Planbureau voor de Leefomgeving

Startanalyse aardgasvrije buurten
(versie 2020, 24 september 2020)

Gemeenterapport met toelichting bij tabellen met resultaten van de Startanalyse

Let op

De cijfers in dit rapport geven een globale indicatie van de kosten en effecten van opties voor aardgasvrij verwarmen. Ze zijn bedoeld om opties met elkaar te vergelijken, niet voor een nauwkeurige schatting van kosten. Ze geven ook GEEN indicatie voor kosten die huurders en gebouw-eigenaren moeten maken om deze opties te realiseren. Voor nauwkeurige locatie- en situatie- specifieke kosten-ramingen is altijd nader onderzoek vereist.

PBL

Startanalyse aardgasvrije buurten (versie 2020, 24 september 2020); Gemeenterapport met toelichting bij tabellen met resultaten van de Startanalyse

© PBL Planbureau voor de Leefomgeving

Den Haag, 2020
PBL-publicatienummer: 4038

Contact
Je kunt met je vragen over dit rapport terecht bij de Helpdesk van het ECW. Gebruik het contactformulier op de website (www.expertisecentrumwarmte.nl/contact).

Auteurs

Met dank aan
ECW voor redactionele adviezen, de deelnemers aan de validatiesessies over uitgangspunten in januari 2020, hoogleraren en externe deskundigen die de notities over waterstof, energiebesparing en kosten van klimaatneutrale elektriciteit hebben becommentarieerd, leden van het projectteam, de helpdesk, de Stuurgroep en de Adviesraad ECW voor het kritisch doorlezen en aanvullen van eerdere concepten.

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Hoogervorst, N. et al., **Startanalyse aardgasvrije buurten (versie 24 september 2020); Gemeenterapport met toelichting bij tabellen met resultaten van de Startanalyse***,* 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 vóór alles beleidsgericht. Het verricht zijn onderzoek gevraagd en ongevraagd, onafhankelijk en wetenschappelijk gefundeerd.

Inhoud

1 De Startanalyse: wat kunnen gemeenten ermee? 5

1.1 Op weg naar verwarmen zonder aardgas 5

1.1.1 Waarom aardgasvrij? 5

1.1.2 Klimaatneutraal en aardgasvrij 5

1.2 Een hulpmiddel voor gemeenten, geen advies 6

1.2.1 Onderbouwing van de Transitievisie Warmte 6

1.2.2 Twee versies van de Startanalyse 6

1.2.3 Laagste maatschappelijke kosten 7

1.2.4 Een eerste globale selectie van opties 7

1.2.5 Een uniforme aanpak voor elke gemeente 8

1.2.6 Rekening houden met lokale omstandigheden 8

1.2.7 ‘Maar we hebben zelf al soortgelijke studies laten maken’ 9

1.3 Strategieën in het algemeen 9

1.4 Drie presentatievormen van de Startanalyse 12

2 Vijf strategieën en twee referentiebeelden 14

2.1 Strategie 1: individuele elektrische warmtepomp 14

2.1.1 Variant S1a: elektrische luchtwarmtepomp 15

2.1.2 Variant S1b: elektrische bodemwarmtepomp 15

2.2 Strategie 2: warmtenet met midden- en hogetemperatuurbronnen 15

2.2.1 Beschikbaarheid van warmtebronnen 16

2.2.2 Varianten S2a en S2d: + restwarmte 16

2.2.3 Varianten S2b en S2e: + geothermie volgens kansenkaart 17

2.2.4 Varianten S2c en S2f: + geothermie overal 17

2.3 Strategie 3: warmtenet met lagetemperatuurbronnen 17

2.3.1 Variant S3a: LT-warmtebron, levering op 30°C, schillabel B 18

2.3.2 Variant S3b: LT-warmtebron, levering op 70°C, schillabel B 19

2.3.3 Variant S3c: WKO, levering op 70°C, hele buurt, schillabel B 19

2.3.4 Variant S3d: WKO, levering op 50°C, schillabel B 19

2.3.5 Variant S3e: Thermische Energie uit Oppervlaktewater (+ WKO), levering op 70°C, schillabel B 19

2.3.6 Variant S3f: LT-warmtebron, levering op 70°C, schillabel D 19

2.3.7 Variant S3g: WKO, levering op 70°C, hele buurt, schillabel D 20

2.3.8 Variant S3h: TEO (+ WKO), levering op 70°C, schillabel D 20

2.4 Strategie 4: groengas 20

2.4.1 Variant S4a en S4c: groengas met hybride warmtepomp 20
2.4.2 Variant S4b en S4d: groengas met HR-ketel 21
2.5 Strategie 5: waterstof 21
2.6 Twee referentiebeelden: voor 2019 en 2030 22
3 Gemeentetabellen: kenmerken van gebouwen in 2019 23
4 Buurttabellen: resultaten per buurt en interpretatie 25
4.1 Omschrijving en codes van strategieën en varianten 26
4.2 Nationale kosten van strategieën 26
4.2.1 Wat zijn nationale kosten? 26
4.2.2 Maatschappelijke kosten of nationale kosten? 27
4.2.3 Drie indicatoren voor nationale kosten 28
4.2.4 Opbouw van de nationale kosten 30
4.2.5 Gevoeligheidsanalyse van nationale kosten 38
4.3 Waarde van toepassing van duurzaam gas 40
4.4 Extra nationale kosten van varianten 40
4.4.1 Varianten van strategie 1 en 2 41
4.4.2 Varianten van strategie 3 42
4.4.3 Varianten van strategie 4 en 5 43
4.5 Energieverbruik, -levering en aantal aansluitingen van strategieën 45
4.5.1 Energieverbruik per toepassing 45
4.5.2 Energielevering per energiedrager 47
4.5.3 Aantal aansluitingen per strategie 49
4.6 Energieverbruik en -levering van varianten van strategieën 50
4.7 Samenstelling gebouwen 52
4.8 Resultaten niet-klimaatneutrale energiedragers 54
4.8.1 Extra nationale kosten van varianten bij niet-klimaatneutrale energiedragers 55
4.8.2 De nationale kosten van de levering van niet-klimaatneutrale energiedragers 56
4.8.3 CO_2-uitstoot van varianten bij niet-klimaatneutrale energiedragers 57
4.9 Index van gebruikte codes in hoofdstuk 4 58
5 Omgaan met de strategieën 59
5.1 Selecteren van strategieën 59
5.1.1 Te hanteren criteria 59
5.1.2 Verschil tussen nationale kosten en eindgebruikerskosten 60
5.1.3 Selecteren op basis van laagste nationale kosten 61
5.1.4 Omgaan met onzekerheden: gevoeligheidsanalyse 61

5.1.5 Overwegingen om af te wijken van goedkoopste strategie 63
5.2 Omgaan met uitzonderlijke buurten 63
5.2.1 Buurten met zeer verschillende gebouwtypen 63
5.3 Strategiekeuzes afstemmen met omliggende buurten 64
5.4 Omgaan met bestaande aardgasleidingen 64
5.5 Omgaan met schaarse energiebronnen 65
5.5.1 Biogrondstoffen 65
5.5.2 Groengas 66
5.5.3 Waterstof 70
5.5.4 Geothermie 72
5.5.5 Restwarmte 73
6 Hoe deze Startanalyse tot stand kwam 75
6.1 Organisatiestructuur 75
6.2 Het productieproces van de eerste versie Startanalyse (SA-2019) 76
6.2.1 Vaststellen van de gewenste outputspecificatie 76
6.2.2 Aanpassen van het rekenmodel Vesta MAIS 77
6.2.3 Validatie van rekenregels en modelparameters 77
6.2.4 Vaststellen van modelinvoer 78
6.2.5 Uitvoeren van berekeningen 79
6.2.6 Opstellen rapportages voor gemeenten en buurten 79
6.3 Productie van de Startanalyse versie 2020 80
6.3.1 Vaststellen van de gewenste outputspecificatie 80
6.3.2 Aanpassen van het rekenmodel Vesta MAIS 80
6.3.3 Validatie van rekenregels en modelparameters 81
6.3.4 Vaststellen van modelinvoer 81
6.3.5 Uitvoeren van berekeningen en kwaliteitscontrole 85
6.3.6 Rapportages voor gemeenten en buurten 85
6.3.7 Verschillenanalyse 86

1 De Startanalyse: wat kunnen gemeenten ermee?

1.1 Op weg naar verwarmen zonder aardgas

1.1.1 Waarom aardgasvrij?

Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) heeft op verzoek van het Rijk, als uitvloeisel van afspraken aan de Klimaattafel Gebouwde Omgeving (zie paragraaf 6.1) deze Startanalyse gemaakt om gemeenten te helpen bij het vinden van een acceptabel alternatief voor het huidige verwarmen van gebouwen met aardgas. Aardgas was lange tijd een uitstekende brandstof voor cv-ketels: goedkoop, veilig betrouwbaar en gemakkelijk in het gebruik. Maar het heeft ook nadelen: de gaswinning in Groningen veroorzaakt aardbevingen en schade aan gebouwen, verbranden veroorzaakt CO_2-uitstoot en broeikasproblemen, en importeren maakt Nederland afhankelijk van buitenlandse regimes die gaslevering kunnen gebruiken als politiek pressiemiddel. Er zijn dus verschillende redenen om het gebruik van aardgas te beperken.

De maatschappelijke wens om het klimaatprobleem te helpen aanpakken, heeft ertoe geleid dat de ondertekenaars van het Klimaatakkoord van 2019 hebben afgesproken te streven naar een aardgasvrije gebouwde omgeving in 2050. Om dat te bereiken, zouden in 2030 al 1,5 miljoen woningen en andere gebouwen moeten zijn verduurzaamd. Dat betekent dat die gebouwen worden geïsoleerd en aardgasvrij (kunnen) worden verwarmd.[1]

1.1.2 Klimaatneutraal en aardgasvrij

Het hoofddoel van de Klimaatwet en in het verlengde daarvan het Klimaatakkoord is dat de uitstoot van broeikasgassen in 2050 circa 95 procent lager is dan in 1990. In de gebouwde omgeving is CO_2-reductie een hoofddoel (omdat er nauwelijks overige broeikasgassen vrij komen) en aardgasvrij verwarmen is daarvoor het middel. Bij het verbranden van aardgas komt immers CO_2 vrij. Het reductiedoel voor heel Nederland is in het klimaatbeleid verdeeld over sectoren, waaronder de mobiliteit landbouw, industrie en gebouwde omgeving. Voor het bepalen van de uitstoot per sector geldt het ‘schoorsteenprincipe’: de uitstoot wordt toegerekend aan de sector waar die ontstaat, waar ‘de schoorsteen staat’.

Voor de verwarming van gebouwen wordt in Nederland bijna uitsluitend aardgas en op beperkte schaal stadsverwarming gebruikt. Op enkele plaatsen wordt huisbrandolie of vaste biomassa verstookt en enkele gebouwen zijn al all-electric. De huidige emissies van stadsverwarming zijn binnen de gebouwde omgeving gering[2], en die van biomassa tellen officieel niet mee bij de

[1] Zie pagina 27 van het Klimaatakkoord, afspraak b.: ‘… worden woningen en andere gebouwen in samenspraak met bewoners en gebouweigenaren geïsoleerd en aardgasvrij(-ready) gemaakt. (…) realiseren van de verduurzaming van 1,5 miljoen woningen en andere gebouwen in de periode 2022 t/m 2030, met een aanloopperiode van 2019-2021.’ Het gaat hierbij om bestaande gebouwen, exclusief die van agrarische, industriële en energiebedrijven. Nieuwbouw blijft in de Startanalyse ook buiten beschouwing; die moet sinds juni 2018 al aardgasvrij worden uitgevoerd.

[2] De huidige emissies van stadsverwarming ontstaan voornamelijk buiten de gebouwde omgeving, bij de energiebedrijven en industrieën die restwarmte leveren. In het Klimaatakkoord zijn afspraken gemaakt om de emissies van stadsverwarming te reduceren tot 18,9 kilogram CO_2/gigajoule in 2030, wat 70 procent lager is dan de huidige uitstoot van een gemiddelde cv-ketel op aardgas.

bepaling van nationale emissies van broeikasgassen. Dat betekent dat emissiereductie in de gebouwde omgeving vrijwel overeenkomt met reductie van het aardgasverbruik.

Om gebouwen klimaatneutraal te kunnen verwarmen, moet aardgas worden vervangen door andere zogenoemde energiedragers, zoals elektriciteit, warmtelevering, duurzaam gas of biogrondstoffen. Die energiedragers worden meestal buiten de gebouwde omgeving geproduceerd en daarbij kúnnen broeikasgasemissies ontstaan; dat gebeurt nu bijvoorbeeld bij elektriciteit en warmte. Tussen nu en 2050 moeten die productieprocessen ook (grotendeels) klimaatneutraal worden. In het Klimaatakkoord zijn daarover afspraken gemaakt voor de periode tot 2030. De berekeningen in deze Startanalyse gaan daarom alleen over de emissies ín de gebouwde omgeving. Daarbij is aangenomen dat de productie van energiedragers buiten de gebouwde omgeving op termijn ook klimaatneutraal wordt.

1.2 Een hulpmiddel voor gemeenten, geen advies

1.2.1 Onderbouwing van de Transitievisie Warmte

In het Klimaatakkoord is afgesproken dat gemeenten, samen met stakeholders, uiterlijk eind 2021 een Transitievisie Warmte vaststellen. '*Hierin leggen ze het tijdpad vast voor een (stapsgewijze) aanpak richting aardgasvrij (waarbij isoleren een stap kan zijn, mits onderdeel van de wijkgerichte aanpak naar aardgasvrij). Voor wijken waarvan de transitie voor 2030 is gepland, maken zij ook de potentiële alternatieve energie infrastructuren bekend en bieden zij inzicht in de maatschappelijke kosten en baten en de integrale kosten voor eindverbruikers hiervan. Bij de transitievisies warmte programmeren gemeenten zoveel als mogelijk op basis van de laagste maatschappelijke kosten en kosten voor de eindgebruiker. (...) Gemeenten actualiseren in eerste instantie de transitievisie warmte elke 5 jaar. VNG en Rijk evalueren uiterlijk in 2022 of deze actualisatietermijn van iedere 5 jaar de juiste is*' (Klimaatakkoord 2019: 27).

Het is belangrijk te beseffen dat gemeenten een eigen keuze maken. Het PBL geeft derhalve géén advies, maar biedt deze Startanalyse aan als hulpmiddel bij het maken van een passende keuze. Daarom geven we in deze Startanalyse alleen informatie over uiteenlopende manieren om aardgasvrij te worden. Die manieren zijn gegroepeerd in vijf strategieën waarmee aardgas vervangen kan worden door een andere energiedrager: 1) elektriciteit voor individuele elektrische warmtepompen, 2) een warmtenet met midden- tot hogetemperatuurbronnen, 3) een warmtenet met lagetemperatuurbronnen, 4) groengas en 5) waterstof. Van elke strategie zijn varianten uitgewerkt, 24 in totaal. De mogelijkheden zijn niet beperkt tot deze strategieën en varianten; gemeenten kunnen binnen een buurt ook andere opties of combinaties van opties selecteren om in hun Transitievisie nader uit te werken.

1.2.2 Twee versies van de Startanalyse

Omdat de tijd tot 2021 beperkt is en het opstellen van een Transitievisie Warmte veel tijd vergt, willen veel gemeenten snel beginnen. Daarom is in het Klimaatakkoord afgesproken dat er uiterlijk september 2019 een eerste versie van de Leidraad voor gemeenten beschikbaar zou zijn, met informatie over (onder andere) maatschappelijke kosten en eindgebruikerskosten van opties voor aardgasvrij verwarmen. Het bleek onmogelijk om de berekeningen van de eindgebruikerskosten, en van de nationale kosten van waterstof-opties, in september 2019 gereed te hebben. Daarom is besloten in oktober een eerste versie beschikbaar te stellen (SA-2019) met alleen de

nationale kosten[3] van de opties zonder waterstof, zodat gemeenten toch al snel aan de slag kunnen.

In september 2020 is een tweede versie van de Startanalyse gereed gekomen (SA-2020), waarin de effecten van een strategie met waterstof zijn opgenomen. Bovendien zijn berekeningen toegevoegd met een minder vergaand niveau van isolatie (schillabel D) dan in de vorige versie. Daarnaast zijn technische parameters en kostenkentallen geactualiseerd en zijn berekenings-methoden op onderdelen verfijnd. De belangrijkste wijzigingen ten opzichte van de vorige versie worden globaal toegelicht in hoofdstuk 6. Een uitgebreidere toelichting en verantwoording van deze aanpassingen is beschreven in het Achtergrondrapport[4].

Eerder is aangekondigd dat de SA-2020 ook informatie over eindgebruikerskosten zou bevatten. Bij nader inzien bleek het echter niet zinvol om in het format van de Startanalyse de eindge-bruikerskosten te berekenen en te presenteren. Het blijkt dat binnen een buurt grote verschillen kunnen optreden tussen eindgebruikers en tussen gebouwen en daarmee ook in de eindgebruikerskosten. Het berekenen van gemiddelde eindgebruikerskosten per buurt zou een beeld opleveren dat sterk afwijkt van de situatie van individuele eindgebruikers en dus niet bruikbaar is in het overleg met bijvoorbeeld bewoners. Daarom is besloten om later een aparte rapportage over eindgebruikerskosten te maken, die voortbouwt op deze Startanalyse en meer mogelijkheden biedt om aan te sluiten bij de diversiteit binnen buurten.

1.2.3 Laagste maatschappelijke kosten

Het Klimaatakkoord stelt dat gemeenten programmeren op basis van de laagste maatschappelijke kosten en eindgebruikerskosten, en dat gemeenten dienen te motiveren indien wordt afgeweken van de strategie die de warmtevoorziening tegen de laagste maatschappelijke kosten aardgasvrij kan maken[5]. Afwijking van dat alternatief moet dus goed worden onderbouwd (zie hoofdstuk 5 en de Handreiking voor lokale analyse[6]). Dat is logisch, want afwijken betekent dat één of meerdere partijen meer gaan betalen dan noodzakelijk is om een gemeente aardgasvrij te maken. Daar moet dan wel een goede reden voor zijn, liefst met instemming van de partij die de hogere rekening krijgt gepresenteerd. Welke partij dat is, is nu nog moeilijk te zeggen. Dat hangt bijvoorbeeld af van de manier waarop de overheid subsidieregelingen inricht of de marktordening voor warmtenetten wordt aangepast. Maar kiezen voor de optie met de laagste maatschappelijke (oftewel nationale) kosten is wel een goede manier om het risico van hoge kosten voor elke partij te reduceren.

1.2.4 Een eerste globale selectie van opties

Er zijn nu al veel technieken beschikbaar voor verwarming zonder aardgas. In de komende jaren zullen nieuwe technieken worden ontwikkeld. Dat maakt het moeilijk om nu te bepalen welke techniek het beste alternatief is voor de huidige verwarmingssystemen. Deze Startanalyse voor gemeenten is echter bedoeld om een globale hoofdrichting voor aardgasvrij verwarmen te kiezen.

---

[3] Bij het maken van de Startanalyse is gebleken dat de term ‘maatschappelijke kosten’ door veel mensen een ruimere interpretatie kreeg dan paste bij de kostenberekeningen die uitvoerbaar waren. Daarom hanteren we in de Startanalyse meestal de term ‘nationale kosten’, die in hoofdstuk 4 wordt toegelicht.

