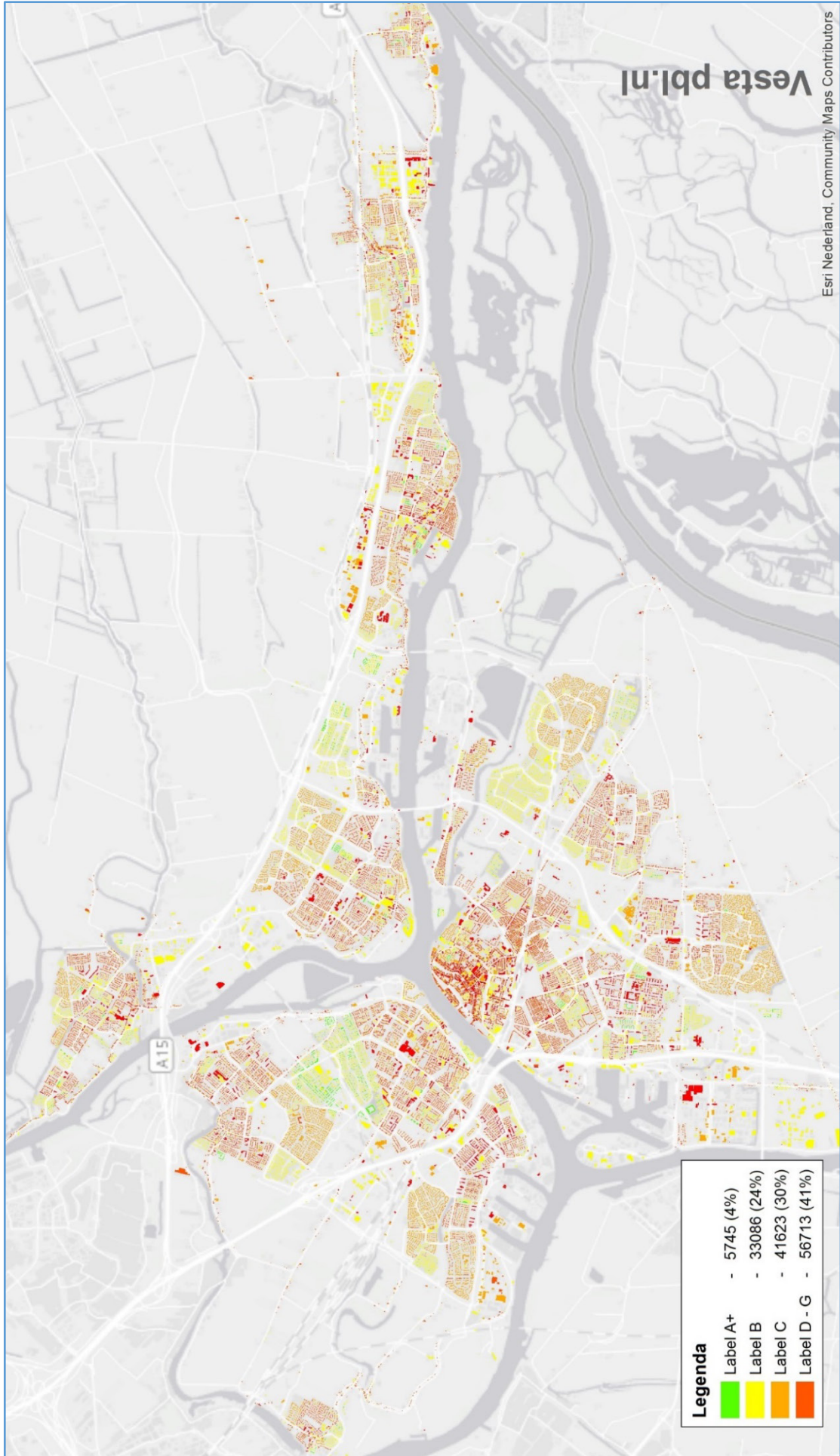
gedetailleerdere informatie specifiekere technische maatregelen en slimmer beleid te verkennen. Daarbij is het van belang om meer aspecten dan alleen de technische en economische mee te nemen.

Verwarmingsmethoden in het maatschappelijk meest kosteneffectieve technisch eindbeeld
Figuur S.1: Warmteopties op gebouwniveau, voor alle gebouwen in de regio Drechtsteden in 2035.

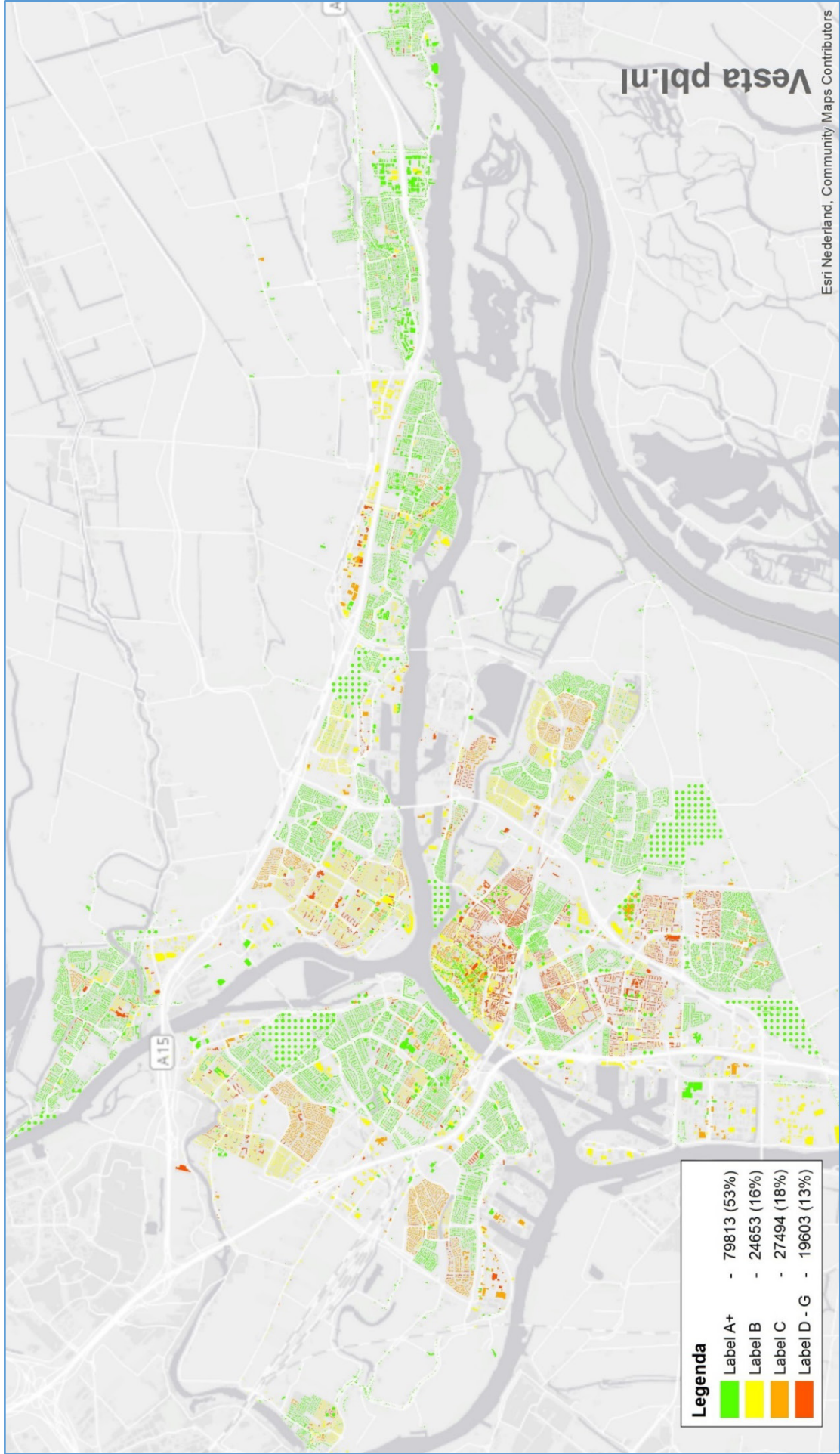


Schillabelverdeling in de startsituatie

Figuur S.2: Schillabelverdeling op bouwniveau, voor alle gebouwen in de regio Drechtsteden in 2015.



Schillabelverdeling in het maatschappelijk meest kosteneffectieve technisch eindbeeld
Figuur S.3: Schillabelverdeling op gebouwniveau, voor alle gebouwen in de regio Drechtsteden in 2035.



1. Inleiding

1.1 Achtergrond

Met het tekenen van het Parijsakkoord in december 2015 heeft Nederland zich gecommitteerd aan een reductie van de broeikasgasemissies met 85-95%, ten opzichte van 1990, in 2050. Wanneer Nederland deze reductie realiseert levert het zijn bijdrage aan de benodigde wereldwijde broeikasgasreductie, wat een waarschijnlijke kans (hoger dan 66%) geeft om beneden de 2°C opwarming van de aarde te blijven¹. Recent is er een voorstel in de 2^e kamer ingediend om deze reductie van broeikasgasemissies wettelijk vast te leggen in de Klimaatwet².

Wanneer concreet gekeken wordt naar de betekenis van deze broeikasgasreductie dan betekent dit dat de energiehuishouding van Nederland drastisch moet veranderen. Onder andere het aardgasverbruik in Nederland moet significant omlaag, omdat dit een belangrijke bijdrage levert aan de totale CO₂-uitstoot in Nederland. Daarnaast is er een tweede aanleiding om het aardgasverbruik fors te reduceren in de komende jaren: de aardbevingen in Groningen. Een groot deel van het in Nederland verbruikte aardgas is op dit moment afkomstig van de Groningse aardgasvelden. Daar worden de laatste jaren de gevolgen van aardgaswinning op de Groningse bodem duidelijk door een toenemende hoeveelheid en kracht van de aardbevingen als gevolg van gaswinning.

Het Nederlandse aardgasverbruik in de gebouwde omgeving wordt met name ingezet voor verwarming. 95% van de woningen, winkels, kantoren en andere gebouwen in Nederland wordt verwarmd met een aardgasgestookte ketel. Om het gebruik van aardgas uit te faseren zal deze methode van verwarmen op termijn moeten worden vervangen door duurzame alternatieven: er zal een warmtetransitie moeten plaatsvinden. Bij de invulling van de warmtetransitie in de gebouwde omgeving zijn lokale overheden aan zet. Gemeenten, al dan niet in regionale samenwerking, hebben de taak om uiterlijk in 2021 een Transitievisie Warmte op te stellen³. Dit plan moet duidelijk maken op welke wijze de gebouwde omgeving aardgasvrij wordt gemaakt, met concrete alternatieve methoden van verwarming voor de gebieden die tot 2030 worden aangepakt en een vooruitblik op een pad naar een CO₂-arme gebouwde omgeving in 2050. Dit is een complexe opgave met organisatorische, communicatieve, financiële en technische aspecten.

In 2016 is in het Programma Regionale Energiestrategieën besloten vijf pilotregio's te ondersteunen bij het opstellen van een regionale energiestrategie. Het doel hiervan is het opdoen van ervaring met een aanpak waarbij vanuit de regio wordt gewerkt aan het realiseren van CO₂-reductie. Het PBL heeft toegezegd bij te dragen aan deze ondersteuning⁴. Als onderdeel daarvan is in deze studie een analyse gemaakt voor de regio Drechtsteden in Zuid-Holland. Deze regio bestaat uit de gemeenten Alblasserdam, Dordrecht, Hardinxveld-Giessendam, Hendrik-Ido-Ambacht, Papendrecht, Sliedrecht en Zwijndrecht.

¹ Detlef P. van Vuuren, Pieter Boot, Jan Ros, Andries Hof en Michel den Elzen (PBL) – Wat betekent het Parijsakkoord voor het Nederlandse langetermijn-klimaatbeleid? (18 november 2016)

² Wetsvoorstel klimaatwet (28 juni 2018) – via

<https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/wetsvoorstellen/detail?cfg=wetsvoorsteldetails&qry=wetsvoorstel%3A34534>

³ <https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/brieven/2018/04/03/brief-aan-gemeenten-over-aardgasvrije-wijken/BriefCollegesvanbenwaardgasvrijewijken.pdf>

⁴ Zie voor meer over deze ondersteuning en de rol van het PBL daarbij: Programmteam Energie VNG (2016), *Programma Regionale Energiestrategieën*. (zie pagina 28 voor de toegezegde bijdrage van het PBL)

Gezamenlijk vormen deze gemeenten een stedelijk gebied met om en nabij 270.000 inwoners. Zij wonen en werken in 140.000 gebouwen⁵ die doorgaans verwarmd worden met individuele aardgasgestookte ketels. Deze gebouwen verbruikten in 2015 samen ongeveer zeven Petajoule (PJ) aan aardgas⁶. Hiervan wordt een klein deel gebruikt voor koken, maar het overgrote deel wordt ingezet voor de warmtevoorziening. Dit aardgasverbruik is ongeveer een derde van het totale energieverbruik van de regio. Het doel dat de regio zich heeft gesteld in de regionale Energiestrategie Drechtsteden is om in 2050 energieneutraal te zijn⁷. De ondertekening van deze energiestrategie is een gezamenlijke intentieverklaring van lokale, regionale en bovenregionale partijen om aan dit doel bij te dragen. Voor de gebouwde omgeving richten de betrokken partijen zich erop dat in 2035 alle energie die in gebouwen wordt gebruikt afkomstig is uit duurzame bronnen. Dit sluit aan bij de opgave die zij net als alle andere gemeenten van het kabinet hebben gekregen om op korte termijn te bepalen hoe zij gebouwen in de toekomst van warmte gaan voorzien zonder daarvoor aardgas te gebruiken.

Dit doel moet worden omgezet in plannen en de wijze waarop dat moet gebeuren is vastgelegd in de Samenwerkingsagenda 2018⁸. Er zijn werkgroepen ingericht voor de verschillende aspecten van de energietransitie, waaronder de werkgroep warmtetransitieplan die zich richt op het reduceren van het aardgasverbruik voor verwarming in de gebouwde omgeving. De taak van deze werkgroep is gezamenlijk te komen tot een Transitievisie Warmte. Deelnemers aan deze werkgroep zijn onder andere vertegenwoordigers van de gemeenten in de regio, afvalverwerker en warmteleverancier HVC, woningbouwcorporaties, netbeheerder Stedin en de provincie Zuid-Holland. De opdracht van de werkgroep Warmtetransitieplan is: *‘Een gedragen procesplan opleveren waarin beschreven wordt hoe gemeenten in de Drechtsteden samen met stakeholders gaan komen tot warmtetransitieplannen in 2021’*. Onderdeel hiervan is een analyse van de technische en economische mogelijkheden voor een aardgasloze invulling van de toekomstige warmtevoorziening in de regio.

Dergelijke vraagstukken spelen al langer binnen Nederland en om het nationale beleid hierover te adviseren heeft het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) het Vesta MAIS model ontwikkeld. Dit rekenmodel kan input geven voor het besluitvormingsproces omtrent de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving, door de gevolgen van verschillende technische en/of beleidsmatige keuzes in beeld te brengen. Het leent zich voor verkenningen van het techno-economisch potentieel van energiebesparing en alternatieve verwarmingsmethoden. Dit kunnen bijvoorbeeld hoge-temperatuur warmtenetten, lage-temperatuur warmtenetten, of individuele elektrische warmtepompen zijn.

Het doel van deze studie is om bij te dragen aan de analysefase van de werkgroep warmtetransitieplan van de regio Drechtsteden. Vesta MAIS heeft eerder met succes kunnen bijdragen aan de kennisvergaring rondom verduurzaming van de warmtevoorziening in een casestudie met de gemeente Utrecht⁹. De voorliggende studie is een tweede casestudie naar de mogelijke bijdrage van Vesta MAIS aan de

⁵ Basisregistraties Adressen en Gebouwen (BAG) – Het Kadaster – voorraadstand 08-01-2018

⁶ Energiestrategie Drechtsteden Energieneutraal 2050 (september 2017) via https://www.drechtsteden.nl/dds/up/ZodsastJcE_Energiestrategie_definitief.pdf

⁷ Energiestrategie Drechtsteden Energieneutraal 2050 (september 2017). Via www.drechtsteden.nl/energiestrategie

⁸ Drechtsteden Energieneutraal 2050, Samenwerkingsagenda 2018. Dynamisch werkdocument voor de uitwerking van de Energiestrategie (16 februari 2018)

⁹ Ruud van den Wijngaart, Steven van Polen en Bas van Bommel (PBL) & Mirjam Harmelink (Harmelink consulting) - Potentieel en kosten klimaatneutrale gebouwde omgeving in de gemeente Utrecht - Verkenning met het Vesta MAIS ruimtelijk energiemodel voor de gebouwde omgeving. (18 juli 2018)

totstandkoming van een regionale Transitievisie Warmte. Dit gebeurt op een participerende wijze waarbij de onderzoekers deelnemen aan de gesprekken in de werkgroep, om gezamenlijk met de stakeholders in de regio tot een zo goed mogelijk beeld te komen over de manier waarop de doelstellingen van de warmtetransitie concreet kunnen worden gemaakt en welke kennisvraag daarbij op tafel ligt. Met behulp van Vesta MAIS kan worden bijgedragen aan deze kennisvraag. Daarnaast wordt met deze studie ervaring opgedaan met de toepassing van dit rekenmodel, om in de toekomst een betere bijdrage te kunnen leveren aan besluitvormingsprocessen in de energietransitie.

Voor regionale toepassing van het Vesta MAIS model is het essentieel dat de invoerwaarden overeenkomen met de uitgangspunten van de regio. Daarom begint de regionale analyse met een verrijking van de dataset, welke als input dient voor de regionale berekeningen. Daarmee is dit onderzoek ook een verdiepingsslag op eerder onderzoek van onderzoeksbureau Over Morgen uit 2017, dat heeft geresulteerd in de warmtetransitieatlas met een vlekkenplan voor de regio Drechtsteden¹⁰. Met een invulling van de brondata van Vesta MAIS die specifiek is gericht op de regio wordt vervolgens op gebouw- en wijkniveau de rentabiliteit van verschillende besparingsmaatregelen en alternatieve verwarmingstechnieken berekend.

De eerste onderzoeksvraag waar deze studie antwoord op geeft is het vinden van het maatschappelijk meest kosteneffectieve pakket technische maatregelen waarmee een aardgasvrije gebouwde omgeving kan worden gerealiseerd. Daarbij is in kaart gebracht welke gevolgen een aantal onzekere factoren in de toekomst zouden kunnen hebben voor de maatschappelijke kosteneffectiviteit van dit maatregelenpakket.

De tweede onderzoeksvraag waar deze studie antwoord op geeft is het vinden van manieren om het maatschappelijk meest kosteneffectieve pakket technische maatregelen, rendabel te maken voor eindgebruikers door de inzet van beleidsinstrumenten. Deze studie verkent zowel de potentiële impact van individuele instrumenten, als een voorbeeldscenario waarin met een combinatie van verschillende beleidsinstrumenten de doelstelling van de warmtetransitie wordt benaderd. Bij dit voorbeeldscenario wordt ook een indicatie van de kostenverdeling gegeven.

Deze studie is uitgevoerd vanuit het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) als stageonderzoek door Folckert van der Molen, met medewerking van Ruud van den Wijngaart, Steven van Polen en Bas van Bommel (allen PBL).

1.2 Doelstelling voor de regio

Een noodzakelijk onderdeel van het proces voorafgaand aan het opstellen van de Transitievisie Warmte is het definiëren van de kennisvraag. Ten eerste is het nodig voor deze studie een scherpe afbakening vast te stellen van de doelen die nagestreefd worden. Verschillende formuleringen van doelstellingen kunnen op elkaar lijken, maar ogenschijnlijk kleine verschillen kunnen grote gevolgen hebben voor de vormgeving van de doorrekeningen. Zo zit er bijvoorbeeld een aanzienlijk verschil tussen een energieneutrale warmtevoorziening en een klimaatneutrale energievoorziening (zie hieronder).

Ten tweede is het ook van belang om te realiseren dat er verschillende normatieve vragen moeten worden meegenomen in de definitie van de kennisvraag. Normatieve deelvragen zijn bijvoorbeeld de vaststelling wat een 'eerlijke' kostenverdeling is, of wat een 'acceptabele' onzekerheid is. Om deze reden

¹⁰ Over Morgen (2017). Warmte Transitie Atlas – Drechtsteden. <http://data.overmorgen.nl/drechtsteden>

zijn er binnen dit onderzoek gezette momenten geweest waarop de bevindingen zijn teruggekoppeld aan de werkgroep om dergelijke beslissingen te maken.

De energietransitie als geheel is niet te vatten in één doelstelling, maar bevat verschillende typen doelstellingen. De primaire drijfveer achter de energietransitie is de reductie van broeikasgassen, met een focus op CO₂. In het vaststellen van de doelstelling wordt vaak gesproken over 'energieneutraliteit' of 'klimaatneutraliteit'. Dit lijken synoniemen, maar er zitten belangrijke verschillen tussen deze definities. Klimaatneutraal betekent dat de energievoorziening netto geen impact heeft op de opwarming van de aarde, wat wil zeggen dat alle gebruikte energie van duurzame bronnen afkomstig is, of dat de uitstoot wordt gecompenseerd. Energieneutraal daarentegen betekent dat er netto evenveel energie wordt gebruikt als opgewekt.

Toegepast op de regio Drechtsteden zou energieneutraliteit betekenen dat alle gebruikte energie binnen de eigen regio opgewekt moet worden. Los van de technische mogelijkheden hiervoor, is het de vraag of dat de optimale invulling is van schaarse ruimte en aanwezige hulpbronnen. Het definiëren van een klimaatneutrale doelstelling voor de langetermijn ligt daarom meer voor de hand. Hierbij blijft het beperken van opwarming als einddoel gehandhaafd maar wordt de herkomst van de gebruikte energie in breder perspectief bepaald. Na gesprekken met de werkgroep warmtetransitieplan van de regio Drechtsteden is besloten dat de doelstelling in het kader van dit onderzoek wordt geïnterpreteerd als een verschuiving van het gebruik van CO₂-intensieve technieken en energiedragers naar meer duurzame alternatieven waarbij als randvoorwaarde geldt dat het stijgende gebruik van deze alternatieven in proportie moet zijn met de opwekkingscapaciteit in de eigen regio.

In de gebouwde omgeving is de belangrijkste CO₂-opgave het verminderen van het aardgasverbruik, door energiebesparing of door over te stappen op duurzame alternatieven. Deze opgave formuleren tot een doelstelling kan op twee manieren: Ofwel met een doel voor een aantal gebouwen dat (jaarlijks) van aardgas wordt afgesloten, ofwel als een hoeveelheid aardgas (in PJ per jaar) die wordt bespaard. Het tweede type doelstelling is een directe vertaling van de CO₂-doelstellingen mits het alternatief minder emissies met zich meebrengt. De eerste kan variëren in hoe groot het klimaateffect is afhankelijk van welke gebouwen aardgasvrij worden, omdat gebouwen een sterk uiteenlopende warmtevraag hebben. In deze studie worden beide gebruikt om de effecten van verschillende scenario's te laten zien, waarbij geldt dat het verminderen van de CO₂-uitstoot door het terugdringen van het aardgasverbruik het einddoel is.

De doelstelling die in deze studie wordt gehanteerd is daarmee een interpretatie van de verschillende doelen uit de regionale Energiestrategie 2050, de Samenwerkingsagenda 2018, en de verschillende nationale en supranationale energie- en emissiedoelstellingen. Deze is hier afgebakend als:

'Het realiseren van een toekomstige warmtevoorziening binnen de gebouwde omgeving in de regio Drechtsteden waarbij in 2035 90% minder aardgas wordt gebruikt dan in 2015.'

Hoewel het doel uiteindelijk een 100% reductie van het aardgasgebruik is, wordt hier een tussendoel geformuleerd van 90% aardgasreductie in 2035. De reden hiervoor is dat de overige 10% van de aardgasvraag voortkomt uit de meest ingewikkelde gebouwen om aardgasloos te verwarmen. Dit vraagt om maatwerk in plaats van een modelmatige benadering. De oplossing voor deze gebouwen kan ook later in de transitie worden bepaald wanneer meer informatie beschikbaar is, bijvoorbeeld over de inzet van innovatieve technieken.

1.3 Bijdrage van deze studie

Het Vesta MAIS rekenmodel wordt in deze studie ingezet om mogelijke transitiepaden te analyseren waarmee de paragraaf 1.2 genoemde doelstelling gehaald kan worden. Dit dient in de analysefase van de werkgroep warmtetransitieplan om inzicht te krijgen in welke mogelijkheden er zijn en welke keuzes gemaakt moeten worden. Er wordt een aantal scenario's opgesteld voor de regionale warmtetransitie in de regio Drechtsteden en deze worden vergeleken op basis van de toegepaste technische maatregelen, behaalde energiebesparing, de toekomstige vraag naar verschillende energiedragers, en kosten die aan de transitie verbonden zijn.

De technische maatregelen die aan dit doel kunnen bijdragen zijn te onderscheiden in twee typen maatregelen, namelijk besparingsmaatregelen waardoor de warmtevraag van gebouwen daalt (isolatie en ventilatie) en warmteopties die kunnen worden ingezet als alternatief voor verwarming met behulp van individuele aardgasgestookte ketels. Beide typen maatregelen zullen een rol spelen bij de warmtetransitie. Een belangrijke stap bij het opstellen van de Transitievisie Warmte is het bepalen van welke technische maatregel waar wordt ingezet. Dit wordt in deze studie het 'technisch eindbeeld' genoemd, en dit eindbeeld beschrijft de warmtevoorziening in 2035 nadat een pakket technische maatregelen is uitgevoerd.

De keuze voor een technische maatregel heeft gevolgen voor de hoogte van de kosten en bij welke actoren of groepen actoren deze kosten terecht komen. Daarnaast zit er verschil tussen technische maatregelen o.b.v. schaalniveau: sommige technische maatregelen kunnen op individueel niveau worden uitgevoerd waar andere een collectieve planmatige aanpak vereisen. Dergelijke inherente verschillen kunnen een rol spelen binnen de uiteindelijke afweging van de werkgroep. Het is dan ook noodzakelijk om een afwegingskader vast te stellen voor de vraag welke technische maatregel waar wordt toegepast.

Het belangrijkste vereiste waarmee rekening wordt gehouden binnen deze studie is maatschappelijke kosteneffectiviteit. Deze maatschappelijke kosteneffectiviteit houdt in dat het aardgasreductiedoel bereikt wordt tegen zo laag mogelijke totale maatschappelijke kosten. Dit is de situatie waarin de doelstellingen worden behaald tegen de laagst mogelijke kosten voor de Nederlandse maatschappij als geheel. In het geval van de regio Drechtsteden wordt dit geïnterpreteerd als de kosten voor alle actoren in de regio en de nationale overheid. Deze benadering laat de verdeling van de kosten onder deze actoren in de eerste onderzoeksfase in het midden. In de tweede onderzoeksfase wordt bekeken hoe het maatschappelijk meest kosteneffectieve technisch eindbeeld ook in een benadering met kosten voor eindgebruikers kan worden behaald. Hierbij is er ook aandacht voor de verdeling van kosten en baten tussen verschillende groepen actoren.

Dit rapport beschrijft in hoofdstuk twee de vormgeving van het onderzoeksproces. Hoofdstuk drie bevat een beschrijving van de gehanteerde methodes, uitgesplitst naar een beschrijving van het rekenmodel, de stappen van dataverrijking, de opbouw van de scenario's, en een toelichting van de geselecteerde beleidsinstrumenten. Hoofdstuk vier laat de resultaten van de doorrekeningen zien, met in hoofdstuk vijf vervolgens de conclusies die voortkomen uit deze studie.

2. Proces

Dit hoofdstuk beschrijft de verschillende fases in het proces die zijn gezet binnen deze studie. Er wordt zowel aangegeven welke doorrekeningen zijn gedaan, als op welke manier de stakeholders in de werkgroep warmtetransitieplan hebben bijgedragen en welke keuzes er gezamenlijk zijn gemaakt. Gestart wordt met een beschrijving van de onderzoeksopzet waarbij in hoofdlijnen wordt beschreven welke stappen er worden gezet binnen het onderzoek. Daarna volgen de randvoorwaarden voor de eindresultaten zoals die naar voren zijn gekomen uit gesprekken met de stakeholders in de werkgroep warmtetransitieplan. Vervolgens zijn de berekeningen in deze studie opgedeeld in een eerste en tweede onderzoeksfase. Tussen deze rondes in is ook feedback gegeven door de stakeholders en zijn door de werkgroep een aantal normatieve beslissingen genomen.

2.1 Onderzoeksopzet

Alvorens te beginnen aan de doorrekeningen worden er gesprekken gevoerd met de stakeholders in de werkgroep. In deze gesprekken wordt uitgezocht wat de randvoorwaarden zijn die zij stellen aan de warmtetransitie, en welke gevoeligheden voor de stakeholders belangrijk zijn. Daarnaast worden er waar mogelijk regiospecifieke data verzameld om de dataset van Vesta MAIS te verrijken en bestaat er ook de mogelijkheid om kengetallen uit te wisselen. De inzichten en data die in deze gesprekken worden verzameld worden indien mogelijk verwerkt in de doorrekeningen.

In de eerste onderzoeksfase wordt een aantal scenario's voor een aardgasloze warmtevoorziening in de gebouwde omgeving verkend. Deze scenario's verschillen van elkaar in de prioriteit die aan verschillende technische maatregelen wordt gegeven en in aannames over de toekomstige beschikbaarheid van lokale warmtebronnen. De scenario's worden opgesteld op basis van de laagst mogelijke maatschappelijke kosten waarbij een theoretische maatschappelijke prijs voor CO₂-emissies mee wordt gerekend. Deze prijs wordt gesteld op dat niveau waar het aardgasverbruik van de gebouwde omgeving met minimaal 90% gereduceerd wordt in het eindbeeld van het scenario ten opzichte van het startjaar. De hoogte van deze CO₂-prijs en hoe deze wordt bepaald wordt verder uiteengezet in paragraaf 3.3. Deze fase van het onderzoek leidt uiteindelijk tot een 'maatschappelijk kosteneffectief eindbeeld', het technisch eindbeeld van het scenario dat met het gehanteerde afwegingskader leidt tot het behalen van het doel van de warmtetransitie tegen de laagste totale maatschappelijke kosten. Dit geeft ook inzicht in wat de meest kosteneffectieve schaalniveaus zijn om voor verschillende gebieden een aardgasvrije warmtevoorziening te realiseren: op CBS-buurniveau, per cluster gebouwen, of op gebouwniveau. Om inzicht te krijgen hoe robuust deze resultaten zijn voor toekomstige ontwikkelingen die nu nog niet vast staan worden er gevoeligheidsanalyses uitgevoerd voor een aantal aannames. Hierbij wordt geanalyseerd wat het effect is van aanpassingen in deze variabelen, waarbij de impact van verschillende aannames op de resultaten wordt weergegeven.

Vervolgens wordt in de tweede onderzoeksfase met een eindgebruikers-kostenbenadering in kaart gebracht wat de impact van beleidsinstrumenten kan zijn op de realisatie van verschillende technische maatregelen. In overleg met de werkgroep is een aantal instrumenten geselecteerd waarmee wordt gerekend. Het doel van deze instrumenten is om in een benadering op basis van zo laag mogelijke kosten voor eindgebruikers het maatschappelijk eindbeeld te realiseren. Nadat de effecten van individuele beleidsmaatregelen in beeld zijn gebracht, is naar aanleiding van die resultaten vervolgens een indicatieve combinatie van beleidsinstrumenten opgesteld in overleg met de werkgroep waarmee de doelstellingen van de warmtetransitie binnen bereik komen. Van dit laatste scenario waarin met gecombineerde

beleidsinstrumenten 85% reductie van aardgasverbruik in gebouwen wordt benaderd wordt ook een indicatief overzicht gegeven van de bijbehorende kostenverdeling over de betrokken actoren.

2.2 Randvoorwaarden vanuit de werkgroep

Tijdens de gesprekken met de partijen in de warmtetransitie-werkgroep en aan de hand van de Energiestrategie Drechtsteden zijn er een aantal zaken naar voren gekomen die niet in dit onderzoek modelmatig kunnen worden meegenomen maar die wel van belang zijn voor het totaalbeeld. Deze randvoorwaarden zijn eisen aan het eindbeeld van de warmtetransitie aan de hand waarvan onder meer kan worden bepaald of de uitkomst van een scenario acceptabel is. De range waarbinnen deze variabelen acceptabel zijn in het eindbeeld is aan het oordeel van warmtetransitie-werkgroep, en daarom zal dit dus verder niet hier worden meegenomen.

De eerste randvoorwaarde is het aantal aansluitingen per warmtenet. Er geldt dat er een minimaal aantal aansluitingen nodig is voordat een warmtenet op hoge temperatuur kan worden aangelegd. Deze grens ligt bij 5000 aansluitingen. Omdat dit niet modelmatig als vereiste kan worden vastgelegd moet achteraf gecontroleerd worden of aan het minimumaantal is voldaan per warmtenet. Deze ondergrens is vastgesteld op basis van een warmtenet dat wordt gevoed uit een reguliere geothermiebron. Het is niet zo dat er pas gestart kan worden met een warmtenet wanneer er 5000 woningen zijn die direct worden aangesloten maar er moet zicht zijn op een warmtenet van 5000 woningen in het eindbeeld, en het groeipad daarnaartoe mag niet te lang zijn. In deze studie wordt verder niet naar de groeipaden van warmtenetten gekeken maar alleen naar het eindbeeld.

De tweede randvoorwaarde is dat de kosten die gemaakt worden door de netbeheerder voor het aanpassen van de energie-infrastructuur binnen bepaalde perken moeten blijven. Wat acceptabele extra kosten zijn is aan het oordeel van de werkgroep warmtetransitieplan en zal verder in deze studie niet worden vastgesteld. Indien er in bepaalde gebieden een grote stijging van de elektriciteitsvraag is kan het bijvoorbeeld nodig zijn dat de elektriciteitsnetten worden verzwaaard. Deze infrastructurele aanpassingen zijn onder andere ook afhankelijk van de ontwikkeling van elektrisch vervoer in de regio en kunnen derhalve niet modelmatig worden meegenomen. In een later stadium (buiten deze studie) kunnen deze kosten nauwkeurig door Stedin worden berekend. In deze studie wordt een voorlopige inschatting gedaan op basis van het toegenomen elektriciteitsgebruik t.b.v. de warmtevoorziening voor de kosten van eventuele netverzwaring. Deze kosten worden meegewogen als maatschappelijke kosten.

De derde randvoorwaarde is dat het aardgasnet in de regio op een verstandige manier dient te worden afgebouwd. Dit houdt in dat netten die de technische levensduur hebben bereikt niet meer worden vervangen tenzij er geen alternatief mogelijk is. Modelmatig is dit binnen deze studie niet gesimuleerd. Om dit in beeld te krijgen zou in een later stadium het technische maatregelenpakket van het op dat moment meest aannemelijke scenario naast de leeftijden van de aardgasnetten moeten worden gelegd om te controleren of aan deze voorwaarden kan worden voldaan.

De vierde randvoorwaarde is dat over het geheel het technische maatregelenpakket van een scenario niet mag leiden tot een te hoge resterende energievraag. De warmtetransitie moet plaatsvinden binnen een bredere energietransitie waarbij de regio Drechtsteden de ambitie heeft in 2050 volledig klimaatneutraal te zijn. Een te hoge elektriciteitsvraag in de gebouwde omgeving zou deze doelstellingen moeilijker te behalen maken. Dit kan betekenen dat er uiteindelijk wordt gekozen om de rol van elektrische warmtepompen te beperken omdat deze zorgen voor een hogere elektriciteitsvraag. Wat een

acceptabele resulterende elektriciteitsvraag is in het technisch eindbeeld uiteindelijk aan het oordeel van de werkgroep warmtetransitieplan van de regio.

2.3 Eerste onderzoeksfase

In deze onderzoeksfase zijn vijf scenario's doorgerekend. Het eerste scenario, het referentiebeeld, geeft inzicht in de warmtevoorziening van de gebouwde omgeving in de regio wanneer bij ongewijzigd beleid alle voor eindgebruikers rendabele maatregelen worden genomen. Het toont de veranderingen die plaatsvinden tot 2035 indien alleen rendabele maatregelen worden genomen. De overige vier doorrekeningen zijn scenario's waarin het aardgasverbruik in 2035 met minimaal 90% is teruggedrongen. De scenario's verschillen in de strategie waarmee de warmtetransitie wordt ingezet. Deze scenario's worden hier kort beschreven en verder uiteengezet in de paragrafen 4.1.1 tot en met 4.1.5. Op deze scenario's is vervolgens ook een aantal gevoeligheidsanalyses uitgevoerd.

2.3.1 Scenario's

In twee scenario's getiteld 'Energiebesparing' wordt de transitie ingezet vanuit de filosofie dat er eerst zo veel mogelijk energie moet worden bespaard en vervolgens de resterende warmtevraag zo duurzaam mogelijk moet worden ingevuld. De twee scenario's getiteld 'Collectief' gaan uit van een andere filosofie waarin eerst de aanwezige warmtebronnen zo breed mogelijk moeten worden benut, om vervolgens voor de gebouwen waar op deze manier geen collectieve verwarmingsoplossing wordt gevonden een zo duurzaam mogelijk alternatief te vinden.

De uitgangspunten van de scenario's 'Energiebesparing' en 'Collectief' zijn in hun meest rigide vorm twee uitersten. Ze geven inzicht in extreme gevallen waarbij grote voorkeur wordt gegeven aan een specifieke techniek. Deze scenario's zijn daarom elk ook in een meer genuanceerde variant doorgerekend. Deze twee aanvullende scenario's hebben een meer gevarieerde inzet van technieken en brengen daarmee ook realistischer in beeld wat de gevolgen kunnen zijn van een inzet van de een of de andere technische warmteoptie. Binnen de strategie 'Energiebesparing' wordt daarom onderscheid gemaakt tussen het extreme scenario 'Energiebesparing – Elektrisch' en de meer genuanceerde variant 'Energiebesparing – Lage Temperatuur'. De strategie 'Collectief' is opgedeeld in het extreme scenario 'Collectief – Hoge Temperatuur' en het meer genuanceerde scenario 'Collectief – Warmteladder'.

Deze scenario's kunnen met het referentiebeeld als achtergrond met elkaar worden vergeleken op een aantal indicatoren. Dit kan zijn op basis van resulterende aardgas- elektriciteits- en warmtevraag, op basis van de ruimtelijke inzet van verschillende technieken, of op basis van het maatschappelijke kostenoverzicht (zie voor deze resultaten hoofdstuk 5, sectie 5.1.1 t/m 5.1.6). Deze afwegingen leiden vervolgens tot het beoordelen van welk scenario door de werkgroep warmtetransitieplan van de regio wordt gezien als 'maatschappelijk meest gunstig'. Het pakket technische maatregelen in het gekozen scenario wordt daarmee voor de volgende onderzoeksfase vastgesteld als het maatschappelijk wenselijke technisch eindbeeld, op grond van maatschappelijke kosteneffectiviteit.

2.3.2 Gevoeligheidsanalyses

De uitkomsten van het meest maatschappelijk kosteneffectieve scenario zijn onderworpen aan een aantal gevoeligheidsanalyses. Deze gevoeligheidsanalyses betreffen een aantal aannames die invloed kunnen hebben op het pakket technische maatregelen dat toegekend wordt in het technisch eindbeeld van de maatschappelijke doorrekening. Er wordt gekeken naar wat het gesimuleerd technisch eindbeeld wordt van het maatschappelijk meest gunstige scenario onder andere condities dan de aannames zoals die zijn gehanteerd bij de doorrekeningen van paragraaf 2.3.1. In deze stap wordt nog steeds met een

maatschappelijke kostenbenadering gewerkt. Dezelfde prioritaire volgorde voor technieken wordt gehanteerd maar er wordt een andere inschatting gedaan voor vier onzekere factoren. Deze selectie is een uitkomst van gesprekken met de stakeholders in de werkgroep warmtetransitieplan. De gekozen gevoeligheden zijn:

- De toekomstige ontwikkeling van investeringskosten van technische maatregelen.
- Het aandeel gebouwen per buurt dat kiest voor een warmtenet indien aangeboden.
- Isolatie van gebouwen naar maximaal B in plaats van maximaal A+.
- De verhouding tussen piek- en basislast in de warmteproductie voor warmtenetten.

2.4 Tweede onderzoeksfase

De tweede onderzoeksfase bestaat uit twee onderdelen: Een verkenning van de effecten van individuele beleidsinstrumenten en een scenario waarin de doelstelling wordt behaald met gecombineerde beleidsinstrumenten. Van dit laatste scenario wordt ook een kostenoverzicht gegeven.

2.4.1 Individuele beleidsinstrumenten

Voor deze doorrekeningen wordt de overstap gemaakt van afwegingen op basis van maatschappelijke kosten naar afwegingen op basis van eindgebruikerskosten. Het doel is te achterhalen in welke mate een aantal geselecteerde beleidsinstrumenten kan bijdragen aan het uitvoeren van de technische maatregelen waarvan in de scenario's van de eerste onderzoeksfase is gebleken dat ze maatschappelijk kosteneffectief zijn. Hiervoor zijn vier beleidsinstrumenten geselecteerd in overleg met de stakeholders in de werkgroep:

- Verschuiving van de energiebelasting van elektriciteit naar aardgas
- Subsidie op gebouwmaatregelen, waaronder schilisolatie en warmtepompen
- Subsidie op warmte-infrastructuur, waaronder primair transport en wijkdistributie
- Een verhoging van de warmteprijs ten opzichte van de aardgasprijs t.b.v. warmtenetten

2.4.2 Gecombineerde beleidsinstrumenten

Zodra in beeld is wat de effecten van deze vier instrumenten afzonderlijk zijn worden ze in combinatie doorgerekend. Het doel is om zo concreet mogelijk vast te stellen wat er nodig is aan steun of randvoorwaarden vanuit de overheid om de technische maatregelen uit het maatschappelijk kosteneffectieve eindbeeld rendabel te maken voor gebouweigenaren en warmtebedrijven onder de condities van de eindgebruikersbenadering. Hierbij komen verschillende hoogtes van beleidsinstrumenten aan bod.

Bij dit onderdeel is samen met de werkgroep warmtetransitie een pakket beleidsmaatregelen samengesteld waarin de doelstelling voor reductie van de aardgasvraag in meer of mindere mate wordt gehaald. Dit is een combinatie van beleidsinstrumenten die genoemd zijn in de vorige paragraaf. Voor deze instrumenten wordt vervolgens weergegeven wat het effect is op de aardgasvraag en het aantal gebouwen dat onder die condities kan worden afgesloten van het gasnet.

Bij dit scenario met een pakket gecombineerde beleidsmaatregelen worden ook indicaties gegeven van de gevolgen voor de kostenverdeling. Zo wordt de effectiviteit van verleende subsidies in beeld gebracht, en daaropvolgend ook de veranderende kosten die verschillende groepen actoren maken als gevolg van de inzet van de geselecteerde beleidsinstrumenten en het technische maatregelenpakket dat daarmee wordt mogelijk gemaakt. Hierin zijn de gesimuleerde kosten weergegeven voor warmtebedrijven, gebouweigenaren, gebouwgebruikers, en in zekere mate ook voor de overheid.

3. Methode

Dit hoofdstuk beschrijft de algemene werking van Vesta MAIS¹¹. Dit is opgesplitst in twee gedeelten. Ten eerste worden in sectie 3.1 de aannames en rekenmethoden van het model toegelicht, met vervolgens in sectie 3.2 een overzicht van de belangrijkste elementen van de invoerdata. Binnen het eerste gedeelte over aannames en rekenmethoden wordt beschreven welke technische maatregelen in Vesta MAIS zijn gemodelleerd en welke aannames daarbij worden gedaan. Daarbij wordt ook de afwegingsmethodes beschreven waarmee technische maatregelen worden toegekend. Ook wordt hier beschreven welke beperkingen het model kent en welke kanttekeningen er gelden bij de uitkomsten. Het tweede gedeelte van dit hoofdstuk over de gebruikte invoerdata beschrijft de bron van de default-invoer van Vesta MAIS, en waar toepasbaar de wijze waarop die voor deze studie is verrijkt of gevalideerd.

3.1 Werking Vesta MAIS

Vesta MAIS simuleert de warmtevoorziening als ruimtelijk systeem. Voor deze studie wordt die simulatie beperkt tot alleen de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving in de regio Drechtsteden. De gebouwde omgeving wordt gedefinieerd als collectie modelobjecten die overeenkomen met een woning, utiliteitsgebouw, of glastuinbouwbedrijf. Aan elk van deze objecten wordt een warmtevraag toegekend, op basis van het bouwjaar, het energielabel en het type gebouw. Met een gebouwtype worden verschillende typen utiliteitsbouw (zoals scholen of kantoren) of woningbouw (zoals flat en rijtjeshuizen) bedoeld. Er wordt vanuit gegaan dat de warmtevraag van gebouwen wordt voorzien met individuele aardgasgestookte ketels, tenzij bekend is dat in een bepaalde buurt stadsverwarming aanwezig is. Ook wordt een inschatting gedaan van de elektriciteitsvraag per object. Dit alles laat zich op regioniveau vertalen in een ruimtelijke verdeling van de energievraag in aardgas, warmte en elektriciteit.

Met deze ruimtelijke uitdrukking van de energievraag kunnen met Vesta MAIS vervolgens stapsgewijs afwegingen worden gemaakt voor verschillende technische maatregelen die ingrijpen op de warmtevoorziening. Deze afweging wordt gedaan op basis van rentabiliteit. Dat wil zeggen dat de investeringskosten van een technische maatregel worden vergeleken met de termijn waarop deze kan worden terugverdiend. Met behulp van de rentevoet van de actor die de investering zou moeten doen wordt afgewogen of een maatregel voldoende oplevert om de investering te kunnen rechtvaardigen, en indien deze afweging een sluitende businesscase oplevert wordt de maatregel toegekend. De twee belangrijkste groepen actoren zijn gebouweigenaren die isolatiemaatregelen of individuele verwarmingsopties toepassen, en warmteleveranciers die warmtebronnen creëren en gebieden daarmee aansluiten op stadsverwarming. Met behulp van Vesta MAIS wordt een afweging gemaakt tussen vier categorieën van technische maatregelen: Energiebesparing, Elektrische verwarming, hoge-temperatuur (HT) warmtenetten, en lage-temperatuur (LT) warmtenetten. In paragraaf 3.1.1 tot en met paragraaf 3.1.4 wordt verder ingegaan op wat onder deze technische maatregelen wordt verstaan in deze studie.

3.1.1 Energiebesparing

Energiebesparing wordt gemodelleerd als schilsprongen naar een hoger energielabel. Een sprong betekent een verbetering van de gebouwefficiëntie voor warmteverbruik zodat er minder warmte of

¹¹ Hier wordt een beknopte beschrijving gegeven waarin met name zaken die direct van belang zijn voor dit rapport worden behandeld. Voor een complete beschrijving van de invoerdata van het Vesta MAIS rekenmodel zie ook: Ruud van den Wijngaart, Steven van Polen en Bas van Bommel (18 december 2017), *Het Vesta MAIS ruimtelijk energiemodel voor de gebouwde omgeving – algemene beschrijving*. PBL, Den Haag. Beschikbaar via www.pbl.nl/vesta.

aardgas hoeft te worden afgenomen om in de warmtevraag te voorzien. Dit omvat zowel isolatie- als ventilatieverbeteringen. Er zijn drie energielabels waarnaar een gebouw kan 'springen'. De laagste is een tussenlabel tussen het huidige schillabel en B in. Dit correspondeert tot een minimale besparing waarin relatief kleine, goedkope maatregelen worden genomen die de energieprestatie van een gebouw al enigszins verbeteren, en vanuit waar men later verder kan verbeteren naar een hoger schillabel. Een verdere sprong zou zijn naar schillabel B, op dit niveau is de woning redelijk goed geïsoleerd door bijvoorbeeld over te stappen naar HR++ glas in de kozijnen en het aanbrengen van spouwmuurisolatie. Verdere isolatie naar A+ maakt de woning zeer goed geïsoleerd. Hiervoor moet een extra laag isolatie worden aangebracht aan de vloeren, daken en gevels, aan de buitenkant ofwel de binnenkant van het gebouw¹². Woningen met label A+ komen in aanmerking voor LT-warmtenetten en elektrische verwarming, omdat die technieken zeer lage efficiëntie behalen als ze hoge temperaturen moeten leveren. In realiteit is de toepasbaarheid van verschillende verwarmingsmethoden afhankelijk van meerdere factoren, modelmatig is dit echter versimpeld tot een harde grens waarbij gebouwen met schillabel G tot B verwarming op hoge temperaturen nodig hebben (70 tot 90 °C) en dat in gebouwen die tot minimaal A+ zijn geïsoleerd kan worden volstaan met verwarming van maximaal 60 °C.