[4] https://themasites.pbl.nl/leidraad-warmte/2020/main.php#

[5] Zie pagina 24 van het Klimaatakkoord: ‘Gemeenten zullen bij de besluitvorming expliciet motiveren als zij een andere optie kiezen dan het alternatief met de laagste maatschappelijke kosten.’

[6] Handreiking voor lokale analyse: www.expertisecentrumwarmte.nl/leidraad.

Met behulp van deze Startanalyse kunnen gemeenten voor elke buurt eerst op basis van een technisch-economische doorrekening enkele technieken selecteren die voor die buurt een aantrekkelijke optie lijken. In hoofdstuk 5 leggen we uit hoe die globale selectie kan worden gemaakt. Met een eerste selectie is veel tijd en moeite te besparen. Het is namelijk belangrijk die technische opties per buurt verder uit te werken aan de hand van aanvullende gesprekken en studies. Het zou veel te lang duren en niet efficiënt zijn om voor elke buurt alle mogelijke technische opties uit te werken. De eerste selectie en uitwerking kunnen ook de grootste onzekerheden wegnemen en betrokkenen een beeld geven van waar 'het in hun buurt ongeveer naartoe gaat'. Voor de meeste betrokkenen is dat erg belangrijk.[7]

1.2.5 Een uniforme aanpak voor elke gemeente

In het Klimaatakkoord is afgesproken dat alle gemeenten een Startanalyse krijgen die op een uniforme manier is uitgevoerd. In hoofdstuk 6 beschrijven we kort hoe deze analyse tot stand is gekomen. We hebben gekozen voor een uniforme aanpak waarin tegelijkertijd zo veel mogelijk rekening is gehouden met specifieke omstandigheden in gemeenten en buurten. Een uniforme aanpak is nodig om te zorgen dat elke gemeente gebruik kan maken van dezelfde actuele technische informatie, kentallen voor kosten van maatregelen en energiebronnen, en op dezelfde manier kan omgaan met onzekerheden over toekomstige ontwikkelingen.

Alleen zo worden uitkomsten per gemeente vergelijkbaar en alleen op die manier ontstaat er een consistente basis waarop gemeenten met elkaar kunnen overleggen over onderlinge afstemming. Afstemming zal nodig zijn, want energiesystemen stoppen niet bij de gemeentegrens; dat geldt zowel voor de 'huidige' systemen voor elektriciteit en aardgas als voor de nieuwe systemen voor warmte en duurzame gassen.

1.2.6 Rekening houden met lokale omstandigheden

Het streven naar een uniforme aanpak staat op gespannen voet met de praktijk die uitwijst dat elke gemeente en elke buurt anders is. Zelfs woningen die aan de buitenkant veel op elkaar lijken, kunnen qua verwarmingssysteem en isolatie toch sterk van elkaar verschillen. En ook bewoners van gelijksoortige huizen kunnen sterk uiteenlopende hoeveelheden energie verbruiken. Die verschillen zijn belangrijk om te kunnen bepalen welke techniek het beste alternatief is voor verwarmen met aardgas. Daarbij gaat het niet alleen om de kosten (die uiteraard zeer belangrijk zijn), maar ook om zaken als comfort, betrouwbaarheid, gebruiksgemak en gezonde binnenlucht.

Om de spanning tussen een uniforme aanpak en specifieke lokale omstandigheden te onder-vangen, nemen we in deze Startanalyse technische kenmerken van bestaande[8] gebouwen zo veel mogelijk mee in de berekening van kosten en effecten. Dan gaat het om zaken als de afmeting van gebouwen, het type en het bouwjaar, het energielabel, de locatie en de capaciteit van het aanwezige gas- en elektriciteitsnet. Deze informatie is afkomstig uit data van het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO), regionale netbeheerders en het Kadaster, maar die is daarmee niet automatisch volledig en actueel.[9] Dat alleen al kan voor een gemeente aanleiding zijn om de uitkomsten van deze Startanalyse te willen verrijken met actuelere of gedetailleerdere gegevens. Ook kunnen gemeenten andere

[7] Dat blijkt bijvoorbeeld uit een rapport van het Sociaal-Cultureel Planbureau: https://www.scp.nl/Publicaties/Alle_publicaties/Publicaties_2019/Onder_de_pannen_zonder_gas
[8] Nieuwbouw blijft in de Startanalyse buiten beschouwing; die moet sinds juni 2018 al aardgasvrij worden uitgevoerd.
[9] Voor zover mogelijk hebben we alle invoerdata geactualiseerd tot 1 januari 2020.

informatie willen betrekken bij hun keuze voor een bepaald alternatief voor aardgas of bij de fasering van de omschakeling. Om gemeenten te helpen bij het inrichten van dit soort aanvullende analyses, is een aparte Handreiking voor lokale analyse gemaakt, die tegelijk met dit rapport beschikbaar komt (zie: www.expertisecentrumwarmte.nl/leidraad).

1.2.7 'Maar we hebben zelf al soortgelijke studies laten maken'

Sommige gemeenten zijn al enige tijd actief op zoek naar alternatieven voor aardgas en hebben al een aantal technische opties verkend. Voor die gemeenten kan deze Startanalyse overkomen als 'mosterd na de maaltijd' of als hinderlijke stoorzender in een ingewikkeld zoekproces. Het staat elke gemeente vrij deze analyse wel of niet te gebruiken. Enkele gemeenten hebben aangegeven dat ze voor bepaalde wijken of buurten geen Startanalyse nodig hebben omdat al voor een bepaald alternatief was gekozen. In die gevallen kan een ongevraagde globale analyse van opties tot verwarring leiden. Andere gemeenten, die al soortgelijke studies hebben laten uitvoeren, kunnen deze Startanalyse juist gebruiken als een 'second opinion'. Zij kunnen dit zien als een kans om de robuustheid van eerdere studies te testen en te toetsen aan actuele inzichten.

Het verschil tussen deze Startanalyse en eerdere studies is dat we voor deze analyse gebruik maken van de meest actuele technische kennis en die kennis harmoniseren en toepassen in vergelijkbare formats voor alle warmteopties en voor alle buurten en gemeenten in Nederland. Verschillen in resultaten kunnen ook worden veroorzaakt doordat we in deze Startanalyse meer of andere technische opties doorrekenen dan in eerdere studies. Met name het opnemen van schillabel D heeft een groot effect op de uitkomsten. Het is ook mogelijk dat in die eerdere studies meer gedetailleerde informatie over de eigenschappen van de gebouwenvoorraad is opgenomen. Die informatie kan gebruikt worden om de berekeningen voor de Startanalyse te verrijken.

1.3 Strategieën in het algemeen

Opties zijn strategieën

Een strategie is een plan om iets te bereiken, in dit geval: verwarmen zonder aardgas. Een plan kan in meer of mindere mate worden uitgewerkt. Soms gaan strategieën over de weg naar een einddoel toe, soms over een nadere concretisering van een einddoel. In dit rapport hanteren we de term 'strategie' voor de technische opties die het huidige verwarmen met aardgas kunnen vervangen. Onze strategieën gaan dus vooral over de technische uitwerking van het doel, en niet over de weg ernaartoe. De strategieën geven een globale richting aan, die vooral consequenties heeft voor de keuze van de energie-infrastructuur: all-electric, warmtenetten of gasnetten voor duurzame gassen. Daaromheen kunnen uiteenlopende technische configuraties worden gebouwd.

Het beoogde eindresultaat kan langs verschillende routes worden bereikt, al dan niet met verschillende technische tussenstappen. Zo kan een hybride warmtepomp worden toegepast als tussenstap in de omschakeling van aardgas naar all-electric. Ook kunnen bronnen voor warmtenetten die nu nog niet emissieloos zijn, in de toekomst worden verduurzaamd.

Per strategie werken we de belangrijkste configuraties uit in varianten. Dat geeft een globale indicatie van mogelijke technische uitwerkingen van strategieën. Dat geeft voldoende informatie om een aantrekkelijke strategie te kunnen selecteren, die vervolgens in elke gemeente nader moet worden uitgewerkt. Daarbij zal de technische invulling op lokaal niveau verder moeten worden verfijnd.

Vijf strategieën

Om enige ordening aan te brengen in de vele manieren om gebouwen zonder aardgas te verwarmen, presenteren we in deze Startanalyse op hoofdlijnen vijf alternatieve energie-infrastructuren, kortheidshalve vijf strategieën. Elke strategie bestaat uit een combinatie van technische maatregelen die zijn gericht op vermindering van de warmtevraag (door isolatie en warmteterugwinning) en op het aanleggen van een energie-infrastructuur die op termijn het aardgasnet kan vervangen of aanvullen. Er zijn drie strategieën zonder gas (individuele elektrische warmtepomp, warmtenet met midden- tot hogetemperatuurbron, en warmtenet met lagetemperatuurbron) en twee strategieën met duurzaam gas (groengas en waterstof). Bij die laatste groep strategieën kan het aardgasnet (na de nodige aanpassingen) worden gebruikt voor het transport van duurzaam gas.

We vatten deze vijf strategieën in hoofdstuk 2 komt samen, evenals hun varianten. Er is ook een animatiefilmpje waarin de vijf strategieën kort worden geïntroduceerd (zie https://expertisecentrumwarmte.nl/themas/de+leidraad/default.aspx).

Aardgas of duurzaam gas?

In 2050 moet de gebouwde omgeving volledig aardgasvrij zijn, maar in de overgangsperiode daarnaartoe kan nog aardgas worden gebruikt. Desondanks anticiperen de strategieën op volledige vervanging van aardgas. In twee van de vijf strategieën is aardgas vervangen door duurzaam gas (groengas[10] of waterstof). Naar verwachting is de toekomstige vraag naar groengas hoger dan de toekomstige productie. Dit betekent dat een aparte procedure nodig is om te bepalen welke buurten op termijn groengas kunnen gebruiken (zie paragraaf 5.1.3). Waterstof wordt naar verwachting pas na 2030 op enige schaal klimaatneutraal geproduceerd. Het is nog onduidelijk of dat ook beschikbaar zal komen voor de gebouwde omgeving.

De Startanalyse bevat alleen aardgasvrije strategieën zodat deze ondersteuning biedt voor de keuze van een energie-infrastructuur voor de lange termijn. Die infrastructuur hoeft niet in één keer te worden aangelegd. Wel belangrijk is dat investeringen in onderdelen van die nieuwe structuur steeds worden afgestemd op de structuur die op lange termijn nodig is om het klimaatprobleem op te lossen. Het lijkt misschien aantrekkelijk om een tussenoplossing te kiezen die op korte termijn goedkoop is, maar als die niet past in het eindbeeld is dat uiteindelijk aanmerkelijk duurder.

Elektrisch koken in berekeningen opgenomen

Het huidige koken op aardgas zal in alle aardgasvrije buurten moeten worden vervangen door een alternatief. Elektrisch koken is de meest voor de hand liggende optie. Dat heeft allerlei voordelen: minder brandgevaar, makkelijk schoonmaken en schonere lucht in de keuken. In buurten met groengas kan koken op gas nog mogelijk blijven. Het lijkt er echter op dat elektrisch koken de nieuwe standaard wordt. De meeste keukens die nu worden verkocht, hebben al geen gasgestookte apparaten meer.

[10] Groengas wordt gemaakt door droge biomassa te vergassen of natte reststromen van biomassa te vergisten of vergassen. Groengas heeft dezelfde eigenschappen als aardgas maar hogere productie-kosten. Biogas wordt ook gemaakt van biomassa maar heeft een lager verbrandingswaarde dan aardgas en groengas.

De kosten van elektrisch koken[11] worden nu in vier van de vijf strategieën meegenomen, behalve in de strategie met groengas S4. Op die manier komen de kostenverschillen tussen de strategieën beter tot uiting dan in de vorige Startanalyse. De huidige aanpak kan hier en daar tot overschatting van de kosten leiden omdat sommige woningen nu al elektrische kookplaten hebben. We kunnen per gebouw en buurt het aantal benodigde vervangingen van kooktoestellen niet accuraat schatten omdat we geen landsdekkende informatie hebben over welke gebouwen nu al zijn voorzien van elektrische kookplaten. We kunnen dus ook de daarmee gemoeide kosten niet berekenen. Dat nadeel is – voor een vergelijking van strategieën – minder groot dan het lijkt. We overschatten hierdoor bij een aantal gebouwen wel de hoogte van de kosten per strategie, maar over het algemeen worden de *kostenverschillen* tussen strategieën hierdoor niet beïnvloed.

Gemeenten kunnen deze beperking corrigeren door aanvullende informatie te verzamelen over het huidige gebruik van elektrische kooktoestellen. Voor alle gebouwen waarin nu elektrisch wordt gekookt, kunnen de berekende kosten voor overstappen op elektrisch koken in mindering worden gebracht. Dat zijn kosten voor de aanschaf van een elektrisch kooktoestel en bijbehorende pannen. Kosten voor een aanpassing van de meterkast zijn in sommige strategieën additioneel. In strategieën met warmtepompen moet de meterkast (en soms ook de aansluiting op het stroomnet) toch al worden aangepast, zodat elektrisch koken (op dit punt) niet tot extra kosten leidt.

Energie besparen én verduurzamen

Elke strategie bestaat uit maatregelen om energie te besparen en om over te schakelen op duurzame energiedragers. Energiebesparing is nodig om de hoogte van de energierekening te beperken en om de beschikbare duurzame energie zo efficiënt mogelijk te benutten. Besparingsmaatregelen kunnen vaak al worden uitgevoerd voordat de energie-infrastructuur wordt aangepast. Het optimale isolatieniveau is afhankelijk van de kosten van isoleren enerzijds en de opbrengsten van energiebesparing anderzijds, welke weer afhankelijk is van de kosten van de alternatieve energiebron. Dat maakt het moeilijk het optimale isolatieniveau in algemene zin te bepalen.

In het Klimaatakkoord is afgesproken dat een standaardisolatienorm wordt ontwikkeld waarvan niemand spijt krijgt. Die standaard is nog niet bekend. Daarom was in de Startanalyse 2019 *voor alle strategieën* isoleren tot schillabel B als uitgangspunt genomen. Dat betekent voor woningen een zogenoemde Rc-waarde[12] van ongeveer 2,5 en voor utiliteitsgebouwen ongeveer 3,5. Als een bestaand gebouw al een betere Rc-waarde heeft, dan worden daar geen aanvullende isolatiemaatregelen genomen. De berekende besparing op de energiebehoefte voor ruimteverwarming is afhankelijk van het isolatieniveau in het startjaar (2019).

In de gevoeligheidsanalyse werd gekeken wat het effect op nationale kosten is van isoleren tot schillabel A+ (een Rc-waarde van ongeveer 4,0) in plaats van tot schillabel B. Daaruit bleek dat de totale nationale kosten (dus inclusief de kosten voor infrastructuur) bij schillabel A+ in alle strategieën hoger waren dan bij schillabel B. Om die reden is die berekening niet herhaald in SA-2020.

[11] De huidige kosten van een inductiekookplaat, nieuwe pannen en aanpassingen in de meterkast bedragen ongeveer 1000 euro per woning, zie: https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2019-achtergronddocument-effecten-ontwerp-klimaatakkoord-gebouwde-omgeving_3711.pdf

[12] Een Rc-waarde geeft aan hoe hoog het isolerend vermogen van een gebouw is. Hoe hoger de waarde, hoe meer warmte er wordt binnengehouden.

Bij het opstellen van de SA-2020 was de aangekondigde isolatiestandaard nog steeds niet beschikbaar. Om toch inzicht te krijgen in het effect van isoleren op de totale nationale kosten van elke strategie, zijn varianten uit SA-2019 met schillabel B aangevuld met varianten waarin woningen worden geïsoleerd tot minimaal schillabel D. Dat is alleen gedaan voor varianten waarin radiatoren gevoed worden met water van minimaal 70 °C, zodat de woningen ook op koude winterdagen comfortabel warm gestookt kunnen worden. Schillabel D is NIET toegepast bij bedrijfsgebouwen; die worden in alle varianten geïsoleerd tot minimaal schillabel B.

Met deze informatie kan per buurt een indruk worden verkregen van de invloed van veel of weinig isoleren op de totale nationale kosten van een strategie(-variant). Uit de berekeningen blijkt dat isoleren tot schillabel D in de meeste buurten tot lagere nationale kosten leidt[13] dan isoleren tot schillabel B.

Resultaten voor 2030

In de Transitievisie Warmte moeten gemeenten aangeven welke wijken vóór 2030 worden verduurzaamd en welke strategieën daarvoor nader worden uitgewerkt. Om die keuze te ondersteunen, geven we in deze Startanalyse de nationale kosten voor de hypothetische situatie dat alle maatregelen tegen 2030 zijn uitgevoerd. In 2030 zou dat (volgens het Klimaatakkoord) voor 1,5 miljoen woningen en gebouwen het geval moeten zijn; bij de overige circa 6 miljoen woningen en gebouwen gebeurt dat na 2030.

Voor een selectie van aardgasvrije strategieën zijn vooral de relatieve kostenverschillen tussen de strategie(-varianten) van belang en niet zozeer de absolute hoogte van de nationale kosten. Om die kostenverschillen in beeld te krijgen, berekenen we de verwachte nationale kosten in 2030. Naar verwachting zullen de kosten van alle strategieën na 2030 dalen omdat tegen die tijd kinderziektes zijn overwonnen, schaalgrootte in de productie is gerealiseerd en efficiënte aanpakken zijn ontwikkeld. De kosten in 2030 hanteren we als indicator voor de kostenverschillen tussen strategieën in de hele periode tot 2050, wanneer de warmtetransitie voltooid moet zijn.

Voor het berekenen van de nationale kosten[14] in 2030 hanteren we de verwachte kosten van installaties en klimaatneutrale energiedragers in 2030 en het energieverbruik in de eindsituatie, als elke strategie volledig is gerealiseerd, vóór of na 2030 maar uiterlijk in 2050. Het is ondoenlijk om nu al kosten in 2050 te schatten en te hanteren in berekeningen van kosten in de eindsituatie. De kosten in 2030 zijn ook al onzeker. De invloed van die onzekerheid brengen we in beeld met een gevoeligheidsanalyse.

1.4 Drie presentatievormen van de Startanalyse

De uitkomsten van de Startanalyse stellen we aan elke gemeente beschikbaar in de vorm van dit gemeenterapport met tabellenbijlagen per gemeente, een website met kaartviewer en een datapakket per gemeente.

Voor elke gemeente zijn de resultaten van de Startanalyse in tabellen samengevat. In de hoofdstukken 3 en 4 leggen we uit welke informatie je in die tabellen kan vinden. Die tabellen zijn

[13] Dat wil niet zeggen dat schillabel D ook voor gebouweigenaren goedkoper is dan schillabel B. Subsidies op isolatiemaatregelen en belasting op duurzame energie kunnen voor eindgebruikers het kostenverschil tussen label D en B kleiner maken en mogelijk zelfs omkeren, maar dat is erg afhankelijk van de toekomstige hoogte van subsidies en belastingen. Subsidies en belastingen zijn geen onderdeel van nationale kosten en blijven daarom in deze Startanalyse buiten beschouwing.
[14] Zie voor het begrip ‘nationale kosten’ en de berekening daarvan paragraaf 4.2.

bijlagen bij dit rapport. Je kunt ze als pfd of csv-bestand downloaden vanaf de website https://themasites.pbl.nl/leidraad-warmte/2020/. Je kunt de csv-bestanden gebruiken voor eenvoudige bewerkingen van de resultaten in een spreadsheet.