3.1.2 Elektrische verwarming

Op individuele basis kunnen gebouweigenaren van zeer goed geïsoleerde gebouwen kiezen voor elektrische verwarming als alternatief voor een aardgasgestookte ketel. In dat geval worden de investeringskosten (zoals o.a. de aanschaf van een set lage-temperatuur radiatoren en een elektrische verwarmingsinstallatie) en de kosten voor het onderhoud, beheer en elektriciteitsgebruik, afgewogen tegen de bespaarde kosten van aardgas. In de praktijk betekent een elektrische verwarmingsinstallatie doorgaans een elektrische warmtepomp. Warmtepompen hebben hoge investeringskosten, die kunnen oplopen tot € 15.000¹³ per installatie. Samen met de benodigde isolatie tot A+ en de installatie van een lage-temperatuur afgiftesysteem, kunnen de totale projectkosten oplopen tot rond de € 60.000 per woning¹⁴. Daardoor is er in de huidige situatie vaak nog geen sluitende businesscase te maken voor volledige elektrische verwarming van bestaande woningen. In nieuwbouwwoningen is dit vaker het geval. Deze techniek zou in de toekomst een belangrijke rol kunnen spelen als de kosten afnemen, als de elektriciteitsprijs daalt, of als de aardgasprijs stijgt. Gebouwen met een volledig elektrische warmtevoorziening worden ook wel All-Electric (AE) genoemd omdat er alleen een elektriciteitsaansluiting is en er geen andere energiedragers worden geleverd.

3.1.3 Lage Temperatuur (LT)-warmtenetten

Er bestaan veel verschillende typen LT-warmtenetten, met verschillende bronnen en temperatuurniveaus. Voor de toekomst is het ook aannemelijk dat er nog meer soorten worden ontwikkeld die passen bij de

¹² Energielabel B komt hier voor woningen overeen met een Rc-waarde van circa 2,5. A+ komt voor woningen overeen met Rc waarden rond de 4,5 tot 5,0. Voor meer achtergrond bij wat deze isolatieniveaus inhouden en hoe die in Vesta MAIS zijn gemodelleerd zie: PBL & CE Delft (2013), Uitbreidingen en dataverificaties Vesta 2.0. Voor utiliteit gelden andere waarden, zie daarvoor ECN & EIB (2016), Ontwikkeling energiekentallen utiliteitsbouw.

¹³ Voor de kosten van een individuele elektrische warmtepomp (w/w) exclusief afgiftesysteem, wordt in Vesta MAIS een range aangehouden tussen € 10591 en € 15149 per apparaat (CPI 2015). De kosten zijn afhankelijk van de eigenschappen van het gebouw en of de aanschaf collectief of individueel verloopt.

¹⁴ Voor de kosten van A+ isolatie met een elektrische warmtepomp bestaan meerdere schattingen. Zie Bijlage A, B en C waarin de kengetallen die worden gehanteerd in Vesta MAIS worden vergeleken met die van Atriensis en Stedin.

lokale omstandigheden. Om dit te versimpelen worden in dit onderzoek verschillende methoden van LT-verwarming onder deze noemer geschaard en wordt een doorrekening gedaan op basis van de kosten van één conventioneel type LT-warmtelevering. Binnen Vesta MAIS wordt deze LT-warmtelevering gedefinieerd als lokale warmtelevering tot 60 °C met een WKO-doublet als primaire bron en centrale opwaardering met behulp van een collectieve elektrische warmtepomp. Er wordt aangenomen dat hiermee alleen gebouwen te verwarmen zijn die zeer goed geïsoleerd zijn (minimaal A+), en worden voorzien van een LT-afgiftesysteem¹⁵.

Waar HT-warmte in Vesta MAIS per buurt wordt toegekend gebeurt dit voor LT-warmte per cluster gebouwen. Daarbij is het mogelijk dat verschillende aangrenzende clusters gezamenlijk worden aangesloten op één LT-warmtenet. In de praktijk komt dit doorgaans neer op 200 tot 5000 woningen per net, maar kleiner is ook mogelijk. Een groot utiliteitsgebouw zou bijvoorbeeld ook een eigen LT-warmtevoorziening kunnen aanleggen. Een LT-warmtenet gebruikt in de doorrekeningen als bron een ondiep bodemsysteem voor Warmte en Koudeopslag (WKO). In de praktijk zou dit ook in combinatie met een aanvullende bron zoals bijvoorbeeld oppervlaktewater of afvalwater kunnen worden uitgevoerd. Het bronsysteem levert een basistemperatuur op die vervolgens elektrisch wordt opgewerkt tot rond de 60 graden om daarmee gebouwen van verwarming en warm water te voorzien. Deze extra elektrische verwarming kan in sommige gevallen gebeuren met individuele warmtepompen, maar in Vesta MAIS wordt ervan uit gegaan dat dit gebeurt met een collectieve centrale warmtepomp. Omdat LT-warmtenetten lokaal en kleinschaliger zijn, zijn er binnen Vesta MAIS geen grote transportleidingen nodig in deze warmtenetten, maar alleen lokale distributieleidingen en eventueel in pandige leidingen bij gestapelde bouw. Omdat een LT-oplossing gebruik maakt van een ondiep bodemsysteem voor Warmte en Koudeopslag (WKO) is er in Vesta MAIS een kaart opgenomen waarop beperkingen worden gegeven voor op welke locaties wel of niet een WKO-systeem kan worden aangelegd om een LT-net op aan te sluiten. Deze kaart houdt bijvoorbeeld rekening met drinkwaterwinningsgebieden waar dergelijke systemen niet in de bodem aangebracht mogen worden¹⁶.

De kosteninschatting voor LT-warmtenetten zoals die modelmatig wordt gedaan is relatief onzeker, omdat er in Nederland nog relatief beperkte praktijkervaring is met de toepassing van deze technieken. Er zijn voor de toekomst veel verschillende typen LT-warmtenetten voor te stellen, met combinaties van opwekking en opslag die ver uiteenlopen in welke technieken en bronnen worden gebruikt. Er wordt in Vesta MAIS vanuit gegaan dat het LT-warmtenet wordt aangelegd en geëxploiteerd door één warmteleverancier. In de praktijk kan dit de eigenaar van een groot utiliteitsgebouw zijn die voor eigen gebruik een LT-warmtenet aanlegt, maar bijvoorbeeld ook een warmteleveringsbedrijf of een coöperatie van buurtbewoners. De warmteleverancier doet de benodigde investering en verdient deze in de loop der jaren terug met de verkoop van warmte aan de eigenaren van de aangesloten gebouwen. Hierbij geldt dat de Warmtewet voorschrijft dat de maximale warmteprijs voor de afnemer gelijk zal zijn aan de prijs van verwarming met een individuele aardgasketel in een vergelijkbare situatie. Dit wordt ook wel het Niet-Meer-Dan-Anders (NMDA) principe genoemd of de 'aardgasreferentie'. De leverancier kan ervoor kiezen om een lagere prijs voor de geleverde warmte te vragen als de maximumprijs betekent dat er winst wordt

¹⁵ Voor varianten van LT-warmtenetten waarbij tot 70 °C wordt geleverd (ook de midden-temperatuur, of MT genoemd) kan afhankelijk van het type gebouw soms worden volstaan met isolatie tot label A of B, dit is in deze studie niet meegenomen.

¹⁶ Bij gebruik van thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) of afvalwater (TEA) gelden andere beperkingen voor op welke plaatsen de techniek wel of niet toegepast kan worden.

gemaakt. In deze studie wordt in het midden gelaten of en hoe eventuele winst terugvloeit naar de afnemers.

3.1.4 Hoge Temperatuur (HT)-warmtenetten

De hoge-temperatuur stadsverwarming is het meest 'volwassen' alternatief voor individuele aardgasketels; de techniek wordt al lange tijd toegepast in steden. Binnen deze studie wordt deze gedefinieerd als warmtelevering tot 90 °C. Ook bronnen die 70 of 80 °C leveren worden hieronder geschaard, eventueel met centrale opwerking tot een hogere temperatuur. Evenals bij LT-warmtenetten worden de investeringskosten voor bronnen en infrastructuur terugverdiend met warmtelevering aan afnemers door de warmteleverancier. Bij bestaande HT-warmtenetten is de warmteleverancier vrijwel altijd ook eigendom van de warmtebron. Bronnen voor HT-warmte zijn op dit moment vaak elektriciteitscentrales, afvalverwerkingsinstallaties of industriële bedrijven die warmte opwekken als bijproduct van hun bedrijfsproces. Ook duurzamere bronnen zijn mogelijk als hier bijvoorbeeld geothermie¹⁷ of biomassa voor worden gebruikt. Ook behoort het tot de mogelijkheden dat er in de toekomst meerdere bronnen warmte leveren aan hetzelfde warmtenet¹⁸. Een HT-warmtenet bestaat uit primaire transportleidingen waarmee heet water naar de buurt wordt vervoerd en wijkdistributienetten waarmee het naar de individuele gebouwen in de buurt wordt vervoerd. Daarnaast zijn ook in pandige leidingen nodig, vooral in het geval van gestapelde bouw. Een belangrijke investering in een HT-warmtenet is de aanleg van al deze leidingen. De rentabiliteitsoverweging voor de aanleg is dan ook voor een belangrijk deel afhankelijk van de ruimtelijke spreiding van de warmtevraag en de afstand tot de bron. Een hoge dichtheid van warmtevraag op korte afstand van een puntbron betekent een relatief kleine hoeveelheid infrastructuur die moet worden aangelegd voor een grote hoeveelheid warmte die kan worden afgezet wat de rentabiliteitsafweging gunstig maakt, en vice versa. Na de initiële investering zijn de kosten per opgewekte eenheid warmte ook van belang. Hoe hoog deze kosten zijn is onder andere afhankelijk van het type bron, waarbij geothermie bijvoorbeeld vele malen duurder kan zijn dan restwarmte uit een afvalverwerkingsinstallatie. De warmtevraag in een groot HT-warmtenet kan sterk variëren gedurende de dag en gedurende het jaar, met name als er slecht of matig geïsoleerde gebouwen zijn aangesloten. Om een continue warmtelevering te kunnen verzekeren maken deze warmtenetten dan ook gebruik van hulpketels die worden ingeschakeld als de vraag tijdelijk hoger is dan wat de primaire bron kan leveren¹⁹. Omdat deze hulpketels doorgaans gestookt worden met aardgas is dus ook de aardgasprijs een factor van belang voor de rentabiliteitsafweging van HT-warmtenetten. Wat betreft de levering van warmte geldt ook voor HT-netten de aardgasreferentie, welke voorschrijft dat de warmteprijs niet hoger mag zijn voor de gemiddelde afnemer dan verwarming met een individuele aardgasgestookte ketel in een vergelijkbare situatie.

3.1.5 HT-warmtebronnen

In de standaardconfiguratie van Vesta MAIS kent het model meerdere typen HT-warmtebronnen. Naast restwarmtebronnen (waarvan de locatie en de eigenschappen op voorhand vastliggen) kunnen er modelmatig nieuwe locaties worden aangewezen voor te ontwikkelen warmtebronnen met hoge

¹⁷ Binnen geothermie is er verschil tussen ondiepe, reguliere, diepe en ultradiepe geothermie. In de regio Drechtsteden lijkt op basis van onderzoek door HVC vooral potentieel voor reguliere geothermie, en op termijn voor ondiepe.

¹⁸ Warmtenetten met meerdere warmtebronnen zijn mogelijk, maar omdat dit nog geen conventionele techniek is wordt daar in deze studie niet naar gekeken.

¹⁹ Ook in grotere LT-warmtenetten zouden hulpketels op termijn nodig kunnen zijn om de piekvraag op te vangen, al zullen deze pieken naar verwachting kleiner zijn omdat gebouwen met LT-aansluitingen beter geïsoleerd moeten zijn.

temperaturen zoals bijvoorbeeld een biomassacentrale of een geothermieboring. Zo kan het model dynamisch de ontwikkelingen op het gebied van geothermie en biomassaverbranding en de daarmee gevoede warmtenetten simuleren. Voor de regio Drechtsteden is voor een andere aanpak gekozen. Hier worden deze bronnen samen met restwarmte geaggregeerd tot de noemer 'HT-warmte', ongeacht de oorsprong. Dit is omdat in de regio meer bekend is over de toekomstige bronnenstrategie dan landelijk. Daarom is het wenselijk om aannames te doen over de inzet van verschillende HT-warmtebronnen in plaats van een modelmatige inschatting van het toekomstig potentieel te doen. In het geval van biomassa ligt er in de regio geen ambitie om deze grootschalig toe te passen voor de warmtevoorziening. De rol van biomassa is in de visie van de regio dat het ingezet kan worden als hulpmiddel voor de overgang naar andere bronnen, maar dat er in de eindsituatie dan vervolgens een andere bron moet zijn die de positie van biomassa overneemt. Een andere mogelijke rol is dat biomassa in de toekomst wordt ingezet in de hulpketels waarmee warmtenetten in de piekvraag kunnen voorzien. Vooral nog is om deze redenen biomassa niet meegenomen als losse warmteoptie. Voor geothermie zijn concrete plannen in ontwikkeling in de regio, waarbij ernaar gestreefd wordt dat er in de toekomst een bron van 3 tot 3,5 kilometer diepte wordt aangeboord. Om deze reden is in scenario's waarin de nadruk ligt op HT-warmte de aanname gedaan dat er tussen nu en 2035 een succesvolle geothermiebron beschikbaar komt, en dat deze er niet komt in scenario's waar de nadruk ligt op andere technieken dan HT-warmte.

3.2 Dataverzameling en validatie

De bestaande set invoerdata van Vesta MAIS is gecreëerd om te rekenen op nationaal niveau²⁰. Om het model toe te spitsen op een specifieke regio zijn regiospecifieke invoerdata gebruikt. Deze databestanden zijn verkregen door gesprekken met stakeholders in de werkgroep warmtetransitieplan. Waar mogelijk is de input van de stakeholders zoveel mogelijk overgenomen. Op andere plaatsen zijn zij aanleiding geweest voor een gevoeligheidsanalyse of dient de input als validatie van de bestaande datasets en rekenmethoden.

3.2.1 Gebouwen voorraad startjaar

De bestaande bouw is overgenomen uit de Basisregistraties Adressen en Gebouwen (BAG) voor zover die bekend was op 08-01-2018. Uit de BAG zijn alle woningen, utiliteitsgebouwen (o.a. MKB) en glastuinbouwbedrijven meegenomen²¹. Industrie wordt niet meegenomen, omdat de energievraag en de technische mogelijkheden voor industriële complexen te specifiek zijn om met Vesta MAIS te modelleren. Voor elk pand worden het gebruiksdoel, type pand, bouwjaar, vloeroppervlak en hoogte meegenomen in de doorrekening. Er wordt hier geen rekening gehouden met meer specifieke karakteristieken van bepaalde gebouwen, zoals bijvoorbeeld monumentale status.

De energievraag van deze gebouwen hangt in grote mate samen met het energielabel. De energielabels van de bestaande gebouwen in de regio zijn waar mogelijk overgenomen van de database van de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) met afgemelde energielabels, voor zover dit bekend was op 01-05-2018. Voor alle overige gebouwen waar geen afgemeld label bekend was op dat moment bij de RVO, is binnen het model een inschatting gemaakt op basis van bouwtype en bouwjaar. Wat lastig is

²⁰ Voor een complete beschrijving van het onderscheid dat wordt gemaakt tussen verschillende bouwtypes in dit rekenmodel zie ook: Ruud van den Wijngaart, Steven van Polen en Bas van Bommel – Het Vesta MAIS ruimtelijk energiemodel voor de gebouwde omgeving – algemene beschrijving (18 december 2017)

²¹ De aantallen gebouwen van verschillende typen gebouwen zoals die in de BAG zijn opgenomen zijn voor de regio Drechtsteden vergeleken met gegevens van het CBS over aantallen gebouwen. Deze twee bronnen komen met elkaar overeen.

om in te schatten is welke renovaties er al hebben plaatsgevonden in specifieke gebouwen, met name als het een bouwjaar betreft dat ver in het verleden ligt. Het kan daarom zijn dat specifieke panden beter geïsoleerd zijn dan aangenomen op basis van het bouwjaar en type. Anderzijds is het ook mogelijk dat binnen Vesta MAIS sommige gebouwklassen te hoog worden ingeschat wat betreft de daadwerkelijke isolatie. Vergelijking met geregistreerd energiegebruik op gemeenteniveau door het CBS en de Klimaatmonitor, laat zien dat in ieder geval op dit schaalniveau het binnen Vesta MAIS gesimuleerde energieverbruik voor wat betreft de doelstellingen van dit onderzoek goed genoeg overeenkomt met het daadwerkelijke verbruik, zie volgende paragraaf. Het daadwerkelijke energiegebruik per gebouw is niet openbaar beschikbaar en kan per individueel gebouw dan ook afwijken van de simulatie. Onder andere gedragsfactoren spelen hier een belangrijke rol en die worden in deze doorrekening niet meegenomen.

3.2.2 Validatie energievraag startjaar

2015 is een ijkpunt om te controleren of de gesimuleerde energievraag overeenkomt met de realiteit. De gebouwde omgeving en energielabels zijn ingelezen in Vesta MAIS en aan de hand van kengetallen voor energiegebruik is een inschatting gemaakt van het elektriciteit- en aardgasverbruik in 2015. Deze zijn voor de bestaande woningen per gemeente vergeleken met de registratie van het verbruik volgens zowel de gegevens in het dataportaal van het CBS²² als in de Klimaatmonitor²³. De vergelijking is niet gedaan voor utiliteitsgebouwen en glastuinbouw, omdat deze vanwege andere definitieën en rekenmethoden niet zonder meer te vergelijken zijn. De resultaten zijn in tabel 3.1 weergegeven.

²² <http://statline.cbs.nl/StatWeb/publication/?DM=SLNL&PA=81528NED>

²³ <https://klimaatmonitor.databank.nl/dashboard/>

Tabel 3.1: Vergelijking gemeten en gesimuleerd energiegebruik van bestaande woningen in 2015.

| Validatie energievraag startjaar (Petajoule per jaar) | Vesta MAIS simulatie | CBS meting | Vershil Vesta-CBS | Klimaatmonitor meting | Vershil Vesta-Klimaatmonitor | |
|---|------------------------|-------------|-------------------|-----------------------|------------------------------|--------------|
| Aardgasvraag per gemeente | Alblasserdam | 0.33 | 0.31 | 0.02 | 0.32 | 0.01 |
| | Dordrecht | 2.04 | 2.03 | 0.01 | 2.10 | -0.06 |
| | Hardinxveld-Giessendam | 0.32 | 0.29 | 0.03 | 0.30 | 0.02 |
| | Hendrik-Ido-Ambacht | 0.48 | 0.45 | 0.02 | 0.47 | 0.01 |
| | Papendrecht | 0.49 | 0.47 | 0.02 | 0.49 | 0.00 |
| | Sliedrecht | 0.43 | 0.40 | 0.02 | 0.41 | 0.01 |
| | Zwijndrecht | 0.78 | 0.79 | -0.01 | 0.83 | -0.05 |
| | Totaal | 4.86 | 4.75 | 0.11 | 4.92 | -0.06 |
| Elektriciteitsvraag per gemeente | Alblasserdam | 0.09 | 0.09 | 0.00 | 0.08 | 0.00 |
| | Dordrecht | 0.56 | 0.55 | 0.01 | 0.52 | 0.04 |
| | Hardinxveld-Giessendam | 0.08 | 0.08 | 0.00 | 0.08 | 0.00 |
| | Hendrik-Ido-Ambacht | 0.13 | 0.14 | -0.01 | 0.13 | 0.00 |
| | Papendrecht | 0.15 | 0.16 | -0.01 | 0.15 | 0.00 |
| | Sliedrecht | 0.11 | 0.11 | 0.00 | 0.10 | 0.01 |
| | Zwijndrecht | 0.21 | 0.21 | 0.00 | 0.20 | 0.01 |
| | Totaal | 1.31 | 1.33 | -0.02 | 1.26 | 0.05 |

Deze getallen zijn ook gecorrigeerd voor de inzet van warmtenetten, waar in Vesta MAIS hele buurten op worden aangesloten en in de praktijk in 2015²⁴ slechts een deel van de gebouwen wordt aangesloten in de buurten waar een warmtewet aanwezig is. Zoals is te zien in tabel 3.1 is het verschil tussen Vesta MAIS en de andere bronnen niet bijzonder groot, zowel als totaal als per gemeente. Dit wordt voor het doel van deze studie gezien als een acceptabele afwijking die geen verdere correctie behoeft.

3.2.3 Nieuwbouw en sloop

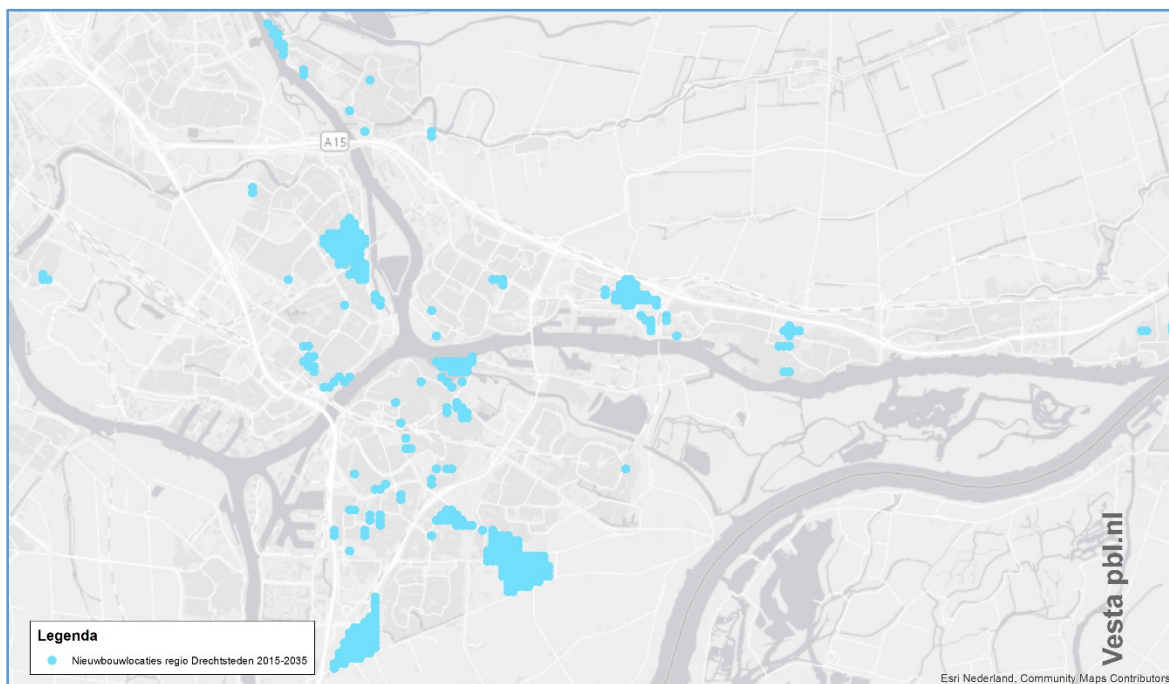
Een van de variabelen in het achtergrondscenario is de sloop en nieuwbouw in de regio, en de daarmee samenhangende ontwikkelingen in de energievraag. Hiervoor worden de plannen van de gemeenten

²⁴ HVC CO2-prestatieverslag 2015

meegenomen in zoverre als die beschikbaar zijn. De regio-specifieke ruimtelijke ontwikkeling is doorgegeven door de provincie. In deze aanlevering zijn slechts een klein aantal slooplocaties doorgegeven, voor een totaal van 266 panden die gesloopt worden. Bovendien zijn de slooplocaties verspreid over diverse verschillende locaties en is hier ook niet van bekend welke bouwtypes er worden gesloopt. Omdat het een klein aantal gebouwen is en dus de impact daarvan gering is, is besloten geen sloop mee te nemen. Nieuwbouw is wel meegenomen. Voor nieuwbouw zijn alleen totale aantallen per plangebied bekend, en niet hoe deze binnen een plangebied zijn verspreid en om welke typen woningen het gaat. Hiervoor is de aanname gedaan dat voor de nieuwbouwlocaties dezelfde verhouding tussen woningtypes gelden zoals die nu is in de regio. Bouwlocaties met minder dan 15 geplande nieuwbouwwoningen zijn niet meegenomen. In totaal zijn er 8396 nieuwbouwwoningen die tussen nu en 2035 worden opgeleverd toegevoegd in de doorrekening.

In figuur 3.1 hieronder zijn de nieuwbouwlocaties die zijn meegenomen aangegeven. Op deze locaties komen volgens de gehanteerde inschatting 363 vrijstaande woningen, 425 twee onder een kapwoningen, 4463 rijtjeshuizen, 1784 flats tot vier verdiepingen, en 1360 flats met meer dan vier verdiepingen.

Figuur 3.1: Nieuwbouwlocaties in de regio Drechtsteden op basis van vastgestelde plannen zoals bekend bij de provincie Zuid-Holland²⁵



3.2.4 Energieprijzen en kosten van technische maatregelen

Onder het achtergrondscenario valt ook de ontwikkeling van energieprijzen, waarbij de prognoses uit de Nationale Energieverkenning 2017²⁶ worden aangehouden. Daarin worden effecten meegenomen van het vastgesteld en voorgenomen beleid voor de komende decennia. Dit houdt in dat de elektriciteitsprijs per

²⁵ Vermoedelijk is deze aangeleverde informatie al enigszins gedateerd. Het betreft hier in ieder geval voor een aantal locaties plannen die niet meer zijn geactualiseerd sinds 2014. Recentere informatie is op dit moment niet openbaar beschikbaar.

²⁶ K. Schoots, M. Hekkenberg en P. Hammingh (2017), Nationale Energieverkenning 2017. ECN-O-17-018. Petten: Energieonderzoek Centrum Nederland.

kWh voor kleingebruikers tot 10.000 kWh per jaar, zonder aanvullend beleid stijgt van € 0,208²⁷ in 2015 tot € 0,227 in 2035. De aardgasprijs per m³ stijgt naar verwachting voor kleingebruikers tot 5.000 m³ per jaar van € 0,566 in 2015 naar € 0,882 in 2035. In deze voorspelling is geen rekening gehouden met aanvullende beleidskeuzes die mogelijk in het aanstaande klimaatakkoord worden opgenomen.

Voor de verwachtingen wat betreft leereffecten in de kosten van technische maatregelen zijn de kengetallen aangehouden die door CE Delft²⁸ zijn ontwikkeld voor het Vesta MAIS model. De aanname is dat de kosten van maatregelen dalen volgens een vaste curve. Deze daling komt doordat wordt verondersteld dat de materiaalkosten en arbeidskosten van technische maatregelen lager worden volgens een vast patroon. Hierbij geldt dat er sprake is van een bandbreedte tussen de meeste optimistische en de meest pessimistische verwachtingen. In het meest optimistische scenario zullen de kosten van bijvoorbeeld elektrische warmtepompen in de toekomst aanzienlijk afnemen. In het pessimistische scenario is van een prijsdaling niet of nauwelijks sprake. Dit wordt meegenomen in de gevoeligheidsanalyses. Voor de vaste doorrekeningen zijn kosten van technische maatregelen aangehouden op het niveau van 2035, op het gemiddelde tussen de optimistische en pessimistische inschatting voor dat jaar. Dit betekent dat toegekende technische maatregelen in de eindbeelden van de scenario's uiterlijk in 2035 genomen kunnen worden, waarbij niet wordt uitgesloten dat het merendeel al eerder rendabel of maatschappelijk kosteneffectief is.

3.2.5 Validatie kengetallen

Waar mogelijk zijn de gebruikte kengetallen van het Vesta MAIS model vergeleken met de aanleveringen van de regionale stakeholders Stedin, Atriensis en HVC. Hieruit komen geen bijzonder grote verschillen naar voren. In de kengetallen voor kostencomponenten voor HT-warmtenetten zijn waar er verschillen zijn de waardes van HVC gebruikt. De aangeleverde kengetallen van Atriensis voor woningverbeteringen en elektrische verwarming zijn niet een op een over te nemen omdat ze niet ver genoeg in componenten en verschillende woningtypes zijn uit te splitsen. Bij een verkenning lijkt het erop dat deze waarden zich voor het grootste deel tussen de "optimistische" en "pessimistische" curve in bevinden, en dan met name meer richting de "pessimistische" curve. De effecten van een hogere inschatting van kosten voor gebouwverbetering worden zichtbaar met behulp van de gevoeligheidsanalyse voor leereffecten (zie paragraaf 5.2.1). De kengetallen voor Stedin voor de kosten van aardgas- en elektriciteitsinfrastructuur wijken op een aantal plekken af van de standaardwaarden in Vesta MAIS en zijn waar mogelijk overgenomen. Zie bijlage A, B en C voor een gedetailleerd overzicht van welke kengetallen zijn vergeleken en welke keuzes er zijn gemaakt bij afwijkingen.

3.2.6 Bestaande warmtenetten

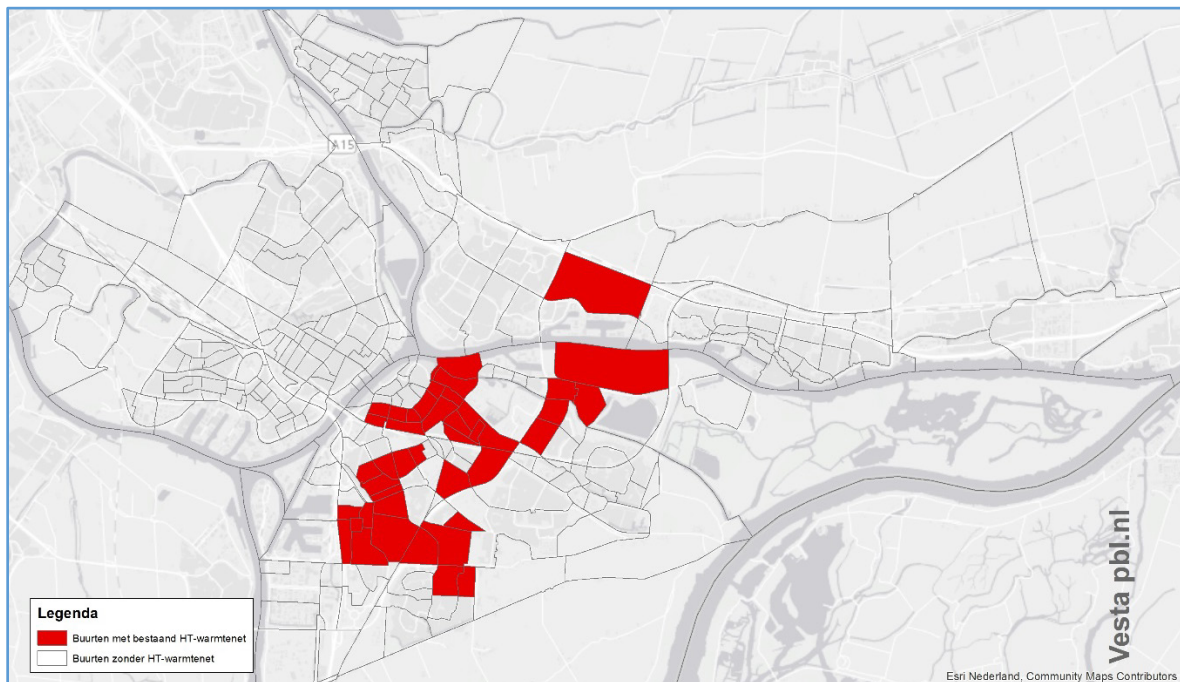
Buurt in Dordrecht waar een Hoge Temperatuur-warmtenet (HT) nu in uitvoering of voorbereiding is (concrete projecten die verder zijn dan de 'plan' of 'optie'-fase) worden in de startsituatie beschouwd als aangesloten, waarbij 100% van de panden in deze buurten worden aangesloten en het aardgasnet wordt verwijderd. Op dit moment is dat in realiteit nog niet het geval, maar in de startsituatie voor deze doorrekening wordt uitgegaan van een situatie dat in de buurten waar een HT-warmtenet al aanwezig is de uitbreiding al is afgerond. Wat als buurt wordt gezien volgt de CBS-indeling, waarbij dit als schaalniveau wordt toegepast voor de ruimtelijke eenheid waarop de businesscase van een HT-warmtenet wordt doorgerekend. In de praktijk kan dit ook anders lopen doordat de gebieden die in realiteit worden aangesloten op het warmtenet niet noodzakelijk de contouren van CBS-buurten volgen.

²⁷ De prijzen voor elektriciteit en aardgas in deze paragraaf zijn uitgedrukt in CPI 2010

²⁸ PBL & CE Delft (2013) Uitbreidingen en dataverificaties Vesta 2.0

Voor een overzicht van de buurten waarvoor ten behoeve van de berekeningen een bestaand HT-warmtenet is ingevoerd, zie figuur 3.2 hieronder.

Figuur 3.2: Buurten met bestaande warmtenetten bij voltooiing vastgestelde uitleg²⁹



3.2.7 HT-Warmtebronnen

In het referentiebeeld en in de scenario's 'Energiebesparing - Elektrisch' en 'Energiebesparing - Lage Temperatuur' is ervan uit gegaan dat de HVC-AVI in Dordrecht de enige bron van Hoge Temperatuur-warmte (HT) is waar een HT-warmtenet mee gevoed kan worden. Kanttekening is dat de buurt Oostpolder in Papendrecht al op een gasmotor is aangesloten met een lokaal HT-warmtenet en dat ook blijft in deze doorrekeningen. In het scenario 'Collectief – Hoge Temperatuur' en in het scenario 'Collectief – Warmteladder' is er een positievere inschatting van het bronpotentieel in de regio. Ten eerste wordt er in deze scenario's vanuit gegaan dat er succesvol een geothermie-bron kan worden aangeboord in de buurt van Papendrecht en Sliedrecht. Ten tweede wordt ervan uit gegaan dat er in de buurt van Zwijndrecht en Hendrik-Ido-Ambacht een geschikte bron voor een groot HT-warmtenet wordt gevonden, bijvoorbeeld een aansluiting bij de warmterotonde van Zuid-Holland. Beide bronnen worden ook uitgekoppeld en uitbreiding naar andere buurten is mogelijk als resultaat van de modelberekening. Bij deze bronnen is de capaciteit erg hoog ingeschat en de prijs relatief laag. Functioneel zijn deze twee extra HT-bronnen modelmatig gelijkgesteld aan de HVC-AVI.

3.3 Maatschappelijke CO₂-prijs

Voor de doorrekeningen op basis van maatschappelijke rentabiliteit wordt gerekend met een maatschappelijke CO₂-prijs. Dit representeert de maatschappelijke kosten voor elke uitgestoten ton CO₂ en wordt meegerekend in de scenario's met maatschappelijke doorrekeningen. De WLO (2015), een studie van PBL en het Centraal Planbureau (CPB)³⁰ adviseert voor maatschappelijke kosten-baten analyses

²⁹ HVC (2017) - Ambitie en groeistrategie warmtenet Drechtsteden

³⁰ Voor CO₂-prijzen op basis van de WLO 2015, zie <https://www.cpb.nl/publicatie/wlo-klimaatscenario's-en-de-waardering-van-co2-uitstoot-mkbas>

(MKBA) gericht op CO₂-besparing de CO₂-efficiënte prijs te hanteren. Voor deze doorrekening is besloten de prijzenrange van de tweegraden-onzekerheidsverkenning binnen deze studie te hanteren. Voor 2030 liggen die in de verkenning van het CPB tussen de 100 en 500 euro per ton uitgestoten CO₂ (voor 2050 respectievelijk 200 en 1000 €/ton). De CO₂-efficiënte prijs is op dusdanige hoogte vastgesteld dat de CO₂-reductie tegen de laagst mogelijke kosten wordt gerealiseerd. Voor de doorrekeningen in deze studie is de CO₂-prijs in twee rondes ingevoerd.

In eerste instantie wordt de CO₂-prijs op 200 euro³¹ per ton CO₂ gezet, het niveau waarbij de eerste golf technische maatregelen maatschappelijk rendabel wordt maar het aardgas-reductiedoel nog niet wordt behaald. Vervolgens wordt de CO₂-prijs op 400 euro per ton CO₂ gesteld, het niveau waar in alle doorgerekende scenario's een reductie van ten minste 90% van het aardgasgebruik maatschappelijk rendabel wordt. Onder die omstandigheden wordt vervolgens een pakket aanvullende technische maatregelen toegekend bovenop de technische maatregelen uit de eerste trede. Een klein deel van de gebouwen blijft een aardgasvraag houden, omdat voor die gebouwen ook bij het prijspeil van 400 euro per ton CO₂ geen rendabel alternatief wordt gevonden. Dit zijn gebouwen die het moeilijkst zullen zijn om aardgasloos te verwarmen en zullen onderwerp moeten zijn van maatwerk.

De effecten van de CO₂-prijs worden meegerekend in de kostprijs van zowel aardgas als elektriciteit. Daarbij wordt ervan uit gegaan dat in de toekomst door meer duurzame opwekking (in de regio of elders) de CO₂-uitstoot per kWh elektriciteit lager zal zijn dan in het startjaar. In 2035 zal de CO₂-prijs per kWh elektriciteit dan ook lager liggen dan nu. Voor hoe hoog de maatschappelijke kosten voor het gebruik van gas en elektriciteit hier per eenheid worden gewaardeerd, zie tabel 3.2.

Tabel 3.2: Maatschappelijke meerkosten van energieverbruik in het startjaar en in 2035 voortkomend uit een waardering van de schade door CO₂-uitstoot ter hoogte van €200 of €400 euro per ton (CPI 2010).

| Maatschappelijke meerkosten door CO ₂ van energieverbruik (CPI 2010) | Elektriciteit 2015 per kWh | Elektriciteit 2035 per kWh | Aardgas 2015 per m ³ | Aardgas 2035 per m ³ |
|---|----------------------------|----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| €200/ton CO ₂ -uitstoot | € 0,105 | € 0,027 | € 0,356 | € 0,356 |
| €400/ton CO ₂ -uitstoot | € 0,211 | € 0,054 | € 0,712 | € 0,712 |

Ook de CO₂-uitstoot aan de kant van warmtebronnen wordt meegenomen in de maatschappelijke kostenafweging, waar deze voortkomt uit het gebruik van elektriciteit of aardgas door de primaire bron of als bijstook in hulpketels. Als aan de warmtebron nog andere vormen van CO₂-uitstoot verbonden zijn, zoals het geval kan zijn bij bijvoorbeeld gebruik van industriële restwarmte, zijn de maatschappelijke kosten daarvan niet meegenomen in de berekening.

³¹ De CO₂-prijzen die in deze paragraaf 3.1.6 worden genoemd zijn hier uitgedrukt in prijzen van 2010.

3.4 Scenario's

Deze sectie geeft een overzicht van welke scenario's zijn doorgerekend in deze studie en hoe deze zijn opgebouwd. Het doel van het doorrekenen van een aantal scenario's voor het behalen van minimaal 90% aardgasreductie is het bepalen van het maatschappelijk meest kosteneffectieve pakket technische maatregelen waarmee dat doel gehaald wordt. Zoals in 3.3 genoemd is wordt daarom een maatschappelijke CO²-prijs meegerekend in deze scenario's.

Het eerste scenario is het referentiescenario waarbij wordt gekeken naar waar tussen nu en 2035 bij ongewijzigd beleid kansen liggen voor energiebesparing en alternatieve warmtevoorziening. In dit referentiebeeld worden alle maatregelen genomen die rendabel zijn voor eindgebruikers tussen nu en 2035 op basis van een inschatting van een aantal achtergrondfactoren, zoals bijvoorbeeld verwachte veranderingen in de commodityprijzen van aardgas en elektriciteit. Dit scenario dient als vergelijking om te laten zien wat de meerkosten zijn van de overige scenario's waarin de doelen van de warmtetransitie in de gebouwde omgeving worden gehaald.

De overige scenario's zijn vier doorrekeningen op basis van maatschappelijke kosten die moeten leiden tot inzicht in wat het maatschappelijk meest kosteneffectieve technisch eindbeeld is waarin het doel van 90% aardgasreductie wordt behaald. In elk scenario wordt het doel met een andere strategie behaald. Het grootste verschil tussen de overige scenario's is de voorkeur voor de ene of de andere technische oplossing in de volgorde waarin deze worden doorgerekend. Deze volgorde kan een groot effect hebben op de uitkomsten; de keuze om bepaalde technische maatregelen een hogere of lagere voorkeur te geven betekent dat andere energiedragers worden gevraagd, en andere infrastructuur nodig is. Ook hebben verschillende technische maatregelen verschillende schaalniveaus waarop ze uitgevoerd worden. Energiebesparing vindt bijvoorbeeld plaats op gebouwniveau, terwijl HT-warmtelevering een collectief project is voor een of meerdere warmteleveringsgebieden (in deze studie: CBS-buurten).

De prioritaire volgorde wordt per scenario weergegeven in de vorm van een beslisboom die gevolgd wordt in de doorrekening. De beslisboom is een schematische weergave van welk afwegingskader er wordt gehanteerd. De beslisboom laat zien in welke volgorde verschillende afwegingen zijn gemaakt en op welk schaalniveau. Een ander verschil tussen de scenario's is een positieve of negatieve inschatting van het toekomstige aanbod van HT-warmte (zie paragraaf 3.2.7).

De beslisboom wordt per scenario twee keer doorlopen, eenmaal met de CO₂-prijs van €200 per ton, en vervolgens nogmaals met de gebouwen waar nog geen warmteoptie anders dan aardgas is gevonden, met een CO₂-prijs van €400 per ton. De gebouwen waarvoor aan het einde van de tweede rondes nog geen oplossing is gevonden worden vervolgens bestempeld als 'resterende aardgasvraag'.

Er worden vier scenario's doorgerekend op basis van maatschappelijke kosten waarin minimaal 90% reductie van het aardgasverbruik wordt gerealiseerd. Tabel 3.3 geeft een overzicht van de verschillende instellingen van deze scenario's. In hun eigen paragraaf zijn deze verder uitgewerkt. Daarnaast geeft het referentiebeeld ter vergelijking de situatie weer waarin op basis van eindgebruikerskosten alle maatregelen worden genomen die rendabel zijn bij ongewijzigd beleid.

Tabel 3.3: overzicht van instellingen van scenario's die zijn doorgerekend in de eerste onderzoeksfase

| Instellingen per scenario | Prioritaire volgorde van technische maatregelen | | | | Toevoeging nieuwe HT-bronnen? | Maatschappelijke CO ₂ -prijs per ton. |
|----------------------------------|---|--------------|--------------|--------------|-------------------------------|--|
| | Prioriteit 1 | Prioriteit 2 | Prioriteit 3 | Prioriteit 4 | | |
| Referentiebeeld | Besparing | Warmtepomp | HT-warmte | LT-warmte | Nee | Geen |
| Energiebesparing-Elektrisch | Besparing | Warmtepomp | HT-warmte | LT-warmte | Nee | €200 & €400 |
| Energiebesparing-Lagetemperatuur | Besparing | LT-warmte | Warmtepomp | HT-warmte | Nee | €200 & €400 |
| Collectief-Hogetemperatuur | HT-warmte | LT-warmte | Besparing | Warmtepomp | Ja | €200 & €400 |
| Collectief-Warmteladder | Besparing | HT-warmte | LT-warmte | Warmtepomp | Ja | €200 & €400 |

3.4.1 Referentiebeeld

In het referentiebeeld is verondersteld dat technische maatregelen overal worden uitgevoerd waar deze rendabel zijn voor de gebouweigenaar of het warmtebedrijf dat de investering doet. Dit scenario geeft een beeld van hoe de warmtevoorziening er in de Drechtsteden in 2035 uit kan zien indien er geen extra beleid wordt gevoerd, op nationaal of lokaal niveau. Het geeft daarmee een situatie weer waarin er geen warmtetransitie wordt ingezet en de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving voornamelijk afhankelijk blijft van aardgas. Wel spelen er een aantal onafhankelijke ontwikkelingen op de achtergrond die de warmtevoorziening in de regio beïnvloeden. Er zijn in deze doorrekening vier zaken die invloed hebben op de regionale warmtevoorziening in 2035, ten opzichte van het startjaar 2015:

1. Geraamde wijzigingen in de energieprijzen (zie paragraaf 3.2.4)
2. Geplande sloop en nieuwbouw, voor zover als bekend is (zie paragraaf 3.2.3)
3. Verwachte ontwikkelingen in de kosten van technische maatregelen (zie paragraaf 3.2.4)
4. Lagere warmtevraag door opwarming van het klimaat³²

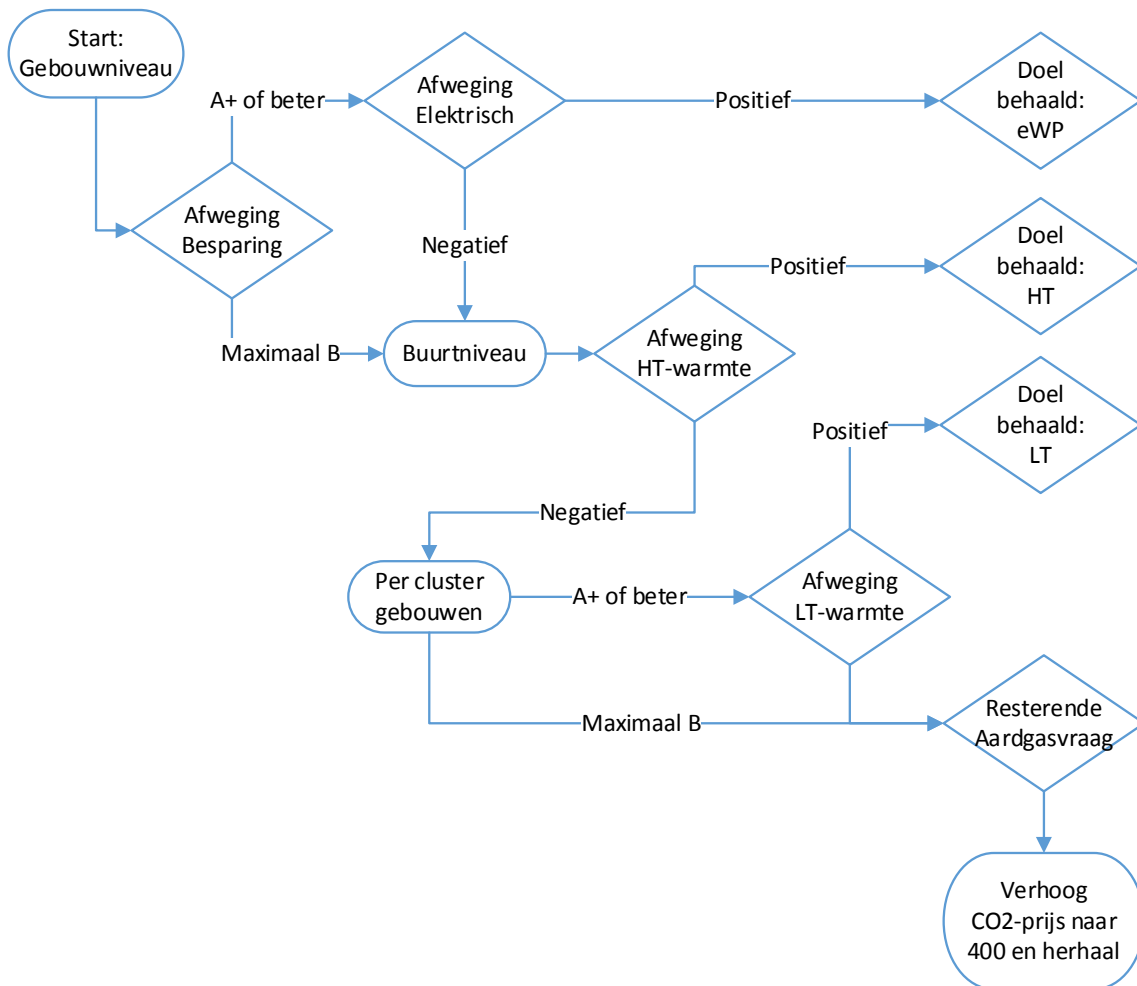
Veel van de technische maatregelen die in deze doorrekeningen worden toegekend kunnen in de huidige situatie niet rendabel genomen worden. Dit kan bijvoorbeeld zijn omdat deze technieken nu nog te duur zijn, waarbij de inschatting wordt gedaan dat de kosten in de komende jaren tot 2035 zullen gaan dalen. Als de rentabiliteit van een technische maatregel tegen dat prijsniveau een positieve inschatting krijgt houdt dat in dat deze maatregel op een zeker moment tussen nu en 2035 rendabel zal worden volgens deze inschatting. Omdat ook in het referentiebeeld een prioritaire volgorde moet worden aangehouden wordt hier dezelfde volgorde als in het scenario 'Energiebesparing – Elektrisch' gebruikt.

³² Bij het berekenen van het effect van opwarming van het klimaat op de warmtevraag is uitgegaan van het KNMI-scenario G+ uit 2009. Voor een gedetailleerde omschrijving van hoe hier binnen Vesta MAIS mee wordt omgegaan zie: PBL (2012), Vesta ruimtelijk energiemodel voor de gebouwde omgeving – Data en methoden.

3.4.2 Energiebesparing – Elektrisch

Het scenario “Energiebesparing – Elektrisch” zet eerst zo veel mogelijk in op besparing en elektrische verwarmingsinstallaties, om vervolgens alleen HT-warmtenetten en eventueel LT-warmtenetten toe te kennen in gebieden waar nog een aardgasvraag overblijft. Er wordt eerst per individueel gebouw berekend welke besparingsmaatregelen genomen kunnen worden, en vervolgens ook of een individuele elektrische verwarmingsoptie kan worden toegekend. Vervolgens wordt per buurt gekeken of er voldoende warmtevraag overblijft om de maatschappelijke rentabiliteit van een HT-warmtenet rond te krijgen, en als dit niet het geval is of er lokale LT-oplossingen kunnen worden toegekend. Dit alles wordt berekend op basis van een maatschappelijke kostenoverweging waarbij de maatschappelijke CO₂-prijs wordt meegewogen³³. In dit scenario wordt ervan uit gegaan dat er in de toekomst geen andere HT-warmtebronnen beschikbaar zijn dan de bestaande. De beslisboom voor de toekenning van verschillende technische maatregelen in dit scenario is als volgt:

Figuur 3.3: Beslisboom in scenario ‘Energiebesparing – Elektrisch’

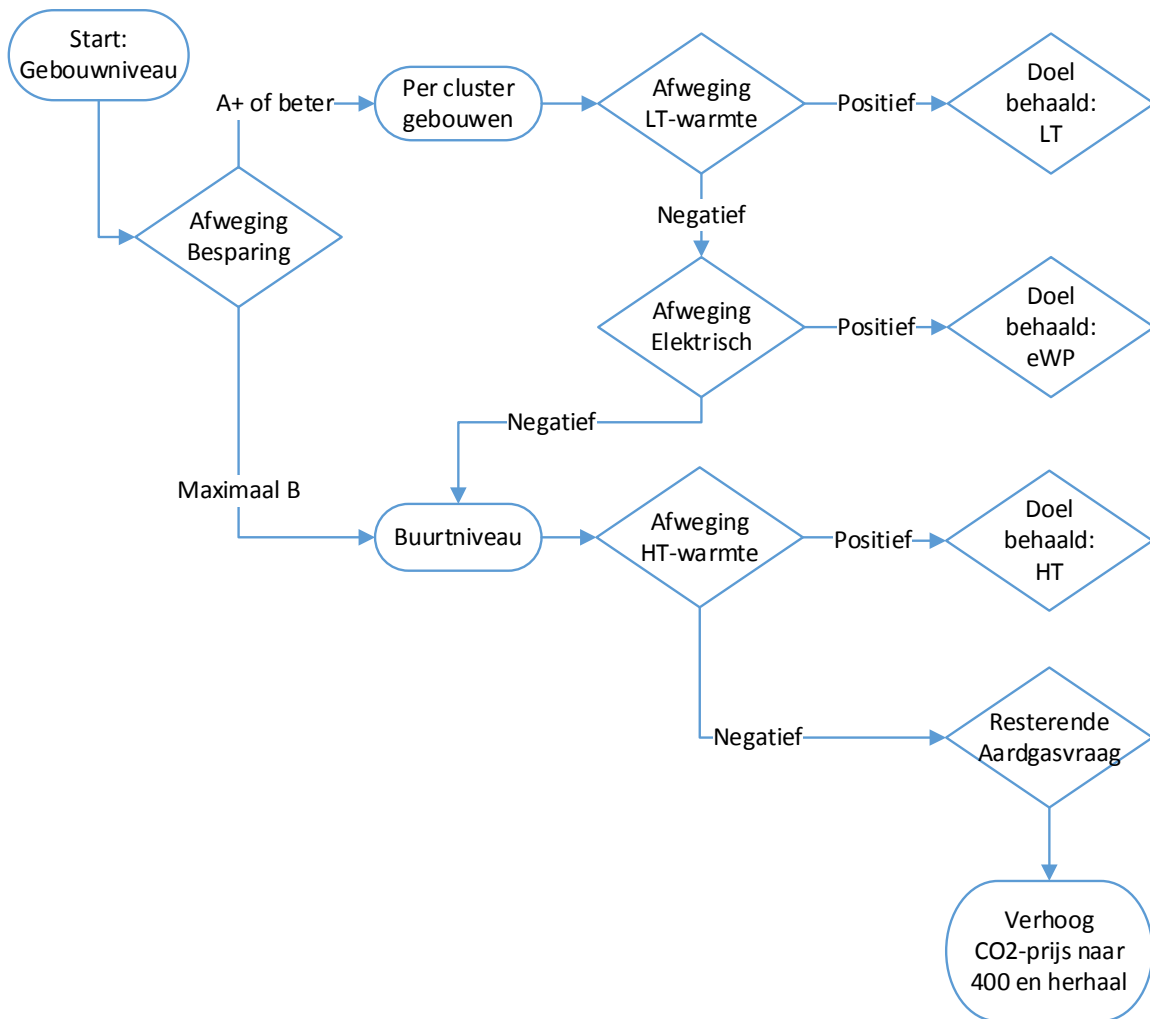


³³ De maatschappelijke CO₂-prijs wordt in twee rondes doorgerekend. Eerst wordt de volledige beslisboom doorlopen met een waardering van de maatschappelijke kosten van uitgestoten CO₂ op €200 per ton, en vervolgens op €400 per ton.

3.4.3 Energiebesparing – Lage Temperatuur

Ook in dit scenario wordt eerst een slag geslagen met besparingsmaatregelen, maar wordt vervolgens eerst gekeken naar de rentabiliteit van collectieve LT-warmtelevering voordat individuele warmteopties worden toegekend. Bij de toekenning van collectieve warmtegebieden worden eerst de goed geïsoleerde gebouwen waar mogelijk aangesloten op kleinschalige lokale LT-warmtenetten. Vervolgens wordt voor de overige goed geïsoleerde gebouwen gekeken of er individuele elektrische warmtepompen kunnen worden toegekend. Als laatste wordt op buurtniveau overwogen of een HT-warmtenet haalbaar is. Ook in dit scenario wordt ervan uit gegaan dat er geen nieuwe HT-warmtebronnen beschikbaar komen in de toekomst. De beslisboom voor de toekenning van verschillende technische maatregelen in dit scenario is als volgt:

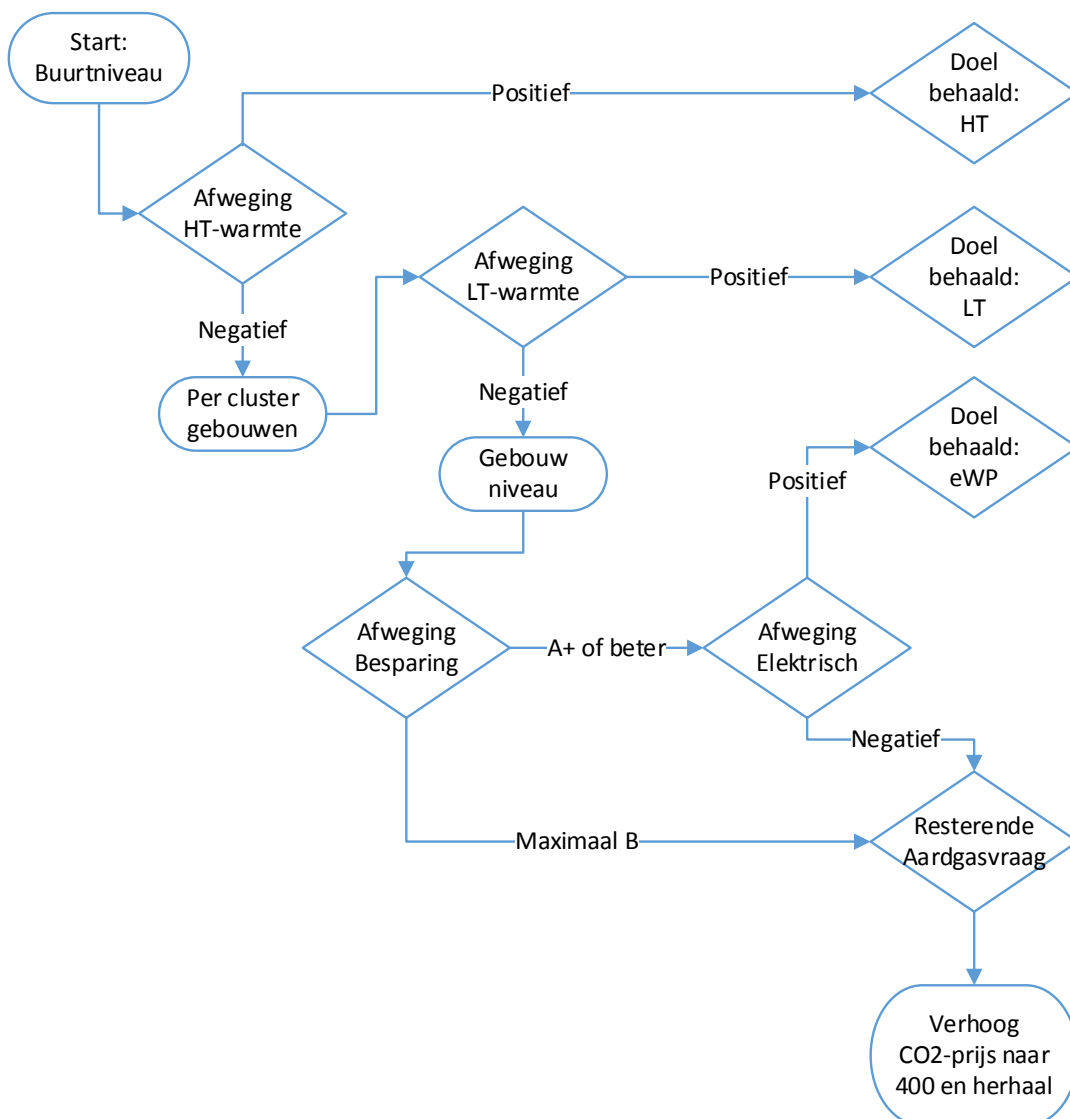
Figuur 3.5: Beslisboom in scenario 'Energiebesparing – Lage Temperatuur'



3.4.4 Collectief – Hoge Temperatuur

Het scenario 'Collectief – Hoge Temperatuur' werkt vanuit de filosofie dat eerst regionale HT-warmtebronnen optimaal benut moeten worden voordat naar alternatieve oplossingen wordt gekeken. Daarom wordt in dit scenario eerst berekend of een buurt als geheel kan worden aangesloten op een groot HT-warmtenet. Vervolgens wordt voor gebieden waar geen HT-warmtenet wordt aangesloten berekend of er lokale LT-oplossingen mogelijk zijn. Hierna worden voor de gebouwen waar nog geen collectieve oplossing gevonden is vervolgens waar mogelijk op basis van rentabiliteit verregaande besparingsmaatregelen toegekend met individuele elektrische verwarmingsopties. In dit scenario wordt ervan uit gegaan dat er in ieder geval een geothermiebron met warmtenet komt in Papendrecht en Sliedrecht. Ook wordt er een passende warmtebron gevonden om een warmtenet mee te voeden in Zwijndrecht en Hendrik-Ido-Ambacht. Deze warmtebron in het noordoosten van de regio kan bijvoorbeeld een aansluiting op de Warmterotonde Zuid-Holland zijn. De beslisboom voor de toekenning van verschillende technische maatregelen in dit scenario is als volgt:

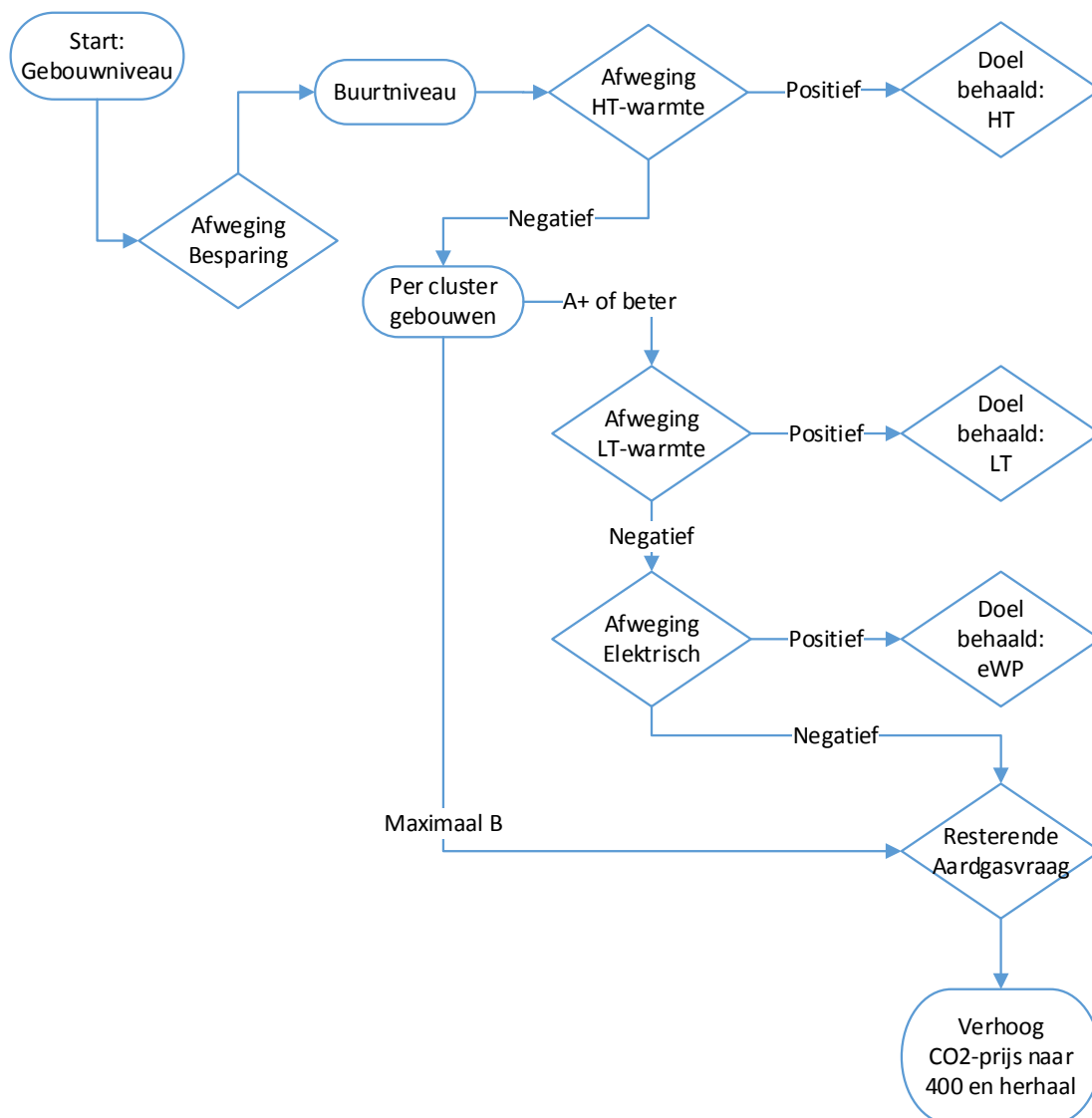
Figuur 3.6: Beslisboom in scenario 'Collectief – Hoge Temperatuur'



3.4.5 Collectief – Warmteladder

Als variant op het scenario 'Collectief – Hoge Temperatuur' is een doorrekening gedaan waarin net als in het originele scenario de uitleg van HT-warmtenetten de grootste prioriteit krijgt, maar deze gepaard gaat met energiebesparing vooraf. In deze variant is de prioritaire volgorde zo dat eerst zoveel mogelijk energie wordt bespaard, met schilverbeteringen aan gebouwen tot maximaal A+. Vervolgens wordt waar mogelijk een HT-warmtenet per buurt toegekend. In de resterende gebieden wordt voor de goed geïsoleerde gebouwen bepaald of een LT-oplossing mogelijk is, met als laatste daarna de afweging voor elektrische warmteopties. Ook in dit scenario wordt gewerkt met de aanname dat er een geothermiebron en een aansluiting op de Warmterotonde Zuid-Holland beschikbaar zijn voor HT-warmtelevering in de toekomst. De beslisboom voor de toekenning van verschillende technische maatregelen in dit scenario is als volgt:

Figuur 3.7: Beslisboom in scenario 'Collectief – Warmteladder'



3.5 Beleidsinstrumenten

Als onderdeel van de tweede onderzoeksfase zijn doorrekeningen gedaan op basis van kosten voor eindgebruikers, waarbij wordt geprobeerd het maatschappelijk meest kosteneffectieve technisch eindbeeld te benaderen door de te nemen technische maatregelen met aanvullend beleid rendabel te maken voor degene die de investering moet doen. Zo wordt in kaart gebracht wat de impact van de geselecteerde beleidsinstrumenten is op het eindbeeld van de warmtetransitie. Deze impact wordt vergeleken op basis van de gerealiseerde reductie van de aardgasvraag, en het pakket technische maatregelen dat onder die omstandigheden wordt genomen. De inzichten die zo worden verkregen worden gebruikt om vervolgens een pakket van verschillende maatregelen samen te stellen. Dit pakket geeft een voorbeeld van hoe deze instrumenten in combinatie met elkaar 85% reductie van het aardgasverbruik van gebouwen in de regio kunnen bereiken met rendabele investeringen voor eindgebruikers.

Er zijn vier beleidsinstrumenten geselecteerd om door te rekenen. Alle beleidsinstrumenten worden doorgerekend in variabele intensiteitsniveaus om inzichtelijk te maken hoe intens een beleidsinstrument moet worden ingezet om een bepaald niveau van aardgasreductie te kunnen realiseren. In 3.5.1 tot en met 3.5.4 worden de geselecteerde instrumenten individueel kort toegelicht.

3.5.1 Energiebelasting

Het eerste instrument is een verschuiving van de energiebelasting. Dit resulteert in een aardgasprijs per m³ die met een bepaald bedrag verhoogd wordt, eventueel in combinatie met een elektriciteitsprijs per kWh die met een bepaald bedrag verlaagd wordt. Zo worden mensen gestimuleerd om energie te besparen om de hogere kosten van aardgas te vermijden of om over te stappen op een warmteoptie die geen of minder aardgas gebruikt. Ook wordt het als elektriciteit goedkoper wordt aantrekkelijker om verwarmingsmethoden op basis van elektriciteit te installeren. Dit instrument kan op een variabele hoogte worden ingezet, afhankelijk van hoe ver de energiebelasting op aardgas wordt verhoogd en eventueel hoe ver de energiebelasting op elektriciteit daarnaast wordt verlaagd.

3.5.2 Subsidie gebouwmaatregelen

Het tweede instrument is het verstrekken van subsidie op gebouwgebonden maatregelen. Bij deze maatregel kunnen gebouweigenaren een percentage van de investeringskosten van maatregelen die gebouwen energiezuiniger maken, terugkrijgen van de overheid. Dit stimuleert mensen om maatregelen te nemen zoals verbeterde isolatie en ventilatie. Daarnaast geldt deze subsidie ook op de aanschaf en installatie van individuele elektrische warmtepompen en bijbehorende LT-afgiftesystemen.

3.5.3 Subsidie warmte-infrastructuur

Dit instrument is een subsidie ter hoogte van een vast percentage van de investeringskosten voor bepaalde componenten van warmtenetten. Deze componenten zijn primair transportnet en wijkdistributienetten. Dit zijn twee van de grootste kostencomponenten in een warmtenet en samen omvatten ze de infrastructuur tussen de warmtebron en de voordeur van de afnemer. Door hier een subsidie op te geven wordt de businesscase van warmtenetten aantrekkelijker, en ook wordt deze daardoor minder afhankelijk van de dichtheid van de warmtevraag en de afstand tot de warmtebron.

3.5.4 Afwijkende aardgasreferentie

Dit instrument is een versoepeling van het Niet-Meer-Dan-Anders principe. Op dit moment mag warmte die geleverd wordt via een warmtenet niet duurder zijn dan een vergelijkbare situatie met verwarming op aardgas. Dit instrument versoepelt die regel zodat geleverde warmte eventueel een vastgesteld

percentage duurder mag zijn dan een vergelijkbare situatie met aardgas. Zo kan de businesscase van warmtenetten voor warmteleveranciers makkelijker sluitend worden gemaakt. De variabele hoogte van deze beleidsmaatregel is het percentage dat de warmteprijs mag afwijken van de aardgasprijs.

3.6 Beperkingen en kanttekeningen

Dit onderzoek is onderhevig aan een aantal beperkingen en kanttekeningen. Hier kunnen verschillende oorzaken aan ten grondslag liggen, waaronder:

- Ontbrekende of beperkt beschikbare data over lokale omstandigheden
- Onzekerheden voor de toekomst
- Modelmatige keuzes in de opzet van het rekenmodel
- Afbakening van de scope van deze studie

Deze sectie geeft een overzicht van de belangrijkste beperkingen en kanttekeningen waar deze studie aan onderhevig is.

3.6.1 Gedragsfactoren

Deze doorrekeningen geven inzicht in het techno-economisch potentieel van de verschillende technologische opties in 2035. Dat betekent onder andere dat er niet wordt gekeken naar gedragsfactoren. De afweging om een object of gebied een technische maatregel toe te kennen wordt gedaan op basis van een puur economische kosten-baten afweging. Daarbij worden alle actoren behandeld als volledig 'rationele investeerders'. Voor deze rationele investeerders wordt aangenomen dat zij op basis van een economische afweging van kosten en baten besluiten een investering wel of niet te doen. Er zijn geen andere gedragsfactoren meegewogen naast de economische kostenafweging.

Ook bij het energieverbruik van gebouwen wordt geen rekening gehouden met gedragsfactoren. Het energieverbruik wordt bepaald op basis van het type gebouw en de bouwperiode³⁴. In de praktijk zal er echter ook binnen die categorieën een spreiding zijn afhankelijk van de persoonlijke voorkeuren en omstandigheden van de gebouwgebruiker. Iemand die weinig tijd thuis doorbrengt zal bijvoorbeeld naar verwachting aanzienlijk minder energie gebruiken dan iemand die vaak thuis is. Ook gezinsgrootte kan bij woningen een factor zijn die het energieverbruik beïnvloedt, maar dit is in deze studie niet meegenomen.

3.6.2 Generieke kengetallen

Voor de kosten van maatregelen wordt met generieke kengetallen gewerkt. Daarbij geldt dat de daadwerkelijke kosten zowel hoger als lager kunnen uitvallen. Er wordt bijvoorbeeld geen rekening gehouden met een eventuele monumentenstatus, of barrières zoals snelwegen of rivieren waardoor de kosten van infrastructuur hoger uit kunnen vallen. In de praktijk is het wellicht ook mogelijk bepaalde maatregelen 'slimmer' uit te voeren, waardoor de kosten lager uitvallen. De toewijzing van technische maatregelen aan bepaalde gebouwen of gebieden moet dan ook worden gezien als een inschatting van toekomstige potentie, wat een aanleiding kan zijn voor verdere analyse voordat er concrete plannen gemaakt kunnen worden.

3.6.3 Koken op aardgas en afsluitbijdrage

Op dit moment wordt er in Vesta MAIS geen rekening gehouden met aardgas dat wordt gebruikt om op te koken, omdat de focus van het rekenmodel ligt op de warmtevoorziening. Dat wil zeggen dat als er in dit

³⁴ Voor de methode waarmee het energieverbruik wordt bepaald en welke kengetallen daaraan ten grondslag liggen, zie PBL (2017), Het Vesta MAIS ruimtelijk energiemodel voor de gebouwde omgeving – Algemene beschrijving.

rapport wordt gesproken van 'gasloze' gebouwen of gebouwen die worden 'afgesloten', er wordt bedoeld dat deze gebouwen niet langer afhankelijk zijn van aardgas voor hun warmtevoorziening. In de praktijk kan het zijn dat deze gebouwen wel een kleine resterende aardgasvraag hebben voor hun gasfornuis. Als deze gebouwen dan ook daadwerkelijk worden afgesloten van het aardgasnet kan het zijn dat de gebouweigenaar aanvullende kosten moet maken om anders te koken, die hier niet worden meegenomen. Modelmatig heeft dit geen consequenties voor de afwegingen die worden gemaakt omdat die kosten hoe dan ook moeten worden gemaakt, ervan uit gaande dat aardgasloos het einddoel is voor alle gebouwen. Dit kan wel gevolgen hebben voor of en wanneer het aardgasnet daadwerkelijk kan worden verwijderd, of voor de aantrekkelijkheid voor bewoners i.v.m. het vastrecht dat zij voor hun aansluiting betalen. Op dezelfde wijze worden ook de kosten van het verwijderen van de gasaansluiting van gebouwen (betaald aan de netbeheerder) niet meegenomen. Ook dit heeft geen invloed op de afweging voor verschillende technische maatregelen omdat ook hierbij geldt dat deze kosten uiteindelijk voor elke aansluiting gemaakt zullen moeten worden.

3.6.4 Temperatuurniveaus HT-warmte

Binnen Vesta MAIS wordt aangenomen dat in principe elk gebouw kan worden aangesloten op een HT-warmtenet, ongeacht de isolatiegraad. Dat is in theorie mogelijk als de bron warmte produceert van rond de 90 °C (of als dit met bijvoorbeeld een centrale industriële warmtepomp of aardgasketel wordt opgewerkt tot dit niveau). Als de warmte rond 70 °C wordt geleverd is het mogelijk dat slecht of matig geïsoleerde woningen onvoldoende verwarmd worden. In Vesta MAIS wordt hier geen rekening mee gehouden en wordt de aanname gedaan dat alle bronnen de geschikte temperatuur leveren, dit houdt in dat in de praktijk een isolatieslag nodig kan zijn in buurten waar wordt gepland om warmtenetten aan te sluiten van minder dan 90 °C. Hoewel een deel van de toekomstige bronnen in de regio Drechtsteden wellicht alleen warmte van minder dan 90 °C zal kunnen leveren, worden deze in de context van deze studie geschaard onder de HT-warmtebronnen.

3.6.5 Fasering en afbouw gasnetten

Het technisch eindbeeld wordt in de praktijk gefaseerd uitgevoerd, maar in deze studie zijn geen berekeningen gedaan voor het precieze ontwikkelingspad in de tijd. Deze keuze is gemaakt omdat de fasering sterk afhankelijk is van de mogelijkheden voor o.a. financiering en andere uitdagingen die per geval moeten worden bekeken. In het technisch eindbeeld is dan ook geen rekening gehouden met de leeftijd van de bestaande aardgasnetten. Hierbij is afgesproken onder de stakeholders in de werkgroep dat een randvoorwaarde is dat gebieden waar de technische levensduur van het aardgasnet is verlopen, voorrang krijgen in de fasering van de uitvoer van de nodige technische maatregelen. Dit om te voorkomen dat verouderde infrastructuur wordt vervangen waarvan bekend is dat ze op termijn toch overbodig moeten worden. De modeluitkomsten zouden daarvoor later, buiten deze studie, kunnen worden vergeleken met gegevens over de technische levensduur van de aardgasnetten in de regio.

3.6.6 Afbakening warmteleveringsgebieden

Voor de toekenning van HT-gebiedsopties wordt per CBS-buurt de businesscase afgewogen. Dit wil zeggen dat de verzameling gebouwen waarvoor de rentabiliteit van een businesscase voor collectieve warmtelevering wordt berekend wordt gedefinieerd op basis van arbitraire gebiedsafbakening. In de praktijk kan het zijn dat bijvoorbeeld binnen een CBS-buurt zich een aantal gebouwen bevindt die geschikt zijn om aan te sluiten op een HT-warmtenet maar waar modelmatig geen warmtenet wordt toegekend omdat de overige gebouwen ervoor zorgen dat de totale businesscase voor de hele buurt niet uitkomt. Dit komt doordat Vesta MAIS er vanuit gaat dat in een totale buurt wel of niet HT-warmte wordt

aangeboden, in plaats van selectief aan enkele individuele gebouweigenaren. Ook kan het zijn dat gebouwen die geschikt zijn voor aansluiting op een warmtenet en zich vlak bij een buurt bevinden waar een warmtenet wordt aangesloten, niet modelmatig HT-warmte toegekend krijgen omdat de rest van de buurt ongeschikt is.

3.6.7 Overstappen van verwarmingstechniek

In de doorrekeningen van de scenario's wordt het grootste deel van de gebouwen ofwel individueel ofwel collectief voorzien van een alternatieve verwarmingsoptie in plaats van verwarming met een individuele aardgasgestookte ketel. Voor zowel individuele als collectieve oplossingen geldt dat zodra de keuze eenmaal gemaakt is voor een bepaalde oplossingsrichting er geen verdere maatregelen worden getroffen. Er zijn dus geen stappen in de tijd meegenomen waardoor een gebouw in eerste instantie aangesloten zou worden op een HT-warmtenet, om vervolgens een aantal jaren later toch over te stappen op een LT-oplossing of een elektrische warmtepomp. Zodra een gebouw een verwarmingsalternatief heeft worden verdere maatregelen niet bekeken omdat het doel van 'gasloze warmte' is behaald. In de praktijk is het mogelijk dat woningen die op gegeven moment op een collectieve verwarmingsoptie zijn aangesloten op een later moment vergaand geïsoleerd worden waardoor de aansluiting van het warmtenet voor de warmteleverancier minder rendabel wordt. In de scenario's is dit niet meegenomen omdat het alleen het eindbeeld laat zien, er vanuit gaande dat op één moment besloten wordt waar welke technische maatregel wordt toegepast.

3.6.8 Generieke toepassing van bestaande technieken

De technieken waarvoor hier de rentabiliteit wordt berekend zijn generieke toepassingen van bestaande technieken. In de praktijk zijn er 'slimmere' oplossingen mogelijk in sommige gevallen, waar combinaties van technieken gezamenlijk voor verwarming van een verzameling gebouwen worden ingezet. Hierbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan de mogelijkheid om een warmteleiding waarmee gebouwen van HT-warmte worden voorzien, op de terugweg op een aantal goed geïsoleerde gebouwen aan te sluiten. Deze zouden dan kunnen profiteren van de lagere temperatuur retourleiding voor hun eigen verwarming. Dergelijke innovatie en locatie-specifieke mogelijkheden zijn te complex om modelmatig te benaderen op dit moment.

3.6.9 Aardgasverbruik in hulpketels van warmtenetten

In warmtenetten worden doorgaans aardgasgestookte ketels ingezet om aan de piekvraag te voldoen. Er zijn geen alternatieven verkend voor dit gebruik van aardgas in hulpketels van warmtenetten. Er zijn andere methoden mogelijk om dit aardgasverbruik te vermijden in de toekomst, echter zijn die in deze studie niet meegenomen als technische maatregelen die genomen kunnen worden. Voor deze studie is de aanname gedaan dat voor bijstook in hulpketels van warmtenetten aardgas gebruikt blijft worden. De kosten van dit aardgasverbruik worden meegenomen bij het bepalen van de operationele kosten van warmtenetten, inclusief de CO₂-prijs in scenario's waar die wordt toegepast. Omdat het onzeker is welke methoden in de toekomst gebruikt worden om dit aardgasverbruik te reduceren, is dit verbruik in deze studie niet meegenomen in het totale regionale aardgasverbruik waar de doelstelling van 90%-aardgasreductie op van toepassing is. Voor de doorrekeningen in deze studie is ervan uitgegaan dat in warmtenetten 20% van het jaarlijkse volume aan geleverde warmte uit hulpketels wordt geleverd en 80% door de primaire bron. Dit is een conservatieve inschatting en in de praktijk kan wellicht een hogere efficiëntie worden gehaald. In sectie 4.2.4 wordt een gevoeligheidsanalyse gedaan voor de gevolgen van een lager aardgasverbruik in hulpketels van warmtenetten door hogere efficiëntie.

4. Resultaten

Dit hoofdstuk geeft de resultaten zoals die zijn verkregen uit de doorrekeningen die in deze studie zijn gedaan. Het vorige hoofdstuk geeft een gedetailleerdere beschrijving van hoe deze doorrekeningen tot stand zijn gekomen en hier worden met name de uitkomsten daarvan weergegeven. Ten eerste worden in onderdeel 4.1 de resultaten van het referentiebeeld op basis van eindgebruikerskosten en de vier scenario's op basis van maatschappelijke kosten behandeld. Aan de hand van een vergelijking van deze resultaten is vervolgens het maatschappelijk meest kosteneffectieve scenario bepaald. In onderdeel 4.2 wordt dit meest kosteneffectieve scenario onderworpen aan een viertal gevoeligheidsanalyses, wederom op basis van een maatschappelijke kostenbenadering. Vervolgens worden in onderdeel 4.3 met een benadering op basis van kosten voor eindgebruikers de effecten van vier beleidsinstrumenten geanalyseerd. Tenslotte worden in onderdeel 4.4 de inzichten van onderdeel 4.3 gebruikt om een scenario met een combinatie van beleidsinstrumenten door te rekenen. Dit is ook op basis van een eindgebruikersbenadering van de kosten. Voor dit scenario met inzet van een combinatie van beleidsinstrumenten wordt vervolgens een aantal niveaus van beleidsintensiteit verkend waarbij de doelstelling van 90% reductie van het aardgasverbruik in meer of mindere mate wordt gehaald. Voor het hoogste niveau van beleidsintensiteit waarbij de doelstelling het dichtst wordt benaderd is ook een indicatie gegeven van de kostenverdeling onder een aantal groepen actoren.

4.1 Maatschappelijke scenario's en referentiebeeld

In alle doorrekeningen zijn de eindresultaten een gesimuleerd energieprofiel in 2035, een pakket technische maatregelen dat uiterlijk in 2035 kan worden genomen, en een kostenoverzicht. Het energieprofiel laat zien wat de vraag naar verschillende energiedragers is. Deze energiedragers zijn de gebruikte hoge-temperatuur (HT) warmte uit regionale warmtebronnen in grote warmtenetten, de lage-temperatuur (LT) warmte, elektriciteit voor elektrische warmtepompen, en een resterende aardgasvraag.

Het pakket technische maatregelen dat in de doorrekening wordt toegepast is bepaald op basis van de rentabiliteit per maatregel. Rentabiliteit wordt bepaald door de initiële investeringskosten en de jaarlijkse onderhoudskosten van een technische maatregel af te zetten tegen de jaarlijkse energiebesparingswinst door vermeden aardgasverbruik (bij gebouwmaatregelen) of de inkomsten uit warmtelevering (bij gebiedsmaatregelen). De maatschappelijke benadering wijkt af van de eindgebruikersbenadering doordat een lagere rentevoet van 4% wordt gehanteerd en de belastingen niet meegenomen worden in de rentabiliteitsafweging. Dit laatste omdat belastingen alleen leiden tot een herverdeling van middelen en dus maatschappelijk geen kosten zijn.

Er worden maatschappelijk kosteneffectieve technische maatregelenpakketten gevonden waarmee het aardgasgebruik kan worden uitgefaseerd door te rekenen met maatschappelijke kosten per uitgestoten eenheid CO₂. Daarbij wordt er rekening gehouden met het feit dat ook alternatieve verwarmingsopties een CO₂-uitstoot kunnen hebben, bijvoorbeeld door bijstook van warmte met hulpwarmteketels op aardgas in warmtenetten of elektriciteitsverbruik voor warmtepompen. Deze uitstoot en de gerelateerde maatschappelijke kosten worden meegenomen in de rentabiliteitsberekening. In het referentiebeeld waarin gerekend wordt met een eindgebruikersbenadering worden geen maatschappelijke kosten door CO₂-uitstoot meegerekend omdat die op dit moment niet in rekening worden gebracht bij de gebruiker.

In de doorrekening van de scenario's op basis van maatschappelijke rentabiliteit is het kostenoverzicht een overzicht van de verschillende maatschappelijke kostenposten gerelateerd aan de warmtevoorziening van de gebouwde omgeving. Op basis daarvan kunnen de scenario's vergeleken worden op

kosteneffectiviteit voor de maatschappij als geheel. Daarnaast komt ook in beeld wat de kosten onder die omstandigheden zouden zijn voor diverse partijen binnen de regio, al is dit in deze fase nog op een zeer hoog abstractieniveau. De verdeling van deze kosten is onderwerp van de tweede onderzoeksfase waarin met beleidsinstrumenten wordt gestreefd om de technische keuzes in het eindbeeld van de maatschappelijke scenario's ook via een eindgebruikersbenadering rendabel te maken.

4.1.1 Referentiebeeld

Om de hiernavolgende scenario's voor een aardgasvrije warmtevoorziening in 2035 te kunnen vergelijken is eerst onderzocht wat er in de tussentijd mogelijk zou zijn indien er geen nieuw beleid wordt ingevoerd en alleen de maatregelen worden genomen die in dat geval al rendabel zijn. Hierbij is aangenomen dat het bestaande warmtenet in Dordrecht wordt afgerond tot op het punt dat alle gebouwen zijn aangesloten in buurten waar dat op dit moment al wordt aangeboden³⁵.

Het achtergrondscenario voor de ontwikkeling tot 2035 neemt aan dat er vier factoren veranderen die de situatie veranderen ten opzichte van het huidige beeld:

- Hogere buitentemperaturen door opwarming van het klimaat
- Technologische ontwikkeling waardoor kosten van technieken dalen
- Geraamde ontwikkeling van energieprijzen (conform de NEV 2017)
- Sloep en nieuwbouw in de regio, voor zover die al bekend is

Gegeven deze omgevingsfactoren is het mogelijk om een reductie van het aardgasverbruik van 5,36 PJ naar 3,83 PJ te realiseren. Hieronder is in tabel 4.1 weergegeven welke verschuivingen er kunnen plaatsvinden in het gebruik van verschillende soorten verwarmingstechnieken.

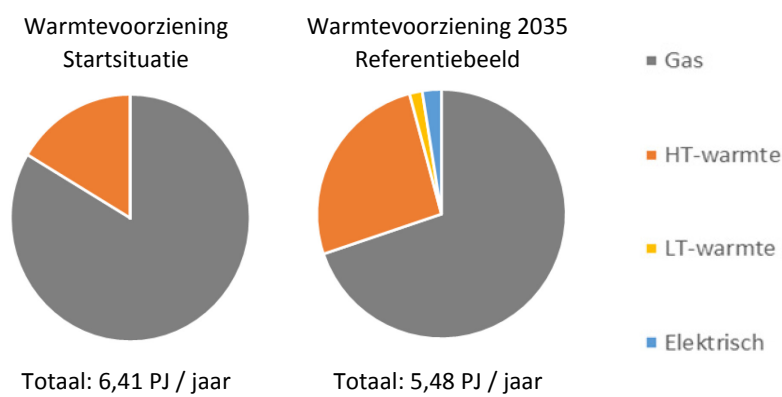
Tabel 4.1: Energievraag per techniek in de startsituatie en in 2035, in het startjaar en in het referentiebeeld waarbij alle maatregelen genomen worden die rendabel zijn voor eindgebruikers bij ongewijzigd beleid.

| Energievraag per techniek (PJ per jaar) | | Startsituatie (2015) | Eindbeeld (2035) rendabel bij ongewijzigd beleid |
|---|---------------|----------------------|--|
| Warmteoptie | Aardgas | 5,36 | 3,83 |
| | HT-warmte | 1,05 | 1,45 |
| | LT-warmte | 0,00 | 0,06 |
| | Elektrisch | 0,00 | 0,14 |
| | Totaal | 6,41 | 5,48 |

³⁵ Op dit moment wordt aansluiting op het bestaande warmtenet in Dordrecht alleen nog aangeboden voor woningcorporaties, VvE's en grootgebruikers, en nog niet voor particulieren.

Zoals deze figuur laat zien wordt het grootste deel van de winst behaald door de toepassing van energiebesparende maatregelen; de totale gevraagde energie voor verwarming daalt van 6,41 PJ naar 5,48 PJ. De tweede mogelijkheid ongewijzigd beleid is een beperkte uitbreiding van het HT-warmtenet. Hierdoor kan nog eens 0,4 PJ van de warmtevraag worden ingevuld met stadsverwarming, in plaats van individuele aardgasgestookte ketels. Verder is er bij ongewijzigd beleid nog een klein potentieel voor LT-warmtenetten of elektrische warmtepompen. De investeringskosten van deze twee technieken zijn ook bij de aangenomen daling van de kosten door leereffecten relatief hoog en deze hebben daardoor te lange terugverdiertijden om nu al op grote schaal in te zetten. Zie ook figuur 4.1, waarin de hoeveelheid warmte die wordt geleverd met verschillende technieken als aandeel van de totale warmtevraag wordt weergegeven.

Figuur 4.1: Aandelen in de warmtevraag per energiedrager, in de startsituatie (2015) en in het referentiebeeld voor 2035 (rendabele maatregelen voor eindgebruikers bij ongewijzigd beleid).



Zoals figuur 4.1 laat zien blijft de warmtevoorziening nog voornamelijk afhankelijk van aardgas in het referentiebeeld van deze doorrekening. Omdat de meeste maatregelen niet rendabel zijn worden er beperkte investeringen gedaan, waarmee de doelstellingen van de warmtetransitie nog niet gehaald worden. De maatschappelijke kosten van de totale energievoorziening, zoals weergegeven in tabel 4.2 veranderen dan ook weinig. Deze totale maatschappelijke kosten zijn hieronder uitgedrukt als jaarlijkse kosten, opgesplitst in een aantal verschillende kostencomponenten. Deze componenten zijn:

- **Aardgasgebruik:** het totaalbedrag dat in de regio wordt uitgegeven aan de inkoop van aardgas, inclusief vastrecht.
- **Elektriciteitsgebruik:** het totaalbedrag dat in de regio wordt uitgegeven aan de inkoop van elektriciteit. Dit is in de startsituatie alleen voor elektrische apparatuur en niet voor warmteopwekking. In het eindbeeld komt hier extra elektriciteitsvraag bovenop voor de inzet van elektrische warmtepompen of voor het opereren van warmtenetten. Hierbij in zitten ook de kosten van eventuele netverzwaring als dit nodig is vanwege toegenomen elektriciteitsvraag in een gebied.
- **Kapitaallasten gebouwmaatregelen:** de investeringskosten voor gebouwmaatregelen, voor isolatie en elektrische warmtepompen. Deze is volgens de maatschappelijke rentevoet omgezet in jaarlijkse kosten.
- **Onderhoud gebouwmaatregelen:** de lopende kosten voor onderhoud en beheer van nieuwe verwarmingsinstallaties in gebouwen.

- **Collectieve warmtelevering:** De kosten van HT- en LT-warmtenetten, inclusief zowel investeringskosten als lopende kosten waaronder de kosten voor het opwekken van warmte. Eventuele winsten van warmtebedrijven worden niet gezien als maatschappelijke kosten.

Tabel 4.2: Totale maatschappelijke kosten van de energievoorziening van de gebouwde omgeving, uitgesplitst in componenten. In de startsituatie en in het eindbeeld van het referentiebeeld (rendabele maatregelen voor eindgebruikers bij ongewijzigd beleid).

| Maatschappelijke kosten van de energievoorziening in de gebouwde omgeving (mln. euro/jr. - CPI 2018 ³⁶) | | Startsituatie (2015) | Eindbeeld (2035) Bij ongewijzigd beleid |
|---|----------------------------------|----------------------|---|
| Kosten component | Aardgasgebruik | 81 | 78 |
| | Elektriciteitsgebruik | 107 | 113 |
| | Kapitaallasten gebouwmaatregelen | 0 | 17 |
| | Onderhoud gebouwmaatregelen | 0 | 1 |
| | Collectieve warmtelevering | 26 | 41 |
| | Totaal | 213 | 250 |

Zoals deze tabel laat zien wordt er in de startsituatie 81 miljoen euro aan aardgas uitgegeven. Dit daalt doordat er energiebesparende maatregelen worden genomen en er meer gebouwen op alternatieve warmteopties overstappen. Doordat de aardgasprijzen op de achtergrond stijgen (zie paragraaf 3.2.4) is het verschil in de totale kosten van aardgasgebruik in de regio uiteindelijk slechts 3 miljoen euro per jaar. De kosten voor elektriciteitsgebruik daarentegen stijgen enigszins. De aanname is gedaan dat het elektriciteitsgebruik voor apparatuur gelijk blijft, maar de kosten daarvan stijgen wel enigszins omdat de elektriciteitsprijzen naar verwachting hoger zijn in de toekomst. Ook wordt er extra elektriciteit gebruikt door warmtenetten en warmtepompen, waardoor de vraag toeneemt. De jaarlijkse kapitaallasten van de investeringen die worden gedaan in gebouwen bedragen 17 miljoen, ten behoeve van isolatie en eventueel ook elektrische warmtepompen. Daarnaast wordt er ook jaarlijks 1 miljoen euro uitgegeven aan beheer en onderhoud van deze gebouwmaatregelen. De kosten van collectieve warmtelevering (HT en LT) stijgen met 15 miljoen euro per jaar. Dit zijn zowel de investeringen die gedaan worden voor de aanleg van nieuwe warmtenetten, als de operationele kosten om o.a. voor deze netten warmte op te wekken en te leveren.

³⁶ Consumer Price Index (CPI) van het CBS via <https://www.cbs.nl/nl-nl/economie/prijzen>

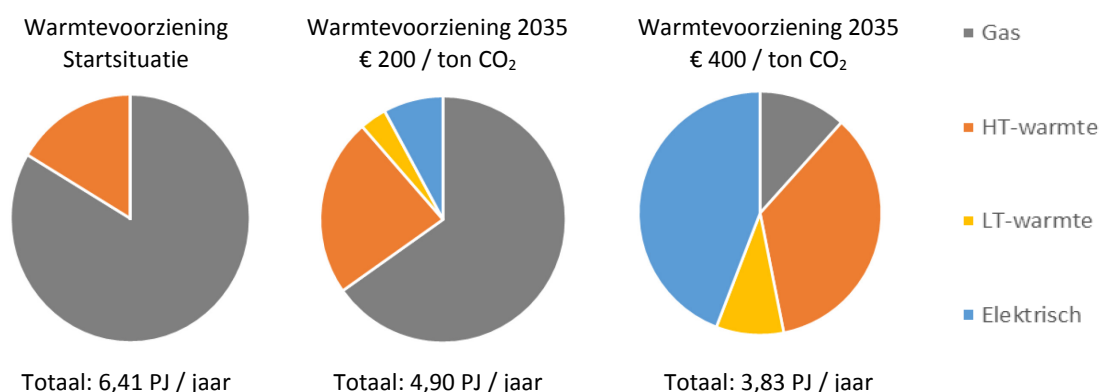
4.1.2 Energiebesparing – Elektrisch

Het eerste scenario om de doelstelling van 90% reductie van het aardgasgebruik te realiseren legt de nadruk op energiebesparing en individuele elektrische warmtepompen. In dit scenario worden er met name investeringen in gebouwmaatregelen gedaan.

Door de introductie van een CO₂-prijs op zowel gas als elektriciteit krijgen technische maatregelen die CO₂ uitstoten additionele maatschappelijke kosten toegerekend waardoor technische maatregelen met een lage CO₂-uitstoot aantrekkelijker worden. Dit is een belangrijk verschil tussen het referentiebeeld en de maatschappelijk kosteneffectieve scenario's voor 90% reductie van het aardgasverbruik. Door deze CO₂-prijs wordt de maatschappelijke rentabiliteit van maatregelen die reductie van het aardgasgebruik realiseren positiever. Het effect van deze methode is groter naarmate het reduceren van CO₂-emissies hoger wordt gewaardeerd. Dit is hier in twee berekeningsrondes met het Vesta MAIS model gedaan, waarbij eerst emissiereducties 'laag' worden gewaardeerd met €200 per ton CO₂. Dit houdt in dat de maatschappelijke schade van CO₂-emissie op €200 per ton wordt geschat en dat het als gevolg daarvan ook €200 mag kosten om de uitstoot van een ton CO₂ te vermijden. De beslisboom behorende bij dit scenario wordt met deze prijs van €200/ton doorlopen en vervolgens met een 'hoge' waardering van €400/ton CO₂. Het resultaat na deze tweede ronde is het eindbeeld van het scenario. Dit eindbeeld beschrijft welke technische maatregelen genomen kunnen worden onder deze condities.