De kaartviewer[15] toont resultaten van de Startanalyse in de vorm van kaarten voor heel Nederland. Met die viewer kan je inzoomen op gemeenten en buurten. Per strategie kan je verschillen tussen buurten zichtbaar maken. Je kunt de kaarten ook gebruiken om (per buurt of groep van buurten) gevolgen van de vijf strategieën met elkaar te vergelijken. Dat is nu mogelijk voor een selectie van de indicatoren uit het gemeenterapport. De viewer is voor iedereen toegankelijk na het aanvragen van een inlogcode bij het Expertise Centrum Warmte.

Het Datapakket “Gebouwen data” is bedoeld voor mensen die voor een gemeente aanvullende analyses willen maken met behulp van computermodellen of GIS-tools. Het bevat gegevens over alle afzonderlijke gebouwen in één gemeente. We verstrekken elke gemeente (op aanvraag) het datapakket van de betreffende gemeente. De gemeente kan dit beschikbaar stellen aan derden voor vervolganalyses.

[15] De viewer is voor iedereen toegankelijk via https://www.themasites.pbl.nl/leidraad-warmte na het aanvragen van een inlogcode bij het Expertise Centrum Warmte.

2 Vijf strategieën en twee referentie-beelden

In dit hoofdstuk beschrijven we kort de vijf strategieën die in deze Startanalyse zijn uitgewerkt. Deze bieden een dekkend overzicht van de technieken die op dit moment relevant zijn voor de transitie naar aardgasvrij verwarmen. Tabel A zet de belangrijkste kenmerken van die strategieën op een rij. Een uitgebreidere beschrijving is te vinden in het achtergrondrapport bij deze Startanalyse[16]. Voor onderdelen van die strategieën heeft het ECW factsheets gemaakt die meer technische details bevatten[17]. Tot slot presenteren we twee referentiebeelden zonder warmtemaatregelen om de strategieën in perspectief te helpen plaatsen.

TABEL A: KENMERKEN VAN DE VIJF STRATEGIEËN IN DE STARTANALYSE

	Strategie naam	Energiebron en temperatuur	Collectieve installatie	Temp. bij afgifte-systeem	Individuele installatie
S1	Individuele elektrische warmtepomp	Buitenlucht of bodem, 15 ºC	Stroomnet	50 ºC	Combinatiewarmte-pomp en LT-radiatoren
S2	Warmtenet met HT-MT-bronnen	Restwarmte en/of geothermie, 70 ºC	Warmtecentrale, restwarmtebron, MT-warmtenet, hulpketels	70 ºC	Aansluiting op warmtenet en HT-radiatoren
S3	Warmtenet met LT-bronnen	Restwarmte 30 ºC of WKO op 15 ºC en/of aquathermie op 10-20 ºC	MT of LT-net, Collectieve warmtepomp	30 – 70 ºC	Aansluiting op MT- of LT-warmtenet, Combi- of booster-warmtepomp, LT- of HT-radiatoren
S4	Groengas	Groengas	Gasnet	70 ºC	Hybride lucht-WP of HR-ketel, beide + HT-radiatoren
S5	Waterstof	Waterstof	Gasnet	70 ºC	idem

2.1 Strategie 1: individuele elektrische warmtepomp

Dit is een all-electric-strategie met isolatie tot minimaal schillabel B. De gebouwen worden verwarmd met een elektrische warmtepomp voorzien van een buffervat. De radiatoren worden vervangen door lagetemperatuurradiatoren. Vervanging door vloerverwarming kan ook, maar is in bestaande gebouwen vaak duurder en door technische en praktische bezwaren vaak niet goed mogelijk. Gebouweigenaren kunnen er omwille van extra comfort wel voor kiezen hier extra kosten voor te maken. Van deze strategie laten we twee varianten zien: een luchtwarmtepomp en een bodemwarmtepomp.

Een significant nadeel van concepten met een warmtepomp is dat die hoge eisen stellen aan schilisolatie. Dat heeft twee redenen: a) in tochtige woningen kan een doorsnee warmtepomp simpelweg niet (snel) genoeg warmte produceren om de woning warm te krijgen in een koude winter; en b) bij slechte isolatie is het elektriciteitsverbruik hoger, waardoor het al snel erg duur wordt. Er is nog te weinig ervaring met warmtepompen in bestaande bouw om vast te stellen hoeveel schilisolatie minimaal noodzakelijk is. In deze Startanalyse nemen we aan dat schillabel

[16] Het Achtergronddocument is te raadplegen op https://www.themasites.pbl.nl/leidraad-warmte.
[17] Factsheets kunnen worden geraadpleegd via https://expertisecentrumwarmte.nl/kennis/factsheets.

B voldoende is; deze aanname is door deskundigen gevalideerd, maar of dat overal klopt moet in de praktijk nog blijken.

Een voordeel van deze strategie voor gebouweigenaren is, dat iedereen op een zelfgekozen moment kan overstappen op een warmtepomp, zonder afstemming over de beschikbaarheid van collectieve infrastructuur. Een ander voordeel is dat warmtepompen meestal ook kunnen koelen. Dat kan een airco overbodig maken, al hebben airco's vaak wel een grotere capaciteit.

Een belangrijk gevolg van deze strategie is dat de elektriciteitssector hiermee een grotere opgave krijgt. Die sector moet meer elektriciteit duurzaam gaan opwekken en mogelijk ook elektriciteits-netten verzwaren. De kosten hiervan zijn in de berekeningen opgenomen, maar de fysieke en organisatorische gevolgen vormen voor de sector ook grote uitdagingen.

2.1.1 Variant S1a: elektrische luchtwarmtepomp

In deze variant gebruikt de elektrische warmtepomp de buitenlucht als belangrijkste energiebron. De buitenunit is bevestigd aan het gebouw of staat nabij het gebouw en onttrekt warmte aan de buitenlucht. De binnenunit van de warmtepomp krikt de temperatuur van water in een verwarmingsinstallatie op naar circa 50 graden voor ruimteverwarming (35 graden bij label A+ voor relatief nieuwe woningen die dit energielabel al hebben) en tot 55 graden voor warm tapwater.

Een luchtwarmtepomp is goedkoper in aanschaf dan een bodemwarmtepomp. Een nadeel is, dat de geluidsproductie van de buitenunit hinderlijk kan zijn voor omwonenden, afhankelijk van de afstand tot de warmtepomp. De kosten van deze optie zijn nog niet afgestemd op de recent bijgestelde geluidseisen die aan warmtepompen worden gesteld. Bij lage buitentemperaturen heeft een warmtepomp veel elektriciteit nodig voor het bijverwarmen. De energieprestatie van de warmtepomp daalt dan en soms is bijverwarming met een elektrisch element noodzakelijk. In bepaalde woningtypen kan te weinig ruimte zijn voor de noodzakelijke installatie.

2.1.2 Variant S1b: elektrische bodemwarmtepomp

Deze variant gebruikt een elektrische warmtepomp met de bodem als de belangrijkste warmte-bron. Voor het plaatsen van de bodemwarmtewisselaar is buitenruimte nodig. De binnenunit van de warmtepomp krikt de temperatuur op naar circa 50 graden voor ruimteverwarming en tot 55 graden voor warm tapwater.

Het elektriciteitsverbruik is minder afhankelijk van lage buitentemperaturen dan bij een lucht-warmtepomp, omdat de temperatuur in de bodem stabieler is dan in de buitenlucht. Daardoor verbruikt een bodemwarmtepomp minder elektriciteit. Een bodemwarmtepomp is echter duurder in aanschaf dan een luchtwarmtepomp. Een gebouw heeft buitenruimte nodig om de bodemwarmtewisselaar te plaatsen. Ook voor deze variant kan in bepaalde woningtypen te weinig ruimte zijn voor de installatie.

2.2 Strategie 2: warmtenet met midden- en hogetempera-tuurbronnen

In deze strategie worden alle gebouwen in een buurt aangesloten op een warmtenet met een afgiftetemperatuur op het middenniveau (70°C). Warmtebronnen met een temperatuur van 70°C of hoger (hoge- tot middentemperatuur) voeden dat warmtenet met restwarmte of geothermie. In

de Startanalyse is aangenomen dat de piekketels van strategie S2 met groengas gestookt worden. Mogelijk is in de praktijk geen groengas op de locatie beschikbaar, maar wel waterstof. Als dit zich voordoet, dan zal hiervoor een correctie gemaakt moeten worden in de kostenberekening.

Warmtenetten kunnen efficiënter worden door cascadering[18] van warmte. Met de huidige versie van het Vesta MAIS-model kan deze optie nog niet worden onderzocht, dus blijft ze nog buiten beschouwing.

2.2.1 Beschikbaarheid van warmtebronnen

Een aandachtspunt in deze strategie is de beschikbare capaciteit van de warmtebronnen. Het model houdt rekening met de huidige beschikbare warmtecapaciteit en deelt die toe aan buurten waar de inzet van de warmtebron de hoogste economische waarde heeft. Dat is niet noodzakelijk de dichtstbijzijnde buurt. Wel wordt de afstand tussen de bron en afnemer meegewogen, zodat de kosten van warmtetransport kunnen worden geschat. De bedoeling van de Startanalyse is echter dat de gemeente zelf kiest in welke buurt er een warmtenet komt en welke bron de warmte levert. De Startanalyse geeft bij elke buurt aan welke warmtebronnen zijn gebruikt in de kostenberekening. Gemeenten moeten zelf onderzoeken en beoordelen of die bron(nen) ook op lange termijn beschikbaar blijven. Mogelijk komen op termijn nieuwe bronnen beschikbaar. Als een gemeente een andere warmtebron willen gebruiken, kan zij zelf de kostenberekening daarvoor corrigeren.

We bespreken hierna drie varianten met verschillende type warmtebronnen: restwarmte, geothermie volgens kansenkaart, en geothermie overal. Geothermie overal staat alleen in het gemeenterapport als extra informatie. De variant met bio-WKK op groengas die in SA-2019 nog wel aanwezig was is in de SA-2020 vervallen omdat deze variant praktisch altijd in hogere kosten resulteerde dan bij andere varianten. In hoofdstuk 5 leggen we uit hoe gemeenten de uitkomsten kunnen gebruiken en toch rekening kunnen houden met alternatieve inzichten in de beschikbaarheid van warmtebronnen.

Deze drie varianten m.b.t. energiebronnen combineren we met twee varianten m.b.t. isolatiegraad: schillabel B en D. Zo ontstaan zes varianten voor S2.

2.2.2 Varianten S2a en S2d: + restwarmte

Onder restwarmte vallen hier álle bestaande bronnen op een bekende locatie (puntbronnen). Het gaat dan bijvoorbeeld om industriële restwarmte, maar ook om biomassa-warmtecentrales. Die centrales produceren niet echt restwarmte, maar specifieke warmte voor een warmtenet en niet voor een ander industrieel proces.

Deze variant houdt rekening met de beschikbaarheid van restwarmtebronnen zoals die zijn opgenomen in de Warmteatlas, aangevuld met bronnen die gemeenten, provincies of regio's hebben aangeleverd voor de Startanalyse. Als die bronnen zijn uitgeput, krijgen de resterende buurten (die in deze variant dus niet kunnen worden aangesloten), de aanduiding nvt (niet van toepassing).

De huidige informatie over restwarmtebronnen is veelal onnauwkeurig en incompleet. Voor het merendeel van de bronnen zijn geen gegevens beschikbaar over potentiële capaciteit. De

[18] Cascadering is het benutten van afgekoelde warmte van een gebouw voor verwarming van een ander gebouw dat warmte van lagere temperaturen kan benutten.

opgegeven vermogens waarmee is gerekend, moeten worden beschouwd als een optimistische schatting. Ook is onbekend of deze bronnen op lange termijn beschikbaar blijven. Hierover zullen gemeenten zelf moeten oordelen, bijvoorbeeld in overleg met de eigenaren van de betreffende bronnen. Ook kunnen nieuwe bronnen van restwarmte ontstaan bij nieuwe bedrijfsvestigingen.

2.2.3 Varianten S2b en S2e: + geothermie volgens kansenkaart

Geothermie is een geschikte warmtebron voor de basislast van hogetemperatuur- en midden-temperatuurwarmtenetten. Dat wil zeggen dat geothermie de basis kan vormen voor de continue warmtevraag die gedurende het hele jaar moet worden geleverd, omdat het een warmtebron is die vrij constant een hoog vermogen aan warmte kan produceren. Geothermie is minder flexibel in het gebruik dan sommige andere warmtebronnen zoals gasketels en is daarom niet geschikt voor pieklast of een warmtevraag op een (tijdelijk) te laag vermogen.

In deze variant zijn locaties opgenomen waar volgens de kansenkaart van de Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek (TNO) de ondergrond geschikt is voor geothermie. Voor circa 40 procent van het Nederlands grondgebied is hierover informatie beschikbaar. De kansenkaart is beschikbaar in de viewer van de Startanalyse. Een kans op geschiktheid voor geothermie geeft overigens geen garantie op beschikbaarheid; per locatie is altijd nader onderzoek nodig naar de uitvoerbaarheid van warmtewinning uit geothermie.

De beschikbaarheid van geothermie in de ondergrond heeft gevolgen voor de berekende kosten van een warmtenet met geothermie. Buurten die zelf geen geschikte ondergrond hebben, kunnen met behulp van een transportleiding geothermiewarmte betrekken uit andere gebieden. De kosten van deze variant worden hoger naarmate de potentiële geothermiebron verder weg ligt.

2.2.4 Varianten S2c en S2f: + geothermie overal

Deze variant veronderstelt dat de ondergrond in elke buurt geschikt is voor geothermie, dus ook in buurten waar nu nog onvoldoende informatie is over de eigenschappen van de ondergrond. De komende jaren wordt die informatie verzameld binnen het onderzoeksprogramma Seismische Campagne Aardwarmte Nederland (SCAN).

De kosten van deze variant kunnen lager zijn dan die van variant S2b en S2e omdat hier geen lange transportleidingen nodig zijn. Met deze variant kunnen buurten anticiperen op een gunstig resultaat van het bodemonderzoek naar de geschiktheid voor geothermie als zij vermoeden dat dat voor hen relevant kan zijn.

2.3 Strategie 3: warmtenet met lagetemperatuurbronnen

Deze strategie bestaat uit verwarming met warmtenetten die worden gevoed uit warmtebronnen met een lage temperatuur (circa 30°C). Die temperatuur is te laag om direct warm tapwater te maken en ook voor ruimteverwarming is opwaardering naar een hoger temperatuurniveau vaak nodig, afhankelijk van het type afgiftesysteem en de isolatiegraad van een gebouw.

Een warmtenet kan ontworpen worden om collectief (voor een groep gebouwen) de warmte op een voldoende hoge temperatuur te brengen (tot 50°C of tot 70°C) of rechtstreeks op 30°C aan elk individueel gebouw. De beste oplossing hangt af van de lokale situatie (type gebouwen, isolatiemogelijkheden, bebouwingsdichtheid, enzovoort). Op hoofdlijnen leidt dit tot drie mogelijke ontwerpen. Bij collectief opgewaardeerde warmtelevering op 70°C kan de afnemer deze direct gebruiken voor zowel ruimteverwarming als voor warm tapwater. Schillabel D wordt daarbij gezien als een minimaal isolatieniveau. Het collectief opwaarderen met een warmtepomp, dit is

het eerste ontwerp, kost relatief veel elektriciteit, maar de noodzakelijke aanpassingen in de woning zijn dan geringer en dus goedkoper.

Bij levering van het warmtenet aan gebouwen op lage temperatuur (30°C) – het tweede ontwerp – moeten in ieder gebouw de radiatoren worden aangepast en een warmtepomp voor ruimteverwarming en warmtapwater worden geïnstalleerd. In die situatie wordt minimaal schillabel B geadviseerd. Bij een aflevertemperatuur van 50°C en schillabel B – het derde ontwerp – is naast de aanpassing van de radiatoren alleen een boosterwarmtepomp nodig voor de voorziening van warm tapwater. Deze drie ontwerpen zijn te combineren met verschillende typen lagetemperatuurbronnen, waaronder vormen van aquathermie[19].

Om het aantal combinaties beperkt te houden, zijn hier vijf verschillende varianten met schillabel B doorgerekend waarvan drie ook met schillabel D. Zo is gekozen om Thermische Energie uit Afvalwater (TEA) in vier varianten met puntbronnen op te nemen (S3a-d). Daarvan is variant S3c een theoretische (nieuwe) variant die gebruikt kan worden in buurten zonder bekende LT-bronnen die willen verkennen of een LT-net met een WKO-seizoensbuffer in die buurt interessant zou kunnen worden als er voldoende nieuwe LT-bronnen zouden worden ontwikkeld. Van deze variant zijn versies doorgerekend met zowel schillabel B als schillabel D. Dat geldt ook voor de variant met aflevering op 70 graden: S3b met label B en S3f met label D.

Thermische Energie uit Oppervlaktewater (TEO) wordt toegepast in een variant met warmte-koude-opslag (WKO) in combinatie met schillabel B (S3e) en in combinatie met schillabel D (S3h).

In de praktijk zijn meer en andere combinaties mogelijk. Welke het gunstigst is, kan per buurt anders uitpakken vanwege de verschillen in beschikbaarheid van bronnen, spreiding van gebouwen en soorten bebouwing.

Bij bestaande restwarmtebronnen (zoals datacenters, gemalen, afvalwater- en, rioolwaterzuiveringsinstallaties en) is het mogelijk dat de capaciteit van de aanwezige lagetemperatuurbronnen in een buurt te klein is om alle gebouwen in die buurt te voorzien van warmte. In dat geval is aangenomen dat de gebouwen in het overige deel van die buurt worden verwarmd met een individuele elektrische warmtepomp.

Voor nieuw te realiseren bronnen zoals WKO en TEO is geen technisch maximum verondersteld aan de capaciteit die kan worden gehaald. Voor gebouwen waar een warmtenetaansluiting duurder zou zijn dan een individuele warmtepomp (S1), veronderstellen we dat ze van die optie gebruikmaken en dus niet deelnemen aan het warmtenet met lagetemperatuurwarmtebron. Hiermee voorkomen we dat warmtenetten met een lagetemperatuurwarmtebron extreem duur worden ingeschat. In de tabellen geven we dit aan met NA (‘not available’ ofwel niet van toepassing).

De volgende varianten voor lagetemperatuurwarmtenetten zijn in de Startanalyse doorgerekend:

2.3.1 Variant S3a: LT-warmtebron, levering op 30°C, schillabel B

In deze variant wordt de warmte via een warmtenet op een temperatuur van 30°C bij gebouwen afgeleverd. Het warmtenet wordt gecombineerd met een buffervat voor seizoensopslag. Er is

[19] Voor meer informatie over aquathermie, zie de factsheet Aquathermie op de site van RVO: https://expertisecentrumwarmte.nl/kennis/factsheets

individuele opwaardering met een combiwarmtepomp nodig om de warmte op een voldoende hoge temperatuur te brengen voor ruimteverwarming (circa 50°C) en warmtapwater.

2.3.2 Variant S3b: LT-warmtebron, levering op 70°C, schillabel B

In deze variant wordt de warmte opgewaardeerd met een collectieve elektrische warmtepomp en via een warmtenet gebruiksklaar op een temperatuur van 70°C bij gebouwen afgeleverd. Het warmtenet wordt gecombineerd met een buffervat voor seizoensopslag.

2.3.3 Variant S3c: WKO, levering op 70°C, hele buurt, schillabel B

In deze variant wordt de warmte met een collectieve warmtepomp opgewaardeerd naar een temperatuur van 70°C en via een warmtenet bij gebouwen afgeleverd. Dat is geschikt voor ruimteverwarming en warm tapwater. Het warmtenet wordt gecombineerd met een warmte-koude-opslag (WKO) voor seizoensopslag.