In figuur 4.2 is te zien hoe de energievraag per techniek verandert in het scenario 'Energiebesparing – Elektrisch'. Bij de eerste stap van de CO₂-prijs daalt de totale jaarlijkse energievraag van 6,41 PJ naar 4,90 PJ, maar gebeurt er qua inzet van alternatieve warmteopties nog relatief weinig ten opzichte van het referentiebeeld. De warmtevoorziening in 2035 bij €200/ton CO₂ is nog steeds voornamelijk afhankelijk van aardgas. Er is dan een lichte toename ten opzichte van de startsituatie van zowel LT en HT warmtenetten als elektrische verwarming, maar de grootste stap inzake de energiemix komt bij €400/ton. In dat eindbeeld is het aardgasverbruik met meer dan 90% verminderd. Het aandeel in de warmtevraag van warmtenetten stijgt, maar de belangrijkste manier waarop het aardgasverbruik daalt is door isolatie en individuele elektrische warmtepompen.

Figuur 4.2: Aandelen in de warmtevraag per energiedrager in de startsituatie, in het eindbeeld bij een CO₂-prijs van €200/ton en met een CO₂-prijs van €400/ton – in het scenario 'Energiebesparing – Elektrisch'. (Indien alle maatschappelijk kosteneffectieve maatregelen genomen worden.)



De totale gerealiseerde energiebesparing in de warmtevoorziening is een reductie van 6,41 PJ per jaar in 2015 naar 3,83 PJ in 2035. Bijna de helft van het resterende energieverbruik van de warmtevoorziening is elektriciteit voor individuele elektrische warmtepompen. Met deze beslisboom is er ook een belangrijke

rol voor warmtenetten weggelegd omdat voor een deel van de gebouwenvoorraad bij de hoge waardering van CO₂-emissiereductie vanuit maatschappelijk oogpunt geen sluitende businesscase is voor de elektrische warmtepomp of isolatie naar A+. Kanttekening is dat, zoals beschreven in hoofdstuk 3, voor gebouwen die eenmaal zijn aangesloten op collectieve warmtelevering wordt aangenomen dat zij niet meer verder isoleren of overstappen op een eigen elektrische warmtepomp. Zie tabel 4.3 voor de warmtelevering van verschillende technieken in de startsituatie, de tussenstap, en het eindbeeld.

Tabel 4.3: Energievraag per techniek in de startsituatie, het referentiebeeld, in het eindbeeld bij een CO₂-prijs van €200/ton en met een CO₂-prijs van €400/ton – in het scenario ‘Energiebesparing – Elektrisch’. (Indien alle maatschappelijk kosteneffectieve maatregelen genomen worden.)

| Energievraag per techniek (PJ per jaar) | | Startsituatie (2015) | Eindbeeld (2035) rendabel bij ongewijzigd beleid | Bij een CO ₂ -prijs van €200/ton | Eindbeeld (2035) Bij een CO ₂ -prijs van €400/ton |
|---|---------------|----------------------|--|---|--|
| Warmteoptie | Aardgas | 5,36 | 3,83 | 3,19 | 0,45 |
| | HT-warmte | 1,05 | 1,45 | 1,15 | 1,35 |
| | LT-warmte | 0,00 | 0,06 | 0,17 | 0,34 |
| | Elektrisch | 0,00 | 0,14 | 0,39 | 1,69 |
| | Totaal | 6,41 | 5,48 | 4,90 | 3,83 |

Tabel 4.4 geeft een overzicht van de maatschappelijke kosten van de energievoorziening, onderverdeeld in componenten voor het startjaar, de tussenstap en het eindbeeld. De totale jaarlijkse maatschappelijke kosten van de energievoorziening in de regio Drechtsteden nemen in dit scenario van 213 miljoen euro in 2015 met 239 miljoen euro toe tot 452 miljoen euro in 2035. Dat betekent ruim een verdubbeling ten opzichte van het startjaar en is 202 miljoen per jaar hoger dan het referentiebeeld in 2035. De toename van jaarlijkse kosten komt met name door de hoge kapitaallasten van investeringen om gebouwen beter te isoleren en voor de installatie van elektrische warmtepompen. Bovenop de 165 miljoen euro aan jaarlijkse kapitaallasten van de investeringen in technische maatregelen voor gebouwen kosten deze technische maatregelen ook 29 miljoen euro per jaar voor onderhoud en beheer.

In de kosten van energiegebruik levert de vermeden inkoop van aardgas in dit scenario een maatschappelijke besparing van 59 miljoen per jaar op in 2035. De kosten van het elektriciteitsgebruik stijgen echter door de installatie van grote aantallen elektrische warmtepompen (naast de groei van het verbruik door nieuwbouw) van 107 miljoen euro per jaar in de startsituatie naar 171 miljoen euro per jaar in 2035. De totale maatschappelijke kosten voor elektriciteitsgebruik, inclusief netverzwaring waar nodig, stijgen dus met 64 miljoen per jaar in het eindbeeld (58 miljoen meer dan in het referentiebeeld), ten opzichte van het startjaar.

In het referentiebeeld stijgen de maatschappelijke kosten van collectieve warmtelevering van 26 miljoen euro naar 41 miljoen euro per jaar, onder andere door stijgende aardgasprijzen in het achtergrondscenario. De jaarlijkse kosten voor collectieve warmtelevering voor de aanleg en exploitatie van

warmtenetten stijgen in het scenario ‘Energiebesparing – Elektrisch’ met nog eens 24 miljoen per jaar ten opzichte van het referentiebeeld (een totale stijging van 39 miljoen t.o.v. 2015).

Tabel 4.4: Totale maatschappelijke kosten van de energievoorziening van de gebouwde omgeving, uitgesplitst in componenten. In de startsituatie, het referentiebeeld, in een tussenstap bij een CO₂-prijs van €200/ton en in 2035 met een CO₂-prijs van €400/ton – in het scenario ‘Energiebesparing – Elektrisch’. (Indien alle maatschappelijk kosteneffectieve maatregelen genomen worden.)

| Maatschappelijke kosten van de energievoorziening in de gebouwde omgeving (mln. euro/jr. - CPI 2018) | | Startsituatie (2015) | Eindbeeld (2035) rendabel bij ongewijzigd beleid | Bij een CO ₂ -prijs van €200/ton | Eindbeeld (2035) Bij een CO ₂ -prijs van €400/ton |
|--|----------------------------------|----------------------|--|---|--|
| Kosten component | Aardgasgebruik | 81 | 78 | 106 | 22 |
| | Elektriciteitsgebruik | 107 | 113 | 137 | 171 |
| | Kapitaallasten gebouwmaatregelen | 0 | 17 | 57 | 165 |
| | Onderhoud gebouwmaatregelen | 0 | 1 | 4 | 29 |
| | Collectieve warmtelevering | 26 | 41 | 42 | 65 |
| | Totaal | 213 | 250 | 347 | 452 |

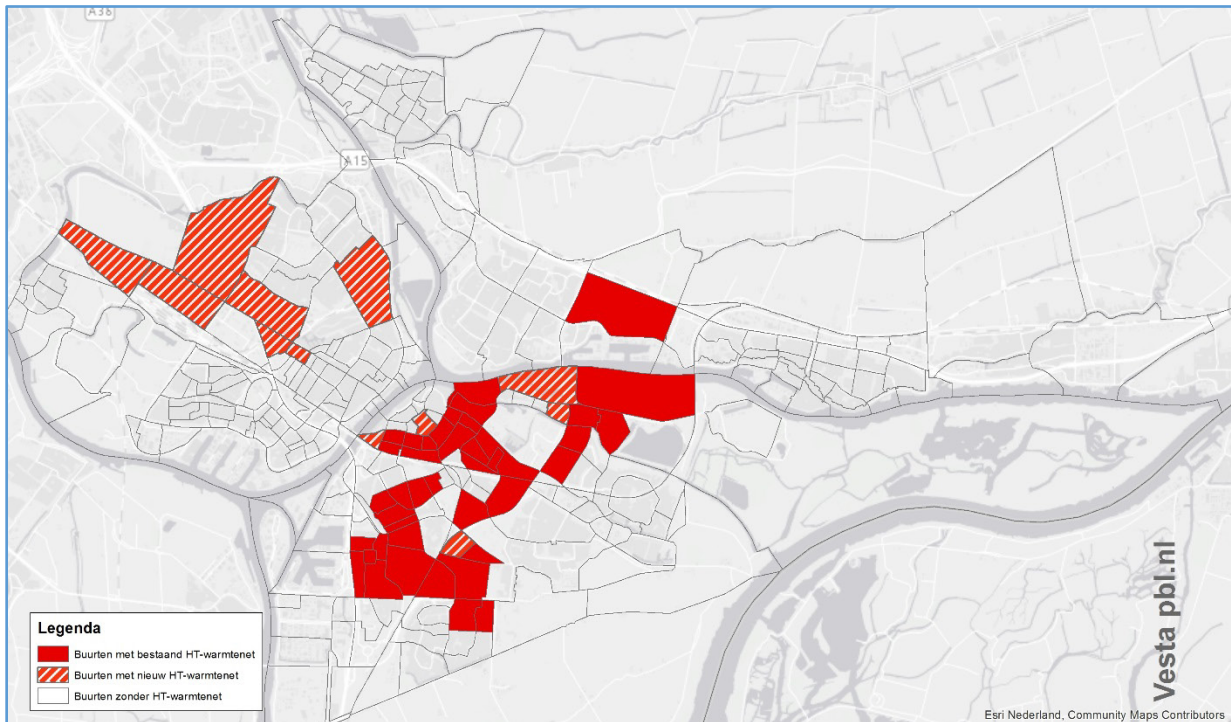
Figuur 4.3 laat zien welke buurten in dit scenario een warmtenet voor HT-warmte warmtelevering krijgen toegekend. Het grootste potentieel voor een HT-warmtenet is ten westen van Hendrik-Ido-Ambacht. Reden hiervoor is de geconcentreerde warmtevraag in een aantal glastuinbouwbedrijven, waar de grote warmtevraag de aanleg van de primaire transportleidingen maatschappelijk rendabel maakt. Om deze glastuinbouwbedrijven heen kan daardoor als het transportnet er eenmaal ligt ook een aantal woningen en gebouwen worden aangesloten. In Dordrecht breidt het bestaande warmtenet uit naar vijf nieuwe buurten.

Kanttekening is dat, omdat er modelmatig geen rekening is gehouden met de waterwegen in de regio, de kosten van de genoemde transportleidingen aanzienlijk hoger zouden kunnen zijn waardoor in de praktijk het aansluiten van de glastuinbouwbedrijven ten westen van Hendrik-Ido-Ambacht wellicht niet rendabel zou zijn voor de warmteleverancier. In de praktijk zou er wellicht een nieuwe lokale HT-warmtebron gecreëerd moeten worden (zoals in de scenario’s ‘Collectief’), maar daar wordt in deze studie niet verder op ingegaan.

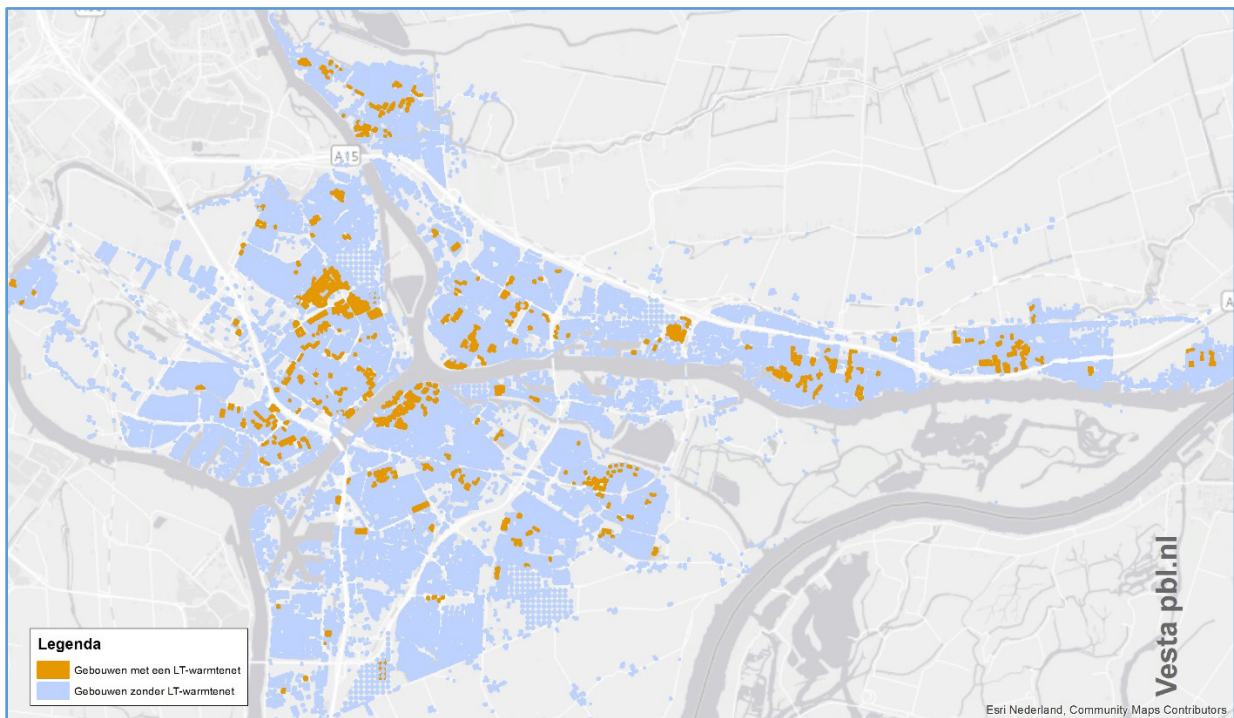
Figuur 4.4 laat de ruimtelijke spreiding van gebouwen met aansluiting op een lokaal LT-warmtenet zien. Deze zijn in grote of kleine clusters aangesloten op een centrale warmte elektrische warmtepomp met een ondiep bodemsysteem voor warmte en koudeopslag. Op deze systemen is geen ondergrens voor het

aantal aansluitingen zoals bij een HT-warmtenet, en daarom is de inzet van LT-warmtenetten ook meer verspreid.

Figuur 4.3: Ruimtelijke weergave van buurten waar HT-warmtenetten worden aangelegd in het technisch eindbeeld – in het scenario ‘Energiebesparing – Elektrisch’. (Indien alle maatschappelijk kosteneffectieve maatregelen genomen worden.)



Figuur 4.4: Ruimtelijke weergave van clusters van gebouwen die worden aangesloten op LT-warmtenetten in het technisch eindbeeld – in het scenario ‘Energiebesparing – Elektrisch’. (Indien alle maatschappelijk kosteneffectieve maatregelen genomen worden.)



Zoals op de kaart in figuur 4.4 te zien is worden er in Dordrecht relatief weinig gebouwen aangesloten op LT-warmte. Dit omdat in deze gemeente al een HT-warmtenet aanwezig is. De grootste clusters van LT-aansluitingen liggen in Zwijndrecht en Hendrik-Ido-Ambacht. De gebouwen in deze gemeenten zijn maatschappelijk relatief rendabel om te isoleren tot schillabel A+, maar elektrische warmtepompen zijn in de meeste van deze gebouwen maatschappelijk niet rendabel om te installeren. De lagere warmtevraag (door isolatie) betekent dat een HT-warmtenet niet meer rendabel is. Veel goed geïsoleerde woningen bij elkaar die nog wel aardgas verbruiken voor verwarming maken vervolgens dat de volgende stap in de beslisboom wel rendabel is: lokale LT-warmtenetten. In Sliedrecht en Alblasterdam is dezelfde situatie zichtbaar, zij het in iets kleinere mate. In Hardinxveld-Giessendam en in Papendrecht is door het type woningen dat er staat de elektrische warmtepomp vaak wel een maatschappelijk rendabel alternatief op aardgas.

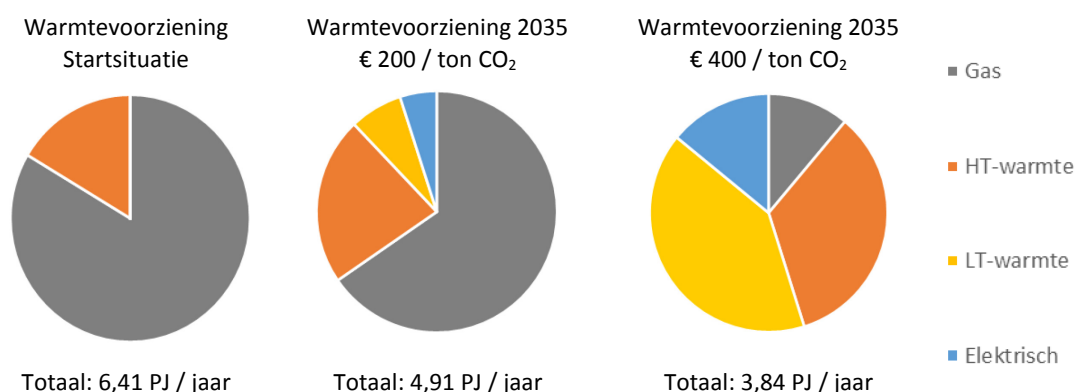
4.1.3 Energiebesparing – Lage Temperatuur

Het volgende scenario is een variant op de eerste. Ook hierbij ligt de nadruk op energiebesparing en minder bij collectieve warmtelevering. Wederom wordt er een aanname gedaan dat er geen nieuwe HT-warmtebronnen worden gecreëerd in de regio. Het verschil is dat in dit tweede scenario de zeer goed geïsoleerde gebouwen bij voorkeur worden aangesloten op een centrale warmtepomp met een lokaal LT-warmtenet, in plaats van verwarming met een individuele elektrische warmtepomp.

Zoals te zien in figuur 4.5 is er bij de tussenstap met €200 per ton als maatschappelijke prijs van CO₂-emissies weinig verschil met het eerste scenario. Ook in het scenario ‘Energiebesparing – Elektrisch’ blijft in deze eerste verhogingsstap nog een groot deel van de warmtevoorziening afhankelijk van aardgas. In deze eerste stap zijn al wel meer elektrische warmtepompen of lokale LT-warmtenetten aan te leggen dan in het referentiebeeld. Ook het HT-warmtenet kan in vergelijking met het referentiebeeld lichtelijk

uitbreiden in het aandeel van de warmtevoorziening dat het levert. Bij de volgende stap naar een hogere waardering van de maatschappelijke prijs van CO₂-emissies wordt de aardgasvraag voor meer dan 90% vervangen door andere verwarmingsmethoden. Dit is dan ook het eindbeeld van dit scenario. In dat eindbeeld blijft de rol van HT-warmtenetten hetzelfde als in het eindbeeld van het scenario 'Energiebesparing – Elektrisch'. Het aandeel in de warmtevraag dat werd geleverd met individuele elektrische warmtepompen wordt voor een belangrijk deel overgenomen door LT-warmtenetten, als gevolg van de prioritaire volgorde waarbij deze de voorkeur krijgen.

Figuur 4.5: Aandelen in de warmtevraag per energiedrager in de startsituatie, in het eindbeeld met een CO₂-prijs van €200/ton en met een CO₂-prijs van €400/ton – in het scenario 'Energiebesparing – Lage Temperatuur'. (Indien alle maatschappelijk kosteneffectieve maatregelen genomen worden.)



De totale warmtevraag daalt in dit scenario net als in de vorige door energiebesparende gebouwverbeteringen van 6,41 PJ naar 3,84 PJ per jaar. Hiervan wordt in het eindbeeld nog slechts 0,43 PJ ingevuld door aardgas, zoals weergegeven in tabel 4.5. Het grootste aandeel in de warmtevraag heeft de LT-warmte. Deze techniek kan in dit scenario in het eindbeeld 1,56 PJ per jaar aan warmte leveren in de regio.

Tabel 4.5: Energievraag per techniek in de startsituatie, het referentiebeeld, in het eindbeeld bij een CO₂-prijs van €200/ton en met een CO₂-prijs van €400/ton – in het scenario 'Energiebesparing – Lage Temperatuur'. (Indien alle maatschappelijk kosteneffectieve maatregelen genomen worden.)

| Energievraag per techniek (PJ per jaar) | | Startsituatie (2015) | Eindbeeld (2035) rendabel bij ongewijzigd beleid | Bij een CO ₂ -prijs van €200/ton | Eindbeeld (2035) Bij een CO ₂ -prijs van €400/ton |
|---|---------------|----------------------|--|---|--|
| Warmteoptie | Aardgas | 5,36 | 3,83 | 3,21 | 0,43 |
| | HT-warmte | 1,05 | 1,45 | 1,11 | 1,31 |
| | LT-warmte | 0,00 | 0,06 | 0,35 | 1,56 |
| | Elektrisch | 0,00 | 0,14 | 0,24 | 0,54 |
| | Totaal | 6,41 | 5,48 | 4,91 | 3,84 |

De jaarlijkse totale maatschappelijke kosten van de energievoorziening van de gebouwde omgeving in de Drechtsteden nemen ook in dit scenario ‘Energiebesparing – Lage Temperatuur’ sterk toe in 2035 als gevolg van de warmtetransitie. Deze kosten zijn weergegeven in tabel 4.6. In deze tabel is te zien dat de totale maatschappelijke kosten grofweg verdubbelen ten opzichte van het startjaar. Echter valt de warmtetransitie in dit scenario in totaal 22 miljoen euro per jaar goedkoper uit dan in het scenario ‘Energiebesparing – Elektrisch’.

Net als in het vorige scenario stijgen uitgaven aan elektriciteit doordat die wordt gebruikt voor verwarming. Het verschil is dat de kosten in dit scenario worden geïnvesteerd in LT-warmtenetten, waar elektriciteit wordt gebruikt om met centrale warmtepompen die het LT-warmtenet te voeden. Deze LT-warmtenetten kosten inclusief investeringen en exploitatie in totaal 124 miljoen per jaar. Hierdoor wordt voor deel van de gebouwen vermeden dat zij individuele warmtepompen moeten aanschaffen, waardoor geen 165 miljoen (zoals in het scenario ‘Energiebesparing – Elektrisch’) maar 118 miljoen per jaar aan investeringen aan gebouwen moet worden gedaan door de eigenaren. Ook worden de uitgaven aan de inkoop van aardgas in dit scenario in 2035 met 60 miljoen per jaar lager dan in 2015.

Tabel 4.6: Totale maatschappelijke kosten van de energievoorziening van de gebouwde omgeving, uitgesplitst in componenten. In de startsituatie, het referentiebeeld, in een tussenstap bij een CO₂-prijs van €200/ton en in het eindbeeld (2035) met een CO₂-prijs van €400/ton – in het scenario ‘Energiebesparing – Lage Temperatuur’. (Indien alle maatschappelijk kosteneffectieve maatregelen genomen worden.)

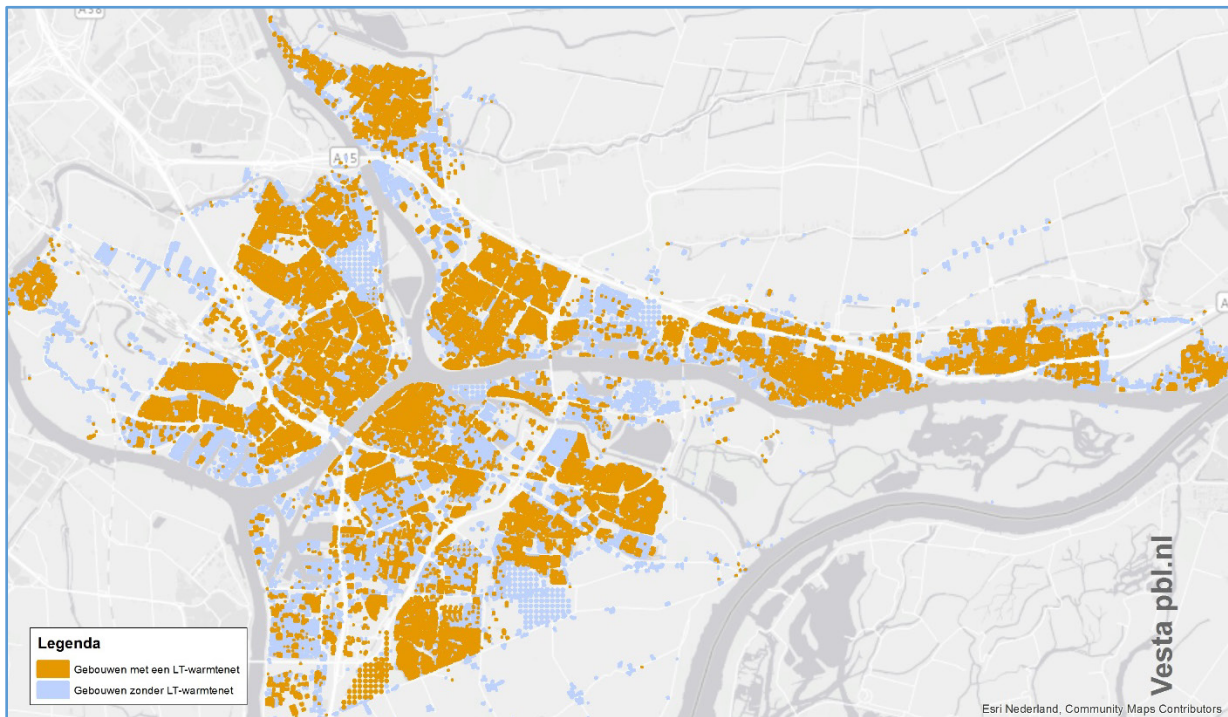
| Maatschappelijke kosten van de energievoorziening in de gebouwde omgeving (mln. euro/jr. - CPI 2018) | | Startsituatie (2015) | Eindbeeld (2035) rendabel bij ongewijzigd beleid | Bij een CO ₂ -prijs van €200/ton | Eindbeeld (2035) Bij een CO ₂ -prijs van €400/ton |
|--|----------------------------------|----------------------|--|---|--|
| Kosten component | Aardgasgebruik | 81 | 78 | 106 | 21 |
| | Elektriciteitsgebruik | 107 | 113 | 135 | 160 |
| | Kapitaallasten gebouwmaatregelen | 0 | 17 | 55 | 118 |
| | Onderhoud gebouwmaatregelen | 0 | 1 | 3 | 8 |
| | Collectieve warmtelevering | 26 | 41 | 47 | 124 |
| | Totaal | 213 | 250 | 347 | 430 |

De buurten waar HT-warmte wordt geleverd in het eindbeeld van dit scenario zijn dezelfde³⁷ als in het voorgaande scenario ‘Energiebesparing – Elektrisch’ (hier niet nogmaals als kaart opgenomen, zie bijlage D). Net als in het scenario ‘Energiebesparing – Elektrisch’ is er in dit scenario sprake van een bescheiden

³⁷ Het verschil is beperkt tot één buurt met een warmtevraag van 0,04 PJ in het zuiden van Dordrecht die in dit scenario niet wordt aangesloten maar wel in het vorige scenario.

groei in het bestaande HT-warmtenet in Dordrecht. Daarnaast ontstaat er ook in dit scenario een nieuw HT-warmtenet ten westen van Hendrik-Ido-Ambacht, omdat in dit gebied veel tuinbouwbedrijven zijn met een grote warmtevraag. Figuur 4.6 laat de spreiding van LT-gebieden zien op de kaart. Hierin bestaan wel grote verschillen met het vorige scenario.

Figuur 4.6: Ruimtelijke weergave van clusters van gebouwen die worden aangesloten op LT-warmtenetten in het technisch eindbeeld – in het scenario ‘Energiebesparing – Lage Temperatuur’. (Indien alle maatschappelijk kosteneffectieve maatregelen genomen worden.)



Zoals figuur 4.6 laat zien komen in dit scenario nagenoeg alle dichtbebouwde gebieden, waar geen bestaande warmtenetten aanwezig zijn, in aanmerking voor LT-warmtenetten. Alleen in de gebieden die slechts zeer dun bebouwd zijn is er geen businesscase rond te krijgen voor een LT-warmtenet en zijn de gebouweigenaren dus aangewezen op een individuele elektrische warmtepomp.

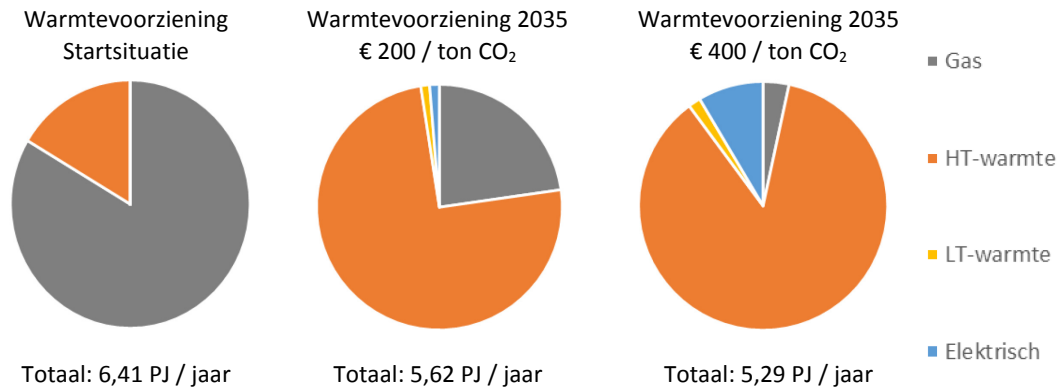
4.1.4 Collectief – Hoge Temperatuur

De volgende twee scenario's in paragraaf 4.1.4 en 4.1.5 hebben een andere insteek dan de twee die zijn besproken in paragraaf 4.1.2 en 4.1.3. De vorige twee scenario's 'Energiebesparing – Elektrisch' en 'Energiebesparing – Lage Temperatuur' werken met de voorkeur om zoveel mogelijk te isoleren en vervolgens ofwel LT-warmtenetten ofwel individuele elektrische warmtepompen aan te sluiten. In het scenario 'Collectief – Hoge Temperatuur' ligt de voorkeur juist bij grote HT-warmtenetten, waarvoor (in ieder geval modelmatig) geen minimale isolatiegraad voor gebouwen geldt. Dit scenario gaat ervan uit dat er ook geïnvesteerd wordt in HT-warmtebronnen. De aanname is dat er in het noordoosten van de regio bij Papendrecht en Sliedrecht een geothermiebron wordt gerealiseerd en dat er in het noordwesten van de regio bij Zwijndrecht en Hendrik-Ido-Ambacht een aansluiting op de warmterotonde Zuid-Holland komt. In de praktijk kunnen dit ook andere bronnen zijn.

In dit scenario 'Collectief – Hoge Temperatuur' worden er overal waar dit rendabel is HT-warmtenetten per buurt aangesloten. In buurten waar dit niet kan wordt vervolgens gekeken of er een businesscase is te

maken voor een lokaal LT-warmtenet. Alleen voor gebouwen die geen aansluiting krijgen op een collectieve warmtevoorziening wordt als vervolgstap overwogen om het schillabel te verbeteren of om een elektrische warmtepomp aan te schaffen (mits het energielabel na verbetering minimaal A+ is).

Figuur 4.7: Aandelen in de warmtevraag per energiedrager in de startsituatie, in het eindbeeld met een CO₂-prijs van €200/ton en met een CO₂-prijs van €400/ton. – in het scenario ‘Collectief – Hoge Temperatuur’. (Indien alle maatschappelijk kosteneffectieve maatregelen genomen worden.)



Zoals figuur 4.7 laat zien resulteert deze strategie in de aanleg van een groot aantal HT-warmtenetten. Al bij een ‘lage’ waardering van de maatschappelijke kosten van CO₂-uitstoot wordt het voor veel buurten maatschappelijk rendabel om een HT-warmtenet aan te leggen. Deze HT-warmtenetten profiteren niet alleen van de prioritaire volgorde maar ook van een hogere dichtheid van de warmtevraag omdat er nog geen energiebesparingsmaatregelen zijn genomen. Door de hoge warmtevraag kan er per aansluiting veel warmte worden verkocht, waardoor de aanleg van de warmte-infrastructuur sneller wordt terugverdiend door de warmtebedrijven. Bij een ‘hoge’ waardering van de maatschappelijke kosten van CO₂ groeit het aandeel van het HT-warmtenet in de totale warmtelevering verder maar er blijft op dit moment een aantal buurten over waar ook onder deze omstandigheden HT-warmte niet maatschappelijk kosteneffectief is. Voor de gebouwen in deze buurten is de volgende optie in de prioritaire volgorde van technieken van dit scenario om op een LT-warmtenet aan te sluiten. Deze zijn echter slechts toepasbaar in goed geïsoleerde woningen, waarvan een deel al op een HT-warmtenet is aangesloten. Als deze woningen die al goed geïsoleerd waren niet meer worden meegenomen als potentiële afzet voor LT-warmte is de businesscase van een LT-warmtenet nog maar op een zeer beperkt aantal plekken rendabel. Om de aardgasvraag uiteindelijk toch te reduceren met minimaal 90% ten opzichte van 2015 wordt het merendeel van de overgebleven woningen vergaand geïsoleerd en in het eindbeeld verwarmd met een individuele elektrische warmtepomp.

Zoals in tabel 4.7 hieronder is te zien wordt er in dit scenario aanzienlijk minder energie bespaard dan in de vorige twee scenario’s. De reductie is slechts 1,12 PJ per jaar in 2035 ten opzichte van de startsituatie. In vergelijking met de besparing van 2,58 PJ per jaar in het scenario ‘Energiebesparing – Elektrisch’ is dit relatief weinig. Ook in dit scenario wordt de aardgasvraag met meer dan 90% teruggebracht. De warmtevraag verschuift in het eindbeeld voor het grootste deel naar HT-warmtelevering, met een kleine rol van 0,45 PJ per jaar voor elektriciteit. Dit betekent dat warmtenetten meer dan vier keer zoveel warmte gaan leveren in vergelijking tot het startjaar.

Tabel 4.7: Energievraag per techniek in de startsituatie, het referentiebeeld, in het eindbeeld bij een CO₂-prijs van €200/ton en met een CO₂-prijs van €400/ton – in het scenario ‘Collectief – Hoge Temperatuur’. (Indien alle maatschappelijk kosteneffectieve maatregelen genomen worden.)

| Energievraag per techniek (PJ per jaar) | | Startsituatie (2015) | Eindbeeld (2035) rendabel bij ongewijzigd beleid | Bij een CO ₂ -prijs van €200/ton | Eindbeeld (2035) Bij een CO ₂ -prijs van €400/ton |
|---|---------------|----------------------|--|---|--|
| Warmteoptie | Aardgas | 5,36 | 3,83 | 1,28 | 0,18 |
| | HT-warmte | 1,05 | 1,45 | 4,21 | 4,57 |
| | LT-warmte | 0,00 | 0,06 | 0,07 | 0,08 |
| | Elektrisch | 0,00 | 0,14 | 0,07 | 0,45 |
| | Totaal | 6,41 | 5,48 | 5,62 | 5,29 |

Tabel 4.8: Totale maatschappelijke kosten van de energievoorziening van de gebouwde omgeving, uitgesplitst in componenten. In de startsituatie, het referentiebeeld, in een tussenstap bij een CO₂-prijs van €200/ton en in het eindbeeld (2035) met een CO₂-prijs van €400/ton – in het scenario ‘Collectief – Hoge Temperatuur’. (Indien alle maatschappelijk kosteneffectieve maatregelen genomen worden.)

| Maatschappelijke kosten van de energievoorziening in de gebouwde omgeving (mln. euro/jr. - CPI 2018) | | Startsituatie (2015) | Eindbeeld (2035) rendabel bij ongewijzigd beleid | Bij een CO ₂ -prijs van €200/ton | Eindbeeld (2035) Bij een CO ₂ -prijs van €400/ton |
|--|----------------------------------|----------------------|--|---|--|
| Kosten component | Aardgasgebruik | 81 | 78 | 43 | 9 |
| | Elektriciteitsgebruik | 107 | 113 | 133 | 160 |
| | Kapitaallasten gebouwmaatregelen | 0 | 17 | 19 | 51 |
| | Onderhoud gebouwmaatregelen | 0 | 1 | 1 | 8 |
| | Collectieve warmtelevering | 26 | 41 | 204 | 262 |
| | Totaal | 213 | 250 | 400 | 488 |

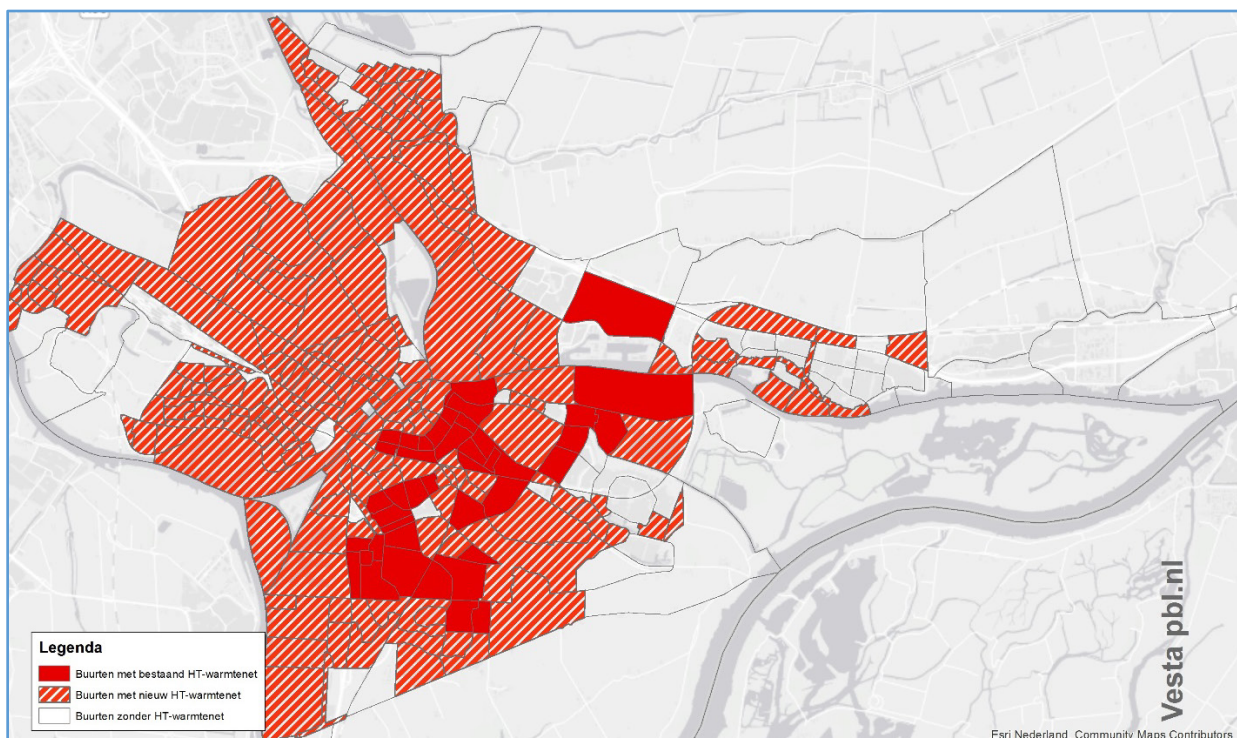
De maatschappelijke kosten van dit scenario lopen op tot 488 miljoen per jaar in 2035 (zie tabel 4.8). Dat maakt dat dit het duurste scenario is van de vier scenario's die zijn doorgerekend met als doel een

reductie van het aardgasverbruik met 90% t.o.v. 2015. In vergelijking met het scenario 'Energiebesparing – Lage Temperatuur' valt in het scenario 'Collectief – Hoge Temperatuur' de warmtevoorziening in totaal 58 miljoen per jaar duurder uit in 2035.

De grootste kostencomponent is de collectieve warmtelevering. De aanleg van alle benodigde infrastructuur en de exploitatie daarvan kosten de maatschappij 262 miljoen per jaar in 2035. Deze investeringen worden in eerste plaats door de warmteleverancier gedaan en vervolgens na verloop van tijd terugbetaald door de afnemers van HT-warmte. Daar staat tegenover dat in dit scenario's door gebouw eigenaren relatief weinig investeringen worden gedaan. De gebouwmaatregelen kosten de regio in totaal 51 miljoen per jaar in het eindbeeld, wat relatief weinig is vergeleken met de 165 miljoen per jaar aan investeringen in gebouwmaatregelen in het scenario 'Energiebesparing – Elektrisch'. De kosten die in scenario 'Collectief – Hoge Temperatuur' worden gemaakt voor investeringen aan gebouwen liggen bijna totaal bij de gebouwen die niet op HT-warmte worden aangesloten.

In bijna alle buurten kan HT-warmtelevering worden aangeboden in dit scenario (zie figuur 4.8). Of de hier weergegeven uitbreiding van HT-warmtenetten in realiteit ook mogelijk is blijft afhankelijk van de beschikbaarheid van bronnen. Indien de aangenomen warmtebronnen niet gerealiseerd worden, of als de kosten van het realiseren van deze bronnen hoger uitvallen dan aangenomen, dan kunnen delen van dit warmtenet maatschappelijk onrendabel blijken te zijn.

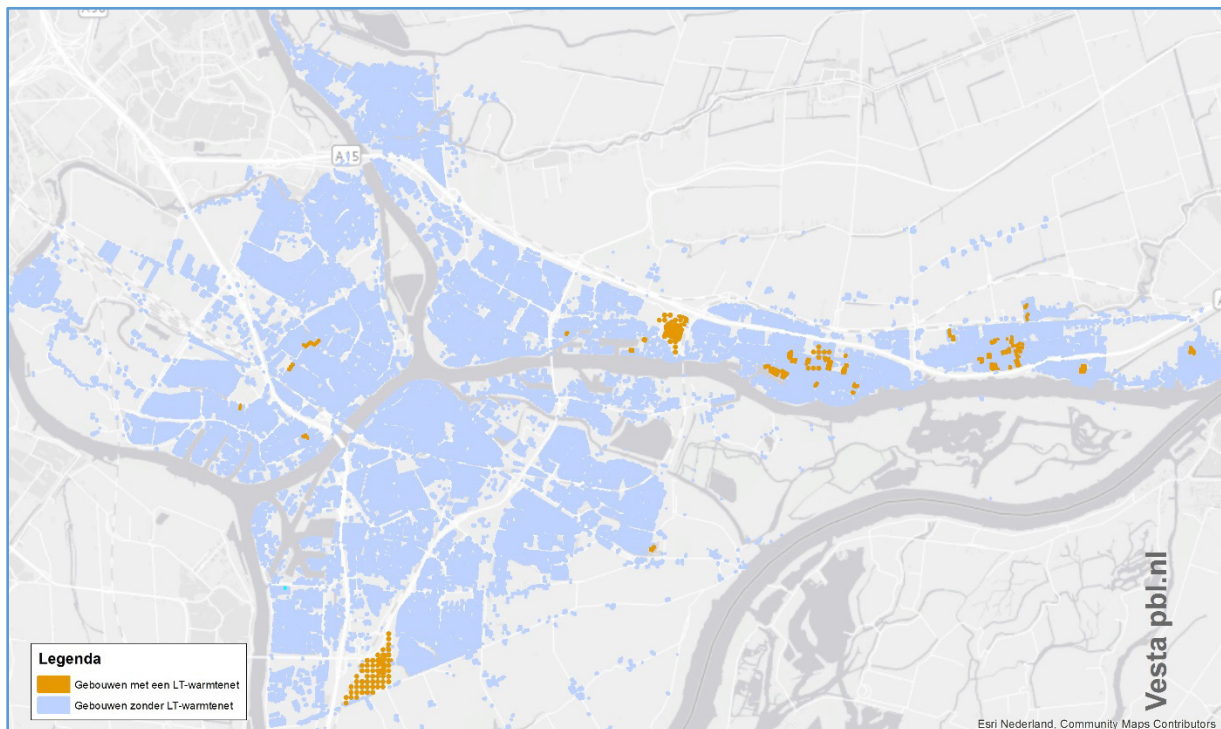
Figuur 4.8: Ruimtelijke weergave van buurten waar HT-warmtenetten worden aangelegd in het technisch eindbeeld – in het scenario 'Collectief – Hoge Temperatuur'. (Indien alle maatschappelijk kosteneffectieve maatregelen genomen worden.)



Alleen in de minder centraal gelegen of zeer dun bebouwde gebieden kan onder deze omstandigheden nog niet rendabel een HT-warmtenet worden aangelegd. Deze gebouwen kunnen, om toch aardgasvrij te worden, een individuele elektrische warmtepomp installeren, of gezamenlijk een lokaal LT-warmte aanleggen. Dit komt ook naar voren in de resultaten van dit scenario, bijvoorbeeld in de gemeenten

Sliedrecht en Hardinxveld-Giessendam. Deze gemeenten bevinden zich relatief ver van de HT-warmtebronnen, maar hebben wel een zekere concentratie van warmtevraag. Dit maakt dat dit locaties zijn waar LT-warmte een goede kandidaat kan zijn als een alternatieve verwarmingsoptie. Eventuele andere locaties voor LT-warmte in dit scenario zijn buurten waar een groot deel van de gebouwen in het startjaar al zeer goed geïsoleerd is (zie figuur 4.9).

Figuur 4.9: Ruimtelijke weergave van clusters van gebouwen die worden aangesloten op LT-warmtenetten in het technisch eindbeeld – in het scenario ‘Collectief – Hoge Temperatuur’. (Indien alle maatschappelijk kosteneffectieve maatregelen genomen worden.)

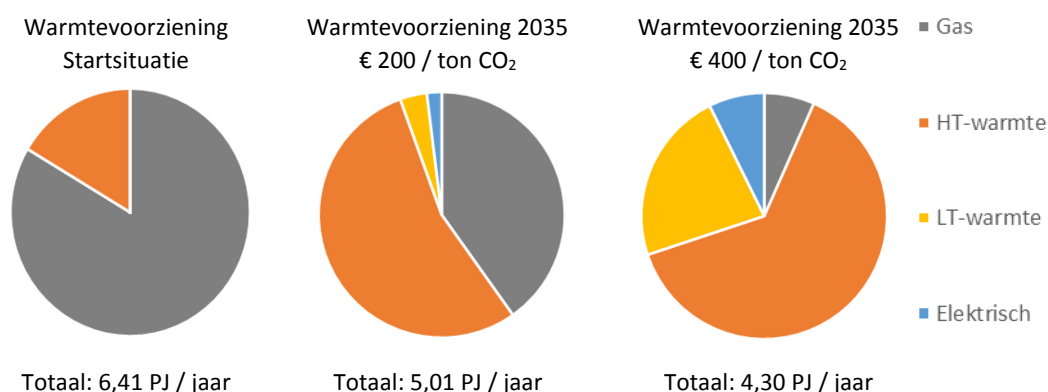


4.1.5 Collectief – Warmteladder

Dit vierde en laatste scenario is een variant op het vorige scenario ‘Collectief – Hoge Temperatuur’. Ook in dit scenario is er een grotere voorkeur voor warmtelevering met warmtenetten dan voor individuele elektrische warmtepompen. Het verschil is dat er eerst energiebesparende maatregelen op gebouwen worden toegepast en dat vervolgens pas wordt afgewogen of er een HT-warmtenet kan worden aangelegd. Waar geen HT-net wordt aangelegd volgt daarna de afweging voor LT-warmte of elektrische warmtepompen.

Zoals in figuur 4.10 te zien is groeit bij de tussenstap op een relatief lage waardering van reductie van CO₂-uitstoot al het aandeel van HT-warmtenetten tot meer dan de helft van de totale warmtevraag. Ook bij een besparingsslag vooraf is het voor een groot aantal buurten dus nog steeds een maatschappelijk rendabele oplossing om via grootschalige stadsverwarmingsnetten aardsgasvrij te worden. Het effect is echter kleiner dan in het vorige scenario. Dit heeft er mee te maken dat doordat gebouweigenaren energiebesparende maatregelen nemen er een lagere dichtheid van de warmtevraag ontstaat. De hoeveelheid infrastructuur die moet worden aangelegd blijft hetzelfde maar de potentiële afzet van warmte wordt kleiner. Hierdoor is HT-warmte in meer buurten onrendabel.

Figuur 4.10: Aandelen in de warmtevraag per energiedrager in de startsituatie, in het eindbeeld met een CO₂-prijs van €200/ton en met een CO₂-prijs van €400/ton. – in het scenario ‘Collectief – Warmteladder’. (Indien alle maatschappelijk kosteneffectieve maatregelen genomen worden.)



Ten opzichte van het vorige scenario groeit bij een hoge waardering van CO₂-reductie (€400/ton) het aandeel van LT-warmte en individuele elektrische warmtepompen. Bij dit prijsniveau worden verregaande isolatiemaatregelen rendabel die dat bij de tussenstap (€200/ton) niet waren. Daardoor wordt het ook op grotere schaal maatschappelijk kosteneffectief om verwarmingstechnieken te gebruiken die een minimum isolatieniveau van A+ vereisen. Zo wordt ook in buurten waar een HT-warmtenet niet maatschappelijk kosteneffectief is, het aardgas voor het grootste deel vervangen door alternatieve warmteopties. Er ontstaan clusters van zeer goed geïsoleerde woningen die gezamenlijk worden aangesloten op lokale LT-warmtenetten. Samen produceren zij daarmee in totaal 0,98 PJ warmte per jaar (zie ook tabel 4.9). Er is ook een bescheiden rol voor individuele elektrische warmtepompen in dit scenario met een warmtelevering in het eindbeeld van 0,32 PJ per jaar. De totale warmtevraag van de gebouwde omgeving in de Drechtsteden daalt met ongeveer een derde, van 6,41 PJ per jaar in 2015 naar 4,3 PJ per jaar in 2035.

Tabel 4.9: Energievraag per techniek in de startsituatie, het referentiebeeld, in het eindbeeld bij een CO₂-prijs van €200/ton en met een CO₂-prijs van €400/ton – in het scenario ‘Collectief – Warmteladder’. (Indien alle maatschappelijk kosteneffectieve maatregelen genomen worden.)

| Energievraag per techniek (PJ per jaar) | Startsituatie (2015) | Eindbeeld (2035) rendabel bij ongewijzigd beleid | Bij een CO ₂ -prijs van €200/ton | Eindbeeld (2035) Bij een CO ₂ -prijs van €400/ton | |
|---|----------------------|--|---|--|-------------|
| Warmteoptie | Aardgas | 5,36 | 3,83 | 2,01 | 0,29 |
| | HT-warmte | 1,05 | 1,45 | 2,72 | 2,72 |
| | LT-warmte | 0,00 | 0,06 | 0,18 | 0,98 |
| | Elektrisch | 0,00 | 0,14 | 0,10 | 0,32 |
| | Totaal | 6,41 | 5,48 | 5,01 | 4,30 |

De totale maatschappelijke kosten in dit scenario zijn de laagste van de hier doorgerekende scenario's. De jaarlijkse totale maatschappelijke kosten stijgen in het scenario 'Collectief – Warmteladder' van 213 miljoen euro in 2015 met 168 miljoen euro naar 381 miljoen euro 2035. In vergelijking tot het referentiebeeld waarin alle rendabele maatregelen bij ongewijzigd beleid worden genomen zijn de meerkosten van de warmtetransitie in dit scenario 131 miljoen euro per jaar, zoals te zien is in tabel 4.10. Het is opvallend dat de variant 'Collectief – Hoge Temperatuur' de duurste variant is hoewel het enige verschil is dat er in het scenario 'Collectief – Warmteladder' eerst wordt ingezet op energiebesparende maatregelen voordat wordt bepaald of een HT-warmtenet wordt aangelegd. De totale jaarlijkse maatschappelijke kosten in 2035 komen in het scenario 'Collectief – Hoge Temperatuur' uit op 488 miljoen euro per jaar in 2035. In het scenario 'Collectief – Warmteladder' komt dit aanzienlijk lager uit op 381 miljoen per jaar, 107 miljoen euro per jaar minder.

Tabel 4.10 Totale maatschappelijke kosten van de energievoorziening van de gebouwde omgeving, uitgesplitst in componenten. In de startsituatie, het referentiebeeld, in een tussenstap bij een CO₂-prijs van €200/ton en in het eindbeeld (2035) met een CO₂-prijs van €400/ton – in het scenario 'Collectief – Warmteladder'. (Indien alle maatschappelijk kosteneffectieve maatregelen genomen worden.)

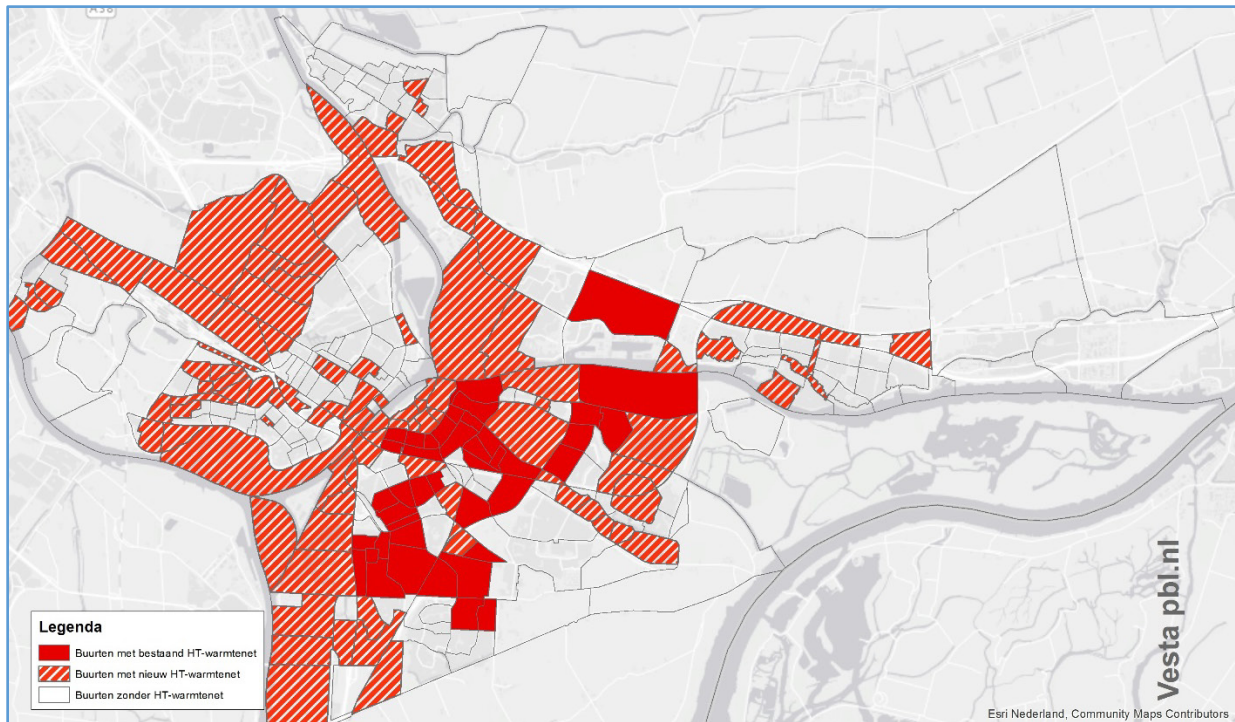
| Maatschappelijke kosten van de energievoorziening in de gebouwde omgeving (mln. euro/jr. – CPI 2018) | | Startsituatie (2015) | Eindbeeld (2035) rendabel bij ongewijzigd beleid | Bij een CO ₂ -prijs van €200/ton | Eindbeeld (2035) Bij een CO ₂ -prijs van €400/ton |
|--|----------------------------------|----------------------|--|---|--|
| Kosten component | Aardgasgebruik | 81 | 78 | 67 | 13 |
| | Elektriciteitsgebruik | 107 | 113 | 134 | 158 |
| | Kapitaallasten gebouwmaatregelen | 0 | 17 | 44 | 83 |
| | Onderhoud gebouwmaatregelen | 0 | 1 | 1 | 5 |
| | Collectieve warmtelevering | 26 | 41 | 111 | 121 |
| | Totaal | 213 | 250 | 357 | 381 |

De jaarlijkse kosten van de inkoop van aardgas dalen van 81 miljoen euro in 2015 met 68 miljoen euro naar 13 miljoen euro in 2035. Jaarlijkse kosten gerelateerd aan elektriciteitsverbruik daarentegen stijgen met 49 miljoen. Er zijn ook voor 83 miljoen per jaar aan kapitaallasten voor investeringen in gebouwen, voor betere isolatie en nieuwe verwarmingsinstallaties in 2035. De grootste component in de maatschappelijke kosten is de aanleg en exploitatie van collectieve warmtevoorziening. Deze investeringen alsmede de exploitatiekosten komen terecht bij de warmtebedrijven en worden uiteindelijk na verloop van tijd terugbetaald door de afnemers van warmte.

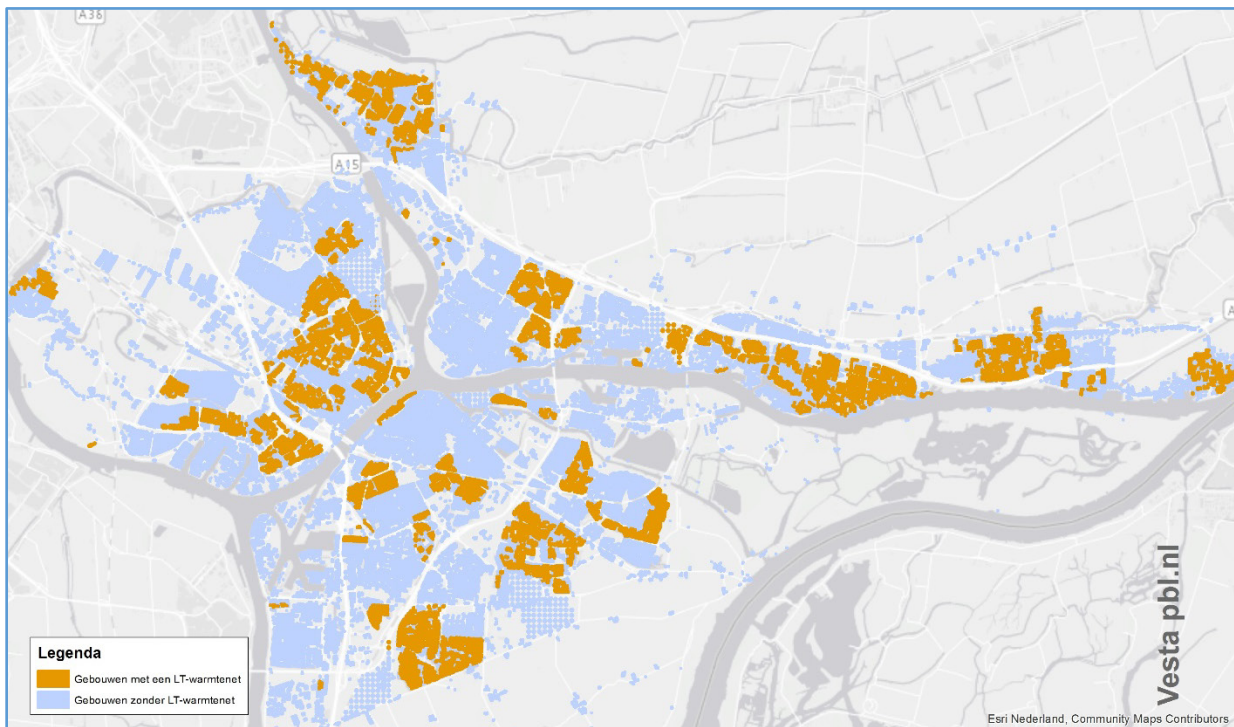
Zoals te zien is op de kaart in figuur 4.11 zijn er in vergelijking tot het scenario 'Collectief – Hoge Temperatuur' in dit scenario een aantal gebieden waar onder deze omstandigheden geen HT-warmtenet

meer komt. Met name in Zwijndrecht, maar ook in Alblasserdam en in Sliedrecht zijn er grote gebieden waar door de hogere isolatiegraad in dit scenario geen business case meer rondkomt voor een HT-warmtenet. Zoals te zien is in figuur 4.12 is het alternatief op deze locaties een LT-warmtenet. Als de benodigde gebouwisolatie daarvoor is toegepast, dan is dit op veel plaatsen de maatschappelijk rendabele warmteoptie. Ook een aantal gebieden in Dordrecht en Papendrecht krijgen in dit scenario LT-warmtenetten toegewezen, met name in gebieden waar nieuwbouwplannen zijn.

Figuur 4.11: Ruimtelijke weergave van buurten waar HT-warmtenetten worden aangelegd in het technisch eindbeeld – in het scenario ‘Collectief – Warmteladder’. (Indien alle maatschappelijk kosteneffectieve maatregelen genomen worden.)



Figuur 4.12: Ruimtelijke weergave van clusters van gebouwen die worden aangesloten op LT-warmtenetten in het technisch eindbeeld – in het scenario ‘Collectief – Warmteladder’. (Indien alle maatschappelijk kosteneffectieve maatregelen genomen worden.)



4.1.6 Vergelijking maatschappelijke scenario's

In bijlage E, F, G & H zijn de belangrijkste resultaten van de doorrekeningen van de vier maatschappelijke scenario's kort weergegeven in de vorm van vier 'factsheets'. Deze factsheets bevatten de veranderingen in het energiegebruik, het potentieel voor gebiedsmaatregelen op kaart, het maatschappelijke kostenoverzicht en de beslisboom waarmee deze resultaten tot stand zijn gekomen.

In de volgende fase van deze studie wordt met één scenario doorgerekend. Daarom zijn deze scenario's in overleg met de werkgroep vergeleken op een aantal indicatoren. Voor het overzicht zijn daarom de maatschappelijke kosten van de verschillende scenario's hieronder naast elkaar weergegeven in tabel 4.11, alsmede het energieverbruik per energiedrager in tabel 4.12.

Tabel 4.11: Vergelijking van maatschappelijke kosten opgesplitst in een aantal componenten, in de startsituatie, het referentiebeeld, en in vier verschillende maatschappelijke scenario's. (Indien alle maatschappelijk kosteneffectieve maatregelen genomen worden.)

| Maatschappelijke kosten van de energievoorziening in de gebouwde omgeving (miljoen euro per jaar - CPI 2018 ³⁸) | | Startsituatie (2015) | Eindbeeld (2035) Rendabel bij ongewijzigd beleid | Eindbeeld (2035) 'Energiebesparing – Elektrisch' | Eindbeeld (2035) 'Energiebesparing – Lage Temperatuur' | Eindbeeld (2035) 'Collectief – Hoge Temperatuur' | Eindbeeld (2035) 'Collectief – Warmteladder' |
|---|----------------------------------|----------------------|--|--|--|--|--|
| Kosten-component | Aardgasgebruik | 81 | 78 | 22 | 21 | 9 | 13 |
| | Elektriciteitsgebruik | 107 | 113 | 171 | 160 | 160 | 158 |
| | Kapitaallasten gebouwmaatregelen | 0 | 17 | 165 | 118 | 51 | 83 |
| | Onderhoud gebouwmaatregelen | 0 | 1 | 29 | 8 | 8 | 5 |
| | Collectieve warmtelevering | 26 | 41 | 65 | 124 | 262 | 121 |
| | Totaal | 213 | 250 | 452 | 430 | 488 | 381 |

Tabel 4.12: Vergelijking van energieverbruik opgesplitst naar energiedrager, in de startsituatie, het referentiebeeld, en in vier verschillende maatschappelijke scenario's. (Indien alle maatschappelijk kosteneffectieve maatregelen genomen worden.)

| Verbruik per energiedrager in de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving (Petajoule per jaar) | | Startsituatie (2015) | Eindbeeld (2035) Rendabel bij ongewijzigd beleid | Eindbeeld (2035) 'Energiebesparing – Elektrisch' | Eindbeeld (2035) 'Energiebesparing – Lage Temperatuur' | Eindbeeld (2035) 'Collectief – Hoge Temperatuur' | Eindbeeld (2035) 'Collectief – Warmteladder' |
|---|-------------------|----------------------|--|--|--|--|--|
| Technische maatregel | Aardgas | 5,36 | 3,83 | 0,45 | 0,43 | 0,18 | 0,29 |
| | HT-warmtelevering | 1,05 | 1,45 | 1,35 | 1,31 | 4,57 | 2,72 |
| | LT-warmtelevering | 0,00 | 0,06 | 0,34 | 1,56 | 0,08 | 0,98 |
| | Elektriciteit | 0,00 | 0,14 | 1,69 | 0,54 | 0,45 | 0,32 |
| | Totaal | 6,41 | 5,48 | 3,83 | 3,84 | 5,29 | 4,30 |

³⁸ Consumer Price Index (CPI) van het CBS via <https://www.cbs.nl/nl-nl/economie/prijzen>

Op basis van de criteria die in de regio zijn gesteld heeft de werkgroep warmtetransitieplan van de regio Drechtsteden gekozen om verder te gaan met het scenario 'Collectief – Warmteladder'. Het technische eindbeeld³⁹ van dit scenario wordt daarom in de rest van de studie gehanteerd als 'maatschappelijk optimum'. Dit scenario leidt tot de laagste maatschappelijke kosten, maar de benodigde technische maatregelen zijn niet noodzakelijk een aantrekkelijke investering voor de actor die die investering uiteindelijk zou moeten doen. Het volgende doel is om via beleidsinstrumenten het maatschappelijk optimum haalbaar te maken bij een eindgebruikersbenadering van de kosten. Daarvoor is eerst een gevoeligheidsanalyse gedaan met de maatschappelijke kostenbenadering voor een aantal factoren die door de stakeholders in de werkgroep zijn geselecteerd.

4.2 Gevoeligheidsanalyse

Bij het doorrekenen van het maatschappelijke scenario's zijn een aantal aannames gedaan die gevolgen kunnen hebben voor de uitkomsten. Deze aannames komen voort uit de standaard Vesta MAIS invoerwaarden. Deze uitgangspunten kunnen voor de toekomst anders uitvallen. Om de invloed van deze invoerwaarden op de resultaten vast te stellen wordt in dit onderdeel gecontroleerd hoe robuust de uitkomsten zijn. Dit gebeurt in de wat-als vorm: het scenario wordt op een aantal onderdelen opnieuw doorgerekend met andere uitgangspunten, om te zien hoe het technisch eindbeeld verandert.

4.2.1 Leereffecten technologie

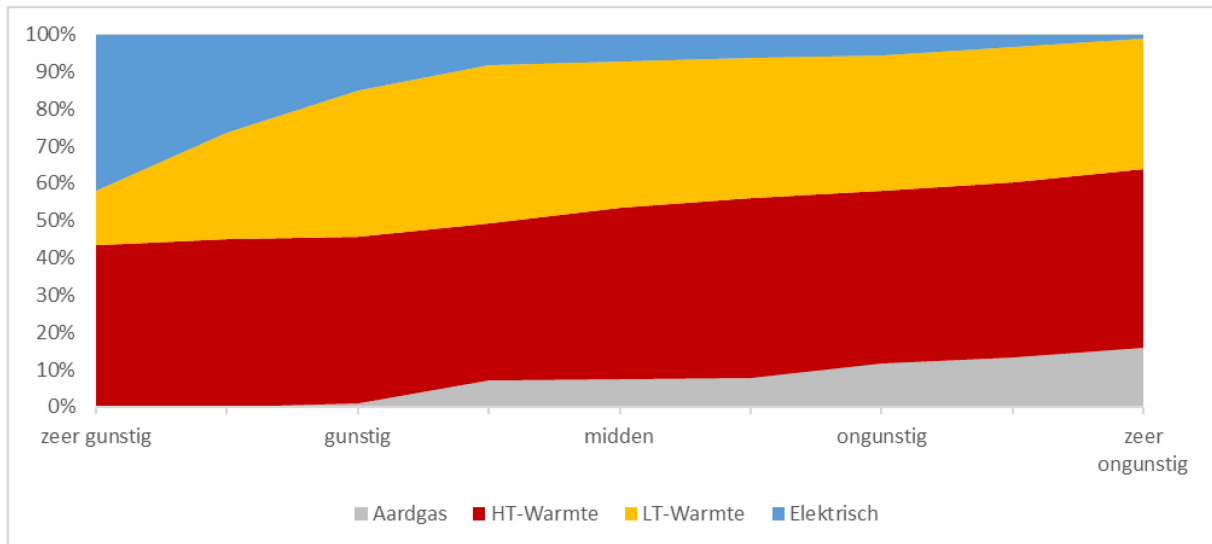
De eerste aanname is de toekomstige ontwikkeling van de kosten van technische maatregelen. De standaard invoerwaarden zijn een set gevalideerde kengetallen voor huidige prijzen met daarbij een ontwikkelingscurve tot 2050. In de toepassing van Vesta MAIS voor dit onderzoek is gerekend met het veronderstelde prijsniveau van 2035, omdat dit de datum is dat de gekozen maatregelen uiterlijk moeten worden genomen. Dit veronderstelt per technische maatregel een ontwikkeling in de kosten. Meestal is deze ontwikkeling een daling van kosten vanwege grootschalige toepassing en omdat de technieken onder andere door leerervaringen verder worden ontwikkeld. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen technische maatregelen die al redelijk volwassen zijn en technieken die nog in de kinderschoenen staan. Van die laatste categorie wordt verwacht dat de prijzen sneller dalen dan voor technische maatregelen in de eerste categorie.

In de database van het Vesta MAIS model bevindt zich rond de standaard invoerwaarden ook een bandbreedte van een optimistischere tot een pessimistischere inschatting van de toekomstige ontwikkeling van kosten. In de doorrekening van het maatschappelijke scenario 'Warmteladder' is in eerste instantie uitgegaan van een gemiddelde binnen deze bandbreedte. Om te laten zien wat het effect kan zijn van een meevallende of tegenvallende kostenontwikkeling voor technische maatregelen is het technisch eindbeeld van dit scenario meerdere malen opnieuw berekend met verschillende aannames variërend van de laagste waarde tot de hoogste waarde van deze bandbreedte.

Figuur 4.12 laat de effecten zien van verschillende aannames omtrent de ontwikkeling van investeringskosten voor technische maatregelen. Dit effect is uitgedrukt als het aandeel van de bestaande woningvoorraad dat in het eindbeeld van het scenario 'Warmteladder' wordt toegewezen aan bepaalde technische maatregelen. Technische maatregelen waar deze kostenontwikkeling op van toepassing is zijn zowel gebouwgebonden maatregelen als de aanleg van warmtenetten (Hoge en lage temperatuur).

³⁹ Zie bijlages I en J voor een gedetailleerder overzicht van welke technische maatregelen in dit technisch eindbeeld worden genomen.

Figuur 4.12: Gevoeligheid voor toekomstige kostenontwikkeling van investeringskosten. Gevarieerd is in de investeringskosten van gebouwgebonden maatregelen en de aanleg van warmtenetten. Gebruik van verschillende verwarmingstechnieken in het eindbeeld bij verschillende niveaus van toekomstige kosten (% van aansluitingen van bestaande woningen). (Indien alle maatschappelijk kosteneffectieve maatregelen genomen worden.)



Zoals in figuur 4.12 is te zien zijn de grootste effecten denkbaar als de investeringskosten van technieken sneller dalen dan in de standaard invoerwaarden wordt aangenomen. De rechterkant van de figuur is vrij vlak, wat aangeeft dat bij hogere investeringskosten het aandeel van de aansluitingen per technische maatregel niet sterk verschilt. Er is een licht effect zichtbaar dat ertoe leidt dat elektrische verwarming, die bij een middenwaarde al een zeer klein aandeel had, nagenoeg geheel uit het eindbeeld verdwijnt bij hogere kosten. Doordat hoge- of lage-temperatuur gebiedswarmte en isolatie minder snel rendabel zijn door hogere kosten is de ingroei van deze technische maatregelen lager. Hierdoor stijgt ook het aandeel resterende aardgasvraag in het eindbeeld.

Een groter effect is zichtbaar aan de linkerkant van de figuur, waar wordt verondersteld dat de investeringskosten lager uitvallen dan eerder aangenomen. Een grotere toekomstige kostendaling komt vooral ten goede aan het aandeel individuele elektrische warmtepompen in het eindbeeld. In eerste instantie komt dit doordat bij een lichte extra kostendaling elektrische verwarmingsopties in plaats komen van de resterende aardgasaansluitingen binnen het scenario 'Warmteladder'. Echter als de investeringskosten van technische maatregelen nog sneller dalen dan worden zeer goed geïsoleerde woningen met elektrische verwarmingsinstallaties op den duur rendabeler dan LT-gebiedswarmte. Een andere opvallende uitkomst is dat het aandeel aansluitingen op HT-warmte grotendeels gehandhaafd blijft, ongeacht hoge of lage kostenontwikkeling in de toekomst, wat een indicatie is dat de businesscase voor de uitrol van HT-warmtenetten vrij robuust is in vergelijking met bijvoorbeeld elektrische verwarming.

4.2.2 Deelnamepercentage warmtenetten

Wanneer een HT-warmtenet wordt toegekend aan een buurt in Vesta MAIS is er in de standaardberekening vanuit gegaan dat 100% van alle gebouwen in die buurt op het warmtenet worden aangesloten. In de praktijk kan dit anders uitpakken, wat kan betekenen dat bij een lager deelnamepercentage de businesscase niet langer sluitend is en de buurt niet zal worden voorzien van HT-

warmte. Deze stap in de gevoeligheidsanalyse rekent nogmaals uit welke buurten HT-warmtenetten toegewezen krijgen volgens de beslisboom van het scenario 'Warmteladder', met verschillende aannames voor het percentage van de gebouweigenaren die zich laat aansluiten.

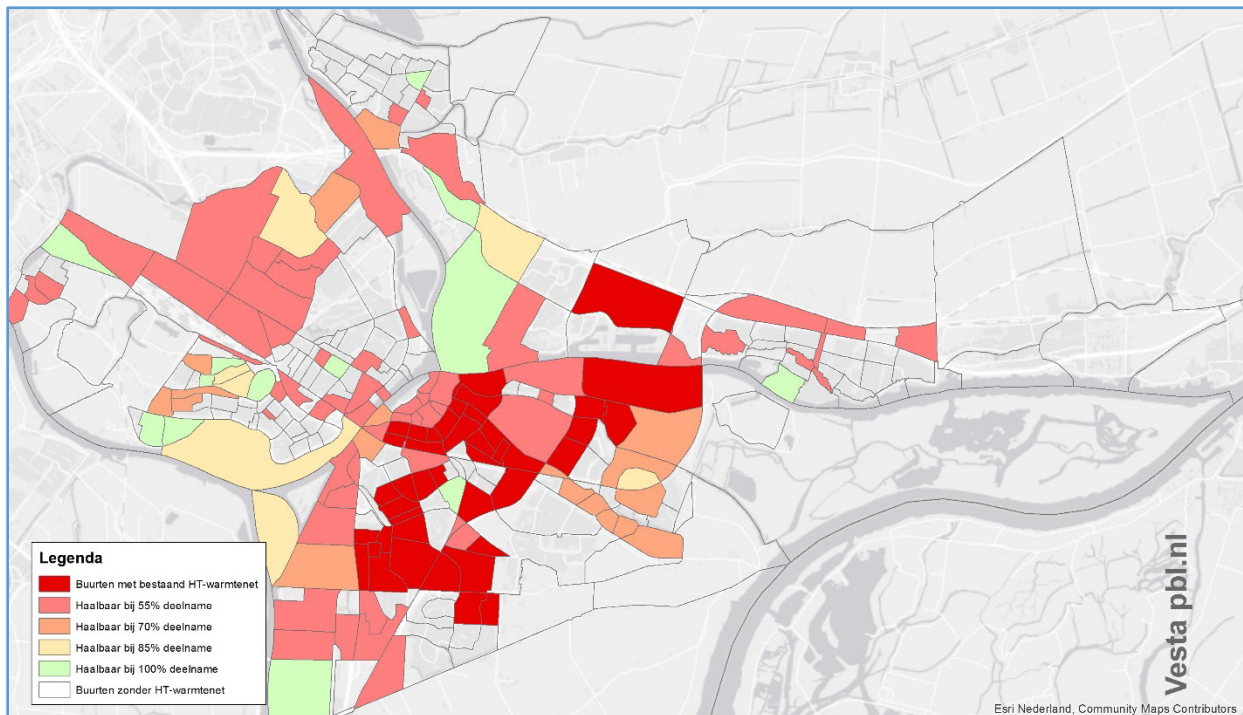
Kanttekening bij deze analyse is dat het modelmatig op dit moment niet is vast te stellen welke gebouwen exact wel of niet zouden worden aangesloten. Mogelijk zouden bepaalde bouwtypes vaker dan gemiddeld kunnen kiezen niet aangesloten te worden op een warmtenet als dit wordt aangeboden. Dit wordt in de berekening niet meegewogen, in plaats daarvan wordt een vast percentage van alle gebouwen aangegeven.

Tabel 4.13: Invloed van het deelnamepercentage voor warmtenetten op het potentieel voor HT-warmtenetten in het technisch eindbeeld.

| Potentieel voor HT-warmtenetten | | Aantal buurten met HT-warmte | Aantal gebouwen in deze buurten ⁴⁰ | Aantal gebouwen dat wordt aangesloten |
|---|------|------------------------------|---|---------------------------------------|
| Percentage van de gebouweigenaren dat het bezit laat aansluiten indien in de buurt HT-warmte wordt aangeboden | 100% | 141 van 308 | 59069 | 59069 |
| | 85% | 131 van 308 | 52909 | 44973 |
| | 70% | 120 van 308 | 47020 | 32914 |
| | 55% | 103 van 308 | 40585 | 22322 |

⁴⁰ Het totale aantal gebouwen in de regio is 140509 (Bron: Kadaster)

Figuur 4.12: Buurten waar HT-warmtelevering maatschappelijk kosteneffectief is bij verschillende niveaus van deelname door gebouweigenaren aan warmtenetten wanneer dit wordt aangeboden.

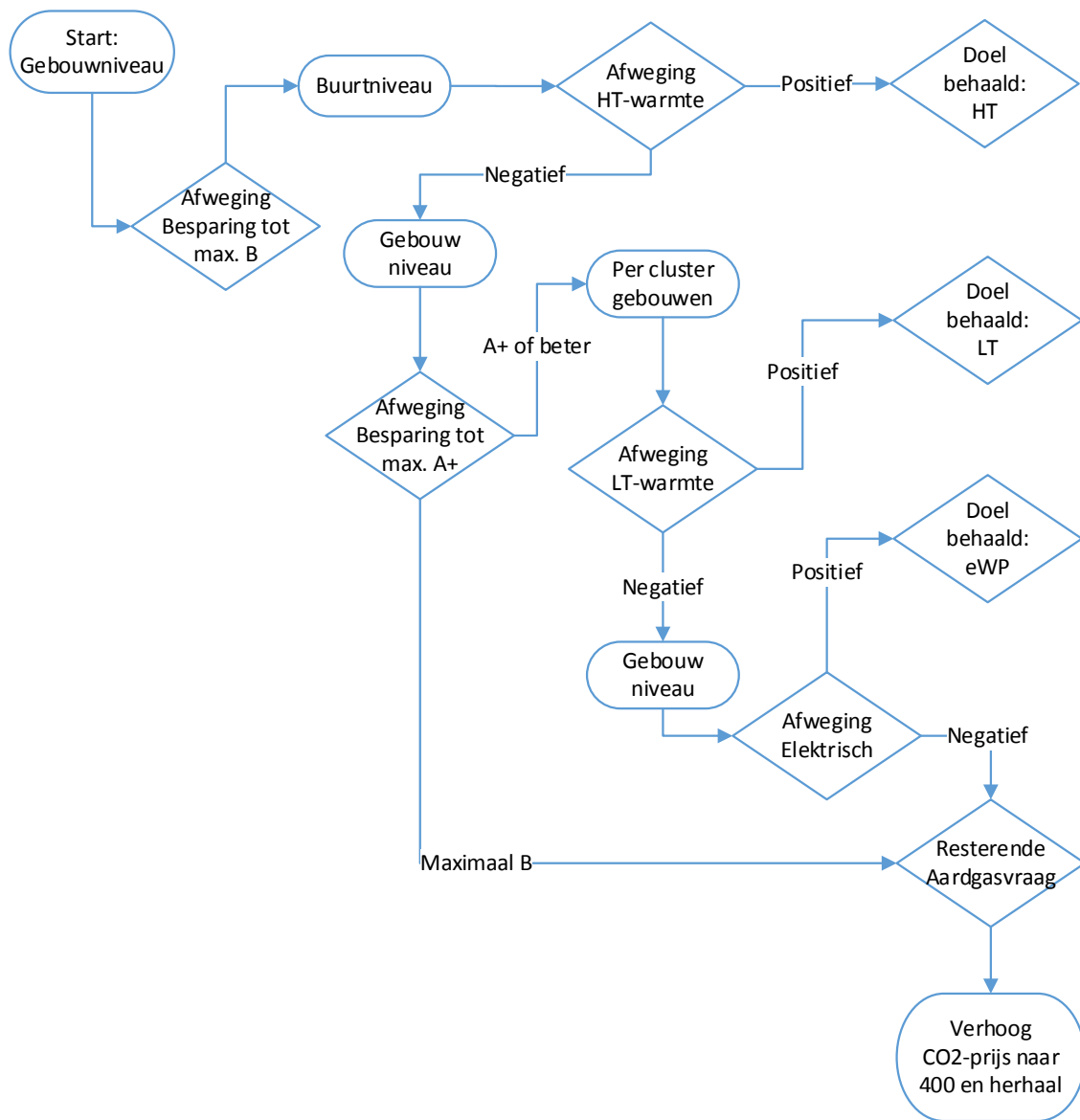


4.2.3 Besparing tot maximaal B

Deze gevoeligheidsanalyse onderzoekt wat het verschil in het technisch eindbeeld zou zijn als gebouwen tot maximaal niveau B mogen worden geïsoleerd voordat wordt bepaald waar een warmtenet kan worden aangelegd. Hoewel dit in de praktijk niet is af te dwingen kan het wel inzicht geven in welke buurten kansrijk zijn voor HT-warmte indien verregaande isolatie niet mogelijk blijkt om andere redenen of in het geval dat er afspraken worden gemaakt over het isolatieniveau. In deze doorrekening is daarom een aangepaste beslisboom gehanteerd en zijn verder de instellingen van het maatschappelijk scenario 'Warmteladder' gelijk gehouden. De beslisboom voor deze doorrekening is weergegeven in figuur 4.13. Zoals in deze figuur aangegeven wordt eerst overwogen of een gebouw tot maximaal label B kan worden geïsoleerd, en vervolgens worden zoveel mogelijk buurten aan een HT-warmtenet toegerekend. Waar dit niet haalbaar is wordt berekend of er een extra labelstap naar A+ kan worden gemaakt met indien mogelijk een LT-warmtenet of een elektrische verwarmingsinstallatie.

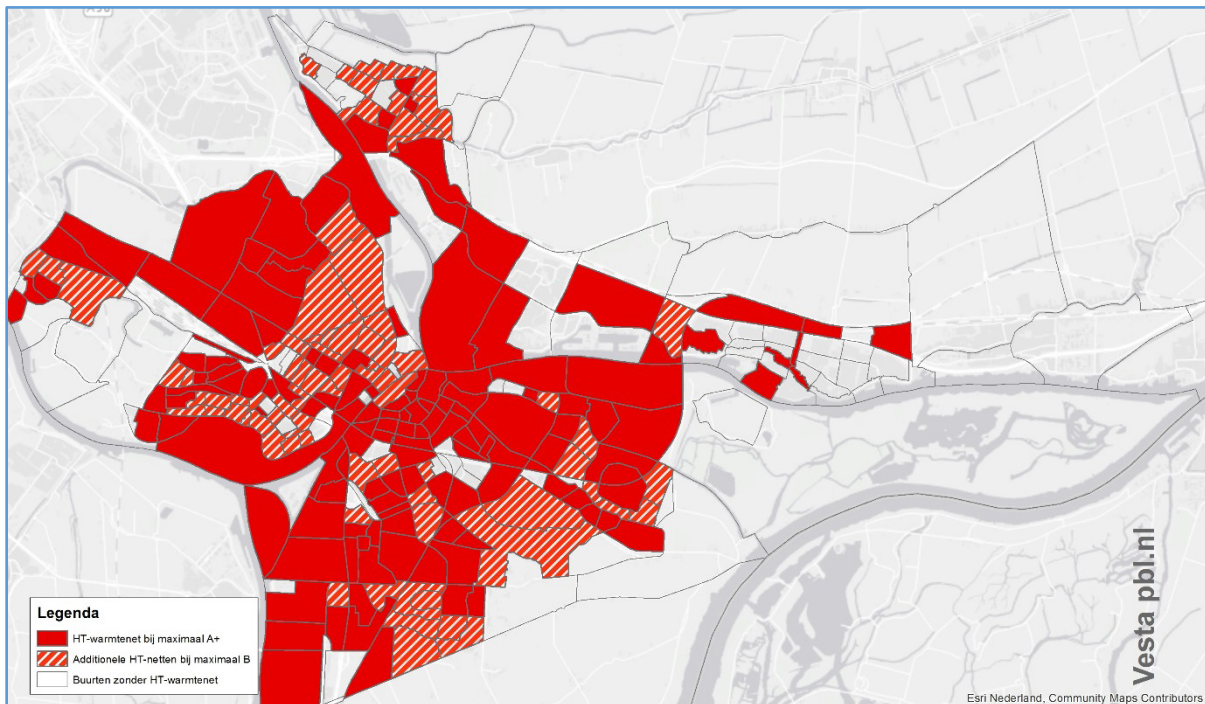
Een belangrijke gevolg van deze beslisboom is dat er vaker HT-warmte wordt toegekend aan een buurt dan in de oorspronkelijke variant 'Collectief – Warmteladder'. Dit omdat het beperken van isolatie de businesscase van warmtenetten gunstiger maakt. Dit gaat in de resultaten ten koste van verdergaande energiebesparing, LT-warmtenetten en elektrische verwarmingsinstallaties die in een aantal gevallen maatschappelijk kosteneffectiever zijn dan HT-warmte met beperkte besparing. Verder houdt dit in dat er een risico bestaat dat buurten worden aangesloten op een HT-warmtenet waar later door extra energiebesparing de businesscase wellicht niet houdbaar is.

Figuur 4.13: Aangepaste beslisboom met energiebesparing in eerste stap naar maximaal label B, in plaats van maximaal label A+.



De belangrijkste verschillen in het eindbeeld, als deze beslisboom wordt gevolgd, zijn dat er 80 extra buurten een HT-warmtenet toegekend krijgen ten opzichte van het scenario 'Warmteladder' en dat er 37005 woningen minder tot A+ worden geïsoleerd (op een totaal van 128261 bestaande woningen in 308 buurten). De ruimtelijke spreiding van deze buurten is weergegeven in figuur 4.14. Tabel 4.14 geeft de effecten op de verdeling van energielabels weer van de bestaande woningen in het eindbeeld.

Figuur 4.14: Buurten die bij een eerste besparingsstap naar maximaal B maatschappelijk kosteneffectief kunnen worden aangesloten op HT-warmte, waarbij dat in de beslisboom 'Warmteladder' niet het geval is.



Tabel 4.14: Verdeling van energielabels van bestaande woningen in het eindbeeld bij maximaal label B als eerste stap, in vergelijking met maximaal label A+ als eerste stap. (Indien alle maatschappelijk kosteneffectieve maatregelen genomen worden.)

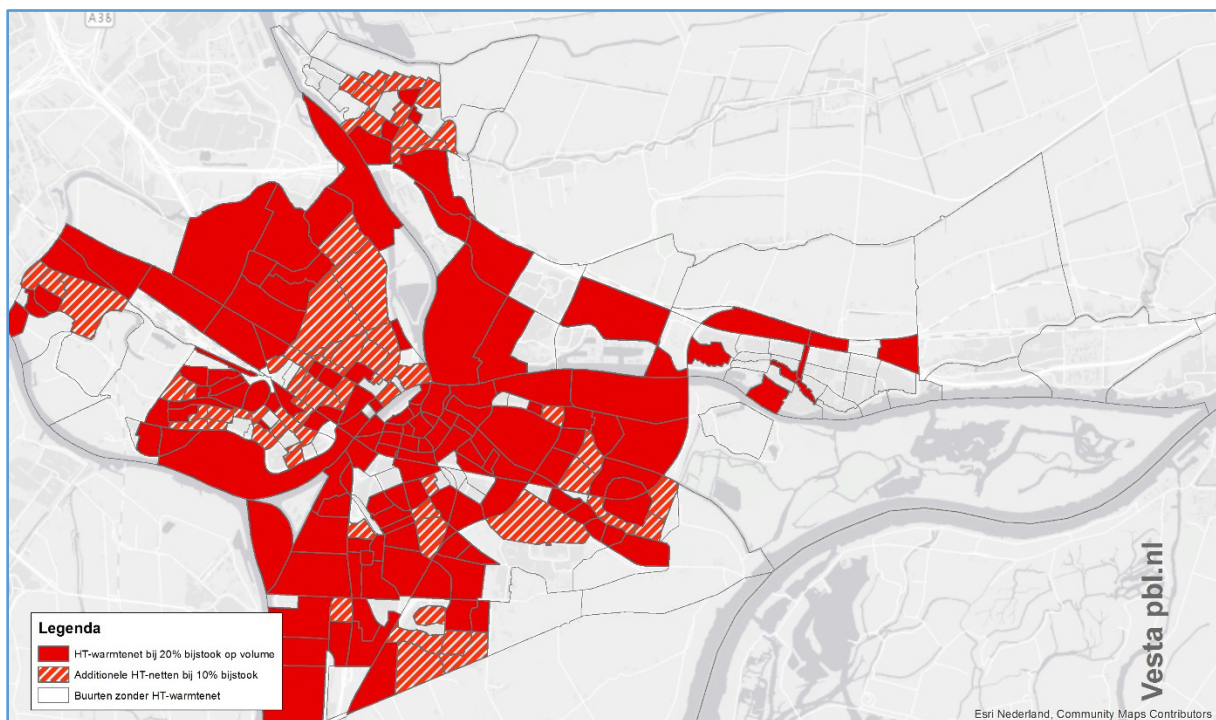
| Labelverdeling bestaande woningen | | Startsituatie 2015 | 2035 - Eerste stap tot max A+ | 2035 - Eerste stap tot max B |
|---|----|--------------------|-------------------------------|------------------------------|
| Woningaantallen per energielabel in het technische eindbeeld voor de bestaande woningvoorraad | A+ | 5745 | 64395 | 27390 |
| | B | 29537 | 22046 | 49582 |
| | C | 39693 | 26354 | 34045 |
| | D | 9142 | 5841 | 5857 |
| | E | 18611 | 5085 | 6847 |
| | F | 12441 | 1323 | 1323 |
| | G | 13092 | 3217 | 3217 |

4.2.4 Verdeling pieklast – basislast

Binnen een warmtenet wordt de geleverde warmte voor het grootste deel uit de primaire bron opgewekt, bijvoorbeeld een geothermiebron of een afvalverwerkingsinstallatie. Voor de grootste pieken in de

warmtevraag worden hulpketels ingezet om aan deze vraag te kunnen voldoen. Doorgaans zijn dit centrale aardgasketels die gemakkelijk aan of uit kunnen worden geschakeld op momenten dat de warmtevraag de capaciteit van de primaire warmtebron overstijgt. De standaard invoerwaarde van Vesta MAIS is dat 80% van het volume van de totale jaarlijkse vraag wordt opgewekt vanuit de primaire bron, en dat 20% van het volume wordt geleverd uit hulpketels. Dit is een conservatieve schatting; het is niet ondenkbaar dat er een hogere efficiëntie wordt gehaald en deze verhouding uiteindelijk bestaat uit 90% levering door de primaire bron en 10% levering door hulpketels. Bij deze hogere efficiëntie zouden de kosten van warmtelevering voor het warmtebedrijf lager uit vallen, wat de businesscase voor warmtelevering aantrekkelijker maakt. Dezelfde hoeveelheid warmte kan dan namelijk worden geleverd met minder gasverbruik voor bijstook terwijl het vermogen van de primaire bron hetzelfde blijft. Om te zien wat dit zou betekenen voor de modelresultaten is het scenario nogmaals doorgerekend met deze 90/10 verhouding. De resultaten zijn hieronder ruimtelijk weergegeven in figuur 4.15.

Figuur 4.15: Buurten die bij een eerste verhouding van 90/10 tussen primaire bron en hulpketel maatschappelijk kosteneffectief kunnen worden aangesloten op HT-warmte, waarbij dat bij 80/20 niet het geval is.



4.3 Individuele beleidsinstrumenten

In de eerste onderzoeksfase is gerekend met een maatschappelijke kosten-baten afweging. Dit leidt tot maatschappelijk kosteneffectieve uitkomsten, waarin de benodigde technische maatregelen als rendabel worden gezien omdat deze worden afgezet tegen de maatschappelijke kosten van CO₂-uitstoot. Bij een eindgebruikersbenadering, waarbij de businesscase van eindgebruikers zonder directe CO₂-beprijzing⁴¹

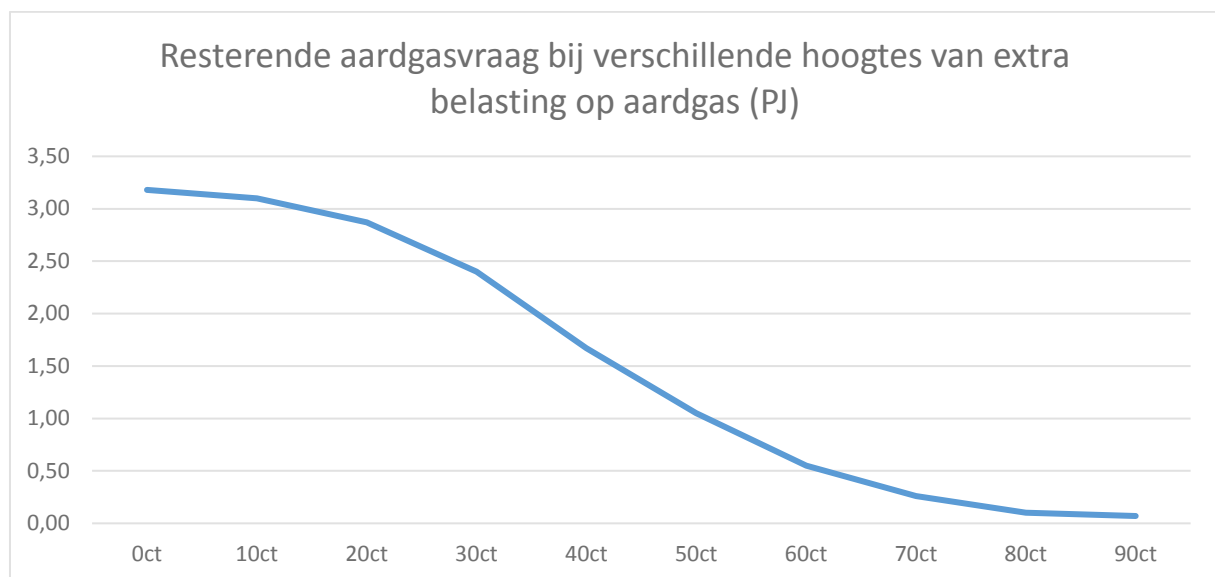
⁴¹ CO₂-beprijzing volgens het Europese ETS wordt ook in de eindgebruikersbenadering meegenomen, omdat dit kosten zijn die niet binnen de Nederlandse maatschappij blijven. Dit is modelmatig in de energieprijzen voor eindgebruikers opgenomen in de prijs voor elektriciteit met een aanname over de hoeveelheid CO₂ die vrijkomt bij de productie van elektriciteit waarbij de CO₂-prijs wordt doorberekend aan afnemers in de commodityprijs voor elektriciteit. Deze aanname over CO₂-emissies volgt de raming van de NEV 2017.

leidend is, zijn deze maatregelen echter doorgaans niet rendabel. Daarom wordt een aantal beleidsinstrumenten onderzocht op hun effectiviteit om het technische maatregelenpakket uit het eindbeeld van het scenario 'Collectief – Warmteladder' ook in een eindgebruikersbenadering rendabel te maken. Er zijn vier beleidsinstrumenten geselecteerd door de werkgroep en de beslisboom van het scenario 'Collectief – Warmteladder' wordt met de inzet van elk instrument op verschillende intensiteiten doorgerekend met de eindgebruikersbenadering. Hierbij worden specifiek twee uitkomsten voor het eindbeeld in beeld gebracht: het effect van het beleidsinstrument op de aardgasvraag en het effect van het beleidsinstrument op het aantal aansluitingen per warmteoptie, wat bij deze doorrekeningen is weergegeven als aandeel van het totale aantal bestaande woningen.