De varianten S3c en S3g zijn doorgerekend om voor iedere buurt inzicht te geven in de verschillende kostenposten van warmtenetten. Daartoe is verondersteld dat WKO in iedere buurt mogelijk is. Omdat dit in werkelijkheid niet zo hoeft te zijn, doen deze varianten niet mee in de selectie van varianten met de laagste nationale kosten voor S3.

2.3.4 Variant S3d: WKO, levering op 50°C, schillabel B

In deze variant wordt warmte-koudeopslag toegepast, waarbij warmte en koude van gebouwen zelf worden opgeslagen in ondergrondse warmte-koude-aquifers. Met dit systeem kunnen gebouwen in de zomer worden gekoeld door de warmte van gebouwen in de ondergrond op te slaan. In de winter wordt die warmte weer gebruikt om diezelfde gebouwen te verwarmen. Daarbij is opwaardering met een collectieve warmtepomp nodig om de warmte op een voldoende hoge temperatuur te brengen (50°C).

Warmte-koudeopslag is niet overal in Nederland toepasbaar; dat is afhankelijk van de geschiktheid van de ondergrond en van geldende wettelijke beperkingen, zoals bescherming van drinkwaterwingebieden. De viewer van de Startanalyse bevat een kaart met gebieden waar warmte-koudeopslag kan worden toegepast. De berekening houdt hier rekening mee.

2.3.5 Variant S3e: Thermische Energie uit Oppervlaktewater (+ WKO), levering op 70°C, schillabel B

Dit is een variant voor gebruik van energie uit oppervlaktewater (TEO) van zeer lage temperatuur (10-20°C), een vorm van aquathermie. De combinatie met warmte-koudeopslag maakt het mogelijk om warmte in de zomer ondergronds op te slaan en in de winter te benutten voor ruimteverwarming. De warmte wordt op een temperatuur van 70°C bij het gebouw afgeleverd na opwaardering met een collectieve elektrische warmtepomp. Bij deze variant gelden dezelfde beperkingen voor inzet van warmte-koudeopslag als bij variant S3d. Aanvullend is ook nabijheid van geschikt oppervlaktewater vereist.

2.3.6 Variant S3f: LT-warmtebron, levering op 70°C, schillabel D

Deze variant is identiek aan S3b maar dan met schillabel D i.p.v. B. In deze variant wordt de warmte opgewaardeerd met een collectieve elektrische warmtepomp en via een warmtenet gebruiksklaar op een temperatuur van 70°C bij gebouwen afgeleverd. Het warmtenet wordt gecombineerd met een buffervat voor seizoensopslag.

2.3.7 Variant S3g: WKO, levering op 70°C, hele buurt, schillabel D

Deze variant is identiek aan S3c maar dan met schillabel D i.p.v. B. In deze variant wordt de warmte met een collectieve warmtepomp opgewaardeerd naar een temperatuur van 70°C en via een warmtenet bij gebouwen afgeleverd. Dat is geschikt voor ruimteverwarming en warm tapwater. Het warmtenet wordt gecombineerd met een warmte-koude-opslag (WKO) voor seizoensopslag.

De varianten S3c en S3g zijn doorgerekend om voor iedere buurt inzicht te geven in de verschillende kostenposten van warmtenetten. Daartoe is verondersteld dat WKO in iedere buurt mogelijk is. Omdat dit in werkelijkheid niet zo hoeft te zijn, doen deze varianten niet mee in de selectie van varianten met de laagste nationale kosten voor S3.

2.3.8 Variant S3h: TEO (+ WKO), levering op 70°C, schillabel D

Deze variant is identiek aan S3e maar dan met schillabel D i.p.v. B. Dit is een variant voor gebruik van energie uit oppervlaktewater (TEO) van zeer lage temperatuur (10-20°C), een vorm van aquathermie. De combinatie met warmte-koudeopslag maakt het mogelijk om warmte in de zomer ondergronds op te slaan en in de winter te benutten voor ruimteverwarming. De warmte wordt op een temperatuur van 70°C bij het gebouw afgeleverd na opwaardering met een collectieve elektrische warmtepomp. Bij deze variant gelden dezelfde beperkingen voor inzet van warmte-koudeopslag als bij variant S3d. Aanvullend is ook nabijheid van geschikt oppervlaktewater vereist.

2.4 Strategie 4: groengas

2.4.1 Variant S4a en S4c: groengas met hybride warmtepomp

In deze strategie worden een elektrische luchtwarmtepomp en een hoogrendementsbrander (HR-brander) op duurzaam gas gecombineerd. Dit kan ook een warmtepomp zijn die naast de bestaande HR-ketel wordt geplaatst. De warmtepomp maakt gebruik van een buitenunit, die is bevestigd aan het gebouw of nabij het gebouw staat. Buitenlucht en gas zijn de belangrijkste warmtebronnen. De gasbrander wordt ingezet als het vermogen van de warmtepomp onvoldoende is voor de ruimteverwarming of tapwatervoorziening, bijvoorbeeld als de temperatuur van de buitenlucht laag is.

In de eerste versie van deze Startanalyse (SA-2019) is alleen een variant met schillabel B opgenomen (S4a); in de Startanalyse 2020 (SA-2020) voegen we een variant toe met schillabel D voor woningen (S4c).

Bij deze strategie blijft het bestaande warmteafgiftesystemen in gebouwen bruikbaar. Ook blijft het aardgasnet bruikbaar voor groengas.

Een belangrijk nadeel van deze strategie is, dat de beschikbaarheid van groengas onzeker is; in paragraaf 5.5.2 gaan we hier nader op in. Ruimteverwarming is een relatief laagwaardige toepassing van groengas. Door de hoge energiedichtheid van gas en/of een hogere kosteneffectiviteit kan toepassing in andere sectoren meer voor de hand liggen.

Er is ook onzekerheid over de feitelijke nationale emissiereductie die met deze strategie gerealiseerd kan worden. Zolang de nationale productie van groengas niet toeneemt door een keuze voor deze strategie, leidt dit hooguit tot een verschuiving van groengasverbruik (en de

daarmee verbonden emissiereductie) naar de gebouwde omgeving, ten koste van emissie-reductie buiten de sector.[20]

2.4.2 Variant S4b en S4d: groengas met HR-ketel

In deze strategie is een standaard HR-ketel toegepast, in combinatie met isolatiemaatregelen tot schillabel B (S4b) of tot schillabel D bij woningen (S4d). We nemen aan dat groengas van aardgaskwaliteit is en dat er geen aanpassing nodig is in de ketel. In de eerste versie van de Startanalyse (SA-2019) werd S4b aangeduid met code S5, maar die is nu gebruikt voor de varianten met waterstof. De voor- en nadelen van deze varianten zijn gelijk aan die van S4a en S4c (zie par. 2.4.1).

Met variant S4b is het effect van isoleren tot schillabel B gekwantificeerd in termen van nationale kosten en energieverbruik. Het schetst de situatie waarin op gebouwniveau alleen de vraag naar energie wordt gereduceerd en aan de aanbodzijde verduurzaming van het resterende verbruik wordt geregeld door – tegen extra kosten – aardgas te vervangen door groengas. Dat laatste is nu niet mogelijk en de komende jaren onwaarschijnlijk, maar kan op de lange termijn niet worden uitgesloten. Naar verwachting komt groengas op termijn maar voor een beperkt aantal buurten beschikbaar.

Met een HR-ketel kan, met een gelijke hoeveelheid groengas voor de gebouwde omgeving, minder CO_2-reductie worden bereikt dan met hybride warmtepompen (in varianten S4a en S4c) omdat daarmee minder gebouwen een gasvormig alternatief voor aardgas geboden kan worden.

Deze varianten zijn vooral nuttig om een indruk te krijgen van de omvang van de isolatie-opgave in verschillende buurten en om buurten op dit punt onderling te vergelijken.

2.5 Strategie 5: waterstof

De waterstof-strategie lijkt heel erg op die van groengas. Binnen de gebouwde omgeving moeten dezelfde maatregelen genomen worden als bij groengas, aangevuld met maatregelen om het gasnet geschikt te maken voor waterstof en met maatregelen in de gebouwen om de ketels geschikt te maken om waterstof te verbranden. Omdat koken op waterstof gevaarlijker is dan op groengas, veronderstellen we dat de waterstofstrategie overal gecombineerd wordt met elektrisch koken.

De varianten van de waterstofstrategie zijn ook gelijk aan die in de groengasstrategie:

- S5a combineert de hybride warmtepomp met isoleren tot minimaal schillabel B,
- S5b idem met minimaal[21] schillabel D voor woningen en label B voor de dienstensector,
- S5c is als S5a maar dan met een HR-ketel,
- S5d idem met minimaal schillabel D voor woningen en label B voor de dienstensector.

[20] Ditzelfde nadeel geldt momenteel ook voor de strategieën die veel elektriciteit gebruiken. Maar de productie van klimaatneutrale stroom kan waarschijnlijk makkelijker worden uitgebreid; daar zijn minder zorgen over.

[21] Isoleren tot minimaal schillabel D betekent dat alleen isolatiemaatregelen worden genomen bij woningen die nu een slechter label hebben dan schillabel D. Bij woningen die nu al een beter schillabel hebben dan D worden geen isolatiemaatregelen genomen en dus ook geen kosten voor isolatie berekend.

Een belangrijk nadeel van deze strategie is, dat de beschikbaarheid van waterstof onzeker is; in paragraaf 5.5.2 gaan we hier nader op in. Ruimteverwarming is een relatief laagwaardige toepassing van waterstof. Door de hoge energiedichtheid van gas en/of kostenefficiëntie kan toepassing in andere sectoren zoals industrie en vervoer meer voor de hand liggen.

2.6 Twee referentiebeelden: voor 2019 en 2030

Het is niet alleen relevant te weten welke aardgasvrije optie het meest aantrekkelijk is, maar ook in welke mate die afwijkt van de huidige situatie. Dat geeft inzicht in hoeveel het nakomen van de afspraken in het Klimaatakkoord vanaf het startjaar gaat kosten en hoeveel CO_2-reductie daarmee kan worden bereikt. Daarom presenteren we berekeningen van het energieverbruik, de CO_2-uitstoot en de kosten ten opzichte van het referentiejaar 2030 waarin nog geen maatregelen zijn genomen.

Referentiebeeld 2030 geeft een raming van hoe de energievraag, kosten en CO_2-uitstoot van de warmtevoorziening zich ontwikkelen in een situatie zonder dat er maatregelen worden genomen maar met veranderingen in energiekosten en rekening houdend met het effect van veranderende temperaturen door klimaatverandering. Voor de energiekosten is gerekend met de verwachte kosten van aardgas en klimaatneutrale elektriciteit in 2030.

De kosten van de Strategieën (S1 t/m S5), maar ook de kosten van de huidige situatie (2019) worden afgezet ten opzichte van Referentie 2030. Dit noemen wij de extra nationale kosten van strategieën in 2030 (of van de huidige situatie in 2019) t.o.v. het referentiebeeld 2030.

3 Gemeentetabellen: kenmerken van gebouwen in 2019

Voor iedere gemeente zijn tabellen gemaakt met de gemiddelde gebouwkenmerken van buurten in het startjaar 2019[22]. Met deze tabellen kan je de gebouwsamenstelling van buurten onderling vergelijken. Zo'n vergelijking kan behulpzaam zijn bij het verklaren van de verschillen tussen buurten in de berekende effecten van de strategieën. Voor elke gemeente zijn de volgende tabellen met kenmerken gegeven;

Tabel 1: Buurten in gemeente X: buurtnamen en buurtcodes

Buurtcode	Buurtnaam
BU#	
BU#	
BU#	
BU#	
BU#	
BU#	

Tabel 2: Aantal woningen in gemeente X naar bouwjaar en buurt t/m 2019

Bouwjaar/ Buurt	Voor 1930	1930-1945	1946-1964	1965-1974	1975-1991	1992-2005	2006-2019	Totaal
BU#								
BU#								
BU#								
BU#								
BU#								
BU#								
Totaal								

Tabel 3: Aantal woningen in gemeente X naar energielabel en buurt in 2019

Energielabel/ Buurt	A en beter	B	C	D	E	F	G	Totaal
BU#								
BU#								
BU#								
BU#								
BU#								
BU#								
Totaal								

[22] De bestandsnaam is: GM [4 getallen] _tabellen.pdf of GM [4 getallen] _tabellen.csv.

Tabel 4: Aantal woningen in gemeente X naar type en buurt in 2019

Type/ Buurt	Vrijstaande woning	2 onder 1 kap	Rijwoning hoek	Rijwoning tussen	Appartementen	Totaal
BU#						
BU#						
BU#						
BU#						
BU#						
BU#						
Totaal						

Tabel 5: Oppervlakte (bvo[1] in m²) gebouwen utiliteit in gemeente X naar bouwjaar en buurt t/m 2019

Bouwjaar/ Buurt	Voor 1920	1921-1975	1976-1990	1991-1995	1996-2019	Onbekend	Totaal
BU#							
BU#							
BU#							
BU#							
BU#							
BU#							
Totaal							

[1] Bvo = bruto vloeroppervlak, uitgedrukt in vierkante meters (m²). 130 m² bvo komt overeen met 1 woningequivalent (weq).

Tabel 6: Oppervlakte (bvo[1] in m²) gebouwen utiliteit in gemeente X naar type en buurt in 2019

Type/ Buurt	Kantoor	Winkel	Zorg	Logies	Onderwijs	Industrie	Bijeenkomst	Sport	Cellen	Overig	Totaal
BU#											
BU#											
BU#											
BU#											
BU#											
BU#											
Totaal											

[1] Bvo = bruto vloeroppervlak, uitgedrukt in vierkante meters (m²). 130 m² bvo komt overeen met 1 woningequivalent (weq).

4 Buurttabellen: resultaten per buurt en interpretatie

Iedere gemeente ontvangt voor elke buurt resultaten in de vorm van een set met tabellen en figuren[23]. Wij noemen dit ook wel de 'buurttabellen'. In dit hoofdstuk lichten we deze tabellenset met buurtresultaten toe. We hanteren daarbij de nummering van tabellen zoals die ook in de tabellenset wordt gebruikt. Bovendien hebben de paragrafen in dit hoofdstuk (4.1 - 4.8) dezelfde indeling en benaming als de hoofdstukken (1 - 8) in de buurttabellen. We geven in dit hoofdstuk geen resultaten (want die staan immers in de buurttabellen), maar beschrijven wel wat voor type resultaten in de tabellen en figuren staat en hoe deze resultaten geïnterpreteerd kunnen worden. Het type resultaten is voor iedere gemeente hetzelfde, de getallen zijn per gemeente en buurt verschillend. Vanwege de omvang van de analyse is het niet mogelijk om voor elke buurt een individuele interpretatie van de resultaten te geven[24].

In paragraaf 4.1 geven we een overzicht van de strategieën, varianten en bijbehorende afkortingen (codes). Paragraaf 4.2 omvat een uiteenzetting van de berekende nationale kosten voor de goedkoopste variant binnen elke strategie. In aanvulling worden in paragraaf 4.4 de kosten voor alle varianten weergegeven. Paragraaf 4.3 behandelt hoe de getallen voor de waarde van duurzaam gas geïnterpreteerd kunnen worden. Paragraaf 4.5 en 4.6 tonen de resultaten voor het berekende gemiddelde energieverbruik in een buurt. In paragraaf 4.7 wordt een overzicht gegeven van de aangenomen samenstelling van de gebouwen in de buurt. Paragraaf 4.8 toont de nationale kosten van verschillende varianten wanneer er (deels) gebruik zou worden gemaakt van niet-klimaatneutrale energiedragers, zoals die naar verwachting in 2030 geproduceerd worden. Tenslotte wordt in paragraaf 4.9 een overzicht gegeven van de gebruikt codes en waar deze worden toegelicht.

De tabellen in de tabellenset met buurtresultaten hebben een uniforme indeling. Bovenaan de kolommen worden steeds de vijf aardgasvrije strategieën weergegeven, waar relevant in combinatie met de twee referentiebeelden (het startjaar 2019 en 2030 ref.). Een uitzondering hierop is het overzicht van de samenstelling van de gebouwen in de buurt (paragraaf 4.7). In elke tabel staan aan het begin van elke rij een code en een naam van een indicator. De overige cellen in een rij geven de waarde voor die indicator voor elk van de strategieën of varianten die bovenaan elke kolom zijn vermeld. Bij iedere tabel geven we een korte uitleg van de indicatoren die in die tabel zijn opgenomen. Waar nodig lichten we toe hoe de waarde van een indicator is berekend.

Voor alle strategieën in deze analyse zijn varianten uitgewerkt, 24 in totaal. Om de tabellen overzichtelijk te houden, laten we in de eerste paragrafen (4.1 t/m 4.3 en 4.5) alleen de varianten zien die per strategie de laagste nationale kosten[25] hebben. Welke variant dat is, geven aan we met variantcodes bovenaan de kolommen van een tabel (paragraaf 4.4, 4.6 en 4.8) of bovenaan de pagina (zie hoofdstuk 2 en 5 in de tabellenset).

[23] De bestandsnaam zit er zo uit: GM[4 getallen]_BU[8 getallen]_tabellen.pdf (of .csv).
[24] Op de Samenvattende pagina van de kaartviewer staat voor elke buurt een samenvatting van de resultaten (onder de tabbladen hoofduitkomsten, gevoeligheidsanalyse, kostenopbouw).
[25] Zie paragraaf 4.2 voor een uitleg van het begrip 'nationale kosten'.

4.1 Omschrijving en codes van strategieën en varianten

Tabel 1 toont de strategie- en variantcodes behorend bij de verschillende warmtestrategieën en varianten, inclusief een beknopte omschrijving van de verschillende varianten. Voor een gedetailleerde beschrijving van de strategieën en varianten, zie hoofdstuk 2.

Tabel 1: Korte omschrijving en codes van strategieën en varianten in de startanalyse

Strategie-code	Omschrijving strategie	Variant-code	Schil-label	Omschrijving variant
S1	Individuele elektrische warmtepomp	S1a	B+	Luchtwarmtepomp
		S1b	B+	Bodemwarmtepomp
S2	Warmtenet met midden- tot hogetemperatuurbron	S2a	B+	MT-restwarmte
		S2b	B+	MT-geothermie
		S2c	B+	MT-geothermie overal*
		S2d	D+	MT-restwarmte
		S2e	D+	MT-geothermie
		S2f	D+	MT-geothermie overal*
S3	Warmtenet met lagetemperatuurbron	S3a	B+	LT-warmtebron, levering 30°C
		S3b	B+	LT-warmtebron, levering 70°C
		S3c	B+	WKO, levering 70°C hele buurt*
		S3d	B+	WKO, levering 50°C
		S3e	B+	TEO + WKO, levering 70°C
		S3f	D+	LT-warmtebron, levering 70°C
		S3g	D+	WKO, levering 70°C hele buurt*
		S3h	D+	TEO + WKO, levering 70°C
S4	Groengas	S4a	B+	Hybride warmtepomp
		S4b	B+	hr-ketel
		S4c	D+	Hybride warmtepomp
		S4d	D+	hr-ketel
S5	Waterstof	S5a	B+	Hybride warmtepomp
		S5b	B+	hr-ketel
		S5c	D+	Hybride warmtepomp
		S5d	D+	hr-ketel

* De varianten (S2c en S2f) respectievelijk (S3c en S3g) zijn doorgerekend om voor iedere buurt inzicht te geven in de verschillende kostenposten van warmtenetten. Daartoe is verondersteld dat geothermie respectievelijk WKO in iedere buurt mogelijk is. Omdat dit in werkelijkheid niet zo hoeft te zijn, doen deze varianten niet mee in de selectie van varianten met de laagste nationale kosten voor strategie S2 respectievelijk S3.