4.3.1 Energiebelasting

Dit hypothetische instrument houdt in dat de energiebelasting op aardgas voor gebruikers tot 170000 m³/jaar wordt verhoogd. Het doel van deze verhoging is om zo gebruikers te stimuleren energie te besparen of een alternatieve verwarmingsoptie te gebruiken om de hogere kosten van aardgas te vermijden. Tegelijkertijd wordt ook de haalbaarheid van de businesscase van warmtenetten verbeterd doordat de toegestane maximale warmteprijs meestijgt met de aardgasprijs, op basis van het principe van de 'gasreferentie' (zoals besproken in paragraaf 3.1.4). Er zijn verschillende varianten mogelijk waarin dit instrument kan worden ingezet, de meest voor de hand liggende is met een gelijktijdige verlaging van de belasting op elektriciteit. Dit wordt hier stapsgewijs in meerdere berekeningen inzichtelijk gemaakt. Als eerste stap wordt in figuur 4.16 het effect van verschillende niveaus van verhoging van de belasting op aardgas weergegeven, zonder veranderingen aan de belasting op elektriciteit of een tussenstap.

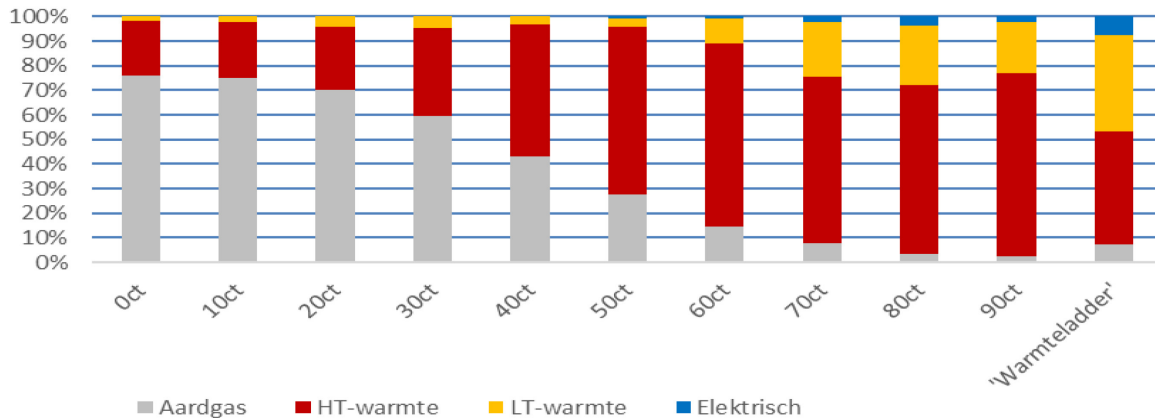
Figuur 4.16: Potentiële reductie van de aardgasvraag van bestaande woningen in het eindbeeld bij verschillende niveaus van verhoging van de energiebelasting op aardgas. (Indien alle maatregelen genomen worden die rendabel zijn voor eindgebruikers.)



Figuur 4.17 geeft aan welke technische maatregelen worden toegekend aan bestaande woningen als alternatief voor aardgas bij verschillende niveaus van verhoging van de energiebelasting op aardgas. Dit is uitgedrukt als percentage van het aantal aansluitingen. Het 0ct-niveau geeft aan wat er onder de huidige voorwaarden zonder extra verhoging in 2035 gerealiseerd kan worden, elke volgende stap geeft weer hoe dit beeld verandert als gevolg van de extra belasting. Ter vergelijking geeft de laatste staaf aan hoe deze

verdeling is in het eindbeeld van het scenario 'Collectief – Warmteladder' op basis van maatschappelijke kosten.

Figuur 4.17: Potentieel van verschillende technische maatregelen in het eindbeeld bij verschillende niveaus van verhoging van de energiebelasting op aardgas (Rechts: maatschappelijke kosteneffectief technisch eindbeeld van het scenario 'Collectief – Warmteladder' ter vergelijking). (Indien alle maatregelen genomen worden die rendabel zijn voor eindgebruikers.)



Dezelfde doorrekeningen als in figuur 4.17 zijn ook gedaan in een variant waarbij tevens de energiebelasting op elektriciteit verlaagd met 7 cent⁴². Dit leidt in de keuze voor specifieke alternatieve warmteopties niet tot een zichtbaar ander resultaat en is daarom niet als figuur weergegeven (zie eventueel bijlage D). Het geringe verschil zit vooral in een kleine toename van het aantal elektrische warmtepompen. Dit kan echter een uitkomst zijn die voornamelijk toegeschreven kan worden aan de condities van de beslisboom in het scenario 'Collectief – Warmteladder', waarbij elektrische verwarmingsinstallaties achteraan in de prioritaire volgorde staan. Bij een andere beslisboom waar individuele elektrische warmtepompen hoger staan in de prioritaire volgorde is het mogelijk dat verlaging van de energiebelasting op elektriciteit een groter effect zou hebben.

Deze doorrekening is nogmaals gedaan met een situatie waarin de belastingverhoging stapsgewijs wordt ingevoerd, met een tussenstap op 50% van de totale beoogde verhoging. Het gevolg hiervan is dat de effectiviteit van het beleidsinstrument bij alle niveaus van intensiteit kleiner is dan in een situatie waar het instrument in één keer wordt geïntroduceerd. Door een tussenstap met een minder intense belastingverschuiving voordat de totale verschuiving wordt doorgevoerd wordt een deel van de gebouw eigenaren gemotiveerd om bij de tussenstap al 'kleine' maatregelen te nemen. Hierdoor worden verdergaande maatregelen minder aantrekkelijk in de nieuw ontstane situatie wanneer de belasting uiteindelijk verder verschuift. Het resultaat is dat er daardoor in het eindbeeld minder besparingsmaatregelen zijn genomen en ook minder gebouwen overstappen op alternatieve warmteopties.

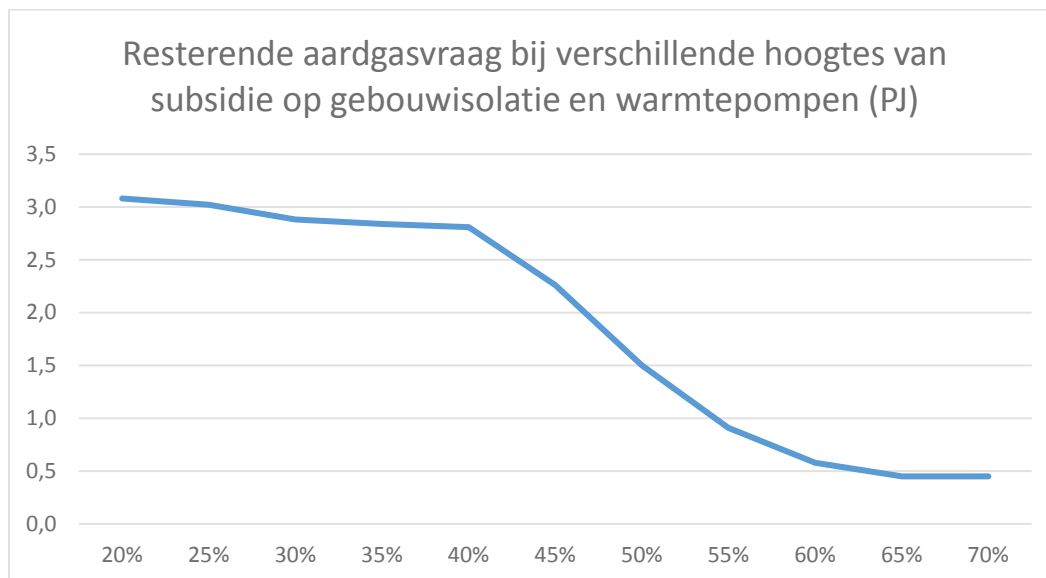
4.3.2 Subsidie gebouwmaatregelen

Het volgende instrument is een subsidie op een aantal maatregelen die gebouw eigenaren zelf kunnen nemen om minder of geen aardgas meer te verbruiken voor verwarming. Deze subsidie wordt uitgekeerd

⁴² In deze doorrekening is de verlaging van de energiebelasting op elektriciteit alleen meegenomen voor de groep gebruikers tot 10.000 kWh/jaar.

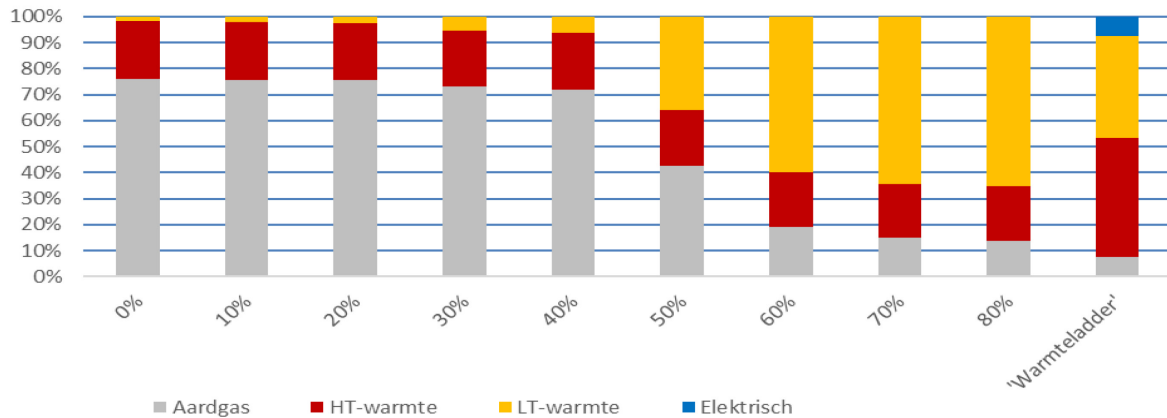
als een percentage van de totale investeringskosten. De subsidie kan worden aangewend voor verbetering van het energielabel door schilisolatie en betere ventilatie, alsmede voor de aanschaf en installatie van elektrische warmtepompen. Als eerste wordt weergegeven wat het effect is op de resterende aardgasvraag in het eindbeeld bij verschillende hoogtes van deze subsidie.

Figuur 4.18: Potentiële reductie van de aardgasvraag van bestaande woningen in het eindbeeld bij verschillende niveaus van subsidie op gebouwmaatregelen als vast percentage van de investering. (Indien alle maatregelen genomen worden die rendabel zijn voor eindgebruikers.)



Uit figuur 4.18 blijkt dat dit instrument op zich (zonder aanvullende, complementaire beleidsinstrumenten) pas grote effecten heeft vanaf een niveau hoger dan 40% van de totale investering. Lager dan dat niveau wordt er in het eindbeeld weinig extra besparing gerealiseerd. Om te laten zien welk effect de inzet van dit instrument heeft op de gekozen warmteaanbod alternatieven is in figuur 4.19 het aandeel aansluitingen in het eindbeeld van bestaande woningen weergegeven bij verschillende hoogtes van deze subsidie.

Figuur 4.19: Potentieel van verschillende technische maatregelen in het eindbeeld bij verschillende niveaus van subsidie op gebouwisolatie en elektrische warmtepompen, als vast percentage van de investeringskosten (Rechts: technisch eindbeeld van het maatschappelijke kosteneffectief scenario 'Collectief – Warmteladder' ter vergelijking). (Indien alle maatregelen genomen worden die rendabel zijn voor eindgebruikers.)

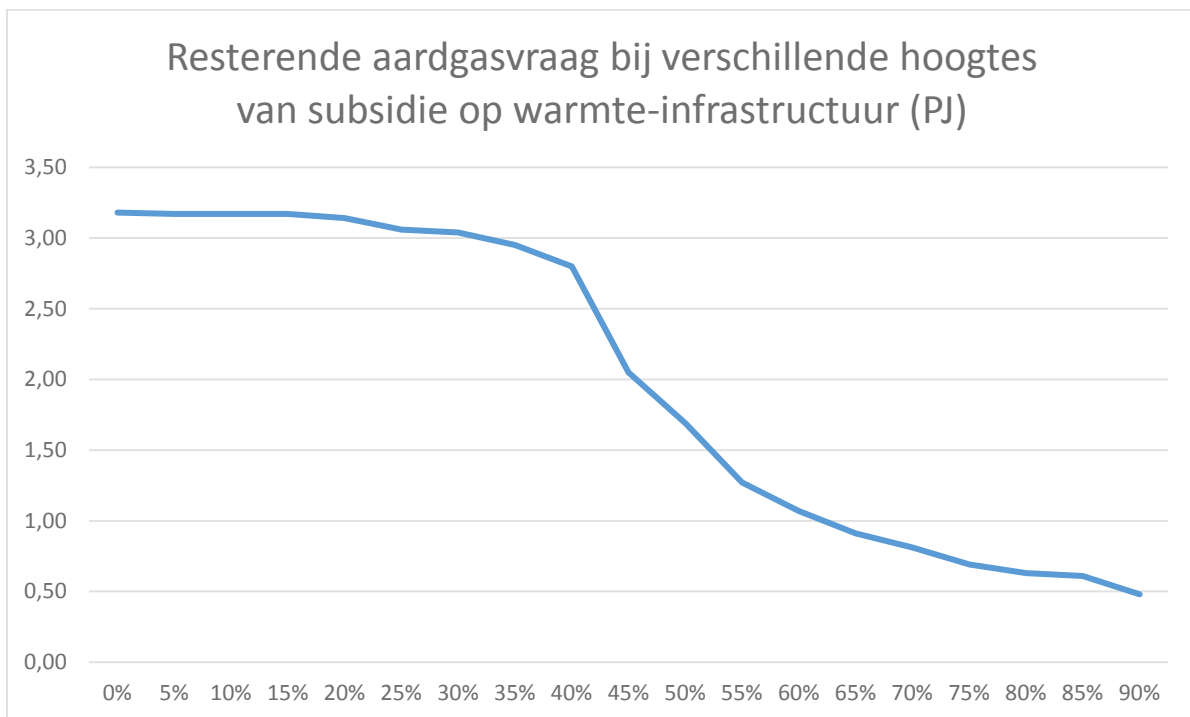


Zoals te zien is in figuur 4.19 worden de effecten van subsidie op gebouwmaatregelen op de aandelen van verschillende technieken pas duidelijk zichtbaar bij een subsidie hoger dan 40% van de investeringskosten. Lager dan dat niveau vindt er al wel besparing plaats maar is de afsluiting van het aardgas nog niet rendabel voor het grootste deel van de woningen. Een ander opvallende uitkomst is dat HT-warmtenetten nauwelijks aangelegd kunnen worden wanneer woningen massaal verregaand worden geïsoleerd. Dit heeft te maken met een sterke daling van de warmtevraag, wat betekent dat er relatief veel infrastructuur-kosten moeten worden gemaakt voor een relatief kleine afzet, waardoor de businesscase voor HT-warmtenetten niet meer sluitend is. Daarentegen heeft het verregaande isolatieniveau een positieve invloed op de aanleg van LT-netten in het technisch eindbeeld onder deze omstandigheden. Individuele elektrische warmtepompen komen niet terug in deze resultaten, wat opvallend is omdat ook deze worden gesubsidieerd. Dit is te verklaren door de prioritaire volgorde van de beslisboom in het scenario 'Warmteladder', waarbij de voorkeur wordt gegeven aan LT-warmte boven individuele elektrische verwarmingsinstallaties.

4.3.3 Subsidie warmte-infrastructuur

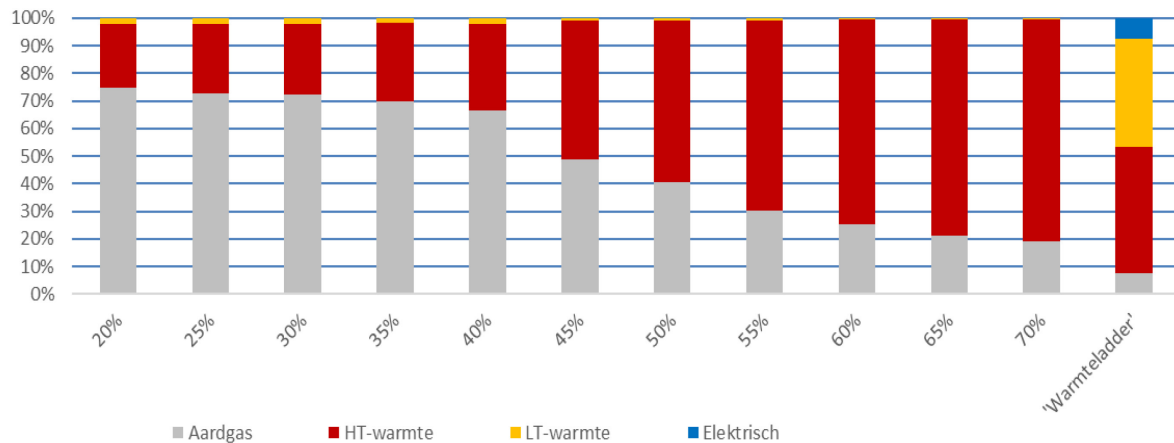
Het volgende instrument is een subsidie op de aanleg van infrastructuur voor collectieve warmtevoorziening. Dit geldt zowel voor HT- als voor LT-warmtenetten. Deze subsidie wordt uitgekeerd als een percentage van de totale investeringskosten. De subsidie kan worden aangewend voor de aanleg van zowel primaire transportleidingen als voor de aanleg van wijkdistributienetten in aangesloten buurten. Als eerste wordt weergegeven wat het effect is op de resterende aardgasvraag in het eindbeeld bij verschillende hoogtes van deze subsidie.

Figuur 4.20: Potentiële reductie van de aardgasvraag van bestaande woningen in het eindbeeld bij verschillende niveaus van subsidie op primaire transport- en wijkdistributieleidingen als percentage van de investering. (Indien alle maatregelen genomen worden die rendabel zijn voor eindgebruikers.)



Uit figuur 4.20 blijkt dat ook dit instrument op zich (zonder aanvullende, complementaire beleidsinstrumenten) pas grote effecten heeft vanaf een niveau van meer dan 40% van de totale investering. Lager dan dat niveau worden er in het eindbeeld weinig additionele warmtenetten gerealiseerd. Om te laten zien welk effect de inzet van dit instrument heeft op de gekozen alternatieven is in figuur 4.21 het aandeel aansluitingen in het eindbeeld van bestaande woningen weergegeven bij verschillende hoogtes van deze subsidie.

Figuur 4.21: Potentieel van verschillende technische maatregelen in het eindbeeld bij verschillende niveaus van subsidie op primaire transport- en distributieleidingen voor warmtenetten, als percentage van de investeringskosten (Rechts: maatschappelijke kosteneffectief technisch eindbeeld van het scenario 'Collectief – Warmteladder' ter vergelijking). (Indien alle maatregelen genomen worden die rendabel zijn voor eindgebruikers.)



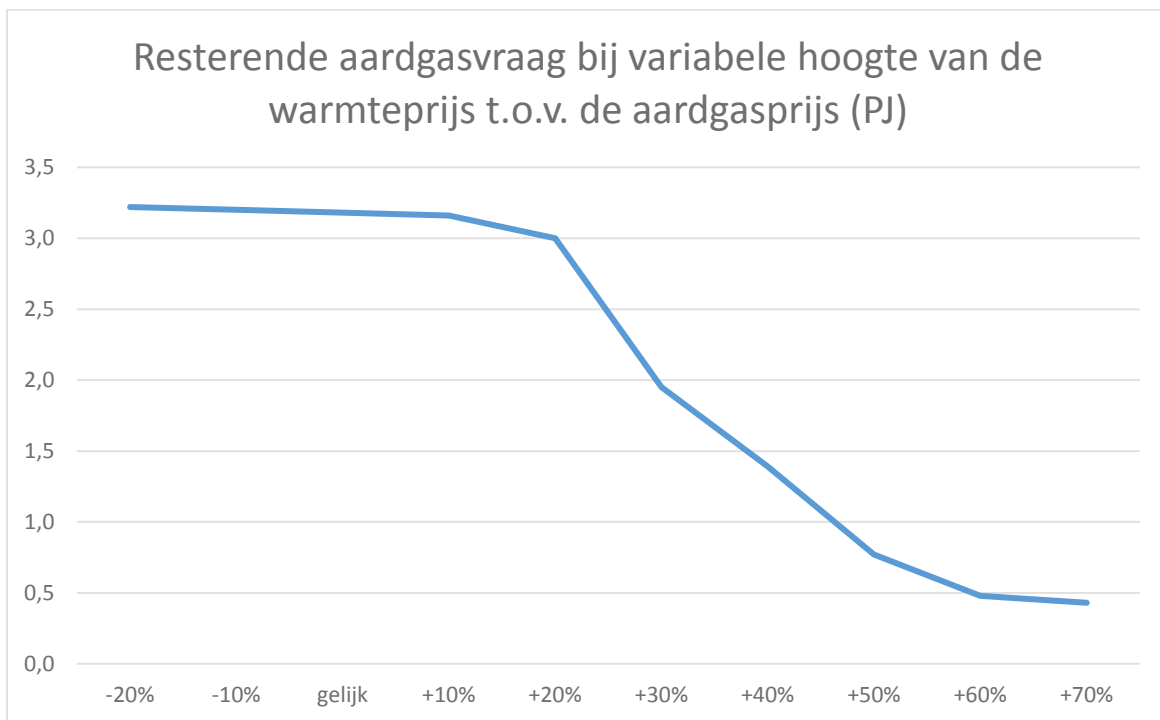
4.3.4 Afwijkende aardgasreferentie

Op dit moment is volgens het Niet Meer Dan Anders – principe (NMDA, ook wel 'aardgasreferentie') de maximale warmteprijs die gevraagd mag worden aan afnemers van een warmtenet beperkt door een wettelijk maximum. Dit maximum wordt jaarlijks door de ACM vastgesteld op het niveau waarop dit voor een gemiddelde woning gelijk is aan verwarming met aardgas⁴³. Met andere woorden, warmtevoorziening via een warmtenet mag niet duurder zijn voor de gemiddelde gebruiker dan warmtevoorziening met een individuele aardgasketel. Het is niet ondenkbaar dat deze aardgasreferentie in de toekomst wordt losgelaten als onderdeel van het nationale energiebeleid. Dat zou bijvoorbeeld kunnen betekenen dat de prijs voor collectieve warmtelevering in de toekomst de ontwikkeling van de aardgasprijs nog enige tijd volgt en daarna op een zeker punt wordt vastgezet terwijl de aardgasprijs verder stijgt. Andere varianten zijn ook mogelijk en op dit moment is het lastig in te schatten welke vorm andere regelgeving op dit gebied zal aannemen. Om in beeld te brengen wat eventueel het effect zou kunnen zijn wordt het scenario 'Warmteladder' doorgerekend met een afwijkende warmteprijs die een vast percentage hoger of lager ligt dan de aardgasreferentie. Figuur 4.22 geeft de verwachte besparing in het aardgasgebruik weer die voort zou kunnen komen van een hogere of lagere warmteprijs. Dit effect is berekend over een range van -20% (warmte 20% goedkoper dan aardgasreferentie) tot +70%⁴⁴ (warmte 70% duurder dan aardgasreferentie). Vervolgens is ook gekeken naar wat het effect hiervan is op de aandelen van verschillende technische maatregelen in het eindbeeld voor de bestaande woningen.

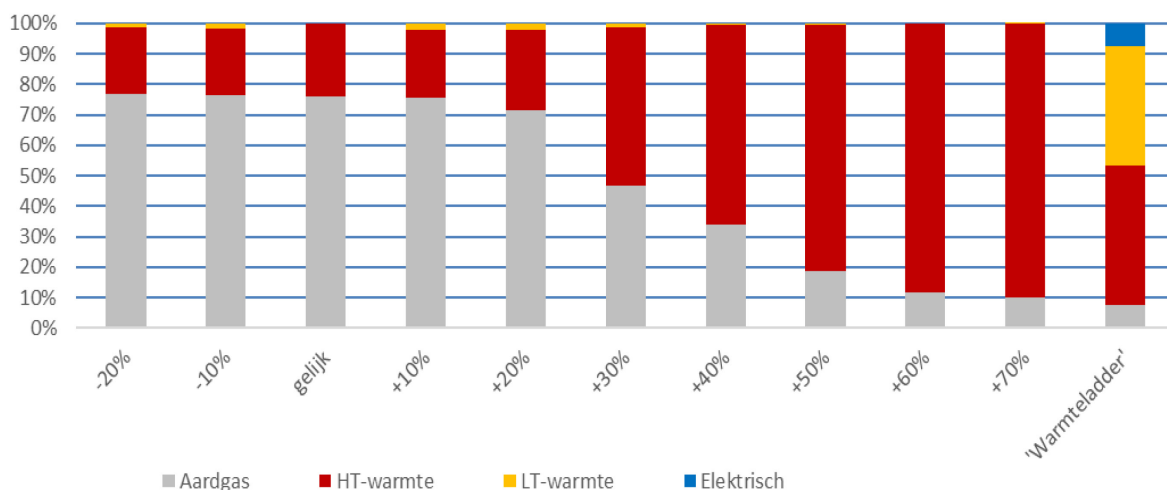
⁴³ Voor de actuele vastgestelde tarieven, zie het 'Besluit maximumprijs levering warmte 2018' via <https://www.acm.nl/nl/warmtetarieven>

⁴⁴ Een warmteprijs die 70% hoger is dan de aardgasreferentie zou in de praktijk vrijwel zeker een onacceptabel beleidsinstrument zijn. Deze analyse is dan ook voornamelijk gedaan om inzicht te krijgen in het formaat van de beleidsopgave.

Figuur 4.22: Potentiële reductie van de aardgasvraag van bestaande woningen in het eindbeeld bij verschillende prijsniveaus voor warmtelevering via warmtenetten als percentage waarmee het afwijkt van de aardgasreferentie. (Indien alle maatregelen genomen worden die rendabel zijn voor eindgebruikers.)



Figuur 4.23: Potentieel van verschillende technische maatregelen als aandeel van het aantal aangesloten bestaande woningen in het eindbeeld bij verschillende niveaus van de warmteprijs die gebruikers betalen aan hun warmteleverancier, als percentage van de aardgasreferentie (Rechts: technisch eindbeeld van het maatschappelijke kosteneffectief scenario 'Collectief – Warmteladder' ter vergelijking). (Indien alle maatregelen genomen worden die rendabel zijn voor eindgebruikers.)



4.4 Gecombineerde beleidsinstrumenten

Door de kennis die is opgedaan in onderdeel 4.3 is het mogelijk om gecombineerde pakketten aan maatregelen door te rekenen. Hierdoor hoeft niet elk van de bovenstaande instrumenten op zeer hoge niveaus ingezet te worden om de doelstelling van 90% aardgasreductie door te rekenen. Met behulp van

de combinatie van deze instrumenten is het mogelijk om een benadering te geven van de maatschappelijk kosteneffectieve uitkomst o.b.v. het eindgebruikersperspectief.

4.4.1 Combinatie van beleidsinstrumenten

Voor de selectie van beleidsinstrumenten om in combinaties door te rekenen zijn er vanuit de regio twee richtlijnen aangegeven. Ten eerste zal voor een aantal gebieden in de regio wellicht nog geen definitief warmtealternatief worden toegewezen, omdat er nog te grote onzekerheden zijn over wat de beste oplossing is voor deze gebouwen. Dit kunnen bijvoorbeeld gebouwen zijn waar het maatschappelijke meest kosteneffectieve alternatief op aardgas zeer hoge kosten met zich meebrengt. Een deel van deze gebieden kan in dat geval worden 'geparkeerd' om bij een toekomstige herijking van het eindbeeld een alternatieve warmteoptie aan toe te voegen. Dit biedt ook de mogelijkheid om af te wachten welke vorm het nationale energiebeleid zal aannemen en of er wellicht andere verwarmingstechnieken beschikbaar komen dan waarmee tot nu toe is gerekend. Om welke gebieden dit in de praktijk zal gaan is aan het oordeel van de werkgroep warmtetransitieplan. In de doorrekening van gecombineerde beleidsinstrumenten wordt hier mee omgegaan door te rekenen met verschillende niveaus van beleidsintensiteit van de gehanteerde instrumenten die in meer of mindere mate de uiteindelijke doelstelling benaderen.

Ten tweede is er de behoefte uit de regio om op korte termijn inzicht te hebben in de omvang van het financiële gat dat moet worden overbrugd om een zo groot mogelijk deel van het maatschappelijk kosteneffectieve eindbeeld te kunnen realiseren. Voor dit onderzoek is deze vraag geoperationaliseerd als het subsidiebedrag dat nodig is om bij een eindgebruikersbenadering dicht bij dit eindbeeld te komen. Hoe dicht het maatschappelijk eindbeeld in deze fase zal worden benaderd is uiteindelijk een afweging die men binnen de regio Drechtsteden maakt. Er zijn vier mogelijke intensiteiten van instrumenten benoemd. Voor elk niveau van beleidsintensiteit is het percentage waarmee de aardgasvraag wordt verminderd en het aandeel van de gebouwen dat aardgasvrij wordt verwarmd berekend. Ook is voor elk niveau van beleidsintensiteit de subsidievraag berekend. Deze subsidie is net als in het vorige onderdeel uitgedrukt als een percentage van de investeringen in zowel gebouwmaatregelen als warmte-infrastructuur. Eventueel zou het in de praktijk mogelijk zijn dat bijvoorbeeld een hogere subsidie op gebouwmaatregelen en een lagere op infrastructuur, of vice versa, betere uitkomsten produceert. Omwille van de grote omvang van die vraag als alle mogelijke combinaties moeten worden berekend, is hier alleen gekeken naar een enkel niveau waarop beide onderdelen worden gesubsidieerd. Voor de subsidies geldt een vast percentage waarbij er geen onderscheid wordt gemaakt tussen verschillende typen maatregelen en actoren. Ook bij technische maatregelen die al rendabel worden bij een lager subsidiepercentage wordt de volledige subsidie toegekend, waardoor er sprake is van oversubsidiëring.

In overleg met de werkgroep warmtetransitieplan van de regio Drechtsteden is besloten om met een specifieke combinatie van beleidsinstrumenten te bepalen welke eventuele combinaties zouden kunnen leiden tot het behalen van het doel van 90% reductie van aardgasgebruik, of ten minste tot een stap in de richting van het behalen daarvan. Er wordt gerekend met een hypothetische verhoging van de belasting, vastgesteld door de werkgroep warmtetransitieplan op het niveau van 20 cent per m³ aardgas, en een verlaging van de belasting op elektriciteit met 7 cent per kWh, beide voor kleingebruikers. De aanname is dat dit gefaseerd zal worden ingevoerd en zal daarom modelmatig in twee stappen worden verhoogd, waarbij de eerste stap 50% van de totale verschuiving is.

Wat betreft de mogelijke constructies rond het beprijzen van warmtelevering uit collectieve warmtenetten is op dit moment nog weinig bekend. Hoewel het mogelijk is dat hier in de toekomst

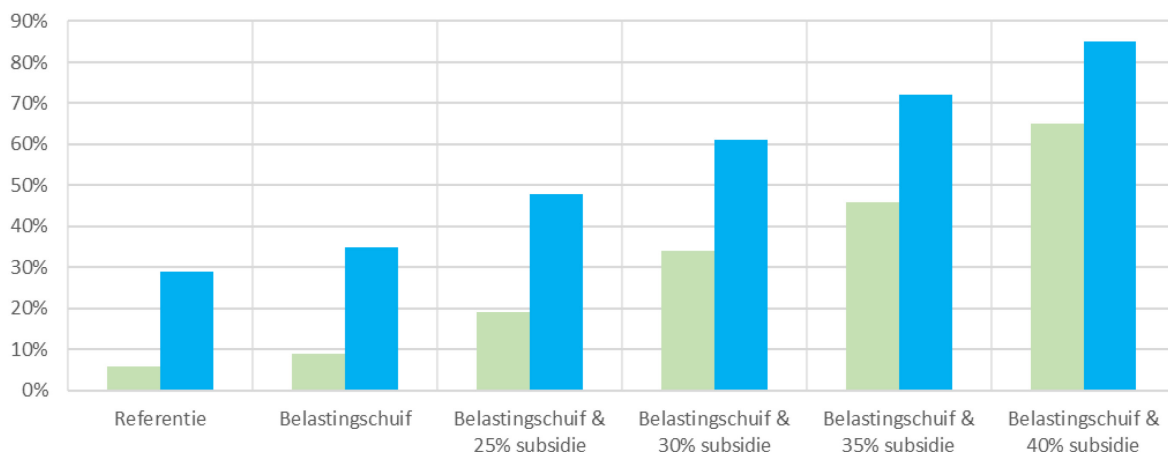
veranderingen in plaats zullen vinden is besloten in dit onderzoek de aardgasreferentie (NMDA) te hanteren voor de doorrekening van beleidsinstrumenten. In de verdere doorrekeningen wordt dus niet meer ingegaan op een hypothetische verhoging of verlaging van de warmteprijs ten opzichte van de aardgasprijs.

4.4.2 Resultaten per niveau van beleidsintensiteit

Zoals te zien in figuur 4.24 is gekozen voor vier hypothetische subsidieniveaus waarbij een kleiner of groter deel van het maatschappelijk eindbeeld kan worden gerealiseerd. De referentie ter vergelijking is het resultaat van een situatie waar alle maatregelen worden genomen die rendabel zijn bij ongewijzigd beleid. Hierbij is de staaf zonder subsidie de situatie waarin wel de belasting op energie verschuift in het nationale beleid, maar geen subsidie-instrumenten of andere vormen van steun worden geïntroduceerd.

Figuur 4.24: Reductie in aardgasverbruik en aantal gebouwen dat met aardgas wordt verwarmd als aandeel van het regiototaal, welke rendabel wordt bij verschillende niveaus van subsidie op isolatie, warmtepompen en warmte-infrastructuur – met daarnaast een vaste verschuiving van de energiebelasting van elektriciteit naar aardgas. (Indien alle maatregelen genomen worden die rendabel zijn voor eindgebruikers.)

Aandeel van alle gebouwen dat geen gas meer voor verwarming gebruikt (groen) en percentage waarmee de huidige gasvraag verminderd wordt (blauw) - t.o.v. het basisjaar



Tegenover de vermindering van het aandeel gebouwen dat aardgas gebruikt voor verwarming en het teruglopende totale aardgasverbruik staat een bedrag dat wordt bijgelegd in de vorm van de investeringssubsidie. Dit is een percentage dat moet worden bijgelegd om de benodigde technische maatregelen in een eindgebruikersbenadering rendabel te maken. Hierbij is ervan uit gegaan dat de subsidie voor alle gebouwen beschikbaar is, en dat alle maatregelen die onder die condities rendabel zijn worden uitgevoerd.

Tabel 4.15 toont een aantal indicatoren voor hoe de uitgekeerde subsidie wordt ingezet bij verschillende niveaus van beleidsintensiteit en geeft ook een beeld van de effectiviteit. Deze tabel laat zien:

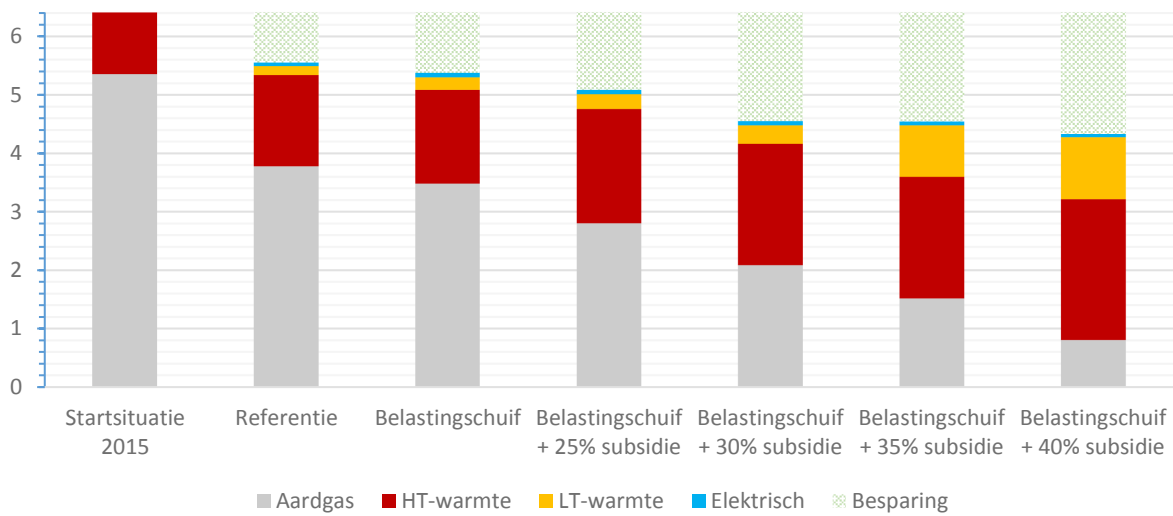
- **Totaal subsidiebedrag:** Het totale subsidiebedrag dat wordt uitgekeerd, zowel aan warmte-infrastructuur als aan gebouwmaatregelen.

- **Per gebouw in de regio:** Het totale subsidiebedrag dat wordt uitgekeerd als bedrag per gebouw. Dit is het totale subsidiebedrag gedeeld door het aantal gebouwen in de regio, om zo de orde grootte van het bedrag te illustreren.
- **Minder aardgasverbruik:** Het aantal petajoule per jaar aardgas dat in het eindbeeld minder wordt gebruikt dan in het startjaar. Dit is als gevolg van zowel de achtergrondfactoren die ook in het referentiebeeld spelen en de inzet van de beleidsinstrumenten.
- **Per PJ/jr. minder aardgas:** Het totale subsidiebedrag gedeeld door de gerealiseerde aardgasbesparing in het eindbeeld. Dit is een indicator van de effectiviteit van de gehanteerde instrumenten.
- **Gebouwen afgesloten:** het aantal gebouwen dat in het startjaar wordt verwarmd met een individuele aardgasgestookte ketel en in het eindbeeld is overgestapt op een andere verwarmingsmethode.
- **Per afgesloten gebouw:** Het totale subsidiebedrag gedeeld door het aantal gebouwen dat in het eindbeeld is afgestapt van een individuele aardgasgestookte. Dit is een indicator van de effectiviteit van de gehanteerde instrumenten.

Tabel 4.15: Subsidie totaal en per gebouw, en effectiviteit uitgedrukt in bespaarde petajoule aardgas/jaar, aantal afgesloten gebouwen en subsidiebedrag per van aardgas afgesloten gebouw (alle bedragen volgens CPI 2018). (Indien alle maatregelen genomen worden die rendabel zijn voor eindgebruikers.)

| | Belastingen & 25% subsidie | Belastingen & 30% subsidie | Belastingen & 35% subsidie | Belastingen & 40% subsidie |
|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Totaal subsidiebedrag | 296 miljoen € | 440 miljoen € | 631 miljoen € | 877 miljoen € |
| Per gebouw in de regio | € 2.030 | € 3.036 | € 4.349 | € 6.032 |
| Minder aardgasverbruik | 2,55 PJ/jr. | 3,27 PJ/jr. | 3,84 PJ/jr. | 4,55 PJ/jr. |
| Per PJ/jr. minder aardgas | 116 miljoen € | 136 miljoen € | 165 miljoen € | 192 miljoen € |
| Gebouwen afgesloten | 28045 | 49201 | 66432 | 94306 |
| Per afgesloten gebouw | € 10.526 | € 8.970 | € 9.516 | € 9.299 |

Figuur 4.25: Technisch potentieel in 2035 voor verschillende technische maatregelen bij verschillende subsidieniveaus, in Petajoule geleverde (of bespaarde) warmte per jaar. (Indien alle maatregelen genomen worden die rendabel zijn voor eindgebruikers.)



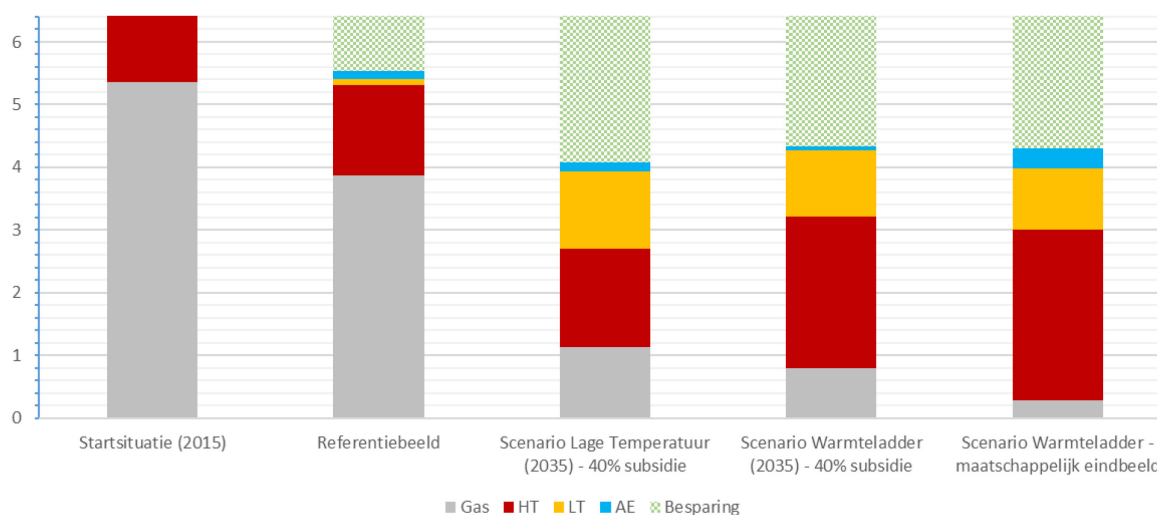
4.4.3 Gevoeligheid beslisboom

Bij bovenstaande ramingen van het technisch-economisch potentieel vanuit het eindgebruikersperspectief is uitsluitend gekeken naar de prioritaire volgorde van het scenario 'Collectief – Warmteladder'. In de praktijk volgen investeerders niet noodzakelijk deze prioritaire volgorde. Daarom is het zinvol om deze resultaten nogmaals te berekenen met een andere prioritaire volgorde, die gehanteerd is in een van de andere maatschappelijke scenario's. Om een indruk te krijgen van wat het effect hiervan zou zijn is het subsidieniveau van 40% nogmaals doorgerekend met de beslisboom van scenario 'Energiebesparing – Lage Temperatuur'. Dit scenario is gekozen omdat het de op één na laagste maatschappelijke kosten heeft van de vier doorgerekende scenario's. Tabel 4.16 vergelijkt de resultaten tussen die doorrekening en de resultaten van het scenario 'Collectief – Warmteladder'.

Tabel 4.16: Subsidie totaal en per gebouw, en effectiviteit uitgedrukt in bespaarde petajoule aardgas/jaar, aantal afgesloten gebouwen en subsidiebedrag per van aardgas afgesloten gebouw (alle bedragen volgens CPI 2018). Vergelijking tussen de beslisbomen van de scenario's 'Collectief – Warmteladder' en 'Energiebesparing – Lage Temperatuur' (alle bedragen volgens CPI 2018). (Indien alle maatregelen genomen worden die rendabel zijn voor eindgebruikers.)

| | Belastingschuif & 40% subsidie – Lage Temperatuur | Belastingschuif & 40% subsidie – Warmteladder |
|---------------------------|---|---|
| Totaal subsidiebedrag | 895 miljoen € | 877 miljoen € |
| Per gebouw in de regio | € 6.152 | € 6.032 |
| Minder aardgasverbruik | 4,23 PJ/jr. | 4,55 PJ/jr. |
| Per PJ/jr. minder aardgas | 212 miljoen € | 192 miljoen € |
| Gebouwen afgesloten | 85160 | 94306 |
| Per afgesloten gebouw | € 10.504 | € 9.299 |

Figuur 4.26: Petajoule (PJ) per jaar geleverd uit verschillende verwarmingsmethoden of bespaard t.o.v. de startsituatie. Vergelijking tussen beslisbomen van scenario's 'Collectief – Warmteladder' en 'Energiebesparing – Lage Temperatuur' bij een verschuiving van de energiebelasting van elektriciteit naar aardgas, met 40% subsidie op investeringen in gebouwmaatregelen, warmtepompen en warmte-infrastructuur. (Indien alle maatregelen genomen worden die rendabel zijn voor eindgebruikers.)



Deze uitkomsten bevestigen het beeld dat het scenario 'Energiebesparing – Lage Temperatuur' iets duurder is dan het scenario 'Collectief – Warmteladder'. Laatstgenoemde laat met deze uitkomsten ook zien dat er een grotere reductie van het aardgasverbruik gehaald wordt en meer gebouwen worden afgesloten van het aardgas, tegen een lager subsidiebedrag, bij inzet van gelijke beleidsinstrumenten. Het verschil is echter zeer klein.

Zoals te zien is in figuur 4.26 wordt er in het scenario 'Energiebesparing – Lage Temperatuur' wel meer energie bespaard over het totaal, maar dit gaat ten koste van de uitleg van een deel van de HT-warmtenetten waardoor uiteindelijk ook het aardgasverbruik in het eindbeeld enigszins hoger uitvalt. Door de grotere energiebesparing bij de beslisboom 'Energiebesparing – Lage Temperatuur' dalen de potentiële inkomsten uit warmtelevering waardoor de aanleg van warmtenetten in een aantal gebieden niet rendabel is wat dat wel rendabel zou zijn bij een beperktere energiebesparing.

4.4.4 Kostenverdeling

Deze sectie beschrijft de kostenverdeling tussen warmtebedrijven, gebouweigenaren en gebouwgebruikers. Als laatste stap in deze studie is hier een overzicht gegeven van hoe de kosten van de warmtevoorziening veranderen in de doorrekening met de beslisboom 'Warmteladder' bij een verschuiving van de energiebelasting en een subsidie op bouwmaatregelen en warmte-infrastructuur van 40%. Ook leidt dit tot een indicatie van de kosten voor de overheid in deze scenariovariant.

In tabel 4.16 zijn voor vier situaties de kostenverdelingen opgenomen. Ten eerste is het startjaar 2015 weergegeven. Vervolgens is de situatie in 2035 weergegeven in het geval dat er geen enkele technische maatregel wordt genomen maar de kosten wel veranderen door een aantal achtergrondfactoren (zie paragraaf 4.1.1). De derde situatie is het referentiebeeld voor 2035 waarbij dezelfde achtergrondfactoren een rol spelen en ook alle technische maatregelen worden genomen die rendabel zijn bij ongewijzigd beleid, met de beslisboom 'Warmteladder' als prioritaire volgorde van technieken. De vierde situatie is het eindbeeld in 2035 waarbij het totale aardgasverbruik van de regio daalt met 85% ten opzichte van het verbruik in 2015. De benodigde technische maatregelen worden rendabel voor de eindgebruiker door de inzet van de eerder gehanteerde beleidsinstrumenten:

- Verhoging van de energiebelasting op aardgas met 20 cent per m² met een tussenstap van 10 cent per m²
- Verlaging van de energiebelasting op elektriciteit met 7 cent per kWh met een tussenstap van 3,5 cent per kWh
- 40% subsidie op de investeringskosten in gebouwisolatie en elektrische warmtepompen
- 40% subsidie op de investeringskosten in transport- en distributieleidingen van warmtenetten

De kosten zijn gegeven voor drie groepen actoren: warmteleveranciers, gebouweigenaren en gebouwgebruikers. Warmteleveranciers zijn zowel de beheerders van lokale LT-systemen als het warmtebedrijf dat een groot HT-warmtenet exploiteert. In realiteit overlappen deze groepen elkaar waar gebouweigenaren ook gebruiker zijn van het eigen gebouw. In dat geval kunnen de kosten en baten van de twee groepen actoren opgeteld worden. Binnen de groepen gebouwgebruikers en gebouweigenaren vallen zowel woningen als utiliteitsgebouwen en glastuinbouwbedrijven. Ook vallen binnen deze groepen zowel nieuwbouw als bestaande bouw.

De kosten zijn opgesplitst in een aantal componenten. Alle kosten zijn uitgedrukt in miljoenen euro's per jaar. Om de eenmalige investeringen en subsidies om te zetten naar jaarlijkse kapitaallasten is rekening gehouden met een investeringstermijn van 30 jaar voor warmtenetten en schilverbeteringen, en 15 jaar voor elektrische warmtepompen. Overige kosten die in de tabel zijn weergegeven zijn overhevelingen van de ene groep actoren naar de andere, die zijn in dat geval bij beide actoren weergegeven; positief bij de betaler en negatief bij de ontvanger. De weergegeven kostencomponenten zijn:

- **Energiehandel (Aardgas):** De kosten voor de inkoop van aardgas, exclusief belastingen. Deze kosten komen voor bij warmteleveranciers voor het aardgas dat wordt gebruikt in

hulpwarmtekets van HT-warmtenetten en bij gebouwgebruikers voor warmtevoorziening met individuele aardgasgestookte ketels. Ook de kosten van het aardgasnet zijn verwerkt in deze post.