4.2 Nationale kosten van strategieën

4.2.1 Wat zijn nationale kosten?

Nationale kosten zijn de totale financiële kosten in Nederland van alle maatregelen die nodig zijn om ergens (bijvoorbeeld in een buurt) een strategie uit te voeren, ongeacht wie die kosten betaalt, inclusief de baten van energiebesparing, maar exclusief belastingen, heffingen en subsidies. Dit is de korte definitie van nationale kosten. Hieronder en in de volgende paragrafen gaan we nader in op enkele bijzondere aspecten van dit begrip en bespreken we uit welke kostensoorten de nationale kosten van een strategie zijn opgebouwd.

Nationale kosten zijn in deze studie altijd exclusief belastingen, heffingen en subsidies. Immers, dat zijn betalingen van de ene groep mensen aan de andere, die de netto kosten voor beide groepen tezamen (voor de hele natie) niet beïnvloeden. Als de ene groep Nederlanders belasting betaalt die via de schatkist wordt uitgekeerd aan een andere groep Nederlanders die subsidie

ontvangt, dan is er geen euro de landsgrens overgegaan en maakt Nederland als geheel dus geen financiële kosten.[26]

De jaarlijkse nationale kosten die gepaard gaan met investeringen (zoals afschrijvings- en rentekosten) worden bepaald op basis van een nationale discontovoet van 3 procent. Dit wijkt af van de marktrente die voor verschillende partijen van toepassing is. Bij de berekening van nationale kosten is geen rekening gehouden met inflatie tussen 2019 en 2030; de kostencijfers zijn dus uitgedrukt in euro's van 2019. Wel is verondersteld dat de kosten van maatregelen tussen 2019 en 2030 zullen dalen als gevolg van innovatie, opschaling en vraagbundeling.

4.2.2 Maatschappelijke kosten of nationale kosten?

In het Klimaatakkoord is afgesproken dat er een Leidraad moest komen met maatschappelijke kosten van opties voor aardgasvrij verwarmen van gebouwen. Daarbij is de term 'maatschappelijke kosten' niet gedefinieerd. In de voorbereiding op deze Startanalyse is gebleken dat deze term bij veel mensen associaties oproept met een kostenbegrip waarin ook negatieve effecten van ingrepen zijn opgenomen die niet in geld kunnen worden uitgedrukt, zoals geluidshinder (van warmtepompen) of verkeershinder (door graafwerkzaamheden voor warmtenetten). Echter, het kwantificeren (en in geld uitdrukken) van dit soort effecten blijft in deze Startanalyse buiten beschouwing, omdat de methoden daarvoor omslachtig zijn en vaak ter discussie worden gesteld.[27] Wel nemen we in de kostenraming van groengas en waterstof de kosten mee voor het afvangen van de CO_2 die vrijkomt bij de productie ervan.

Om begripsverwarring te voorkomen, is besloten de term 'maatschappelijke kosten' te vervangen door 'nationale kosten'. Dat wil niet zeggen dat de genoemde negatieve effecten buiten beschouwing moeten blijven; ze vallen alleen buiten het kader van deze Startanalyse. Bij de beschrijving van elke strategie in de factsheets van het ECW[28] worden dit soort negatieve effecten beschreven, zodat er bij de afweging van strategieën in het opstellen van de Transitievisie Warmte wel rekening mee kan worden gehouden.

Maatregelen om gebouwen aardgasvrij te verwarmen leiden tot minder CO_2-uitstoot en (meestal) tot minder uitstoot van andere stoffen die luchtvervuiling kunnen veroorzaken, waaronder stikstofoxides. De positieve maatschappelijke effecten van minder CO_2-uitstoot, bijvoorbeeld op het gebied van de volksgezondheid (negatieve kosten) zouden in mindering gebracht *kunnen* worden op de maatschappelijke kosten. In de Startanalyse doen we dat niet omdat dit geen invloed heeft op de verschillen tussen de kosten van strategieën onderling (de CO_2-reductie van alle strategieën is even groot, namelijk het verschil tussen de huidige uitstoot en nul) en omdat daarmee veel methodologische discussies kunnen worden voorkomen. Vanzelfsprekend treden

[26] De proceskosten van herverdeling, zoals van de belastingdienst, zijn in verhouding klein en laten we daarom hier buiten beschouwing

[27] Dit soort effecten wordt wel meegenomen in maatschappelijke kosten-batenanalyses (MKBA's) die bij grote infrastructurele projecten verplicht worden uitgevoerd. Met een Leidraad MKBA en diverse handreikingen worden methodische kwesties in goede banen geleid. Het begrip 'nationale kosten' in deze Startanalyse komt vrij goed overeen met de omschrijving van maatschappelijke kosten in een MKBA. Het belangrijkste verschil is dat nationale kosten geen rekening houden met beleidskosten voor uitvoering van regelingen of realisatie van projecten (zoals vergunningsprocedures). Maatschappelijke effecten zoals verbetering van luchtkwaliteit en emissiereductie worden in een MKBA behandeld als baten. In MKBA's worden die baten soms in geld uitgedrukt maar in de SA blijven ze buiten de berekening van nationale kosten.

[28] Factsheets van strategieën zijn te vinden op: www.expertisecentrumwarmte/kennis/factsheets .

deze eventuele positieve effecten niet op in het referentiebeeld zonder (extra) maatregelen voor 2030.

4.2.3 Drie indicatoren voor nationale kosten

In de Startanalyse zijn drie indicatoren voor de nationale kosten per buurt berekend (Tabel 2.1):

- de extra nationale kosten ten opzichte van het referentiebeeld in 2030 (H16)
- extra nationale kosten per ton CO_2-reductie (H17)
- extra nationale kosten per woning-equivalent (H18)

Elke indicator is bruikbaar voor het selecteren van de strategie met de laagste nationale kosten. Bovendien geeft elke indicator andere, additionele informatie. Zo kan je met H17 de kosten van emissiereductie in de gebouwde omgeving vergelijken met kosten in andere sectoren[29]. Met H16 en H18 krijg je een indruk van de financiële omvang van de maatregelen.

Tabel 2.1: Totale kosten: de extra nationale kosten van strategieën in 2030 t.o.v. het referentiebeeld 2030 in buurt X.

Code	Indicator	Eenheid	2030 S1	2030 S2	2030 S3	2030 S4[1]	2030 S5[1]
H16	**Extra nationale kosten**	**1000€/jaar**					
K10	w.v. extra kapitaalslasten	1000€/jaar					
K18	w.v. extra variabele kosten	1000€/jaar					
H17	**- per ton CO2-reductie**	**€/ton**					
H18	**- per woningequivalent**	**€/weq/jaar**					

[1] De beschikbaarheid van groengas of waterstof in 2030 en 2050 is onzeker. In de berekeningen voor deze tabel is geen rekening gehouden met een beperkte beschikbaarheid.

Code H16: extra nationale kosten

Code H16 geeft aan hoeveel elke strategie in 2030 jaarlijks extra kost ten opzichte van het referentiebeeld in 2030. Deze indicator geeft eigenlijk aan hoeveel het jaarlijks per strategie kost om de CO_2-uitstoot tot nul te reduceren. De werkelijke kosten kunnen afwijken. Met behulp van gevoeligheidsanalyses (paragraaf 4.2.5) geven we aan wat de gevolgen zijn voor de (extra) nationale kosten als ontwikkelingen op het gebied van kostenreductie en energiekosten tot 2030 afwijken van de centrale veronderstellingen. De totale extra nationale kosten zijn uit te splitsen in de kosten in de vorm van kapitaalslasten (K10) en in de vorm van variabele kosten (K18).

Code K10: extra nationale kosten in de vorm van kapitaalslasten

Code K10 geeft aan hoeveel extra jaarlijkse investeringen er voor een bepaalde strategie gedaan dienen te worden ten opzichte van het referentiebeeld in 2030. K10 geeft dus het verschil aan in kosten tussen een strategie en het referentiebeeld. Deze kosten staan eveneens weergegeven in figuur 2.1 (paragraaf 4.2.4). De jaarlijkse kapitaalslasten komen voort uit investeringen in elektriciteits- en gasnetwerken, warmtenetten en technische warmtemaatregelen in gebouwen. De kwantitatieve uitsplitsing van de totale extra kapitaalslasten is weergegeven in tabel 2.2 (zie paragraaf 4.2.4).

[29] Voor een goede vergelijking is wel nodig dat de CO2-reductie is bepaald ten opzichte van dezelfde referentiesituatie. De referentie in het Klimaatakkoord (uitvoeren van het vastgestelde beleid tot 2030) wijkt af van de referentie die we hier hanteren (kosten in 2030 zonder extra maatregelen vanaf 2019).

Code K18: extra nationale kosten in de vorm van variabele kosten

Code K18 geeft aan hoeveel extra jaarlijkse variabele kosten er als resultaat van een bepaalde strategie verwacht kunnen worden ten opzichte van het referentiebeeld in 2030. Kortom; hoeveel duurder of goedkoper is een strategie in 2030 ten opzichte van het referentiebeeld? Het betreft hier kosten voor levering van energiedragers, onderhoud en bedieningskosten (zie paragraaf 4.2.4). Deze kosten staan eveneens weergegeven in figuur 2.2 (paragraaf 4.2.4).

Code H17: nationale kosten per ton CO_2-reductie

Code H17 vermeldt voor elke strategie de jaarlijkse extra nationale kosten *per ton CO_2-reductie*. Deze zijn berekend door de extra nationale kosten (H16, zie vorige paragrafen) te delen door de berekende CO_2-reductie ten opzichte van de 2030 referentie in de buurt, zie CO_2-uitstoot H15 in kolom 2030 ref. van tabel 5.2. Merk op dat deze waarde afwijkt van de CO_2-uitstoot in het startjaar, die bovenaan de set buurtabellen is vermeld. Dat verschil ontstaat door vermindering van de warmtevraag als gevolg van de verwachte stijging van de buitentemperatuur vanaf het startjaar. Deze indicator H17 helpt strategieën en buurten te selecteren waar de CO_2-uitstoot het meest kosten-efficiënt is te reduceren. De uitkomsten voor H17 staan eveneens weergegeven in figuur 2.2 (paragraaf 4.2.4).

Code H18: nationale kosten per woningequivalent

Code H18 vermeldt voor elke strategie de jaarlijkse extra nationale kosten *per woningequivalent* in 2030. Let wel: dat zijn *niet* de kosten die een woningeigenaar moet betalen. Een (nu nog onbekend) deel van die kosten wordt door anderen betaald, zoals energiebedrijven en verhuurders (die investeringen doen) of overheden (die bijvoorbeeld subsidies verstrekken). Die kosten kunnen wel geheel of gedeeltelijk worden doorberekend in tarieven voor energielevering of belastingen aan eindverbruikers (maar dat blijft hier verder buiten beschouwing).

Het aantal woningequivalenten in een buurt is gelijk aan het aantal woningen in buurt plus het aantal woningequivalenten van utiliteitsgebouwen in die buurt. Utiliteitsgebouwen worden omgerekend in woningequivalenten door 130 m^2 aan utiliteitsoppervlakte (bruto vloeroppervlak) gelijk te stellen aan één woningequivalent.

Door de kosten per woningequivalent te vermelden, kunnen de kosten van strategieën gemakkelijker worden vergeleken met kosten in andere buurten. Verschillen tussen buurten worden veroorzaakt door verschillen in de huidige samenstelling van de gebouwvoorraad (aantallen en typen gebouwen, ruimtelijke spreiding) en door verschillen in isolatieniveaus en de beschikbaarheid en nabijheid van energiebronnen.

Voor de vergelijking van de kosten van strategieën binnen één buurt maakt het niet uit of deze kosten worden uitgedrukt als Extra nationale kosten (H16), Extra nationale kosten per ton CO_2-reductie (H17) of Extra nationale kosten per woningequivalent (H18). Elke strategie wordt namelijk voor eenzelfde hoeveelheid woningequivalenten uitgevoerd. Het kan handig zijn om kosten ook per woningequivalent weer te geven. Dat is namelijk een eenheid waar mensen zich iets bij kunnen voorstellen: euro's per gemiddelde woning. Zoals aangegeven, het is echter niet zo dat de woningeigenaar die gemiddelde nationale kosten helemaal zelf moet betalen. Het gaat hier om *alle* kosten van de strategie, zowel kosten aan een gebouw als kosten aan energienetwerken buiten de gebouwen.

4.2.4 Opbouw van de nationale kosten

De nationale kosten van strategieën zijn opgebouwd uit respectievelijk kapitaalslasten en variabele kosten (paragraaf 4.2.3). Om nader inzicht te krijgen in de opbouw van de nationale kosten hebben we de vijf kostensoorten, welke weer uit verschillende componenten bestaan, verder uitgelicht (Tabel 2.2 en 2.3).

Tabel 2.2: Kapitaalslasten: opbouw van de extra nationale jaarlijkse kapitaalslasten van investeringen in strategieën in 2030 ten opzichte van het referentiebeeld 2030 (in 1000€ per jaar) in buurt X.

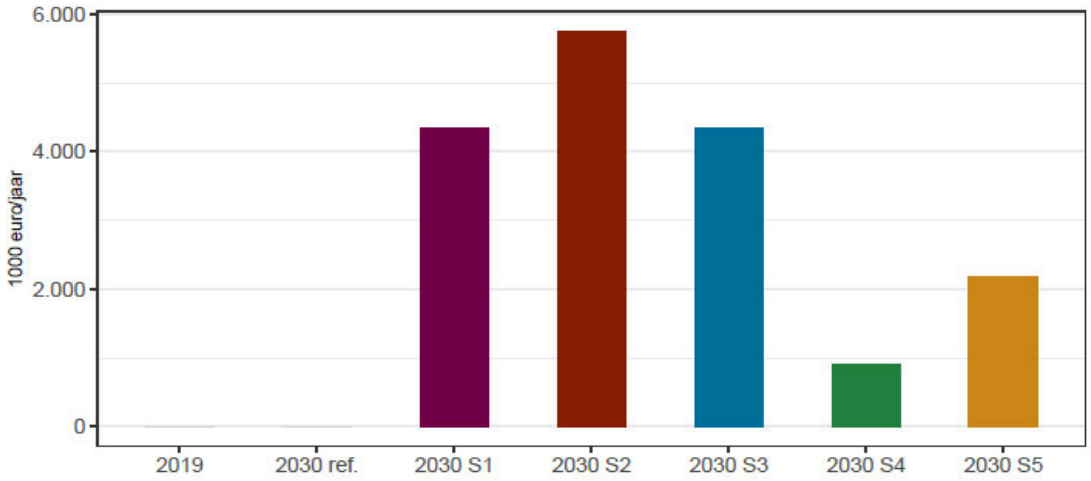
Code	Indicator	2019[2]	2030 ref.[3]	2030 S1	2030 S2	2030 S3	2030 S4[1]	2030 S5[1]
Kapitaalslasten E- en G-netten								
K01	E-net verzwaren							
K02	G-net verwijderen							
K03	G-net aanpassen							
Kapitaalslasten warmtenetten								
K04	Warmtedistributie buurt							
K05	Warmtedistributie pand							
K06	Warmtetransport							
K07	Warmtebronnen							
Kapitaalslasten gebouwen								
K08	Schilmaatregelen							
K09	Installaties							
Totaal								
K10	**Totaal extra kapitaalslasten**							

[1] De beschikbaarheid van groengas of waterstof in 2030 en 2050 is onzeker. In de berekeningen voor deze tabel is geen rekening gehouden met een beperkte beschikbaarheid.

[2] Kapitaalslasten van bestaande investeringen die tot en met 2019 zijn gedaan, zijn niet beschikbaar. Zij worden verondersteld door te lopen in de toekomst.

[3] Het referentiebeeld 2030 is een situatie waarbij vanaf 2019 geen veranderingen optreden in de gebouwenvoorraad, de warmtevoorziening en bijbehorende installaties, infrastructuren en isolatieniveaus. Er zijn dus geen maatregelen genomen en derhalve geen extra jaarlijkse kapitaalslasten ten opzichte van 2019. De variabele kosten zijn in 2030 wel anders dan in 2019 omdat de kosten van de energiedragers (warmte, gas en elektriciteit) en de warmte- en koudevraag door klimaatverandering zijn veranderd. Deze staan in de volgende tabel.

Figuur 2.1: Extra kapitaalslasten van investeringen in buurt X (in 1000 euro per jaar)[1].



4.2.4.1 Kapitaalslasten elektriciteits- en gasnetten

Deze kostencomponent bevat alleen de kapitaalslasten (rente en afschrijving) van veranderingen in het elektriciteitsnet en in het gasnet die voortvloeien uit de uitvoering van een strategie. In alle strategieën zullen de kosten van de huidige elektriciteits- en gasnetten moeten worden betaald.

In veel buurten zal het aardgasnet op termijn worden afgesloten. Dat betekent het vervroegd afschrijven op de resterende waarde van dat gasnet. De hoogte van deze kosten is echter onbekend en zal verschillen tussen buurten, afhankelijk van de resterende levensduur van die netten op het moment van afschakeling. Binnen één buurt zijn die kosten *voor elke strategie* gelijk (maar onbekend). Deze kostenpost heeft dus geen invloed op de kostenverschillen tussen strategieën. Daarom is besloten deze kostenpost buiten beschouwing te laten. Dit heeft geen invloed op de keuze tussen strategieën op basis van nationale kosten. Voor een nadere toelichting, onder andere over de kapitaalslasten van het gasnet in het geval van strategieën met waterstof of groengas, zie paragraaf 5.4.

Code K01: elektriciteitsnet verzwaren

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

Een verzwaring van de elektriciteitsaansluiting kan ook nodig zijn *binnen* gebouwen die overstappen op een warmtepomp, afhankelijk van de zwaarte van de huidige aansluiting. Die kosten zijn niet in deze post (K01) opgenomen. In woningen zijn meestal aanpassingen in de meterkast nodig om te kunnen overschakelen op elektrisch koken (behalve in S4). De kosten hiervan zijn meegenomen onder de kostenpost H06 en zullen vaak ook toereikend zijn om de aansluiting van een warmtepomp mogelijk te maken.

Grote bedrijven hebben hier in veel gevallen een maatwerkoplossing voor die is overeengekomen met de netbeheerder, bijvoorbeeld via een eigen interne transformatorruimte. Aanpassingen aan deze grote elektriciteitsaansluitingen zullen in hoge mate afhangen van de specifieke eigenschappen van het bedrijf en daarvoor hebben we in de Startanalyse geen raming kunnen maken.

Code K02: gasnet verwijderen

Bij uitvoering van strategieën zonder duurzaam gas moet het huidige gasdistributienet in de buurt worden verwijderd. Bovendien is het nodig de gasaansluitingen uit de gebouwen weg te halen. De kosten van het verwijderen van het gasnet zijn berekend op basis van de lengte van het gasnet in een buurt en een gemiddeld kostenbedrag per meter. De kosten van het weghalen van een gasaansluiting zijn berekend met een gemiddeld bedrag per aansluiting. Beide kostensoorten zijn behandeld als investeringen en omgerekend naar jaarlijkse kosten bij 3 procent rente en 50 jaar afschrijving. Dit resulteert in relatief lage bedragen in tabel 2.2.

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

Code K03: gasnet aanpassen

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

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

4.2.4.2 Kapitaalslasten warmtenetten

De kapitaalslasten van een warmtenet splitsen we op in vier componenten (warmtedistributie buurt, warmtedistributie pand, warmtetransport en warmtebronnen) om een indicatie te kunnen krijgen van de geschiktheid van een buurt voor een warmtenet, onafhankelijk van de beschikbaarheid van bronnen. Een businesscase voor een warmtenet wordt voor een belangrijk deel bepaald door de kosten van het distributienet (naast kosten van warmte-inkoop, transport en de geraamde inkomsten uit verkoop van warmte aan eindgebruikers). Relatief lage distributiekosten per aansluiting zijn dus een belangrijke indicatie dat de buurt potentieel geschikt is voor de aanleg van een warmtenet. In die buurten loont het de moeite om actief op zoek te gaan naar bestaande of nieuwe warmtebronnen.

Code K04 & K05: warmtedistributie buurt & warmtedistributie pand

Bij strategieën met een warmtenet berekenen we de kapitaalslasten van het distributienet in de buurt op basis van een schatting van de lengte van het distributienet en een gemiddeld bedrag per meter. Appartementencomplexen hebben slechts één aansluitleiding op het hoofdnet nodig, terwijl bij grondgebonden bouw voor elke aansluiting een aansluitleiding in de grond moet worden gelegd.

In de kostenpost voor distributie zijn ook de kosten van hulpketels opgenomen.

Naast distributie door de buurt is ook inpandige distributie nodig. Hiervoor rekenen we een vast bedrag per aansluiting, plus de kosten van een afleverset. In grondgebonden gebouwen rekenen we hiervoor een lager bedrag per aansluiting dan in appartementen. In appartementen kan al blokverwarming aanwezig zijn, zodat er nauwelijks extra kosten zijn voor inpandige distributie. Dit is centraal niet geregistreerd en het kan lonen om in de eigen gemeente na te gaan waar dit het geval is. In dat geval zijn de hier berekende kosten dus te hoog.

Kosten van onderstations, distributieleidingen in de straat, en bijbehorende warmtewisselaars en pompen zijn ook onderdeel van deze kostenpost. Deze kosten leiden we af van een combinatie van de lengte van het wegennet in de buurt en de gevraagde piekcapaciteit. Hiervoor hanteren we nationale gemiddelde kentallen die voortkomen uit gesprekken met de sector. Het is lastig te voorspellen of in een specifieke buurt een warmtenet de route van het wegennet zal volgen. De kosten kunnen tegenvallen als er bijvoorbeeld grondverontreiniging is waar maatregelen tegen moeten worden genomen. Kosten kunnen ook meevallen als een kortere route kan worden gevonden of als werkzaamheden kunnen worden gecombineerd met bijvoorbeeld vervanging van het riool.

Code K06: warmtetransport

Bij strategieën met een warmtenet waar de primaire warmtebron op een substantiële afstand van de buurt staat, berekenen we de kapitaalslasten van warmtetransport tussen bronnen en een warmteoverdrachtsstation (WOS) in een buurt op basis van een benadering van de lengte van het tracé en een variabel bedrag per meter, afhankelijk van de benodigde capaciteit. De kosten per meter kennen een bandbreedte die voornamelijk afhankelijk is van het type ondergrond waar de leiding doorheen wordt gelegd. Als vuistregel geldt dat warmtetransportleidingen onder een geasfalteerde weg of onder waterwegen duurder uitvallen dan hier berekend, terwijl leidingen langs een weiland of onder een klinkerpad goedkoper uitvallen. Het verdient aanbeveling deze berekening aan te passen aan lokale omstandigheden als een transportleiding bovengemiddeld moet worden omgeleid (langere afstand) of door moeilijk begaanbaar terrein moet worden aangelegd, zoals door een drukke ondergrond of onder kanalen door (hogere kosten per meter).

Code K07: warmtebronnen

Deze kostenpost heeft betrekking op de kapitaalslasten van voorzieningen die nodig zijn om warmtebronnen in gebruik te nemen voor warmtelevering. Dit kan een relatief laag bedrag zijn als het alleen om een uitkoppeling van een bestaande restwarmtebron gaat, maar het kan ook om een substantieel bedrag gaan als er bijvoorbeeld een nieuwe geothermieboring moet worden gedaan. Kosten voor het oogsten van aquathermie vormen een middencategorie.

De kosten van het aanleggen en ontsluiten van deze bronnen zijn grotendeels gebaseerd op de kostenkentallen uit de SDE+-adviezen voor 2020. Deze kosten drukken we uit in een bedrag per eenheid capaciteit en rekenen we zo toe aan een specifieke buurt. In de berekening verdelen we de kosten van een bron over de buurten die van dezelfde bron gebruikmaken. Voor sommige bronnen, met name geothermie, geldt dat er een minimale warmtevraag moet worden bereikt voordat het project economisch haalbaar wordt. Weinig buurten hebben van zichzelf voldoende warmtevraag om een eigen geothermieboring financieel te kunnen dragen.

4.2.4.3 Kapitaalslasten gebouwmaatregelen

Code K08: schilmaatregelen

De kapitaalslasten van investeringen in schilmaatregelen, zoals HR++-glas en isolatie van spouwmuren, vloeren en daken, berekenen we op basis van afschrijvingen over 30 jaar.

Het aantal en de typen schilmaatregelen die in een buurt moeten worden genomen om tot schillabel B+ (dwz B of beter) of D+ (dwz D of beter) te komen, zijn voor elke strategievariant met schillabel B+ dan wel D+ gelijk. Ze zijn afhankelijk van de situatie in het startjaar en die kan tussen buurten sterk verschillen. Tabel 7.3 (paragraaf 4.7) met informatie over schillabels in het startjaar (2019) kan behulpzaam zijn bij het begrijpen van deze verschillen voor zover die voortkomen uit verschillende eigenschappen van woningen. Voor de dienstensector is deze informatie helaas niet beschikbaar (zie het achtergrondrapport).

De kosten van isolatiemaatregelen zijn afhankelijk van het type woning. In oude woningen zijn de kosten meestal hoger; details zijn vermeld in het achtergrondrapport. Het isoleren van oude gebouwen met een monumentale status is doorgaans nog duurder. Die extra kosten zijn niet opgenomen in de berekeningen omdat bij ons niet bekend is welke gebouwen die status hebben. Gemeenten hebben die informatie doorgaans wel en kunnen daarmee op dit onderdeel zelf aanvullende kostenramingen maken.

Het toepassen van schilmaatregelen leidt tot besparing op energieverbruik en energiekosten. Deze kostenreductie is verwerkt bij levering energiedragers (codes K11-13).

Code K09: installaties

Investeringen in installaties worden afgeschreven over de technische levensduur. Bij warmte-pompen en cv-ketels is dat 15 jaar; bij lagetemperatuurradiatoren hanteren we 28 jaar. Kosten van elektrisch koken (inductieplaten, pannenset) blijven buiten beschouwing. De kosten van warmteafleversets zijn opgenomen bij de indicator warmtedistributie (K05)

In de kostenberekening van installaties in de strategieën zijn alleen de *meerkosten* opgenomen ten opzichte van de kapitaalslasten voor een cv-ketel, de gangbare installatie in het startjaar. In het startjaar zijn die kapitaalslasten daarom nul. Op deze manier worden de kostenverschillen tussen strategieën goed berekend, maar onderschatten we de kostenniveaus met een gelijk bedrag (zijnde de jaarlijkse kapitaalslasten van een gemiddelde cv-ketel). Voor een goede vergelijking van strategieën zijn kostenverschillen echter belangrijker dan kostenniveaus. We hebben voor deze methode gekozen om aan te sluiten bij de berekeningsmethode van de kapitaalslasten van schilmaatregelen. De kapitaalslasten van schilmaatregelen die in het startjaar al zijn uitgevoerd blijven buiten beschouwing omdat deze moeilijk zijn vast te stellen.

Eventuele kosten van vervroegde afschrijving van bestaande cv-ketels zijn sterk afhankelijk van het moment van overstappen, en of een hele buurt op hetzelfde moment overstapt of op een zelfgekozen moment. Die kosten worden daardoor sterk bepaald door de manier waarop de overgang van de huidige naar de nieuwe installaties wordt georganiseerd. In veel gevallen zal het mogelijk zijn om dat geleidelijk te laten verlopen, zodat gebouwen kunnen overschakelen als de bestaande installaties aan vervanging toe zijn. Als dat niet mogelijk blijkt, zullen gemeenten de bijbehorende kosten moeten inschatten en opnemen in de kostenberekening. Om een indicatie van deze kosten in de totale raming op te nemen, zijn we ervan uitgegaan dat bestaande ketels nog een derde van hun oorspronkelijke economische waarde hebben op het moment dat wordt overgeschakeld op een andere manier van verwarmen. Dit waardeverlies tellen we op bij de investeringskosten van het alternatief.

Bij de strategieën met een warmtenet is op gebouwniveau geen nieuwe installatie nodig. De kosten van (toekomstige) vervanging van een cv-ketel kunnen daar dus worden uitgespaard. Dat betekent dat de kapitaallasten voor opwekkingsinstallaties in gebouwen in het eindbeeld lager zijn dan in het startjaar. Hierdoor kan deze indicator een negatief bedrag laten zien bij de strategieën met warmtenetten.

Code K10: extra nationale kosten in de vorm van kapitaalslasten

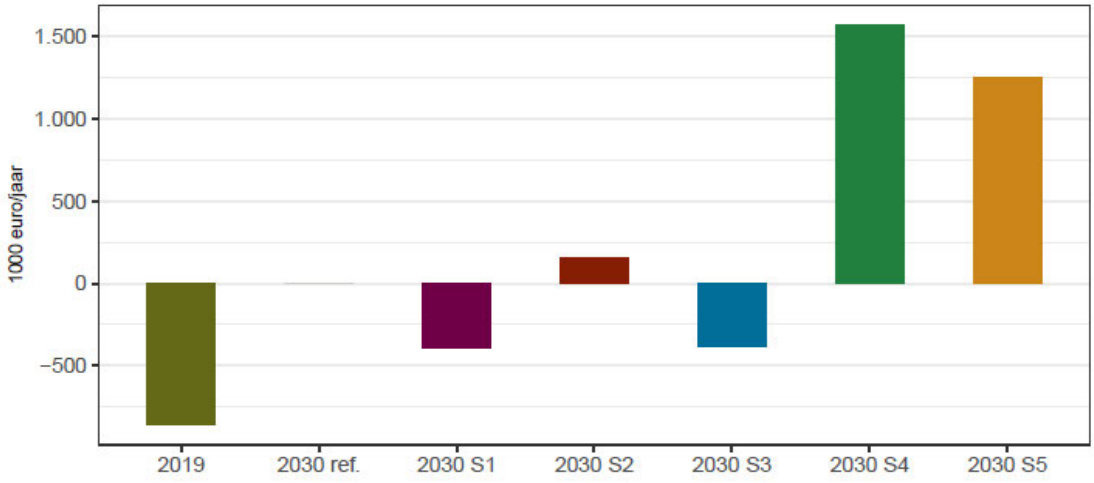
zie paragraaf 4.2.3. Deze kosten staan eveneens weergegeven in figuur 2.1.

Tabel 2.3: Variabele kosten: opbouw van de nationale variabele kosten in 2019 (in 1000€ per jaar), in het referentiebeeld 2030 en van strategieën in 2030 in buurt X. Tevens zijn de extra nationale variabele kosten ten opzicht van het referentiebeeld in 2030 vermeld (in 1000€ per jaar).

Code	Indicator	2019	2030 ref.[1]	2030 S1	2030 S2	2030 S3	2030 S4[2]	2030 S5[2]
Levering energiedragers								
K11	Warmte							
K12	Gas							
K13	Elektriciteit							
Onderhoud en Bediening (O&B)								
K14	O&B gebouwen							
K15	O&B warmtenetten							
K16	O&B E- en G-netten[3]							
Totaal								
K17	**Total variabele kosten**							
Totaal extra t.o.v. ref. 2030								
K18	**Total extra var. kosten**							

[1] De waarden in deze kolom zijn de referentie voor die in de andere kolommen. Daarom is het totaal extra variabele kosten gelijk aan nul in deze tabel en in figuur 2.1. In de referentie 2030 is gerekend met de kosten van aardgas en klimaatneutrale elektriciteit. Zie het gemeenterapport voor toelichting.
[2] De beschikbaarheid van groengas of waterstof in 2030 en 2050 is onzeker. In de berekeningen voor deze tabel is geen rekening gehouden met een beperkte beschikbaarheid.
[3] E-net is de afkorting van Elektriciteitsnetwerk en G-net is de afkorting van Gasnetwerk.

Figuur 2.2: Extra variabele kosten in buurt X (in 1000 euro per jaar)[1].



4.2.4.4 Kosten levering energiedragers

In de berekening van nationale kosten gaat het bij deze kostenpost om de kosten van de inkoop van energie die de warmtesystemen in gaat. Het gaat dus *niet* om de kosten die een eindgebruiker moet betalen en waarin meestal al transport- en distributiekosten zijn verwerkt.

Code K11: inkoop warmte

Deze kostenpost betreft de (nationale) kosten van inkoop van warmte, berekend als het product van de kosten per eenheid en het volume. Voor elk brontype zijn de kosten per gigajoule in de berekeningen voor elke buurt gelijk. Subsidies voor de productie van warmte blijven buiten beschouwing in een berekening van nationale kosten, evenals energiebelastingen, heffingen en btw. In de praktijk kunnen de prijzen van warmte tussen buurten verschillen, afhankelijk van productieomstandigheden en tariefafspraken tussen warmteproducent en afnemers. Voor lokale analyses kan het zinvol zijn deze prijzen nader te onderbouwen en zo nodig aan te passen. Op

hoofdlijnen geldt dat pure restwarmte (die anders wellicht geloosd zou moeten worden) vanuit een nationaal kostenperspectief nagenoeg gratis is. Andere bronnen, vooral in de energiesector, vereisen extra brandstofconsumptie in installaties om de nodige warmte te produceren. Daarmee zijn de brandstofkosten de belangrijkste component van de inkoopkosten van warmte uit deze bronnen. We veronderstellen dat de warmtekosten in de komende jaren zullen stijgen doordat warmteproducenten overstappen op duurzamere brandstoffen, conform afspraken in het Klimaatakkoord, ook voor bronnen van bestaande warmtenetten.

Bij de berekening van de benodigde hoeveelheid warmte houden we rekening met warmteverlies tijdens het transport tussen bron en gebruiker. Door toepassing van isolatiemaatregelen zal de warmtebehoefte van gebouwen in de strategieën lager zijn dan in de referentiesituaties in 2019 en 2030. Dat resulteert voor bestaande warmtenetten in besparingen op de kosten van energiedragers ten opzichte van 2019.

Een deel van de warmtebehoefte van eindgebruikers zal met hulpketels worden geproduceerd. De energiekosten voor hulpketels, die nu vaak nog met aardgas worden gestookt, berekenen we in de veronderstelling dat ze in de toekomst groengas gebruiken. In de praktijk kunnen hulpketels een scala aan verschillende brandstoffen gebruiken. Bij de brandstofkeuze voor hulpketels (voor nieuwe en bestaande warmtenetten) is het aan te raden om aandacht te besteden aan milieu-impact, toekomstige leveringszekerheid en te verwachten kostenontwikkeling.

Code K12: inkoop gas

De kosten van de inkoop van gas zijn per gigajoule (en kubieke meter) in alle buurten gelijk, maar verschillen naar soort (duurzaam) gas. De kosten in de nationale kostenberekening zijn exclusief belastingen, heffingen en subsidies. De kosten van gas in het startjaar 2019 verschillen van die in 2030 (zie het achtergrondrapport).

De kosten van groengas bestaan uit productiekosten, inclusief kosten van de CO_2-afvang en -opslag (CCS) bij productie-installaties.

De verbruikte hoeveelheid gas zal in alle strategieën lager zijn dan in 2019 en in de 2030-referentie omdat in elke strategie isolatiemaatregelen worden toegepast. Dat zorgt de facto voor besparingen op de totale kosten van inkoop van energiedragers.

Omdat hulpketels van middentemperatuurwarmtenetten verondersteld zijn groengas te gebruiken, zal de kostenraming van S2 (warmtenet met midden- en hogetemperatuurbronnen) kosten voor gasinkoop bevatten. Alle andere strategieën kunnen eveneens een bedrag voor de inkoop van gas bevatten als er in de buurt een (gedeeltelijk) bestaand warmtenet aanwezig is.

Code K13: inkoop elektriciteit

Elke strategie heeft elektriciteit nodig, maar de strategie met elektrische warmtepompen (S1) zal de hoogste kosten voor elektriciteit laten zien. Middentemperatuurwarmtenetten hebben elektriciteit nodig voor de pompen die warm water transporteren. Omdat lagetemperatuurwarmte-netten worden uitgevoerd in combinatie met warmtepompen, zal de kostenraming van een warmtenet met lagetemperatuurbronnen (S3) ook kosten voor stroominkoop bevatten. Daarnaast kan de strategie S3 ook worden uitgevoerd met een deel van de buurt uitgerust met individuele warmtepompen (S1).

Componenten van elektriciteitsinkoop zijn:

- apparatuur en verlichting in gebouwen;

- elektrische (en hybride) warmtepompen;
- distributiepompen in warmtenetten;
- elektriciteit voor bronnen als WKO's, TEO-installaties en geothermiebronnen;
- collectieve of individuele warmtepompen in LT-gevoede warmtenetten;
- koudeproductie bij utiliteitsbedrijven;
- pompenergie voor HR-ketels en warmtepompen in gebouwen.

De gehanteerde kosten van elektriciteit zijn opgenomen in het achtergrondrapport.

4.2.4.5 Kosten van onderhoud en bediening (O&B)

Code K14: O&B gebouwen

De O&B-kosten in gebouwen zijn afhankelijk van het type apparaat dat in gebouwen wordt gebruikt voor de warmtevoorziening.

Code K15: O&B warmtenetten

De gehanteerde O&B-kosten voor onderhoud, bediening en administratie van warmtenetten zijn afgeleid van gegevens van warmtebedrijven en ingenieursbureaus en berekend als een percentage van de initiële investeringskosten. Verschillende onderdelen van een warmtenet hebben andere percentages voor O&B, afhankelijk van hoe onderhoudsintensief ze zijn.

Code K16: O&B elektriciteits- en gasnetten

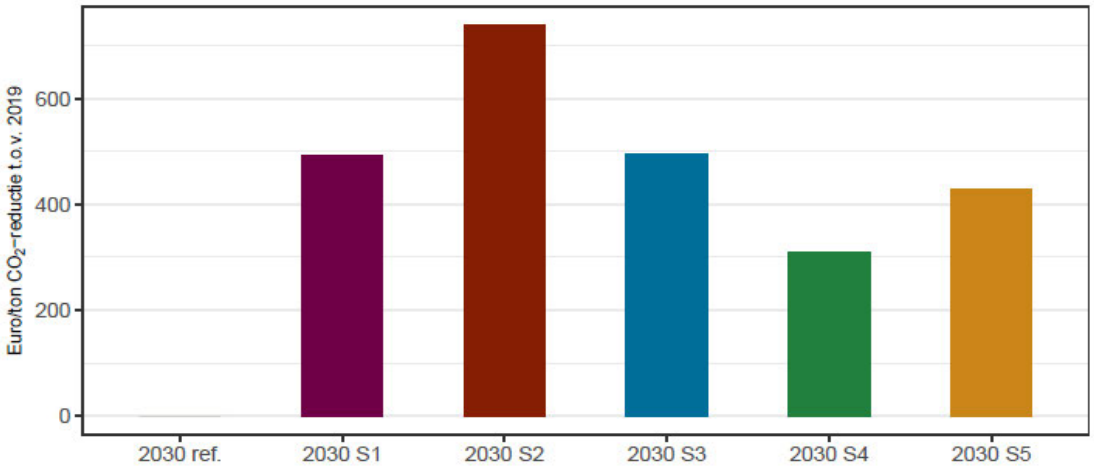
De O&B-kosten van elektriciteits- en gasnetten zijn berekend als een vast bedrag per strekkende meter. Dit bedrag leiden we af uit de totale kosten die netbeheerders volgens jaarverslagen jaarlijks maken aan onderhoud en naar rato van het aantal aansluitingen toegerekend aan individuele buurten. Het daaruit volgende bedrag is slechts een ruwe indicatie, omdat deze netwerken niet jaarlijks een vast bedrag aan onderhoud vereisen maar eerder eens in de zoveel jaar een grote investering. Het is aan te raden met de lokale netbeheerder te overleggen om deze kostenpost te controleren en eventueel bij te stellen. De O&B-kosten van gasnetten worden alleen in rekening gebracht voor gebouwen die gas blijven gebruiken; dit levert dus een besparing op als het gasnet wordt verwijderd.