- **Energiehandel (Elektriciteit):** De kosten voor de inkoop van elektriciteit, exclusief belastingen. Deze kosten komen voor bij warmteleverancier voor het elektriciteitsgebruik in LT-warmtenetten en bij de gebouwgebruikers als de kosten voor het totale elektriciteitsgebruik in woningen. In de kosten van gebouwgebruikers is het totale verbruik voor verwarming, verlichting en apparatuur opgenomen. Ook de kosten van het elektriciteitsnet inclusief eventuele netverzwaring zijn in deze post verwerkt.
- **Energiehandel (Warmte):** Betaling van gebouwgebruikers aan warmteleveranciers voor warmtelevering
- **Kapitaallasten (Infra & Bronnen):** De initiële investeringen die worden gedaan door warmteleveranciers voor de aanleg van LT- en HT-warmtenetten met bijbehorende bronnen. In deze post is inclusief de kosten van de aanleg van een nieuwe geothermiebron of aansluiting op de warmterotonde Zuid-Holland⁴⁵. De investeringsperiode is 30 jaar.
- **Kapitaallasten (Gebouwen):** De initiële investeringen in gebouwgebonden maatregelen die worden gedaan door gebouweigenaren voor o.a. schilverbeteringen en de aanschaf en installatie van individuele elektrische warmtepompen. De investeringsperiode is 30 jaar voor schilverbetering en 15 jaar voor elektrische warmtepompen.
- **Lopende kosten (Split incentive):** Herverdeling van de baten van energiebesparing tussen gebouweigenaren en gebruikers, inclusief die gevallen waar de gebouweigenaar ook gebruiker is. Aangenomen is dat 80% van de baten door energiebesparing als gevolg van investeringen toekomen aan de gebouweigenaar die de investering doet. 20% van de baten door energiebesparing komen dan toe aan de gebouwgebruiker.
- **Lopende kosten (Onderhoud):** Jaarlijkse kosten voor onderhoud, beheer en administratie voor warmtelevering of gebouwgebonden maatregelen.
- **Lopende kosten (Warmteproductie):** Variabele kosten voor de productie van warmte in HT-bronnen ten behoeve van warmtelevering met HT-warmtenetten.
- **Overheid (Belastingen):** Betalingen aan de overheid via BTW, precario en energiebelastingen. Belasting die de actor achteraf terug kan krijgen via bestaande regelingen is al verrekend in deze post (bijvoorbeeld heffingskorting en bedrijven die BTW betalen).
- **Overheid (Subsidies):** Bijdrage van de overheid aan warmteleveranciers als percentage van de investeringskosten in transport- en distributieleidingen en aan gebouweigenaren als percentage van de investeringskosten in schilverbeteringen en elektrische warmtepompen. Beide hier vastgesteld op 40%. Subsidies zijn uitgedrukt als jaarlijkse kosten gedurende de investeringsperiode.

Belangrijke kanttekening bij deze resultaten is dat er een versimpeld beeld is weergegeven van de directe gevolgen van de inzet van een aantal beleidsinstrumenten en de invloed van een aantal achtergrondfactoren binnen een modelmatige simulatie van het techno-economisch potentieel, gegeven een bepaalde set condities. Er is geen rekening gehouden met verdere herverdelingsmechanismen die de kosten op een andere manier verdelen op basis van een normatieve afweging van wat wenselijk of acceptabel is. Ook zijn de geselecteerde hypothetische beleidsinstrumenten generiek van aard en zijn er mogelijk meer gerichte vormen van beleid mogelijk die hetzelfde streefdoel bereiken met een andere verdeling van kosten. Ook is er sprake van oversubsidiëring doordat een vast percentage van alle technische maatregelen wordt vergoed. Indien alleen subsidie zou worden gegeven voor de onrendabele

⁴⁵ Voor de aansluiting bij de warmterotonde Zuid-Holland is alleen dat gedeelte van de benodigde transportleidingen meegenomen dat zich binnen de regio Drechtsteden bevindt.

top van afzonderlijke technische maatregelen zou hetzelfde doel voor reductie van de aardgasvraag kunnen worden bereikt met een lager subsidiebedrag.

Er is de aanname gedaan dat het volledige technisch-economische potentieel wordt benut doordat alle actoren handelen als rationele investeerder. Ook zijn hier alleen de totalen voor groepen actoren opgenomen; binnen deze groepen kunnen grote verschillen zijn, bijvoorbeeld tussen verschillende typen woningen, of tussen gebouwen met een HT-warmtenet en gebouwen met een elektrische warmtepomp. Verder zijn op deze resultaten alle genoemde kanttekeningen en beperkingen van de gehanteerde methode van toepassing.

Tabel 4.16: Jaarlijkse kosten van de warmtevoorziening in miljoenen euro (CPI 2018) voor warmteleveranciers, gebouweigenaren en gebouwgebruikers in de regio Drechtsteden in het startjaar 2015 en in drie varianten van het eindbeeld in 2035, opgesplitst in componenten. (Indien alle maatregelen genomen worden die rendabel zijn voor eindgebruikers.)

| Eindgebruikerskosten per jaar in miljoenen euro (CPI 2018) | | Startjaar 2015 | | | 2035 zonder maatregelen | | | 2035 rendabel bij ongewijzigd beleid | | | 2035 bij belastingschuif en 40% subsidie | | |
|--|-----------------|--------------------|-----------------|------------------|-------------------------|-----------------|------------------|--------------------------------------|-----------------|------------------|--|-----------------|------------------|
| | | Warmteleveranciers | Gebouweigenaren | Gebouwgebruikers | Warmteleveranciers | Gebouweigenaren | Gebouwgebruikers | Warmteleveranciers | Gebouweigenaren | Gebouwgebruikers | Warmteleveranciers | Gebouweigenaren | Gebouwgebruikers |
| Energie Handel | Aardgas | 3 | | 81 | 5 | | 98 | 7 | | 76 | 10 | | 15 |
| | Elektriciteit | | | 107 | | | 114 | 1 | | 113 | 9 | | 111 |
| | Warmte | -29 | | 29 | -38 | | 38 | -56 | | 56 | -108 | | 108 |
| Kapitaal lasten | Infra & bronnen | | | | | | | 6 | | | 24 | | |
| | Gebouwen | | | | | | | | 16 | | | 48 | |
| Lopende Kosten | Split incentive | | | | | | | | -16 | 16 | | -57 | 57 |
| | Onderhoud | 13 | | | 12 | | | 17 | | | 32 | | |
| | Warmteproductie | 3 | | | 4 | | | 5 | | | 5 | | |
| Overheid | Belastingen | 5 | | 86 | 6 | | 127 | 9 | 0 | 113 | 28 | 0 | 35 |
| | Subsidies | | | | | | | | | | -8 | -19 | |
| Totaal | | -5 | 0 | 302 | -11 | 0 | 377 | -11 | 0 | 375 | -6 | -28 | 326 |

Zoals tabel 4.16 laat zien is er in het achtergrondscenario in de variant "geen maatregelen" een stijging in de kosten van energie voor gebouwgebruikers van 33 miljoen per jaar, van 217 miljoen per jaar in 2015 naar 250 miljoen per jaar in 2035. Men betaalt 98 miljoen per jaar voor de inkoop van aardgas waar dit in 2015 nog 81 miljoen was. Als bij ongewijzigd beleid alle rendabele technische maatregelen worden genomen kunnen de kosten voor de inkoop van aardgas worden beperkt tot 76 miljoen per jaar, een daling van 22 miljoen ten opzichte van de scenariovariant waarbij geen technische maatregelen worden genomen. Dit is met name een gevolg van het aanleggen van meer HT-warmtenetten, waarvoor kapitaallasten van 6 miljoen per jaar worden gedragen. Ook is het bij ongewijzigd beleid rendabel om een aantal energiebesparende gebouwverbeteringen toe te passen, voor kapitaallasten van 16 miljoen per jaar. Deze verschuiving betekent dat voor gebouwgebruikers de jaarlijkse kosten voor aardgasverbruik dalen met 22 miljoen, en de jaarlijkse kosten voor warmtelevering stijgen met 27 miljoen, ten opzichte van de situatie in 2035 als geen technische maatregelen zouden worden genomen. In de scenariovariant waarin de belastingschuif wordt toegepast en investeringssubsidies van 40% beschikbaar worden gesteld, wordt het aardgasverbruik drastisch teruggebracht. De kosten voor aardgasverbruik dalen tot 15 miljoen per jaar, 66 miljoen per jaar minder dan in het startjaar en 83 miljoen per jaar minder dan de situatie in 2035 waarin geen technische maatregelen zouden worden genomen. Om dit te bereiken wordt een pakket technische maatregelen genomen dat leidt tot een stijging van de jaarlijkse kosten voor inkoop van warmte met 70 miljoen, ten opzicht van de situatie in 2035 als geen technische maatregelen worden genomen.

De benodigde technische maatregelen om deze verschuiving te realiseren en het aardgasverbruik daarmee drastische te reduceren, worden in de laatste variant rendabel voor eindgebruikers door de inzet van beleidsinstrumenten. Warmtebedrijven kunnen in deze variant voor 24 miljoen per jaar aan rendabele investeringen doen voor de aanleg en uitbreiding van warmtenetten, waarbij een bijdrage van de overheid van 8 miljoen per jaar wordt gegeven om deze uitbreiding van warmtelevering voor de warmtebedrijven rendabel te maken. Aan de gebouwszijde doen gebouwgebruikers in deze scenariovariant voor 48 miljoen per jaar aan investeringen in aanpassingen aan hun bezit, waarmee de gebouwen energiezuiniger worden. Van deze 48 miljoen zou met de beleidsinstrumenten zoals die zijn ingezet in deze variant, 19 miljoen per jaar worden bijgedragen door de overheid.

De totale jaarlijkse kosten aan subsidies voor de overheid zouden in deze scenariovariant oplopen tot 27 miljoen per jaar, waarvan het grootste deel wordt uitgekeerd aan gebouwgebruikers. Daarbij komt dat gebouwgebruikers in 2035 bij inzet van deze beleidsinstrumenten hun energieverbruik dusdanig verlagen, ofwel verschuiven van aardgas naar warmtelevering, dat de betaalde belastingen dalen van 86 miljoen per jaar in 2015 naar 35 miljoen in per jaar in 2035. Ten opzichte van de variant waarin geen technische maatregelen genomen zouden worden is het verschil 92 miljoen per jaar aan belastingen die gebouwgebruikers vermijden door het nemen van technische maatregelen. De belastingen die jaarlijks betaald worden door warmtebedrijven stijgen echter door dit pakket technische maatregelen van 5 miljoen in 2015 naar 28 miljoen in 2035. In totaal dalen de inkomsten uit belastingen voor de overheid van 91 miljoen in 2015 naar 63 miljoen in 2035, in de scenariovariant waar met behulp van deze beleidsinstrumenten de reductie van het aardgasverbruik wordt gerealiseerd.

In 2015 gaven gebouwgebruikers in totaal 302 miljoen per jaar uit aan de inkoop van energie en belastingen. In de variant waarbij geen technische maatregelen worden genomen stijgen deze kosten door stijgende energieprijzen en voorziene belastingstijgingen tot 377 miljoen per jaar in 2035. In de

variant waarbij rendabele maatregelen worden genomen bij ongewijzigd beleid is al wel een kleine verschuiving van aardgasverbruik naar warmtelevering zichtbaar, alsmede een aantal energiebesparende gebouwverbeteringen, waardoor minder wordt betaald door gebouwgebruikers aan de inkoop van energie en belastingen. De baten door vermeden inkoop van energie zijn ongeveer gelijk aan de jaarlijkse kapitaallasten van deze technische maatregelen. Daarom veranderen de totale kosten voor gebouwgebruikers weinig en komen deze uit op 375 miljoen per jaar in 2035. Wanneer met behulp van de belastingschuif en investeringssubsidies van 40% een groter pakket technische maatregelen rendabel wordt voor eindgebruikers dalen de kosten voor gebouwgebruikers wel aanzienlijk ten opzichte van de varianten waarbij alleen rendabele maatregelen bij ongewijzigd beleid, of helemaal geen maatregelen worden genomen. In het eindbeeld in 2035 betalen gebouwgebruikers onder deze condities 326 miljoen per jaar. Als de baten uit energiebesparing die voor de rekening van de gebouweigenaren komen in deze doorrekening daar bij worden gerekend dan is er een daling van 4 miljoen per jaar mogelijk in de totale kosten van gebouwgebruikers en gebouweigenaren samen, ten opzichte van de jaarlijkse kosten in 2015. Tegenover de situatie waarin geen maatregelen worden genomen dragen gebouwgebruikers in 2035 51 miljoen per jaar minder lasten voor de energievoorziening door de genomen technische maatregelen.

4.4.5 Controle randvoorwaarden

Door de werkgroep warmtetransitieplan in de regio Drechtsteden zijn een aantal randvoorwaarden opgesteld waarmee rekening moet worden gehouden in het eindbeeld. Twee daarvan hebben te maken met de koppeling met de elektriciteitsvraag en hangen daarom met elkaar samen. Dit is de toename van elektriciteitsgebruik in de regio wat gevolgen kan hebben voor de kosten van het elektriciteitsnet voor netverzwaring en de haalbaarheid van de bredere ambities op het gebied van duurzame energie in de regio. Bij het subsidieniveau van 40% wordt slechts in een klein aantal situaties de elektrische warmtepomp ingezet als de beslisboom 'Warmteladder' gehanteerd wordt. In het maatschappelijk eindbeeld dat in de eerste onderzoeksfase als maatschappelijk meest kosteneffectief is vastgesteld komen wel meer elektrische warmtepompen voor in het eindbeeld. Echter in beide situaties is de toename van elektriciteitsgebruik niet noemenswaardig. De veranderingen in achtergrondfactoren zijn van grotere invloed op het elektriciteitsgebruik in dit scenario dan het gebruik van elektrische warmtepompen. Echter, zoals de eerdere gevoeligheidsanalyses hebben laten zien is het mogelijk dat bij een optimistischere inschatting van de toekomstige ontwikkeling van de kosten van elektrische warmtepompen, de aanschaf ervan voor meer gebouweigenaren een rendabele investering wordt. Bij een gemiddelde inschatting van de kosten in de doorrekening van het scenario met 40% subsidie hierboven is er voor zover met Vesta MAIS kan worden berekend nagenoeg geen netverzwaring nodig ten behoeve van de warmtetransitie omdat er weinig stijging in de elektriciteitsvraag is.

Een andere randvoorwaarde is het aantal aansluitingen op HT-warmtenetten. Het minimum hiervoor is een indicatief aantal van 5000 woningen. In de praktijk zouden er drie afzonderlijke HT-warmtenetten kunnen ontstaan vanwege de aanwezigheid van grote waterwegen. De eerste in het zuiden in Dordrecht, de tweede in het noordwesten in Zwijndrecht en Hendrik-Ido-Ambacht, en de derde in het noordoosten in Papendrecht en Sliedrecht, mogelijk doorgetrokken naar Alblasterdam of Hardinxveld-Giessendam. In de resultaten van zowel de doorrekening met gecombineerde beleidsinstrumenten als in het maatschappelijk eindbeeld van het scenario 'Collectief – Warmteladder' is aan deze randvoorwaarde ruim voldaan voor elk van deze drie warmtenetten.

5. Conclusies

In het kader van het (inter)nationaal klimaatbeleid heeft de regio Drechtsteden, net als elke gemeente in Nederland, de opgave tot een plan te komen voor het aardgasvrij maken van de gebouwde omgeving. Dit stageonderzoek biedt kennis en inzichten waarmee de regio kan worden ondersteund bij die opgave. Het doel van de warmtetransitie is voor deze studie geïnterpreteerd als het reduceren van het totale regionale aardgasverbruik met 90% in 2035 ten opzichte van 2015. In deze studie zijn twee onderzoeksvragen beantwoord die bijdragen aan het vormen van een warmtetransitieplan.

De eerste onderzoeksvraag is het vinden van het maatschappelijk meest kosteneffectieve pakket van technische maatregelen waarmee het doel van 90% aardgasreductie wordt gerealiseerd. Als onderdeel van deze onderzoeksvraag is een afwegingskader opgesteld met een prioritaire volgorde van verschillende technische maatregelen. Dit houdt in dat er één voor één de rentabiliteit van verschillende technische maatregelen wordt bepaald. Wanneer een technische maatregel wordt gevonden die rendabel is voor de eindgebruiker die de investering doet, dan wordt deze toegepast. Voor gebouwen die op deze manier een alternatieve verwarmingsmethode krijgen toegewezen wordt vervolgens niet meer berekend wat de rentabiliteit van de volgende technische maatregelen is. Elke technische maatregel heeft een eigen schaalniveau waarop de afweging plaatsvindt.

Daarnaast is in kaart gebracht welke gevolgen een aantal onzekere factoren in de toekomst zouden kunnen hebben voor het maatschappelijk meest kosteneffectieve maatregelenpakket. Deze vraag is onderzocht door het doorrekenen van vier maatschappelijke scenario's met verschillende afwegingskaders, waarbij de maatschappelijke kosten van CO₂-uitstoot zijn meegerekend. Het scenario waarin het 90% aardgasreductiedoel wordt behaald tegen de laagste totale maatschappelijke kosten levert het maatschappelijk meest kosteneffectieve maatregelenpakket op. Met behulp van een aantal gevoeligheidsanalyses is vervolgens onderzocht hoe robuust deze uitkomsten zijn voor toekomstige onzekerheden.

De tweede onderzoeksvraag is het vinden van manieren om het maatschappelijk meest kosteneffectieve pakket technische maatregelen rendabel te maken voor eindgebruikers door de inzet van beleidsinstrumenten. Eerst is de potentiële impact op de aardgasvraag van een aantal individuele beleidsinstrumenten doorgerekend. Vervolgens is een indicatief pakket met een combinatie van beleidsinstrumenten opgesteld. In de doorrekening van dit voorbeeldpakket wordt bij een eindgebruikersbenadering van de kosten 85% reductie van de aardgasvraag van gebouwen in de regio Drechtsteden gerealiseerd met behulp van een verschuiving van belasting in combinatie met investeringssubsidies. Als laatste stap is van dit voorbeeldpakket ook een indicatieve kostenverdeling gegeven.

5.1 Maatschappelijke scenario's

De maatschappelijke scenario's zijn doorrekeningen waarin op basis van maatschappelijke kosten een transitiepad wordt opgesteld waarbij het aardgasreductiedoel van 90% in 2035 wordt gehaald. Deze doorrekeningen leveren een pakket technische maatregelen op waarmee de warmtevraag wordt gereduceerd en in de resterende warmtevraag waar mogelijk wordt voorzien met andere verwarmingsmethoden dan individuele aardgasgestookte ketels. De scenario's verschillen onderling in de prioritaire volgorde die aan de verschillende technische maatregelen wordt toegekend, en in de aannames die worden gedaan over de toekomstige beschikbaarheid van hoge-temperatuur warmtebronnen. Hierbij is rekening gehouden met het feit dat er verschillen zijn tussen technische

maatregelen wat betreft schaalniveau: sommige technische maatregelen kunnen op individueel niveau worden uitgevoerd waar andere een collectieve planmatige aanpak vereisen.

Vooraf is het referentiebeeld opgesteld dat laat zien wat de mogelijkheden zijn als tot 2035 alle technische maatregelen worden genomen die voor eindgebruikers rendabel zijn bij ongewijzigd beleid. In het referentiebeeld wordt 29% reductie van het aardgasverbruik gerealiseerd. Om het doel van de warmtetransitie te halen zijn vervolgens de maatschappelijke kosten voor de uitstoot van CO₂ meegerekend. Deze is hier vastgesteld op het niveau waarbij de reductie van ten minste 90% in alle scenario's wordt gehaald. Dat komt hier neer op een CO₂-prijs van €400 per uitgestoten ton CO₂, via een tussenstap bij €200 euro per ton CO₂. Dit representeert de waarde die in deze maatschappelijke doorrekening wordt toegekend aan de schade die uitgestoten CO₂ oplevert voor de maatschappij, oftewel het maximale bedrag dat de maatschappij bereid is te betalen voor het vermijden van de uitstoot van een ton CO₂. Tabel 5.1 laat de resultaten zien van de doorrekeningen van de maatschappelijke scenario's, ten opzichte van de startsituatie en het referentiebeeld.

Tabel 5.1: Vergelijking van de vier maatschappelijke scenario's ten opzichte van het startjaar en het referentiebeeld (alle voor eindgebruikers rendabele maatregelen bij ongewijzigd beleid). Per scenario is het energieverbruik voor warmte uitgesplitst naar energiedrager vermeld, alsmede de totale maatschappelijke kosten van de energievoorziening van de gebouwde omgeving. Tussen haakjes: percentage ten opzichte van het startjaar. (Indien alle maatschappelijk kosteneffectieve maatregelen genomen worden.)

| Vergelijking maatschappelijke scenario's | Startsituatie (2015) | Eindbeeld (2035) Rendabel bij ongewijzigd beleid | Eindbeeld (2035) Energiebesparing – Elektrisch | Eindbeeld (2035) Energiebesparing – Lage Temperatuur | Eindbeeld (2035) Collectief – Hoge Temperatuur | Eindbeeld (2035) Collectief – Warmteladder |
|--|----------------------|--|--|--|--|--|
| Aardgasverbruik (Petajoule/jaar) | 5,4 (100%) | 3,8 (71%) | 0,5 (9%) | 0,4 (7%) | 0,2 (4%) | 0,3 (6%) |
| HT-warmtelevering (Petajoule/jaar) | 1,1 | 1,5 | 1,4 | 1,3 | 4,6 | 2,7 |
| LT-warmtelevering (Petajoule/jaar) | 0,0 | 0,1 | 0,3 | 1,6 | 0,1 | 1,0 |
| Elektriciteit (Petajoule/jaar) | 0,0 | 0,1 | 1,7 | 0,5 | 0,4 | 0,3 |
| Totale warmtevraag (Petajoule/jaar) | 6,4 (100%) | 5,5 (85%) | 3,8 (59%) | 3,8 (59%) | 5,3 (83%) | 4,3 (67%) |
| Totaal maatsch. kosten (miljoen euro/jaar) | 213 | 250 | 452 | 430 | 488 | 381 |

Het scenario 'Energiebesparing – Elektrisch' en het scenario 'Collectief – Hoge Temperatuur', waarin zwaar wordt gesteund op een enkele techniek (respectievelijk individuele elektrische warmtepompen en hoge-temperatuur warmtenetten) hebben de hoogste totale maatschappelijk kosten. De scenario's 'Energiebesparing – Lage Temperatuur' en 'Collectief – Warmteladder', waar niet een enkele techniek in

het bijzonder dominant is, hebben lagere totale maatschappelijke kosten. Daaruit blijkt dat maatwerk nodig is waarbij verschillende temperaturen warmtelevering, verschillende isolatieniveaus en op gezette plaatsen ook elektrische warmtepompen worden ingezet, afhankelijk van de lokale omstandigheden. Het scenario 'Energiebesparing – Lage Temperatuur' heeft een evenwichtigere combinatie van technische maatregelen waarbij vergaande isolatie in combinatie met warmtelevering op lage temperatuur de belangrijkste rol speelt. De totale maatschappelijke kosten van de energievoorziening van de gebouwde omgeving komen ook in dit scenario echter nog uit op nagenoeg een verdubbeling van de maatschappelijke kosten vergeleken met het startjaar.

Het scenario 'Collectief – Warmteladder' is van de hier doorgerekende scenario's de meest kosteneffectieve balans tussen besparen en duurzame alternatieven, en tussen collectieve of individuele warmteopwekking. Ook in dit scenario stijgen de totale maatschappelijke kosten sterk ten opzichte van het startjaar, maar deze komen lager uit dan in de andere drie scenario's. Het afwegingskader van dit scenario houdt in dat eerst door isolatiemaatregelen zo veel mogelijk energie wordt bespaard, en vervolgens met collectieve warmtelevering in de resterende warmtevraag wordt voorzien. Waar na isolatie geen solide maatschappelijke businesscase meer is voor warmtelevering op hoge temperaturen, is in dit afwegingskader warmtelevering op lage temperaturen het alternatief, met in de overgebleven gebouwen eventueel een individuele elektrische warmtepomp. Dit afwegingskader leidt tot 94% reductie van het aardgasverbruik in 2035, en een reductie van de totale warmtevraag van de gebouwde omgeving met 33%. De totale maatschappelijke kosten van de energievoorziening van de gebouwde omgeving komen in dit scenario uit op 381 miljoen per jaar in 2035, beduidend lager dan de andere drie scenario's.

Van de hier doorgerekende scenario's heeft het pakket technische maatregelen dat hoort bij het scenario 'Collectief – Warmteladder' aldus de laagste totale maatschappelijke kosten. Dit is daarmee de maatschappelijk meest kosteneffectieve manier waarop de aardgasvraag van de gebouwde omgeving met minimaal 90% kan worden gereduceerd.

5.2 Maatschappelijk kosteneffectief maatregelenpakket

Het maatschappelijk meest kosteneffectieve maatregelenpakket (dat voortkomt uit het afwegingskader van het scenario 'Collectief – Warmteladder'), houdt in dat er eerst zoveel mogelijk energiebesparende maatregelen worden genomen. De warmtevraag van de gebouwde omgeving kan zo met een derde worden teruggebracht. Daarvoor moet de bestaande woningvoorraad dusdanig worden verbeterd dat de helft van de bestaande woningen energielabel A+ of hoger heeft. De overige woningen hoeven minder vergaand te worden geïsoleerd maar in bijna alle gevallen wel naar label B of C. Een belangrijke reden dat de maatschappelijke kosten van dit scenario lager zijn dan in andere scenario's is dat er minder hoeft te worden besteed aan de inkoop van energie. Er zijn aanzienlijke kosten verbonden aan deze bouwverbeteringen, vooral voor isolatie naar A+ of beter. Echter resulteren deze wel in een lagere energierekening voor de gebruiker en bij vergaande isolatie is ook verwarming met lagere temperaturen mogelijk, waardoor de maatschappelijke kosten lager zijn dan in het alternatieve 'Collectief' scenario, waarin minder wordt geïsoleerd en met name hoge-temperatuur warmtenetten worden aangelegd.

Voor de resterende warmtevraag moeten duurzame alternatieven voor de momenteel gebruikte individuele aardgastookte ketels worden gevonden. De eerste stap daarin is de aanleg van nieuwe hoge-temperatuur warmtenetten, gevoed met nieuwe hoge temperatuur-bronnen (70 tot 90 C°). Deze bronnen kunnen bijvoorbeeld een aansluiting bij de warmterotonde Zuid-Holland of (diepe) geothermie zijn. Hierbij is er een wisselwerking tussen energiebesparing en de financiële haalbaarheid van nieuwe

warmtenetten. Weinig isolatie betekent dat er veel afzet van warmte mogelijk is waardoor de businesscase voor warmteleveranciers sneller sluitend is. Voor beperkte isolatie met hoge-temperatuur warmtelevering in deze buurten is een relatief lage initiële investering nodig door de gebouweigenaren.

In buurten waar veel gebouwen naar A+ of beter zijn geïsoleerd wegen de kosten van warmtelevering door nieuwe warmtenetten veelal niet op tegen de uitgespaarde kosten van de levering van aardgas. Het alternatief is dan een combinatie van vergaande isolatie en verwarming op lagere temperaturen (minder dan 60 °C). Dit kan ofwel met individuele elektrische warmtepompen, ofwel collectief met een centrale warmtepomp en een bronsysteem, zoals warmte- en koudeopslag (eventueel in combinatie met thermische energie uit afval- of oppervlaktewater).

5.3 Gevoeligheidsanalyse

Het eindbeeld van het scenario 'Warmteladder' is onderworpen aan analyses voor een viertal gevoeligheden. De resultaten laten zien hoe een aantal onzekere factoren voor de toekomst invloed kunnen hebben op de uitkomsten van de maatschappelijke doorrekening. Deze gevoeligheden zijn:

- De ontwikkeling van investeringskosten van technische maatregelen
- Het aandeel gebouwen per buurt dat kiest voor een warmtenet indien aangeboden
- Isolatie van gebouwen naar maximaal B in plaats van maximaal A+
- De verhouding tussen piek- en basislast in de warmteproductie voor warmtenetten

In de doorrekening van de maatschappelijke scenario's is rekening gehouden met een bescheiden daling van de investeringskosten van technische maatregelen (zowel gebouwmaatregelen als de aanleg van warmtenetten). Het is echter een onzekere factor voor de toekomst hoe groot de kostendaling uiteindelijk zal zijn. Uit een gevoeligheidsanalyse voor de ontwikkelingen van de investeringskosten van technische maatregelen blijkt dat de businesscase voor het aanleggen van hoge-temperatuur warmtelevering zoals in het technisch eindbeeld van het scenario 'Collectief – Warmteladder', robuust is voor een optimistischere of pessimistischere inschatting van de toekomstige investeringskosten.

Het aandeel van hoge-temperatuur warmtenetten in de warmtevoorziening in het eindbeeld is wel gevoeliger voor een aantal andere factoren. De geschetste contouren van dit warmtenet in het technisch eindbeeld van het scenario 'Warmteladder' zijn gebaseerd op 100% deelname in buurten waar het warmtenet wordt aangeboden. Als het deelnamepercentage daalt zijn er wijken waar hoge temperatuur warmtelevering niet langer het maatschappelijk meest kosteneffectieve alternatief voor aardgas is. Waar bij 100% deelname ongeveer de helft van de buurten in de regio kosteneffectief kan worden aangesloten, is dit bij 55% deelname nog maar een derde.

Aan de andere kant is het ook mogelijk dat de maatschappelijke businesscase voor hoge temperatuur warmtenetten in de toekomst gunstiger uitvalt. Als er een hogere efficiëntie in de warmtelevering wordt behaald waardoor ook minder bijstook van warmte door aardgasgestookte hulpketels nodig is om in de piekvraag te voorzien dalen de exploitatiekosten. In de doorrekeningen van de maatschappelijke scenario's is ervan uitgegaan dat jaarlijks 20% van het volume aan geleverde warmte wordt opgewekt in hulpketels. Dit is een conservatieve inschatting. In het geval dat dit aandeel daalt naar 10% van het volume is het maatschappelijk kosteneffectief tweederde van de buurten in de regio aan te sluiten op een hoge-temperatuur warmtenet

Ditzelfde effect is ook zichtbaar als wordt uitgegaan van een lager isolatieniveau voor gebouwen dan in het oorspronkelijke pakket technische maatregelen van het scenario 'Collectief - Warmteladder'.

Wanneer gebouwen maximaal tot schillabel B worden geïsoleerd en vervolgens de toekenning van hoge-temperatuur warmtelevering wordt overwogen, dan is er in tweederde van de buurten een solide businesscase voor een hoge-temperatuur warmtenet.

In een aantal buurten zal geen hoge-temperatuur warmtenet worden aangelegd. Gebouwen in die buurten zullen verwarmd kunnen worden op lage temperaturen, met ofwel een individuele elektrische warmtepomp, ofwel een (lokaal) lage-temperatuur warmtenet. Welke van deze twee verwarmingsmethoden maatschappelijk kosteneffectiever is, is afhankelijk van toekomstige ontwikkelingen in de investeringskosten van deze technische maatregelen. De gevoeligheidsanalyse laat zien dat als de investeringskosten voor gebouwmaatregelen relatief hoog blijven, de maatschappelijke businesscase voor collectieve lage-temperatuurlevering sterker is dan die voor individuele elektrische warmtepompen. Bij een optimistischere inschatting van de toekomstige investeringskosten voor gebouwmaatregelen worden juist de individuele warmtepompen aantrekkelijker. Het is daarom nog niet exact zeker welke verwarmingstechniek de meest maatschappelijk kosteneffectieve is voor gebieden waar in de toekomst geen hoge-temperatuur warmte zal worden geleverd. Zowel individuele elektrische warmtepompen als lage-temperatuur warmtenetten vereisen wel een zeer hoog isolatieniveau.

5.4 Beleidsinstrumenten

Hoewel het in sectie 5.3 genoemde pakket technische maatregelen een maatschappelijk kosteneffectieve wijze is om het aardgasverbruik te verminderen, zijn de meeste van deze technische maatregelen op dit moment niet rendabel voor de eindgebruiker die de investering zou moeten doen. Om te zorgen dat deze technische maatregelen rendabel worden moeten ofwel de baten uit energiebesparing en warmtelevering hoger worden, ofwel de investerings- en exploitatiekosten van de technische maatregelen goedkoper worden voor de eindgebruiker die de investering moet doen. Om de technische maatregelen die benodigd zijn om het doel van 90% reductie in het aardgasgebruik te halen, rendabel te maken voor investeerders is daarom aanvullend beleid nodig. Om inzicht te krijgen in deze beleidsopgave is de mogelijke impact van een aantal beleidsinstrumenten verkend, die ingezet zouden kunnen worden om de benodigde technische maatregelen rendabel te maken voor eindgebruikers. De verkende instrumenten zijn:

- Verhoging van de energiebelasting op aardgas voor kleingebruikers en middelgrote gebruikers, eventueel in combinatie met een verlaging van de energiebelasting op elektriciteit
- Investeringssubsidie op gebouwmaatregelen, waaronder schilisolatie en individuele elektrische warmtepompen worden verstaan
- Investeringssubsidie op warmte-infrastructuur, waaronder primair transport en wijkdistributienetten worden verstaan

Hierbij is zonder de maatschappelijke kosten van CO₂-uitstoot te berekenen doorgerekend wat de impact van deze instrumenten zou kunnen zijn op hoeveel reductie van de aardgasvraag kan worden gerealiseerd. Tabel 5.2 laat zien bij welk niveau van beleidsintensiteit de afzonderlijke instrumenten een reductie van het aardgasverbruik van ofwel 40% tot 50%, ofwel meer dan 85% ten opzichte van het startjaar, rendabel maken voor eindgebruikers.

Tabel 5.2: Potentieel voor reductie van het aardgasverbruik bij inzet van een verschuiving van de energiebelasting, investeringssubsidies op gebouwmaatregelen, of investeringssubsidie op warmte-infrastructuur. (Indien alle maatregelen genomen worden die rendabel zijn voor eindgebruikers.)

| Intensiteit van beleidsinstrumenten waarbij aardgasreductie rendabel is voor eindgebruikers | | Reductie aardgasverbruik 40% tot 50% | Reductie aardgasverbruik meer dan 85% |
|---|--|---|--|
| Beleidsinstrumenten | Verhoging energiebelasting aardgas | +/- 40 cent per m ³ | +/- 75 cent per m ³ |
| | Investeringssubsidie warmte-infrastructuur | +/- 50% van de investeringskosten | +/- 90% van de investeringskosten |
| | Investeringssubsidie gebouwmaatregelen | +/- 50% van de investeringskosten | +/- 70% van de investeringskosten |

Als de prijs van aardgas hoger wordt, bijvoorbeeld door verschuivingen in de energiebelasting, worden energiebesparende maatregelen aantrekkelijker. Als de maximale verkoopprijs voor warmtelevering via de aardgasreferentie mee stijgt wordt ook de aanleg van warmtenetten rendabeler voor warmteleveranciers. Om alleen via deze weg het grootste deel van maatschappelijk kosteneffectieve maatregelen rendabel te maken voor gebouweigenaren en warmteleveranciers (meer dan 85% reductie van het aardgasverbruik) zou de belasting op aardgas met minimaal 75 cent per m³ moeten stijgen. Bij lagere niveaus kan in een aantal buurten al wel hoge-temperatuur warmtelevering worden aangeboden, maar zijn in andere buurten alternatieve warmteopties nog niet rendabel. Zo zou bij een niveau van 40 cent belasting per m³ op aardgas het gebruik van aardgas al met 50% kunnen worden gereduceerd. Als deze maatregel wordt genomen in combinatie met een verlaging van de belasting op elektriciteit heeft dat als gevolg dat warmtepompen iets aantrekkelijker worden, dit effect is echter klein bij een verlaging van 7 cent per kWh.

Naast een verschuiving in de energiebelasting zouden ook investeringssubsidies een rol kunnen spelen. In deze studie zijn subsidies op alleen warmte-infrastructuur of op alleen gebouwmaatregelen eerst apart doorgerekend. Dit is gedaan in de vorm van een vast percentage van de investeringskosten met een variabele hoogte. Beide vormen van subsidie maken meer technische maatregelen haalbaar, maar moeten op een relatief hoog niveau van beleidsintensiteit worden ingezet om een resultaat te halen dat in de buurt komt van de doelen van de warmtetransitie. Op zichzelf staand zouden beide vormen van subsidie afzonderlijk vanaf een niveau van meer dan 40% van de totale investeringskosten een aanzienlijke impact op de aardgasvraag kunnen hebben. Bij een niveau van 50% subsidie wordt het rendabel om de aardgasvraag met bijna de helft te reduceren. Om met een van deze vormen van subsidie op zich de aardgasvraag met meer dan 85% te reduceren zijn niveaus van 70% tot 90% subsidie nodig.

5.5 Gecombineerde instrumenten

Individuele beleidsinstrumenten moeten op een zeer hoog intensiteitsniveau worden ingezet om het doel van 90% aardgasreductie rendabel te maken voor eindgebruikers. In combinatie kunnen verschillende beleidsinstrumenten samen dit ook bereiken, waarbij elk instrument afzonderlijk minder hoog ingezet

hoeft te worden. Om hier een indicatie van te geven is een verschuiving in de energiebelasting gecombineerd met investeringssubsidies voor zowel gebouwmaatregelen als warmte-infrastructuur onderzocht.

De verschuiving in de energiebelasting waarmee is gerekend, is ingezet als een reductie van de energiebelasting op elektriciteit ter hoogte van 7 cent per kWh, en een verhoging van de energiebelasting op aardgas met 20 cent per m³. Daarnaast is deze belastingverschuiving met een investeringssubsidie op zowel gebouwmaatregelen als warmte-infrastructuur ter hoogte van 25% en 40% van de totale investering doorgerekend. Het pakket beleidsinstrumenten bereikt bij het hoogste subsidieniveau 85% reductie van het aardgasverbruik van gebouwen in de gebouwde omgeving.

Tabel 5.3 laat stapsgewijs de effecten van de pakketten met beleidsinstrumenten zien op de reductie van het aardgasvraag en het percentage afgesloten gebouwen dat kan worden gerealiseerd bij verschillende subsidieniveaus. Het referentiebeeld in deze tabel is de situatie waarin bij ongewijzigd beleid tot 2035 alle maatregelen worden genomen die rendabel zijn voor eindgebruikers. Vervolgens laten de volgende doorrekeningen het resultaat zien van de verschuiving van de energiebelasting van elektriciteit naar aardgas zonder en met 25% respectievelijk 40% subsidie. Doorrekening van de laatste twee niveaus van beleidsintensiteit laten zien dat het totale aardgasverbruik van gebouwen de regio met respectievelijk 48% en 85% wordt gereduceerd.

Tabel 5.3: Effect van verschillende niveaus van beleidsintensiteit in gecombineerde pakketten van beleidsinstrumenten, op de voor eindgebruikers rendabele reductie van het totale regionale aardgasverbruik en het aantal op gas aangesloten gebouwen in 2035, ten opzichte van het startjaar 2015. (Indien alle maatregelen genomen worden die rendabel zijn voor eindgebruikers.)

| Effectiviteit van gecombineerde beleidsinstrumenten | Referentiebeeld | Referentiebeeld + belastingschuif zonder subsidie | Referentiebeeld + belastingschuif + 25% subsidie | Referentiebeeld + belastingschuif + 40% subsidie |
|---|-----------------|---|--|--|
| Reductie aardgasverbruik | 29% | 35% | 48% | 85% |
| Afgesloten gebouwen | 6% | 9% | 19% | 65% |

Op het niveau van 40% subsidie wordt een totaalbedrag van 877 miljoen euro aan subsidie gevraagd om bij te leggen en zo de benodigde technische maatregelen rendabel te maken voor de eindgebruiker die de investering moet doen. Dit komt neer op gemiddeld 6000 euro subsidie per gebouw in de regio. Hierbij is wel sprake van grote oversubsidiëring, omdat de subsidiebijdrage wordt uitgekeerd voor alle genomen maatregelen. De subsidie geldt daarmee ook voor technische maatregelen die ook zonder subsidie rendabel voor de eindgebruiker zouden zijn, of waar een lager percentage afdoende zou zijn om de technische maatregel voor de eindgebruiker rendabel te maken. In totaal wordt in deze scenariovariant voor 2,2 miljard euro geïnvesteerd in technische maatregelen. Op hogere niveaus van beleidsintensiteit is per Petajoule jaarlijkse aardgasvraagreductie relatief meer subsidie nodig, omdat dan ook de moeilijker gebieden worden aangepakt en de duurdere technische maatregelen moeten worden genomen. Uit een gevoeligheidsanalyse is gebleken dat ook in deze variant met inzet van beleidsinstrumenten en een

eindgebruikers-kostenbenadering het afwegingskader 'Warmteladder' meer wenselijke resultaten oplevert dan het scenario dat in de maatschappelijke doorrekeningen op de tweede plaats kwam.

5.6 Kostenverdeling

De laatste stap in deze studie is het geven van een indicatie van de verdeling van kosten en baten in de situatie waar met behulp van gecombineerde beleidsinstrumenten een pakket technische maatregelen wordt genomen waarmee 85% reductie van de aardgasvraag van gebouwen wordt gerealiseerd. In de scenariovariant uit sectie 5.5 wordt door een verschuiving van de energiebelasting en investeringssubsidies van 40% dat reductieniveau bereikt met rendabele investeringen voor eindgebruikers. Tabel 5.4 geeft een vereenvoudigd overzicht van de kostenverdeling zoals die voortkomt uit deze variant. De kosten en baten zijn weergegeven voor warmtebedrijven en gebouwen (een samenvoeging van gebruikers en eigenaren) en zijn onderverdeeld in een aantal componenten:

- **Inkoop aardgas:** Kosten voor inkoop van aardgas, incl. vastrecht, excl. belastingen
- **Inkoop elektriciteit:** Kosten voor inkoop van elektriciteit, incl. vastrecht, excl. belastingen
- **Warmtelevering:** Kosten of inkomsten voor het afnemen of verkopen van warmte
- **Kapitaallasten:** Geannualiseerde investeringskosten van technische maatregelen
- **Lopende kosten:** Kosten van onderhoud en warmteproductie voor warmtebedrijven
- **Belastingen:** Energiebelasting, BTW en precario
- **Investeringssubsidies:** Geannualiseerde overheidsbijdrage aan investeringskosten

Ter vergelijking zijn de kostenverdelingen gegeven voor de situatie dat tot 2035 alle technische maatregelen genomen worden die rendabel zijn voor eindgebruikers bij ongewijzigd beleid, voor een situatie waar tot 2035 geen enkele technische maatregel wordt genomen, en voor het startjaar 2015.

Tabel 5.4: Kostenverdeling van de energievoorziening van de gebouwde omgeving in de regio Drechtsteden in het startjaar 2015, in 2035 zonder technische maatregelen, in 2035 bij rendabele maatregelen onder ongewijzigd beleid en bij een combinatie van een belastingschuif en 40% investeringssubsidie. (Vereenvoudigde variant van tabel 4.16) (Indien alle maatregelen genomen worden die rendabel zijn voor eindgebruikers.)

| Eindgebruikerskosten per jaar in miljoenen euro (CPI 2018) | Startjaar 2015 | | 2035 zonder maatregelen | | 2035 rendabel bij ongewijzigd beleid | | 2035 bij belastingschuif en 40% subsidie | |
|--|------------------|------------|-------------------------|------------|--------------------------------------|------------|--|------------|
| | Warmte-bedrijven | Gebouwen | Warmte-bedrijven | Gebouwen | Warmte-bedrijven | Gebouwen | Warmte-bedrijven | Gebouwen |
| Inkoop aardgas | 3 | 81 | 5 | 98 | 7 | 76 | 10 | 15 |
| Inkoop elektriciteit | | 107 | | 114 | 1 | 113 | 9 | 111 |
| Warmtelevering | -29 | 29 | -38 | 38 | -56 | 56 | -108 | 108 |
| Kapitaallasten | | | | | 6 | 16 | 24 | 48 |
| Lopende kosten | 16 | | 16 | | 22 | | 37 | |
| Belastingen | 5 | 86 | 6 | 127 | 9 | 113 | 28 | 35 |
| Investeringsubsidies | | | | | | | -8 | -19 |
| Totaal | -5 | 302 | -11 | 377 | -11 | 375 | -6 | 298 |

In tabel 5.4 staan ook negatieve bedragen, wat aangeeft dat er op een bepaalde post voor een groep actoren baten te behalen zijn. Zo is bijvoorbeeld de post “warmtelevering” een kostenpost voor gebouwgebruikers en –eigenaren, terwijl deze post een bron van inkomsten is voor warmtebedrijven. In het startjaar staat bij de totalen een nettowinst voor warmtebedrijven. Dit is de potentiële winst die naar verwachting op dit moment te behalen zou zijn als in alle buurten waar nu warmtenetten aanwezig zijn, alle gebouwen op het warmtenet zouden zijn aangesloten en de maximumtarieven voor warmte worden gerekend zoals die door de ACM zijn vastgesteld op basis van de aardgasreferentie (dit is een aanname voor de startsituatie). Alle waarden in tabel 5.4 zijn absolute bedragen die de jaarlijkse kosten voorstellen die een groep actoren maakt aan een bepaalde kostenpost. Deze bedragen zijn weergegeven in miljoenen euro per jaar.

Bij inzet van het voorbeeldpakket van beleidsinstrumenten uit sectie 5.5 komen de grootste kosten bij de overheid terecht. In de 40%-subsidie variant waarin het doel van de warmtetransitie het dichtst wordt genaderd, wordt het bedrag dat in de regio jaarlijks aan belastingen wordt geïnd ruim de helft lager dan in het startjaar. Dit komt deels door de verlaging van de energiebelasting op elektriciteit, maar met name doordat er nog maar zeer weinig aardgas wordt gebruikt. Daarnaast zouden voor de overheid de kapitaallasten van de investeringsubsidies op kunnen lopen tot 27 miljoen euro per jaar. Van deze

subsidies gaat het grootste gedeelte (19 miljoen euro per jaar) naar gebouwmaatregelen en een kleiner deel (8 miljoen euro per jaar) naar de aanleg van warmte-infrastructuur.

Gebouweigenaren die technische maatregelen nemen aan hun bezit dragen in deze variant kapitaallasten van 48 miljoen euro per jaar en warmtebedrijven voor 24 miljoen euro per jaar. Dit telt op tot totale investeringskosten van ruim 2,2 miljard voor alle technische maatregelen in de periode tot en met 2035. Hiervan wordt in dit voorbeeld meer dan 800 miljoen betaald uit investeringssubsidies. Dit subsidiebedrag is gebaseerd op de aanname dat voor alle genomen technische maatregelen hetzelfde subsidiepercentage geldt. Voor de duurste maatregelen is 40% subsidie nodig om deze maatregelen rendabel te maken maar veel maatregelen zouden ook rendabel zijn bij geen of lagere subsidie. Als subsidies worden afgestemd op onrendabele toppen, dan vergt subsidiëring aanmerkelijk minder geld. Voor warmtebedrijven betekent dit dat een winstgevende businesscase ontstaat, waardoor de grote investeringen aan warmte-infrastructuur en bronnen kan worden terugverdiend uit warmtelevering. Gebouweigenaren merken ook dat de technische maatregelen aan hun bezit leiden tot lager energieverbruik waarmee de investeringen in isolatie en ventilatie op termijn worden terugverdiend.

In een situatie waarin geen enkele technische maatregel zou worden genomen stijgen de totale kosten van gebouweigenaren en -gebruikers voor de energievoorziening van 302 miljoen euro in het startjaar tot 377 miljoen euro in 2035. Dit is een stijging van ongeveer 25%. Ook in een situatie waar alle technische maatregelen worden genomen die rendabel zijn bij ongewijzigd beleid, valt deze stijging van kosten voor de energievoorziening van gebouweigenaren en -gebruikers te verwachten. Reden hiervoor zijn de te verwachten stijgingen in de energieprijzen zoals voorzien in de Nationale Energieverkenning 2017. De reden dat de variant met alle rendabele maatregelen en de variant zonder maatregelen dicht bij elkaar liggen is dat de technische maatregelen die bij ongewijzigd beleid rendabel zijn voor eindgebruikers, slechts hele kleine rendementen hebben. Hierdoor blijven de totale kosten hoog ook al kan er voor 16 miljoen euro per jaar aan rendabele investeringen worden gedaan aan gebouwmaatregelen en voor 6 miljoen euro per jaar aan warmtelevering. Met die investeringen wordt in het referentiebeeld een klein deel van de stijgende kosten gecompenseerd met energiebesparende maatregelen en de aanleg van HT-warmtenetten. De kapitaallasten van deze technische maatregelen zijn echter bijna even groot als de vermeden kosten voor inkoop van energie.