Code K17: Totale variabele kosten

Het totaal aan variabele kosten per jaar is de som van K11 t/m K16. Ter vergelijking is het aan te raden deze kosten te bekijken ten opzichte van de referentiebeelden. Hiervoor is K18 te gebruiken (paragraaf 4.2.3).

Code K18: zie paragraaf 4.2.3. Deze kosten staan eveneens weergegeven in figuur 2.2.

Figuur 2.3: Extra nationale kosten t.o.v. het referentiebeeld 2030 (in euro per ton CO_2-reductie)[2].



Figuur 2.3 toont de berekende extra nationale kosten per ton CO2-reductie (H17) zoals weergegeven in tabel 2.1 (paragraaf 4.2.3).

4.2.5 Gevoeligheidsanalyse van nationale kosten

De hoogte van de kosten in 2030 wordt door tal van factoren beïnvloed. Het is niet exact te voorspellen hoe die factoren zich in de komende jaren zullen ontwikkelen; het is wel mogelijk aan te geven binnen welke bandbreedte die ontwikkelingen zich vermoedelijk gaan voordoen. Die bandbreedte is bepaald voor twee factoren die naar verwachting de grootste invloed hebben op de hoogte van de nationale kosten van strategieën: 1) de kostenreductie tot 2030 door leerprocessen, schaalvoordelen en ontwikkeling van technologieën, en 2) de ontwikkeling van energiekosten voor elektriciteit, groengas en waterstof.

De getalswaarden voor de bandbreedte van deze factoren zijn vermeld in het achtergrondrapport bij deze Startanalyse. Het effect van elke factor op de hoogte van de nationale kosten per ton CO_2-reductie is berekend bij de middenwaarde van de *andere* factor. Een voorbeeld: het effect van lage kostenreductie (factor 1) is berekend bij de middenwaarde van energiekosten (factor 2).

Dat betekent dat we geen rekening hebben gehouden met de combinatie van variaties (of onzekerheid) in genoemde factoren. We hebben dus niet gekeken naar het gecombineerde effect van bijvoorbeeld veel kostenreductie bij de investeringen en lage kosten voor energiedragers. In enkele gevallen leidt een gevoeligheidsberekening tot onrealistische uitkomsten; dan noteren we ‘NA’ in tabel 2.4.

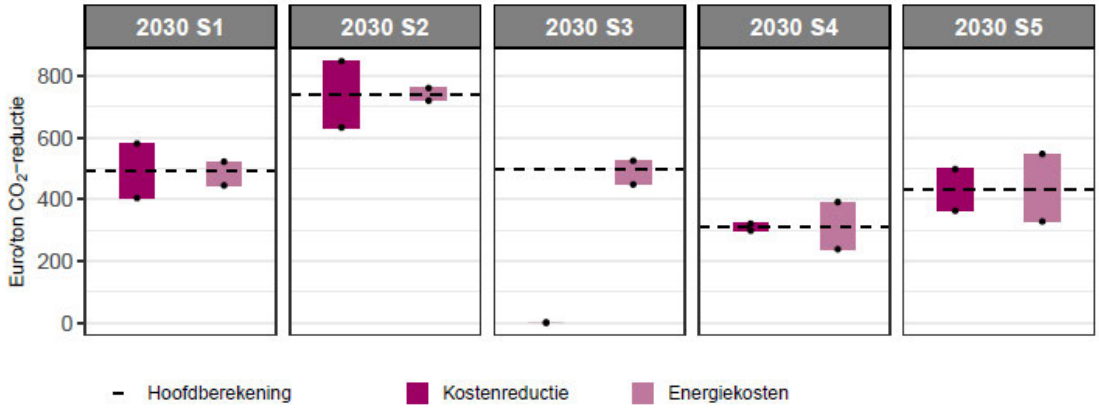
Om de interpretatie van de cijfers in tabel 2.4 te vergemakkelijken, hebben we dezelfde gegevens ook weergegeven in figuur 2.4. De lengte van de balkjes is een indicatie voor de invloed van de onzekerheid over een bepaalde factor op de hoogte van de nationale kosten van een strategie. Bij lange balkjes is de hoogte van de nationale kosten erg gevoelig voor variatie in de betreffende factor.

Tabel 2.4: Gevoeligheidsanalyse van de extra nationale kosten (NK) in buurt X in 2030 t.o.v. het referentiebeeld 2030 (in euro per ton CO_2-reductie)

Code	Indicator	2030 S1	2030 S2	2030 S3	2030 S4[1]	2030 S5[1]
H17	**Extra NK per ton CO2-reductie[2]**					
G01	- bij veel kostenreductie					
G02	- bij weinig kostenreductie					
G03	- bij lagere energiekosten					
G04	- bij hogere energiekosten					

[1] De beschikbaarheid van groengas of waterstof in 2030 en 2050 is onzeker. In de berekeningen voor deze tabel is geen rekening gehouden met een beperkte beschikbaarheid.
[2] Hoofdberekening

Figuur 2.4: Gevoeligheidsanalyse van de extra nationale kosten van strategieën in buurt X in 2030 t.o.v. het referentiebeeld 2030 (in euro per ton CO_2-reductie)



Code H17: zie paragraaf 4.2.3.

In figuur 2.4 zijn de balkjes gegroepeerd per strategie, zodat een beeld kan ontstaan van de invloed van onzekerheid op de verschillen tussen de nationale kosten van de strategieën. Liggen de balkjes van de tweede strategie bijvoorbeeld alle hoger dan die van de eerste strategie, dan betekent dit dat onzekerheid over de invloed van factoren geen of weinig invloed heeft op het verschil in nationale kosten tussen die strategieën. Dat houdt in dat strategie 1 onder veel omstandigheden goedkoper zal zijn dan strategie 2.

Code G01 & G02: effecten van veel of weinig kostenreductie

Deze indicatoren tonen het effect op de extra nationale kosten (H17) van een hogere (G01) of lagere (G02) kostenreductie. Zie het achtergrondrapport voor de details.

Code G03 & G04: effecten van lagere of hogere energiekosten

In deze gevoeligheidsanalyse is alleen gekeken naar veranderingen in de kosten van elektriciteit, groengas en waterstof. De gehanteerde bandbreedtes voor de kosten van deze energiedragers worden toegelicht in het Achtergrondrapport. Onzekerheid over de kosten van aardgas zijn hier niet relevant, omdat aardgas per definitie in geen enkele strategie wordt gebruikt.

De kosten van restwarmte zijn constant gehouden. Dit betekent dat de effecten bij S2 alleen betrekking hebben op veranderingen in de kosten van klimaatneutrale elektriciteit en de kosten van duurzaam gas (dat gebruikt wordt in de piekketels). Beide kostenposten hebben een klein aandeel in de totale energiekosten van die strategie.

Deze gevoeligheidsanalyse toont dus vooral het effect van veranderingen in de productiekosten van groengas, waterstof en klimaatneutrale elektriciteit. In deze benadering leiden lagere energiekosten dus tot lagere nationale kosten per ton CO_2-reductie.

Om misverstanden te voorkomen wijzen we erop dat we hier gekeken hebben naar productiekosten van energiedragers en niet naar energieprijzen. Energieprijzen zijn een weerslag van de spanning tussen vraag en aanbod. Hoge energieprijzen worden niet altijd veroorzaakt door hoge productiekosten maar kunnen ook een teken zijn van een grote vraag bij een klein aanbod. Hoge energieprijzen zijn een signaal voor producenten om de productie uit te breiden en voor consumenten om de vraag te beperken. Dit type dynamische effecten zijn niet meegenomen in deze gevoeligheidsanalyse. Hier kijken we uitsluitend naar het directe effect van veranderingen in de productiekosten van energiedragers op de hoogte van de nationale kosten van een strategie bij vooraf gedefinieerde isolatieniveaus per strategievariant. Wel houden we rekening met een aanpassing van de kosten als gevolg van een ander afleverpunt. De kosten voor het afleveren van een product aan kleinverbruikers is hoger, dan aan grootverbruikers.

4.3 Waarde van toepassing van duurzaam gas

De waarde van duurzaam gas (groengas of waterstof) kan worden gebruikt bij het beantwoorden van de vraag of inzet van duurzaam gas in deze buurt efficiënt is vanuit het streven naar minimalisering van nationale kosten.

Voor groengas is verondersteld dat op termijn maximaal 2,0 bcm beschikbaar is voor de gebouwde omgeving. Hiervan wordt 0,5 bcm gereserveerd voor gebruik in piekketels van warmtenetten, zodat op termijn maximaal 1,5 bcm beschikbaar is voor de verwarming van individuele gebouwen. In hoofdstuk 3 van de buurttabellen (zonder tabellen) wordt de waarde van groengas in de betreffende buurt vergeleken met de zogenaamde ‘oriëntatiewaarde’ van groengas die voor alle buurten gelijk is. Als de waarde van groengas in de buurt hoger is dan de oriëntatiewaarde, dan is het nationaal-economisch efficiënt om in die buurt een deel van de 1,5 bcm groengas toe te passen. In paragraaf 5.5.2 leggen we verder uit wat binnen deze Startanalyse onder de waarde van groengas wordt verstaan en lichten we toe hoe is bepaald of de inzet van groengas in een buurt efficiënt is.

Voor waterstof is een soortgelijke analyse gemaakt. Het verschil met groengas is, dat voor waterstof geen schatting beschikbaar is van de te verwachten hoeveelheid die op termijn beschikbaar kan komen voor verwarming van gebouwen. Dat kan variëren tussen weinig en heel veel. Hierdoor kan geen oriëntatiewaarde voor waterstof worden vastgesteld. Wel kan de waarde van waterstof in een buurt worden berekend. Die waarde wordt in hoofdstuk 3 van de buurttabellen gerapporteerd. In paragraaf 5.5.3 staat meer informatie over de waarde van waterstof en hoe die gebruikt kan worden bij het rangschikken van buurten waar toepassing van waterstof meer of minder efficiënt is vanuit nationaal-economisch perspectief.

4.4 Extra nationale kosten van varianten

De extra nationale kosten ten opzichte van het referentiebeeld in 2030 zijn in tabel 2.1 (paragraaf 4.2.3) gegeven voor de variant met de laagste nationale kosten binnen elke strategie. Daar is voor elke strategie dus maar één variant getoond. Dat is gedaan om de vergelijking tussen strategieën te vergemakkelijken.

In deze paragraaf tonen we de kosten van alle varianten. Bij het maken van keuzes tussen varianten is het belangrijk inzicht te krijgen in de verschillen tussen de nationale kosten van de

varianten binnen een strategie. Zo kan het bijvoorbeeld zijn dat sommige varianten maar zeer beperkt verschillen in de extra nationale kosten, wat aanleiding kan zijn om deze varianten gezamenlijk nader te bestuderen.

Gelijkerwijs kan het nuttig zijn andere indicatoren van de nationale kosten (K10, K18, H17, H18) van varianten binnen een strategie nader te bekijken. Ook de opbouw van de extra jaarlijkse kapitaalslasten en variabele kosten voor varianten geven inzicht in wat de meest kansrijke varianten zijn binnen een warmtestrategie.

4.4.1 Varianten van strategie 1 en 2

Voor de varianten binnen de strategieën 1 en 2 zijn aparte tabellen gemaakt. Noot 1 bij elke tabel geeft uitleg over het isolatieniveau per variant. Het betreft:

- Tabel 4.1.1 toont de extra nationale kosten voor de verschillende varianten binnen strategie 1 en 2. Voor de uitleg over de codes, zie paragraaf 4.2.3.
- Tabel 4.1.2 geeft de opbouw en onderdelen van de extra nationale kapitaalslasten voor de verschillende varianten binnen strategie 1 en 2. Voor uitleg over de codes, zie paragraaf 4.2.4
- Tabel 4.1.3 toont de opbouw en onderdelen van extra nationale variabele kosten voor de verschillende varianten binnen strategie 1 en 2. Voor de uitleg over de codes, zie paragraaf 4.2.3.

Tabel 4.1.1: De extra nationale kosten voor varianten van strategieën met warmtepomp (S1) en warmtenet van MT-warmtebronnen (S2) in 2030 t.o.v. het referentiebeeld 2030 in buurt X.

Code	Indicator	S1a	S1b	S2a	S2b	S2c	S2d	S2e	S2f
H16	**Extra NK (1000€/jaar)**								
K10	w.v. kapitaalslasten (1000€/jaar)								
K18	w.v. variabele kosten (1000€/jaar)								
H17	**- per ton CO2-reductie (€/ton CO2)**								
H18	**- per woningequivalent (€/weq/jaar)**								

[1] In de varianten S2a, S2b en S2c worden woningen geïsoleerd tot schillabel B. In de varianten S2d, S2e en S2f is dat schillabel D. De utiliteitsgebouwen worden in alle varianten geïsoleerd tot schillabel B.

Tabel 4.1.2: Opbouw van de extra nationale jaarlijkse kapitaalslasten van investeringen voor varianten van strategieën met warmtepomp (S1) en warmtenet van MT-warmtebronnen (S2) in 2030 ten opzichte van het referentiebeeld 2030 (in 1000€ per jaar) in buurt X.

Code	Indicator	S1a	S1b	S2a	S2b	S2c	S2d	S2e	S2f
Extra kapitaalslasten E- en G-netten[2]									
K01	E-net verzwaren[2]								
K02	G-net verwijderen[2]								
K03	G-net aanpassen[2]								
Extra kapitaalslasten warmtenetten									
K04	Warmtedistributie buurt								
K05	Warmtedistributie pand								
K06	Warmtetransport								
K07	Warmtebronnen								
Extra kapitaalslasten gebouwen									
K08	Schilmaatregelen								
K09	Installaties								
Totaal									
K10	**Totaal extra kapitaalslasten**								

[1] In de varianten S2a, S2b en S2c worden woningen geïsoleerd tot schillabel B. In de varianten S2d, S2e en S2f is dat schillabel D. De utiliteitsgebouwen worden in alle varianten geïsoleerd tot schillabel B.

[2] E-net is de afkorting van Elektriciteitsnetwerk en G-net is de afkorting van Gasnetwerk.

Tabel 4.1.3: Opbouw van de nationale variabele kosten voor varianten van strategieën met warmtepomp (S1) en warmtenet van MT-warmtebronnen (S2) in 2030 in buurt X. Tevens zijn de extra nationale variabele kosten ten opzichte van het referentiebeeld in 2030 vermeld (in 1000€ per jaar).

Code	Indicator	S1a	S1b	S2a	S2b	S2c	S2d	S2e	S2f
Levering energiedragers									
K11	Warmte								
K12	Gas								
K13	Elektriciteit								
Onderhoud en Bediening (O&B)									
K14	O&B gebouwen								
K15	O&B warmtenetten								
K16	O&B E- en G-netten[2]								
Totaal									
K17	**Total variabele kosten**								
Totaal extra t.o.v. ref. 2030									
K18	**Total extra var. kosten**								

[1] In de varianten S2a, S2b en S2c worden woningen geïsoleerd tot schillabel B. In de varianten S2d, S2e en S2f is dat schillabel D. De utiliteitsgebouwen worden in alle varianten geïsoleerd tot schillabel B.
[2] E-net is de afkorting van Elektriciteitsnetwerk en G-net is de afkorting van Gasnetwerk.

4.4.2 Varianten van strategie 3

Voor de varianten binnen de strategie 3 zijn aparte tabellen gemaakt. Noot 1 bij elke tabel geeft uitleg over het isolatieniveau per variant. Het betreft:

- Tabel 4.2.1 toont de extra nationale kosten voor de verschillende varianten binnen strategie 3. Voor de uitleg over de codes, zie paragraaf 4.2.3.
- Tabel 4.2.2 geeft de opbouw en onderdelen van de extra nationale kapitaalslasten voor de verschillende varianten binnen strategie 3. Voor uitleg over de codes, zie paragraaf 4.2.4
- Tabel 4.2.3 toont de opbouw en onderdelen van extra nationale variabele kosten voor de verschillende varianten binnen strategie 3. Voor de uitleg over de codes, zie paragraaf 4.2.3.

Tabel 4.2.1: De extra nationale kosten voor varianten van strategieën met warmtenet van LT-warmtebronnen (S3) in 2030 t.o.v. het referentiebeeld 2030 (in 1000€ per jaar) in buurt X.

Code	Indicator	S3a	S3b	S3c	S3d	S3e	S3f	S3g	S3h
H16	**Extra NK (1000€/jaar)**								
K10	w.v. kapitaalslasten (1000€/jaar)								
K18	w.v. variabele kosten (1000€/jaar)								
H17	**- per ton CO2-reductie (€/ton CO2)**								
H18	**- per woningequivalent (€/weq/jaar)**								

[1] In de varianten S3a t/m S3e worden woningen geïsoleerd tot schillabel B. In de varianten S3f, S3g en S3h is dat schillabel D. De utiliteitsgebouwen worden in alle varianten geïsoleerd tot schillabel B.

Tabel 4.2.2: Opbouw van de extra nationale jaarlijkse kapitaalslasten van investeringen voor varianten van strategieën met warmtenet van LT- warmtebronnen (S3) in 2030 ten opzichte van het referentiebeeld 2030 (in 1000€ per jaar) in buurt X.

Code	Indicator	S3a	S3b	S3c	S3d	S3e	S3f	S3g	S3h
Extra kapitaalslasten E- en G-netten[2]									
K01	E-net verzwaren[2]								
K02	G-net verwijderen[2]								
K03	G-net aanpassen[2]								
Extra kapitaalslasten warmtenetten									
K04	Warmtedistributie buurt								
K05	Warmtedistributie pand								
K06	Warmtetransport								
K07	Warmtebronnen								
Extra kapitaalslasten gebouwen									
K08	Schilmaatregelen								
K09	Installaties								
Totaal									
K10	**Totaal extra kapitaalslasten**								

[1] In de varianten S3a t/m S3e worden woningen geïsoleerd tot schillabel B. In de varianten S3f, S3g en S3h is dat schillabel D. De utiliteitsgebouwen worden in alle varianten geïsoleerd tot schillabel B.
[2] E-net is de afkorting van Elektriciteitsnetwerk en G-net is de afkorting van Gasnetwerk.

Tabel 4.2.3: Opbouw van de nationale variabele kosten voor varianten van strategieën met LT-warmtebronnen (S3) in buurt X in 2030. Tevens zijn de extra nationale variabele kosten ten opzichte van het referentiebeeld in 2030 vermeld (in 1000€ per jaar).