In de variant waar het aardgasverbruik van gebouwen met 85% wordt teruggedrongen door middel van de inzet van een belastingschuif en investeringssubsidies, worden de stijgende kosten van de energievoorziening van gebouweigenaren en -gebruikers geheel vermeden. De te nemen technische maatregelen zorgen dat het energieverbruik daalt ten opzichte van het startjaar. Door dit pakket technische maatregelen zijn de totale kosten van gebouweigenaren en -gebruikers voor de inkoop van aardgas, elektriciteit en warmte in 2035 16 miljoen euro per jaar lager dan in de variant dat er geen technische maatregelen worden genomen. Tevens wordt daarbij door over te stappen naar andere verwarmingsmethoden als alternatief voor individuele aardgasgestookte ketels een groot deel van de kosten aan belastingen vermeden. Deze baten compenseren de investeringskosten (dankzij de verstrekte subsidies) waardoor de totale kosten van de energievoorziening van de gebouwde omgeving ongeveer gelijk blijven terwijl het aardgasverbruik in de regio met 85% wordt gereduceerd. Binnen de categorie gebouwen, welke een samenvoeging is van gebouweigenaren en gebouwgebruikers, kunnen de individuele uitkomsten voor actoren uiteenlopen, afhankelijk van onder andere de manier waarop kosten en baten van energiebesparende maatregelen aan gebouwen worden verdeeld tussen de eigenaar en de gebruiker van gebouwen die verhuurd worden.

Deze laatste doorrekening waarvan de kostenverdeling is gegeven is slechts één indicatieve variant, waarbij nog veel onbekenden zijn en een aantal aannames is gedaan voor de toekomst. In de praktijk dient dit vooral als indicatie voor de mogelijke kosten die met de warmtetransitie verbonden zijn.

Deze studie is een analyse van de technische en economische mogelijkheden voor een aardgasloze invulling van de toekomstige warmtevoorziening in de regio. Deze studie biedt een aantal afwegingskaders, en inzicht in de potentiële impact van omgevingsfactoren en gevoeligheden voor de mogelijke ruimtelijke indeling van de regio waarbij verschillende isolatieniveaus en warmteopties in de toekomst een alternatief zijn voor aardgasgebruik. Voor het succesvol voorbereiden van de warmtetransitie is uiteindelijk specifiekere kennis nodig in de volgende fase van het proces dat moet leiden tot een gedragen procesplan waarin beschreven wordt hoe gemeenten in de Drechtsteden samen met stakeholders gaan komen tot warmtetransitieplannen in 2021. Hierbij kunnen dan ook meer gerichte beleidsinstrumenten worden ingezet en nieuwe technieken die niet in deze studie zijn meegenomen. Deze studie is binnen dit proces een analyse van de technische en economische mogelijkheden voor een aardgasloze invulling van de toekomstige warmtevoorziening in de regio. Als vervolgstap zal maatwerk nodig zijn om de specifieke karakteristieken van individuele buurten, gebouwen en hun bewoners mee te nemen in een weloverwogen keuze. Hierbij moeten ook andere aspecten worden betrokken naast de technische en economische mogelijkheden.

Nawoord regio Drechtsteden

Door Roosmarijn Sweers, Strategisch Adviseur Energiestrategie Drechtsteden.

Nawoord/dankwoord

In de Drechtsteden zetten we samen de schouders onder de energietransitie, in het Energieakkoord Drechtsteden (www.drechtsteden.nl/energieakkoord). De verschillende stappen die we met de voorliggende studie hebben doorlopen, hebben ons belangrijke inzichten en onderbouwing gegeven voor de op te stellen Transitievisie Warmte en aanpak om te komen tot een aardgasloze gebouwde omgeving. Wij zijn een dankbare casus!

Proces voor het maken van de regionale studie

We hebben het onderzoek laten aansluiten op de al bestaande werkgroep warmtetransitieplan, die onderdeel is van het Energieakkoord Drechtsteden. Daardoor heeft het onderzoek plaatsgevonden vanuit een bestaande samenwerking, en worden de resultaten daarin verder meegenomen. In deze werkgroep werken gemeenten, woningcorporaties, netbeheerder, warmtebedrijf en de provincie samen aan de op te stellen Transitievisie Warmte. Met deze werkgroep zijn een aantal sessies belegd, waarin tussenresultaten zijn gepresenteerd en keuzen zijn gemaakt over onder andere:

- De onderzoeksopzet
- Verzamelen en afstemmen van data en kengetallen
- De variabelen voor de gevoeligheidsanalyse
- De te onderzoeken beleidsinstrumenten

Daarnaast hebben we een bredere startbijeenkomst en presentatie van de resultaten georganiseerd, voor de medewerkers energie en wonen van alle gemeenten en andere betrokkenen van de projectorganisatie van aardgas los van het Energieakkoord Drechtsteden.

Toepassing van de resultaten

De doorrekening van de verschillende scenario's geeft onderbouwing aan de meest kosteneffectieve oplossingen. Daaruit blijkt dat de 'warmteladder' het meest kosteneffectieve scenario is. Dit maatschappelijk meest kosteneffectieve scenario sluit goed aan bij ons "Toekomstperspectief Drechtsteden Energieneutraal": goede energiebesparing in combinatie met het zo hoogwaardig mogelijk benutten van de aanwezige lokale (rest)warmte- en energiebronnen. Daarbij onderscheiden we behalve hoog en laagtemperatuur warmtenetten ook midden temperatuur warmtenetten. De warmteladder geeft een berekend indicatief eindbeeld. Onze volgende stap is om dat berekende indicatieve eindbeeld te verrijken met inzichten, plannings- en investeringsstromen van sleutelpartijen, waaronder de gemeenten, netbeheerder, warmtebedrijf en woningcorporaties.

De gevoeligheidsanalyse geeft inzicht in welke wijken duidelijk 1 warmteoptie als meest rendabel naar voren komt. Ook dat is input voor het verrijkte indicatieve eindbeeld, en voor de volgorde: wijken waar we als eerste verdiepen en met gebouweigenaren aan de slag gaan, wijken waar (in verband met de resterende levensduur van eerste generatie gasnetten) vóór 2030 een andere warmtevoorziening beschikbaar moet zijn, en wijken waar we na 2030 mee aan de slag gaan.

De beleidsopties geven inzicht in wat er nodig is om 'van aardgas los' rendabel te maken voor gebouweigenaren en warmtebedrijven. Uit het onderzoek blijkt dat het van aardgas los maken van 90% van alle gebouwen in de Drechtsteden maatschappelijk rendabel is bij een waarde oplopend tot €400,- per ton CO₂. Echter, daar wordt nog geen financiële waarde aan toegekend. We zijn in het Energieakkoord Drechtsteden aan de slag met het "minst hoog hangende fruit". Maar voor een aanpak om 90% van de gebouwen van aardgas los te maken is meer nodig. Wij zullen dat verder uitwerken en bespreekbaar maken in het kader van het Klimaatakkoord.

Verdieping

Om te voorzien in de informatiebehoefte in de Drechtsteden is het volgende geleerd over de berekeningen en uitvoer van het model:

- Uiteindelijk besluiten gemeenten over de energie-nutsinfrastructuur en gebouweigenaren over hun eigen panden. Dat is een complex proces, en het is belangrijk om een onderbouwd startpunt te hebben voor verdere uitwerking en gesprek.
- Het model koppelt lokale warmtebronnen en warmtevraag. In het onderzoek zijn daarom ook aannames gedaan om vraag en aanbod over langere afstand met elkaar in verbinding te brengen.
- Het model houdt nog geen rekening met rivieren en verkeersstructuren. Deze kunnen een belemmering of kans zijn bij de aanleg van nieuwe energie-infrastructuren.
- Het model maakt onderscheid tussen hoog (>60°C) en laagtemperatuur (<60°C) warmtenetten. In praktijk verwachten we juist goede mogelijkheden voor midden temperatuur warmtenetten (tussen 50°C en 70°C) en gemengde toepassingen.
- Het model gaat nog niet in op de toekomstige rol van waterstof. In welke mate en wanneer waterstof voor de gebouwde omgeving zal worden ingezet is nog niet duidelijk. Hier is een no-regret benadering wenselijk voor de moeilijke/dure gebieden die later aan bod komen.
- De kosten voor het afsluiten van aardgas zijn substantieel, maar nog niet meegenomen in het kostenoverzicht. Dat heeft geen effect op het indicatief eindbeeld, omdat het bij alle warmteopties om hetzelfde bedrag gaat.
- De grootste uitdaging van deze warmtetransitie is om die keuzes te maken die maatschappelijk gezien voor de laagste kosten zorgen, op termijn voor de minste CO₂-uitstoot, de minste impact op de ruimte en aansluit bij de gebouweigenaren. Wellicht is de Warmteladder meer universeel te maken.

Eindconclusies

Voor de Drechtsteden was dit een zeer nuttige exercitie en basis voor de nader uit te werken Transitievisie Warmte. Hoewel in de Drechtsteden 90% minder aardgas in de gebouwde omgeving maatschappelijk kosteneffectief is, wordt aan deze CO₂-reductie nog weinig financiële waarde toegekend. Het is belangrijk dat het rijk aangeeft welke beleidsinstrumenten zij daarvoor inzet.

Referenties

- ACM (2017), *Besluit maximumprijs levering warmte*.
- CBS (2016), *Kerncijfers wijken en buurten 2015*.
- Drechtsteden (2017), *Energiestrategie Drechtsteden Energieneutraal 2050*.
- Drechtsteden (2018), *Drechtsteden Energieneutraal 2050, Samenwerkingsagenda 2018. Dynamisch werkdocument voor de uitwerking van de Energiestrategie*.
- R. Folkert en R. van den Wijngaart (2012), *Vesta ruimtelijk energiemodel voor de gebouwde omgeving – Data en methoden*. PBL, Den Haag.
- HVC (2015), *CO₂-prestatieverslag Dordrecht 2015*.
- HVC (2017), *Ambitie en groeistrategie warmtenet Drechtsteden*.
- Kadaster (2017), *Basisregistraties Adressen en Gebouwen*. Geraadpleegd op 22 februari 2018.
- C. Leguijt, B.L. Schepers, N.R. Naber en R.A. van den Wijngaart (2013), *Uitbreidingen en dataverificaties Vesta 2.0*. PBL & CE Delft.
- Minister van EZK (2017), *Kabinetsaanpak Klimaatbeleid: Kamerbrief aan de Voorzitter van de Tweede Kamer*. Den Haag, 8 december 2017.
- Ministers van EZK en BZK (2018), *Aardgasvrije wijken: Brief aan colleges van burgemeester en wethouders*. Den Haag, 3 april 2018.
- Over Morgen (2017), *Warmte Transitie Atlas – Drechtsteden*.
- PBL & CPB (2015), *Welvaart en Leefomgeving – langetermijnontwikkelingen rond klimaat en energie*. PBL, Den Haag.
- Programmateam Energie VNG (2016), *Programma Regionale Energiestrategieën*. Juni 2016.
- Rijkswaterstaat (2018), *Klimaatmonitor rapportage Hernieuwbare Energie*.
- B. Schepers, C. Leguijt, R. van den Wijngaart en M. Hilferink (2017), *Functioneel ontwerp Vesta 3.0*. CE Delft publicatienummer 17.3H57.176.
- K. Schoots, M. Hekkenberg en P. Hammingh (2017), *Nationale Energieverkenning 2017*. ECN, Petten.
- J.M. Sipma en M.D.A. Rietkerk (2016), *Ontwikkeling energiekentallen utiliteitsgebouwen; Een analyse van 24 bouwtypen in de dienstensector en 12 industriële sectoren*. EIB & ECN.
- D.P. van Vuuren, P. Boot, J. Ros, A. Hof en M. den Elzen (2016), *Wat betekent het Parijsakkoord voor het Nederlandse langetermijn-klimaatbeleid?* PBL, Den Haag.

R. van den Wijngaart, S. van Polen, B. van Bommel, en M. Harmelink (2018), *Potentieel en kosten klimaatneutrale gebouwde omgeving in de gemeente Utrecht - Verkenning met het Vesta MAIS ruimtelijk energiemodel voor de gebouwde omgeving*. PBL, Den Haag/ Harmelink consulting.

R. van den Wijngaart, S. van Polen en B. van Bommel (2017), *Het Vesta MAIS ruimtelijk energiemodel voor de gebouwde omgeving – Algemene beschrijving*. PBL, Den Haag.

Bijlagen

Bijlage A: vergelijking kengetallen Vesta - Atriensis

Kengetallen voor verschillende kostencomponenten, aangeleverd door Atriensis. Vergelijking met kengetallen van Vesta MAIS. (Alle bedragen uitgedrukt in CPI 2015, geen leereffecten meegenomen).

| | Atriensis kengetal | Vesta MAIS equivalent | Atriensis (ex. Btw, euro's 2015) | Vesta MAIS (ex. Btw, euro's 2015) | Atriensis bron | Vesta MAIS bron | Omgang |
|--------------------|---------------------------|---|----------------------------------|-----------------------------------|------------------------|-------------------------------|----------------------|
| Besparing | Label G via F naar E | Huidig label naar tussenlabel G-E | € 8.116,74 | € 519,07 - € 4.915,38 | Eerdere aanbestedingen | Voorbeeldwoningen AgNL 2011 | Gevoeligheidsanalyse |
| | Label F via E naar D | Huidig label naar tussenlabel F-D | € 8.116,74 | € 519,07 - € 4.915,38 | Eerdere aanbestedingen | Voorbeeldwoningen AgNL 2011 | Gevoeligheidsanalyse |
| | Label E via D naar C | Huidig label naar tussenlabel E-C | € 8.116,74 | € 519,07 - € 4.915,38 | Eerdere aanbestedingen | Voorbeeldwoningen AgNL 2011 | Gevoeligheidsanalyse |
| | Label E via D en C naar B | Tussenlabel naar B vanaf E | € 12.175,12 | € 1.953,27 - € 20.908,40 | Eerdere aanbestedingen | Voorbeeldwoningen AgNL 2011 | Gevoeligheidsanalyse |
| | Label D via C naar B | Tussenlabel naar B vanaf D | € 8.116,74 | € 1.953,27 - € 20.908,40 | Eerdere aanbestedingen | Voorbeeldwoningen AgNL 2011 | Gevoeligheidsanalyse |
| | Label C naar B | Tussenlabel naar B vanaf C | € 4.058,37 | € 1.953,27 - € 20.908,40 | Eerdere aanbestedingen | Voorbeeldwoningen AgNL 2011 | Gevoeligheidsanalyse |
| | NOM-jas (naar A+) | Huidig label naar A+ | € 44.642,06 | € 6.327,11 - € 38.857,95 | Eerdere aanbestedingen | Voorbeeldwoningen AgNL 2011 | Gevoeligheidsanalyse |
| Installatie | Kookgas verwijderen | Geen equivalent | € 811,68 | n.v.t. | Eerdere aanbestedingen | n.v.t. | niet meegenomen |
| | Gasmeter afkoppelen | Geen equivalent | € 405,84 | n.v.t. | Netbeheerder | n.v.t. | niet meegenomen |
| | Voorbereiden warmtenet | Afgiftesysteem + verwijderen oude installatie | € 4.058,37 | € 2.511,12 - € 2.947,92 | Eerdere aanbestedingen | Dataverificaties 2.0 CE Delft | Gevoeligheidsanalyse |
| | Warmtenet aansluiten | Distributie Inpandig + Distributie Wijk | € 6.493,39 | € 3.846,49 - € 8.874,31 | Eerdere aanbestedingen | Functioneel Ontwerp 3.0 | n.v.t. |
| | Installatie All-electric | Warmtepomp w/w + afgiftesysteem | € 24.350,22 | € 13.101,87 - € 18.096,95 | Eerdere aanbestedingen | Dataverificaties 2.0 CE Delft | Gevoeligheidsanalyse |

Bijlage B: vergelijking kengetallen Vesta - HVC

Kengetallen voor verschillende kostencomponenten, aangeleverd door HVC. Vergelijking met kengetallen van Vesta MAIS. (Alle bedragen uitgedrukt in CPI 2015, geen leereffecten meegenomen).

| | HVC kengetal | Vesta MAIS equivalent | HVC (ex. Btw, euro's 2015) | Vesta MAIS (ex. Btw, euro's 2015) | HVC bron | Vesta MAIS bron | Omgang |
|---------------------------|------------------------------------|--|----------------------------|-----------------------------------|--------------------|------------------|----------------------|
| Investeringskosten | Geothermie | Bron uitkoppeling | € 1.767,83 / Kw | € 1.910,69 - €2.183,65 / Kw | Businesscase HVC | NEV 2017 | Overnemen |
| | Warmtepomp bij bron | Geen equivalent | € 245,53 / Kw | n.v.t. | Businesscase HVC | n.v.t. | Overnemen |
| | Primair net | Transportnet | variabel | € 761,00 - € 1.294,90 / m | Leidingentabel HVC | Validaties MAIS | n.v.t. |
| | Warmte Overdrachtstation + piekkel | Warmte Overdrachtstation incl. HWK | € 98,21 / Kw | € 125,000.00 / Mw-OS | Businesscase HVC | Validaties MAIS | Overnemen |
| | Secundair net | Distributienet tot OS | variabel | € 1.523,09 - € 2.589,80 / m | Leidingentabel HVC | Validaties MAIS | n.v.t. |
| | Distributienet woning | Distributienet OS-woning | variabel | € 214,00 - € 377,77 / m | Leidingentabel HVC | Validaties MAIS | n.v.t. |
| | Aansluiting incl. warmtewisselaar | Aansluiting woning incl. warmtewisselaar | € 3.142,801 - € 5,500.00 | € 3.275,47 - € 6.550,934 | Businesscase HVC | Validaties MAIS | n.v.t. |
| | Thermische vaten dagopslag | Geen equivalent | € 147.318,80 | n.v.t. | Businesscase HVC | n.v.t. | n.v.t. |
| Jaarlijkse kosten | Onderhoud warmtepomp bron | Geen equivalent | 4% | n.v.t. | Businesscase HVC | n.v.t. | Overnemen |
| | Gasprijs GG | Gasprijs GG (2015) | € 0,19 / m3 | € 0,24 / m3 | Businesscase HVC | NEV 2017 | Vesta MAIS handhaven |
| | Pompeconomie elektrisch | Pompeconomie elektrisch | 0.018 Gje / Gjth | 0.009 Gje / Gjth | Businesscase HVC | Validaties MAIS | Overnemen |
| | Ketelrendement | Ketelrendement | 90% - 94% | 95.50% | Businesscase HVC | Validaties MAIS | Gevoeligheidsanalyse |
| | Elektriciteitsprijs KMG | Elektriciteitsprijs KMG (2015) | € 0.034 - € 0.049 / kWh | € 0.046 / kWh | Businesscase HVC | NEV 2017 | Vesta MAIS handhaven |
| | Onderhoud bron | Onderhoud bron | 3,6% | 1% | Businesscase HVC | Validaties MAIS | Overnemen |
| | Onderhoud WOS + piekkel | Onderhoud WOS + HWK | 3% | 3% | Businesscase HVC | Validaties MAIS | n.v.t. |
| | Onderhoud transportnet | Onderhoud transportnet | 1% | 1% | Businesscase HVC | Validaties MAIS | n.v.t. |
| | Onderhoud distributienet | Onderhoud distributienet tot OS | 1% | 1% | Businesscase HVC | Validaties MAIS | n.v.t. |
| | Onderhoud aansluiting | Onderhoud woningaansluiting | € 49,11 / aansluiting | 2,5% | Businesscase HVC | Validaties MAIS | Vesta MAIS handhaven |
| | Warmteverlies | Warmteverlies transport en distributie | 4 GJ / aansluiting | 25% | Businesscase HVC | Validaties MAIS | Vesta MAIS handhaven |
| | Onderhoud distributienet | Onderhoud OS | 1% | 3% | Businesscase HVC | Validaties MAIS | Overnemen |
| Inkomsten | Warmtelevering | Warmtelevering | € 17,49 / GJ | € 23,62 / GJ | Businesscase HVC | Besluit ACM 2018 | ACM tarief hanteren |
| | Vastrecht per jaar | Vastrecht per jaar | € 359,46 / aansluiting | € 337,94 / aansluiting | Businesscase HVC | Besluit ACM 2018 | ACM tarief hanteren |
| | BAK | Aansluitbijdrage | € 4.757,42 / aansluiting | € 1.133,071 / aansluiting | Businesscase HVC | Besluit ACM 2018 | ACM tarief hanteren |

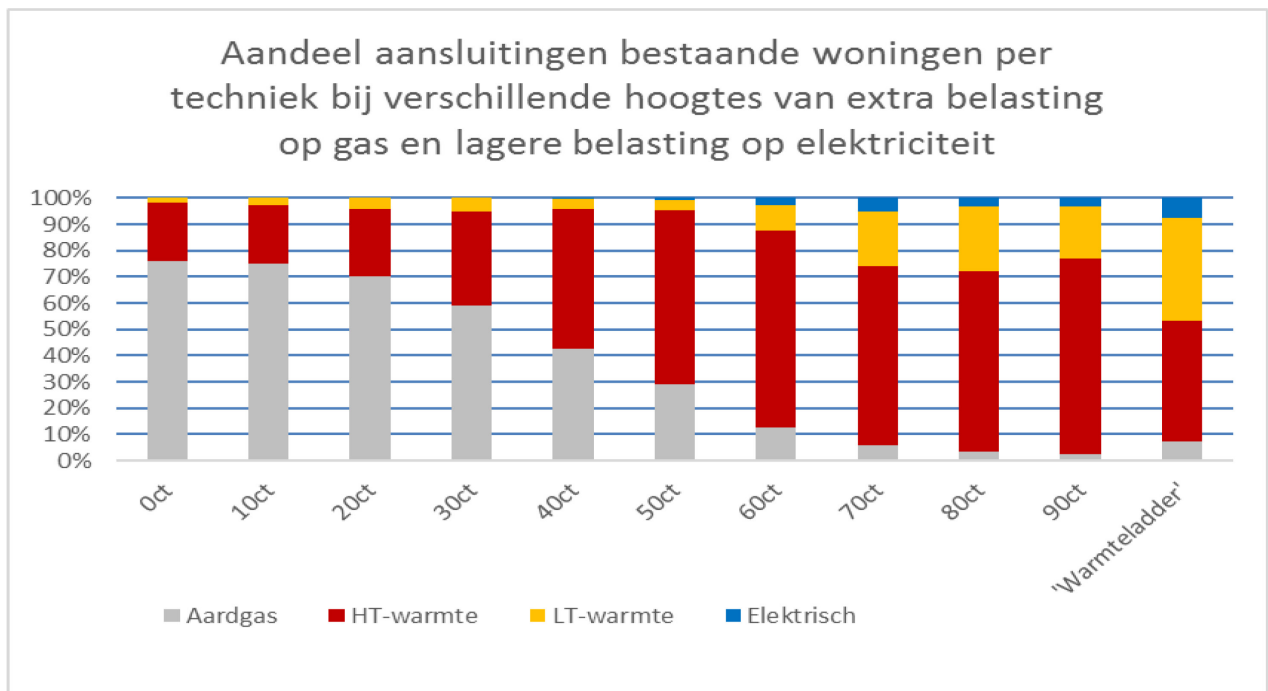
Bijlage C: vergelijking kengetallen Vesta - Stedin

Kengetallen voor verschillende kostencomponenten, aangeleverd door Stedin. Vergelijking met kengetallen van Vesta MAIS. (Alle bedragen uitgedrukt in CPI 2015, geen leereffecten meegenomen).

| | Stedin kengetal | Vesta MAIS equivalent | Stedin (ex. Btw, euro's 2015) | Vesta MAIS (ex. Btw, euro's 2015) | Stedin bron | Vesta MAIS bron | Omgang |
|-----------------------|---------------------------------------|---|-------------------------------|-----------------------------------|--------------------|-------------------------------|----------------------|
| Infrastructuur | netlengte hoogspanning | Geen equivalent | 8.870 km | n.v.t. | E-netten rapport | n.v.t. | n.v.t. |
| | netlengte hoogspanning extra | Geen equivalent | 2.880 km | n.v.t. | E-netten rapport | n.v.t. | n.v.t. |
| | netlengte middenspanning | Geen equivalent | 106.600 km | n.v.t. | E-netten rapport | n.v.t. | n.v.t. |
| | netlengte laagspanning | Indicatoren/Netwerk/Elek/L_infra (m) | 221.860 km | 181.389 km | E-netten rapport | GUI, o.b.v. kosten onderhoud | n.v.t. |
| | Afschrijvingen Stedin E+G jaarlijks | Kapitaallasten totaal infra landelijk jaarlijks | € 98.212.532,00 | € 109.182.225,00 | eigen gegevens | Functioneel ontwerp 3.0 | n.v.t. |
| | Onderhoud E-net jaarlijks Stedin | Onderhoud E-net jaarlijks landelijk / 3 | € 86.427.028,00 | € 90.945.187,00 | eigen gegevens | Functioneel ontwerp 3.0 | n.v.t. |
| | Onderhoud G-net jaarlijks Stedin | Onderhoud G-net jaarlijks landelijk / 3 | € 29.463.760,00 | € 36.394.075,00 | eigen gegevens | Functioneel ontwerp 3.0 | n.v.t. |
| Afname | Verwijderkosten aardgasnet | Verwijderkosten aardgasnet | 35% / investering | 50% / investering | Aanlevering Stedin | Functioneel ontwerp 3.0 | Overnemen |
| | Verwijderen aansluitingen | Geen equivalent | € 510,71 | n.v.t. | Aanlevering Stedin | n.v.t. | niet meegenomen |
| NOM | Vorbereiding sloop/graven | Geen equivalent | € 1.623,35 | n.v.t. | Uitwisseling-ECN | n.v.t. | n.v.t. |
| | Gevel-, dak- en kelderisolatie | Sprong huidig label naar A+ | € 36.525,32 | € 6.327,11 - € 38.857,95 | Uitwisseling-ECN | Dataverificaties 2.0 CE Delft | Gevoeligheidsanalyse |
| | Warmtepomp + ventilatie + monitoring | Elektrische warmtepomp w/w | € 9.740,09 | € 10.590,68 - € 15.149,03 | Uitwisseling-ECN | Dataverificaties 2.0 CE Delft | Gevoeligheidsanalyse |
| | PV 6000 kWh | Zon-PV per m2 turn-key | € 8.137,90 | € 382,14 / m2 | Uitwisseling-ECN | Dataverificaties 2.0 CE Delft | n.v.t. |
| | distributie/aansluitingen/installatie | Afgiftesysteem + verwijderen oude installatie | € 1.623,35 | € 2.511,19 - € 2.947,92 | Uitwisseling-ECN | Dataverificaties 2.0 CE Delft | Gevoeligheidsanalyse |

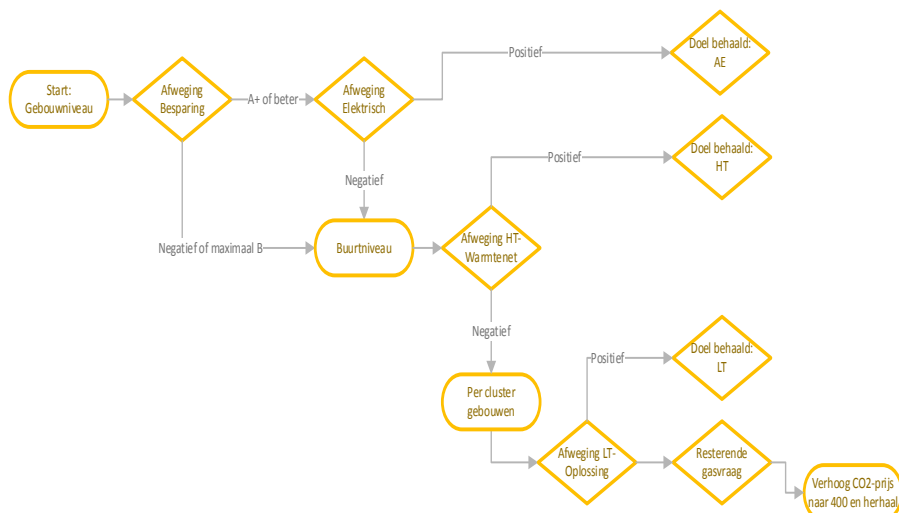
Bijlage D: belastingschuif elektriciteit naar aardgas

Potentieel van verschillende technieken in het eindbeeld bij verschillende niveaus van verhoging van de energiebelasting op aardgas – met verlaging van de energiebelasting op elektriciteit met 7 cent/kWh. (Rechts: technisch eindbeeld van het scenario 'Collectief – Warmteladder' ter vergelijking)

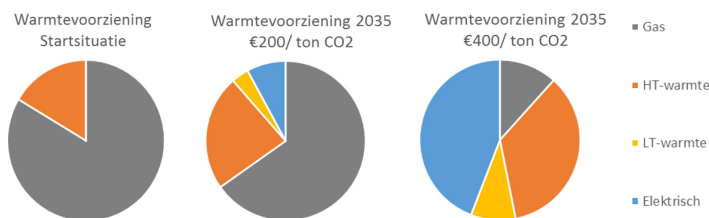


Bijlage E: Factsheet 'Besparing', variant 'Elektrisch'
 Met negatieve inschatting van de beschikbaarheid van HT-bronnen

Beslisboom - Prioritaire volgorde van technische maatregelen



Energieprofiel - Gebruik verschillende energiedragers per stap

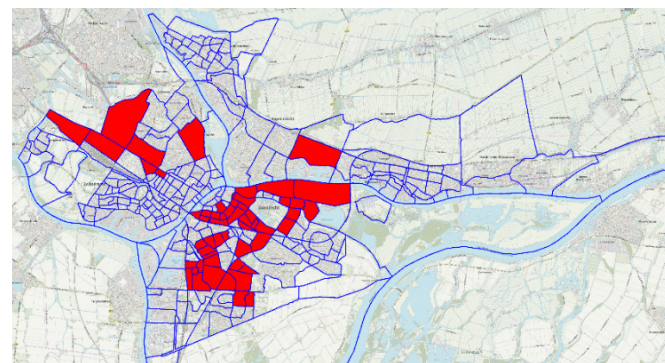


| PJ/jr. | Startsituatie | '35 (€200/ton) | '35 (€400/ton) |
|---------------|---------------|----------------|----------------|
| Gas | 5.36 | 3.19 | 0.45 |
| HT-Warmte | 1.05 | 1.15 | 1.35 |
| LT-Warmte | 0.00 | 0.17 | 0.34 |
| Elektrisch | 0.00 | 0.39 | 1.69 |
| totaal | 6.41 | 4.90 | 3.83 |

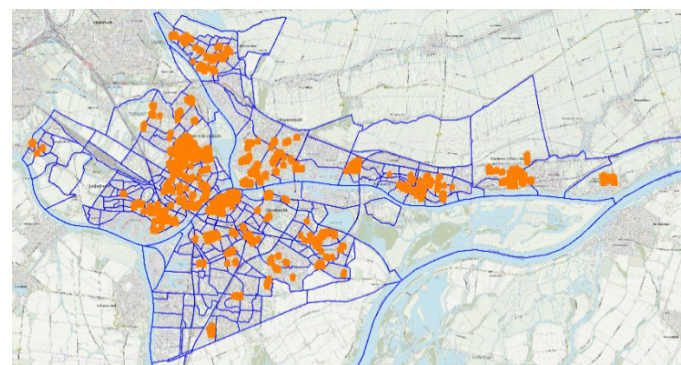
Kostenoverzicht – Maatschappelijke kosten per stap

| Mln. € / jr. (CPI 2018) | Startsituatie | '35 (€200/ton) | '35 (€400/ton) |
|----------------------------------|---------------|----------------|----------------|
| Gasverbruik | 81 | 106 | 22 |
| Elektriciteitsverbruik | 107 | 137 | 171 |
| Kapitaallasten gebouwmaatregelen | 0 | 57 | 165 |
| Onderhoud gebouwmaatregelen | 0 | 4 | 29 |
| Warmtelevering collectief | 26 | 42 | 65 |
| totaal | 103 | 347 | 452 |

Gebiedsmaatregelen – HT potentieel in 2035 (€400/ton CO2)

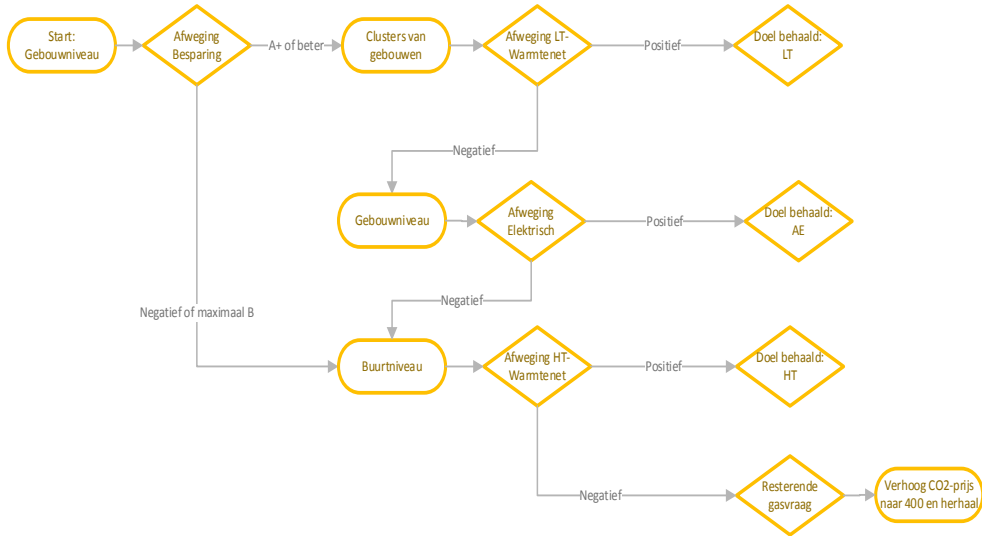


Gebiedsmaatregelen – LT potentieel in 2035 (€400/ton CO2)

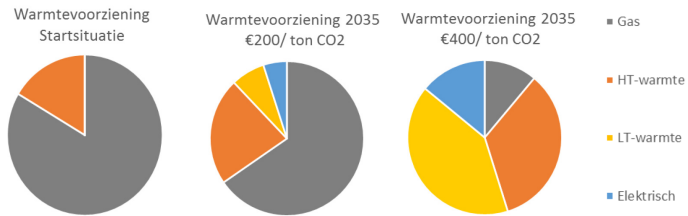


Bijlage F: Factsheet 'Besparing', variant 'Lage-Temperatuur'
Met negatieve inschatting van de beschikbaarheid van HT-bronnen

Beslisboom - Prioritaire volgorde van technische maatregelen



Energieprofiel - Gebruik verschillende energiedragers per stap

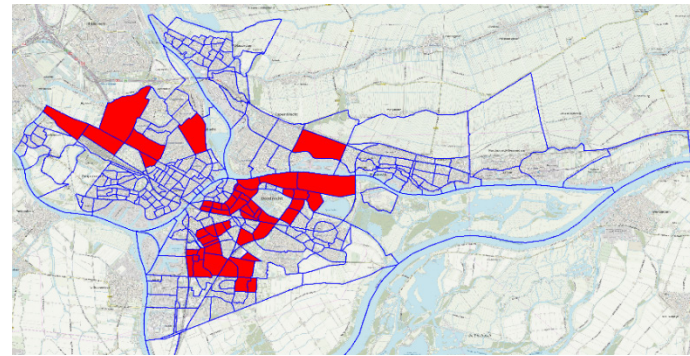


| PJ/jr. | Startsituatie | '35 (€200/ton) | '35 (€400/ton) |
|---------------|---------------|----------------|----------------|
| Gas | 5.36 | 3.21 | 0.43 |
| HT-Warmte | 1.05 | 1.11 | 1.31 |
| LT-Warmte | 0.00 | 0.35 | 1.56 |
| Elektrisch | 0.00 | 0.24 | 0.54 |
| totaal | 6.41 | 4.91 | 3.84 |

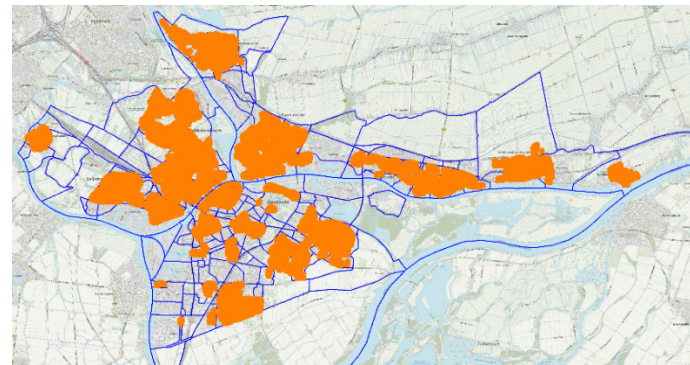
Kostenoverzicht – Maatschappelijke kosten per stap

| Mln. € / jr. (CPI 2018) | Startsituatie | '35 (€200/ton) | '35 (€400/ton) |
|----------------------------------|---------------|----------------|----------------|
| Gasverbruik | 81 | 106 | 21 |
| Elektriciteitsverbruik | 107 | 135 | 160 |
| Kapitaallasten gebouwmaatregelen | 0 | 55 | 118 |
| Onderhoud gebouwmaatregelen | 0 | 3 | 8 |
| Warmtelevering collectief | 26 | 47 | 124 |
| totaal | 213 | 347 | 430 |

Gebiedsmaatregelen – HT potentieel in 2035 (€400/ton CO2)

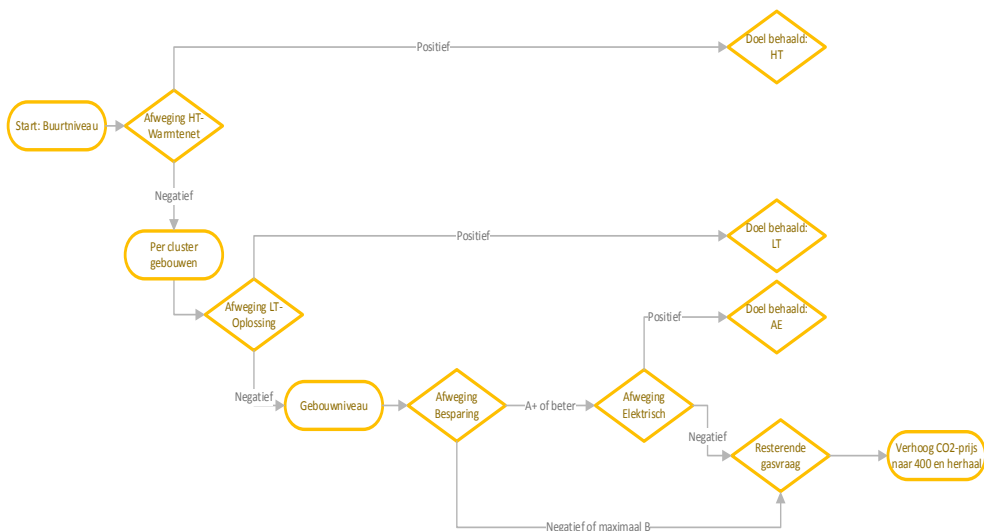


Gebiedsmaatregelen – LT potentieel in 2035 (€400/ton CO2)

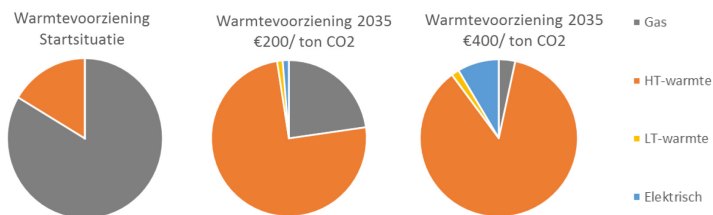


Bijlage G: Factsheet 'Collectief', variant 'Hoge-Temperatuur'
Met positieve inschatting van de beschikbaarheid van HT-bronnen

Beslisboom - Prioritaire volgorde van technische maatregelen



Energieprofiel - Gebruik verschillende energiedragers per stap

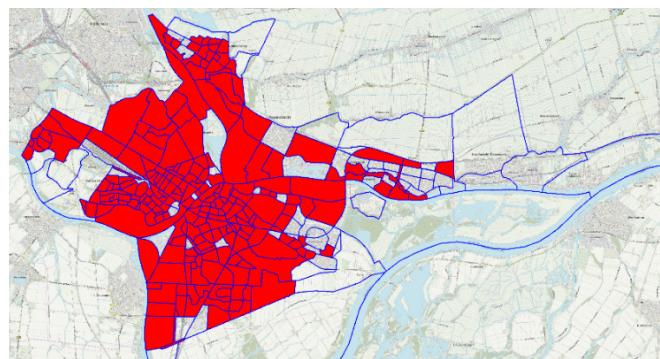


| PJ/jr. | Startsituatie | '35 (€200/ton) | '35 (€400/ton) |
|---------------|---------------|----------------|----------------|
| Gas | 5.36 | 1.28 | 0.18 |
| HT-Warmte | 1.05 | 4.21 | 4.57 |
| LT-Warmte | 0.00 | 0.07 | 0.08 |
| Elektrisch | 0.00 | 0.07 | 0.45 |
| totaal | 6.41 | 5.62 | 5.29 |

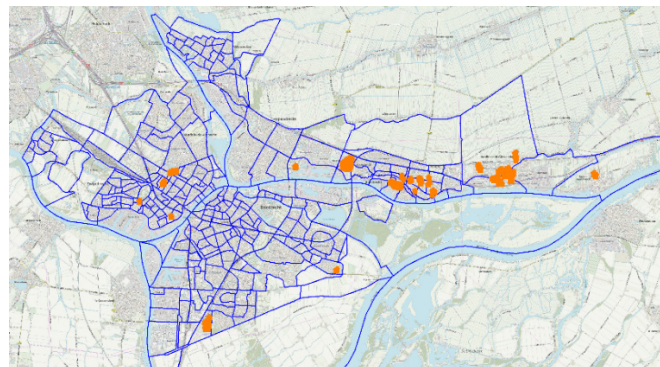
Kostenoverzicht – Maatschappelijke kosten per stap

| Mln. € / jr. (CPI 2018) | Startsituatie | '35 (€200/ton) | '35 (€400/ton) |
|----------------------------------|---------------|----------------|----------------|
| Gasverbruik | 81 | 43 | 9 |
| Elektriciteitsverbruik | 107 | 133 | 160 |
| Kapitaallasten gebouwmaatregelen | 0 | 19 | 51 |
| Onderhoud gebouwmaatregelen | 0 | 1 | 8 |
| Warmtelevering collectief | 23 | 204 | 262 |
| totaal | 213 | 400 | 488 |

Gebiedsmaatregelen – HT potentieel in 2035 (€400/ton CO2)

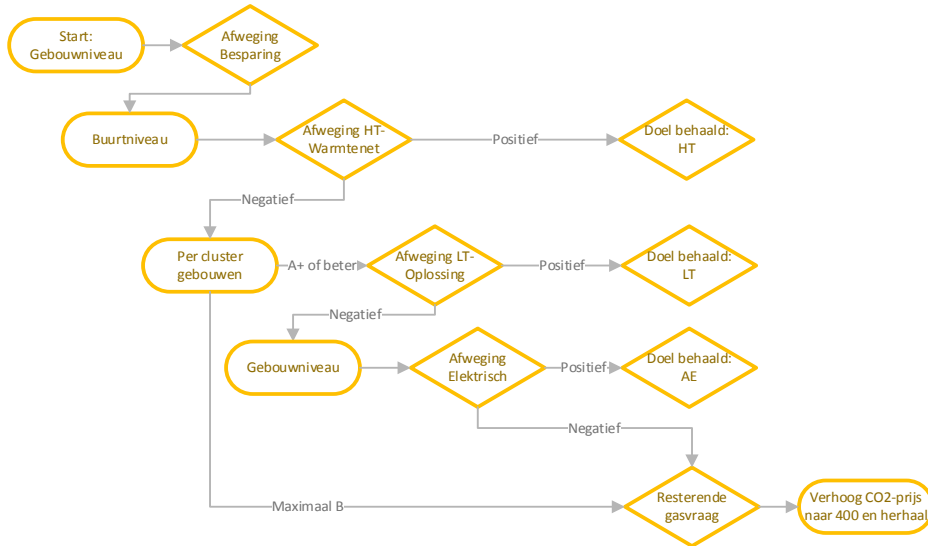


Gebiedsmaatregelen – LT potentieel in 2035 (€400/ton CO2)

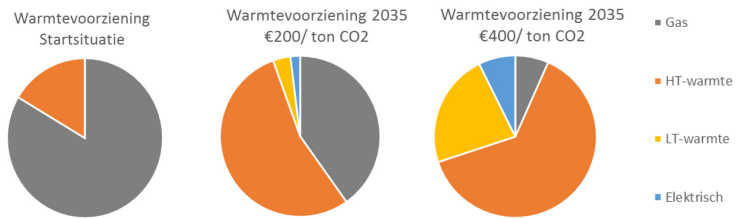


Bijlage H: Factsheet 'Collectief', variant 'Warmteladder'
 Met positieve inschatting van de beschikbaarheid van HT-bronnen

Beslisboom - Prioritaire volgorde van technische maatregelen



Energieprofiel - Gebruik verschillende energiedragers per stap

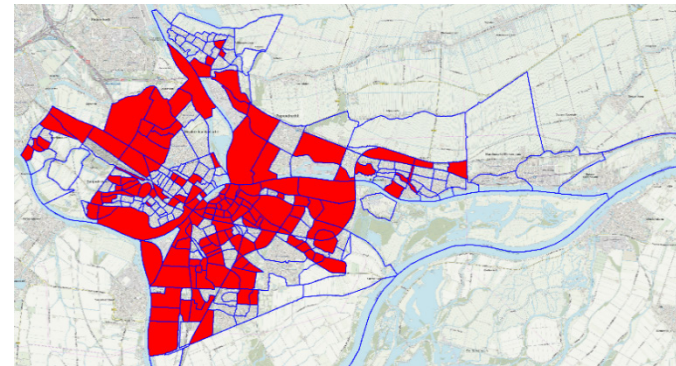


| PJ/jr. | Startsituatie | '35 (€200/ton) | '35 (€400/ton) |
|---------------|---------------|----------------|----------------|
| Gas | 5.36 | 2.01 | 0.29 |
| HT-Warmte | 1.05 | 2.72 | 2.72 |
| LT-Warmte | 0.00 | 0.18 | 0.98 |
| Elektrisch | 0.00 | 0.10 | 0.32 |
| totaal | 6.41 | 5.01 | 4.30 |

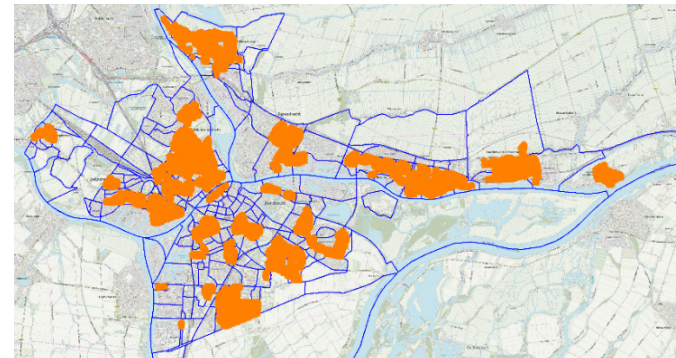
Kostenoverzicht – Maatschappelijke kosten per stap

| Mln. € / jr. (CPI 2018) | Startsituatie | '35 (€200/ton) | '35 (€400/ton) |
|----------------------------------|---------------|----------------|----------------|
| Gasverbruik | 81 | 67 | 13 |
| Elektriciteitsverbruik | 107 | 134 | 158 |
| Kapitaallasten gebouwmaatregelen | 0 | 44 | 83 |
| Onderhoud gebouwmaatregelen | 0 | 1 | 5 |
| Warmtelevering collectief | 26 | 111 | 121 |
| totaal | 213 | 357 | 381 |

Gebiedsmaatregelen – HT potentieel in 2035 (€400/ton CO2)



Gebiedsmaatregelen – LT potentieel in 2035 (€400/ton CO2)



Bijlage I: Schillabels bij maatschappelijk kosteneffectief technisch eindbeeld 'Warmteladder'
Aantal bestaande woningen per schillabel in 2015 en in 2035

| Labelverdeling bestaande woningen | | Startsituatie 2015 | Scenario Warmteladder 2035 |
|--|-----|--------------------|----------------------------|
| Woningaantallen per label voor de bestaande woningvoorraad | A+ | 5745 | 64395 |
| | B | 29537 | 22046 |
| | C | 39693 | 26354 |
| | D-G | 47286 | 15466 |