Code	Indicator	S3a	S3b	S3c	S3d	S3e	S3f	S3g	S3h
Levering energiedragers									
K11	Warmte								
K12	Gas								
K13	Elektriciteit								
Onderhoud en Bediening (O&B)									
K14	O&B gebouwen								
K15	O&B warmtenetten								
K16	O&B E- en G-netten[2]								
Totaal									
K17	**Total variabele kosten**								
Totaal extra t.o.v. ref. 2030									
K18	**Total extra var. kosten**								

[1] In de varianten S3a t/m S3e worden woningen geïsoleerd tot schillabel B. In de varianten S3f, S3g en S3h is dat schillabel D. De utiliteitsgebouwen worden in alle varianten geïsoleerd tot schillabel B.
[2] E-net is de afkorting van Elektriciteitsnetwerk en G-net is de afkorting van Gasnetwerk.

4.4.3 Varianten van strategie 4 en 5

Voor de varianten binnen de strategieën 4 en 5 zijn aparte tabellen gemaakt. Noot 1 bij elke tabel geeft uitleg over het isolatieniveau per variant. Het betreft:

- Tabel 4.3.1 toont de extra nationale kosten voor de verschillende varianten binnen strategie 4 en 5. Voor de uitleg over de codes, zie paragraaf 4.2.3.
- Tabel 4.3.2 geeft de opbouw en onderdelen van de extra nationale kapitaalslasten voor de verschillende variantenbinnen strategie 4 en 5. Voor uitleg over de codes, zie paragraaf 4.2.4
- Tabel 4.3.3 toont de opbouw en onderdelen van extra nationale variabele kosten voor de verschillende varianten binnen strategie 4 en 5. Voor de uitleg over de codes, zie paragraaf 4.2.3.

Tabel 4.3.1: De extra nationale kosten voor varianten van strategieën met groengas (S4) en waterstof (S5) in 2030 t.o.v. het referentiebeeld 2030 (in 1000€ per jaar) in buurt X.

Code	Indicator	S4a	S4b	S4c	S4d	S5a	S5b	S5c	S5d
H16	**Extra NK (1000€/jaar)**								
K10	w.v. kapitaalslasten (1000€/jaar)								
K18	w.v. variabele kosten (1000€/jaar)								
H17	**- per ton CO2-reductie (€/ton CO2)**								
H18	**- per woningequivalent (€/weq/jaar)**								

[1] In de varianten S4a, S4b, S5a en S5b worden woningen geïsoleerd tot schillabel B. In de varianten S4c, S4d, S5c en S5d is dat schillabel D. De utiliteitsgebouwen worden in alle varianten geïsoleerd tot schillabel B.

Tabel 4.3.2: Opbouw van de extra nationale jaarlijkse kapitaalslasten van investeringen voor varianten van strategieën met groengas (S4) en waterstof (S5) in 2030 ten opzichte van het referentiebeeld 2030 (in 1000€ per jaar) in buurt X.

Code	Indicator	S4a	S4b	S4c	S4d	S5a	S5b	S5c	S5d
Extra kapitaalslasten E- en G-netten[2]									
K01	E-net verzwaren[2]								
K02	G-net verwijderen[2]								
K03	G-net aanpassen[2]								
Extra kapitaalslasten warmtenetten									
K04	Warmtedistributie buurt								
K05	Warmtedistributie pand								
K06	Warmtetransport								
K07	Warmtebronnen								
Extra kapitaalslasten gebouwen									
K08	Schilmaatregelen								
K09	Installaties								
Totaal									
K10	**Totaal extra kapitaalslasten**								

[1] In de varianten S4a, S4b, S5a en S5b worden woningen geïsoleerd tot schillabel B. In de varianten S4c, S4d, S5c en S5d is dat schillabel D. De utiliteitsgebouwen worden in alle varianten geïsoleerd tot schillabel B.

[2] E-net is de afkorting van Elektriciteitsnetwerk en G-net is de afkorting van Gasnetwerk.

Tabel 4.3.3: Opbouw van de nationale variabele kosten voor varianten van strategieën met groengas (S4) en waterstof (S5) in 2030 in buurt X. Tevens zijn de extra nationale variabele kosten ten opzichte van het referentiebeeld in 2030 vermeld (in 1000€ per jaar).

Code	Indicator	S4a	S4b	S4c	S4d	S5a	S5b	S5c	S5d
Levering energiedragers									
K11	Warmte								
K12	Gas								
K13	Elektriciteit								
Onderhoud en Bediening (O&B)									
K14	O&B gebouwen								
K15	O&B warmtenetten								
K16	O&B E- en G-netten[2]								
Totaal									
K17	**Total variabele kosten**								
Totaal extra t.o.v. ref. 2030									
K18	**Total extra var. kosten**								

[1] In de varianten S4a, S4b, S5a en S5b worden woningen geïsoleerd tot schillabel B. In de varianten S4c, S4d, S5c en S5d is dat schillabel D. De utiliteitsgebouwen worden in alle varianten geïsoleerd tot schillabel B.

[2] E-net is de afkorting van Elektriciteitsnetwerk en G-net is de afkorting van Gasnetwerk.

4.5 Energieverbruik, -levering en aantal aansluitingen van strategieën

Deze paragraaf is bedoeld om de energiehuishouding in de vijf strategieën onderling gemakkelijk te kunnen vergelijken. Daarom wordt per strategie alleen de variant getoond met de laagste nationale kosten binnen die strategie. In paragraaf 4.6 worden de data voor alle varianten getoond, ten behoeve van een vergelijking van de energiehuishouding in alle varianten binnen elke strategie.

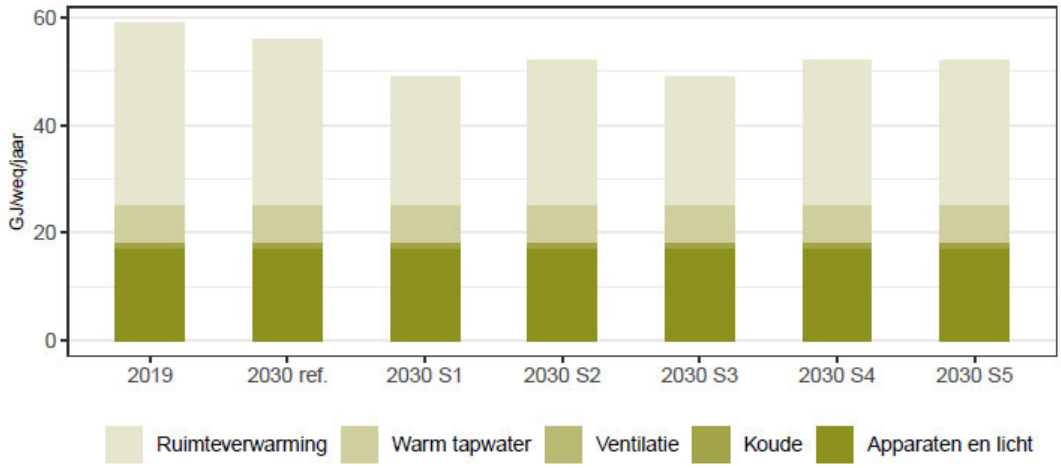
4.5.1 Energieverbruik per toepassing

Tabel 5.1: Energieverbruik per toepassing van strategieën in buurt X.

Code	Indicator	Eenheid	2019	2030 ref.	2030 S1	2030 S2	2030 S3	2030 S4[1]	2030 S5[1]
H01	Energieverbruik	GJ/weq/jaar							
H02	- wv. ruimteverwarming	GJ/weq/jaar							
H03	- wv. warm tapwater	GJ/weq/jaar							
H04	- wv. ventilatie	GJ/weq/jaar							
H05	- wv. koude	GJ/weq/jaar							
H06	- wv. apparaten en licht	GJ/weq/jaar							
H07	Warmteverbruik	GJ/ha							

[1] Strategieën S4 en S5 gebruiken veel groengas respectievelijk waterstof. De beschikbaarheid van groengas of waterstof in 2030 en 2050 is onzeker. Hier is in de berekening voor deze tabel geen rekening mee gehouden.

Figuur 5.1: Energieverbruik per strategie en type toepassing, gemiddeld per woningequivalent (in GJ per weq) in buurt X.



Code H01: energieverbruik

Code H01 geeft aan hoe groot het energieverbruik per woningequivalent is. Het betreft hier het totale energieverbruik in de woning, dus *niet* alleen het deel dat nodig is voor energie in de vorm van warmte. H01 omvat dus bijvoorbeeld ook de energie in de vorm van elektriciteit nodig voor apparaten en licht.

Codes H02 – H06 zijn onderdelen van H01; de som van H02 - H06 is altijd gelijk aan H01, zoals ook weergegeven in figuur 5.1. H01 is exclusief de omgevingswarmte die in de gebouwen wordt benut (zie H08 en H14). Tenslotte zijn H01 (energieverbruik) en H08 (energielevering) altijd gelijk aan elkaar,

Door toepassing van isolatiemaatregelen zal de warmtebehoefte van gebouwen in de strategieën lager zijn dan in de referentiesituaties in 2019 en 2030. Dat resulteert ook voor bestaande warmtenetten in besparingen op de kosten van energiedragers ten opzichte van 2019. Daarnaast geldt dat de totale energievraag tussen strategieën kan verschillen, zelfs bij eenzelfde isolatiegraad van de gebouwen. Dat komt doordat de ene strategie minder 'bemeterde energie' nodig heeft om de benodigde warmte te produceren dan de andere. Dat geldt bijvoorbeeld voor strategieën met warmtepompen, die omgevingswarmte benutten die niet wordt bemeterd en dus geen onderdeel is van de totale energievraag zoals hier berekend.

De berekening van het energieverbruik per woning is afgestemd op het woningtype, het bouwjaar, het bruto vloeroppervlak, de gebruikte warmtetechniek, ligging in het land (gemiddelde buitentemperatuur) en het energielabel. Daarbij is een gemiddeld energieverbruik verondersteld waarbij geen rekening is gehouden met leegstand en uitzonderlijke woonvormen. De uitkomsten zijn dus niet afhankelijk van het stookgedrag dat per woning en buurt kan variëren. Daarbij komt ook dat wordt uitgegaan van een jaar met een gemiddeld verloop van de buitentemperatuur over de seizoenen. Wel wordt rekening gehouden met een hogere gemiddelde buitentemperatuur als gevolg van klimaatverandering.

Code H02: energieverbruik voor ruimteverwarming

Code H02 geeft aan hoeveel van het energieverbruik (H01) wordt besteed aan ruimteverwarming. Hierin is bijvoorbeeld ook de elektriciteit voor warmtepompen opgenomen.

Code H03: energieverbruik voor warm tapwater

Code H03 geeft aan hoeveel van het energieverbruik (H01) wordt gebruikt in de vorm van warm tapwater.

Code H04: energieverbruik voor ventilatie

Code H04 geeft aan hoeveel van het energieverbruik in de vorm van elektriciteit (H01) nodig is voor ventilatoren, welke ervoor zorgen dat de luchtkwaliteit in het gebouw voldoende van kwaliteit is. Alleen bij gebouwen met label B is hiervan sprake; bij gebouwen met schillabel D is er meer natuurlijke ventilatie.

Code H05: energieverbruik voor koude

Het energieverbruik voor koeling (koude-levering) wordt, net als het energieverbruik voor warmte, uitgedrukt in gigajoule per woningequivalent. De koudevraag neemt in de komende jaren toe, omdat de gemiddelde buitentemperatuur stijgt door klimaatverandering.

In woningen worden geen maatregelen verondersteld om aan die vraag te voldoen, omdat niet duidelijk is welke maatregelen daarvoor zullen worden gekozen. Omdat in toekomstige berekeningen wel te kunnen, is aanvullend onderzoek nodig. Het gaat hier dus om een theoretische, functionele koudevraag, waar – in onze berekeningen – geen elektriciteitsvraag uit voortkomt. Kortom, er worden nog geen maatregelen genomen om tot koude-levering te komen. Uitzondering zijn varianten van S3 waar in de zomer koude wordt geleverd uit een WKO-systeem als onderdeel van het warmtenet.

In bepaalde typen bedrijfsgebouwen, zoals zorginstellingen, winkels en kantoren, worden wel maatregelen genomen om te koelen. Dat is onderdeel van het normale bedrijfsproces. De kosten van die maatregelen en het bijbehorende energieverbruik zijn opgenomen in de berekeningen.

Buurten met een substantiële koudevraag naast een warmtevraag zijn geschikt voor toepassing van WKO-systemen, mits de ondergrond daarvoor geschikt is. Gebouwen met een koudevraag kunnen efficiënt gebruikmaken van warmtepompen die in beperkte mate ook voor koeling kunnen worden ingezet. Dat stelt wel weer eisen aan het warmteafgiftesysteem in gebouwen: vloerverwarming is meer geschikt dan LT-radiatoren.

Code H06: energieverbruik voor apparaten en licht

Code H06 geeft hoeveel van het energieverbruik (H01) wordt gebruikt voor verlichting en apparaten. De elektriciteit nodig voor het gebruik van warmtepompen is hierin niet meegenomen (vergelijk H11).

Code H07: warmteverbruik

Het warmteverbruik per hectare is een maat voor de ruimtelijke dichtheid van de warmtevraag. Buurten met een hoge warmtevraag per hectare zijn bijvoorbeeld meer geschikt voor warmte-netten, omdat de kosten per aansluiting van de benodigde infrastructuur in dergelijke buurten relatief laag zijn.

4.5.2 Energielevering per energiedrager

Tabel 5.2: Energielevering per energiedrager in buurt X.

Code	Indicator	Eenheid	2019	2030 ref.	2030 S1	2030 S2	2030 S3	2030 S4°	2030 S5°
H08	Energielevering[1]	GJ/weq/jaar							
H09	- wv. aardgas	GJ/weq/jaar							
H10	- wv. duurzaam gas	GJ/weq/jaar							
H11	- wv. elektriciteit	GJ/weq/jaar							
H12	- wv. MT-warmtebron	GJ/weq/jaar							
H13	- wv. LT-warmtebron	GJ/weq/jaar							
H14	- wv. overig[2]	GJ/weq/jaar							
H15	CO2-uitstoot[3]	ton/jaar							

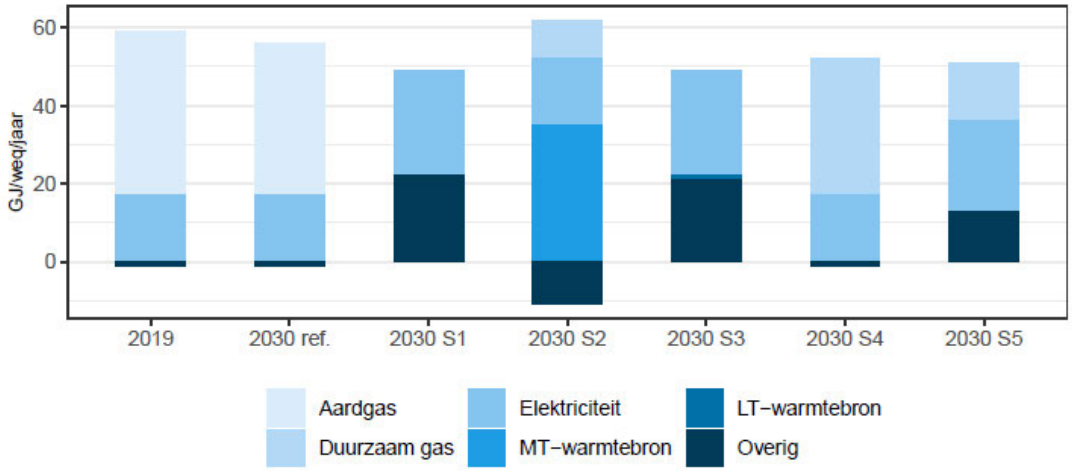
° Strategieën S4 en S5 gebruiken veel groengas respectievelijk waterstof. De beschikbaarheid van groengas of waterstof in 2030 en 2050 is onzeker. Hier is in de berekening voor deze tabel geen rekening mee gehouden.

[1] Het betreft de levering van energiedragers aan de buurt ten behoeve van de warmte- en elektriciteitsvoorziening van gebouwen inclusief warmtebronnen, hulpketel, pompen van geothermie en warmteverlies van warmtenetten ook als dit plaatsvindt buiten de buurt maar exclusief transport- en omzettingsverlies van de productie van elektriciteit en gas binnen- en buiten de buurt.

[2] Overig is het saldo van de benutting van omgevingswarmte die met name wordt gebruikt door een warmtepomp en het verlies van warmte aan de omgeving door warmteleidingen vooral bij warmtenetten en gasketels.

[3] Dit betreft de CO2-uitstoot van de levering van aardgas, elektriciteit en warmte ten behoeve van de warmtevoorziening van de gebouwde omgeving. De CO2-uitstoot van elektriciteit ten behoeve van apparaten en verlichting wordt niet meegeteld.

Figuur 5.2: Energielevering per strategie en type energiedrager, gemiddeld per woningequivalent (in GJ per weq) in buurt X.



H08: energielevering

Code H08 geeft aan hoeveel energie er gemiddeld per woningequivalent geleverd wordt. Het betreft de levering van verschillende vormen van energiedragers (H09 – H14) aan de buurt ten behoeve van de warmte- en elektriciteitsvoorziening van gebouwen. H08 is inclusief warmtebronnen, hulpketels, pompen van geothermie en warmteverlies van warmtenetten (ook als dit plaatsvindt buiten de buurt) maar exclusief transport- en omzettingsverlies van de productie van elektriciteit en gas binnen en buiten de buurt.

Codes H09 – H14 zijn onderdelen van H08; de som van H09 – H14 is altijd gelijk aan H08, zoals ook weergegeven in figuur 5.2.). Tenslotte zijn H01 (energieverbruik) en H08 (energielevering) altijd gelijk aan elkaar,

H09: energielevering via aardgas

Aardgas wordt alleen in 2019 en in het referentiebeeld 2030 verbruikt; in de strategieën waar gas gebruikt wordt, wordt aardgas immers volledig vervangen door duurzaam gas (H10).

H10: energielevering via duurzaam gas

Code H10 betreft het deel van de energielevering (H08) in de vorm van duurzaam gas. In strategieën S4 en S5 wordt hiervan gebruik gemaakt, evenals in strategie S2, waar duurzaam gas gebruikt wordt in de piekketels.

H11: energielevering via elektriciteit

Indicator H11 is de gemiddelde totale elektriciteitslevering in een buurt, uitgedrukt per woning-equivalent per jaar. Het betreft de elektriciteit voor *alle* toepassingen in een buurt, dus voor verwarming binnen gebouwen (bijvoorbeeld voor individuele warmtepompen), voor andere toepassingen in gebouwen (zoals verlichting en apparaten) en voor verwarmingsinstallaties in de buurt (zoals voor pompen in warmtenetten en collectieve warmtepompen).

Deze informatie is nuttig voor discussies over de noodzaak om het elektriciteitsnet in een buurt te verzwaren. Of verzwaren noodzakelijk is, is ook afhankelijk van de aanwezigheid van zonne-cellen en oplaadstations voor elektrische voertuigen. Het verwachte elektriciteitsverbruik voor het opladen van elektrische voertuigen is in de berekeningen echter niet meegenomen. Deze indicator geeft ook een ordegrootte voor de omvang van de opgave voor hernieuwbare

elektriciteitsproductie. H11 is altijd minstens net zo groot als H6. Het verschil tussen H6 en H11 komt door het verbruik in de warmtevoorziening, bijvoorbeeld door warmtepompen.

H12: energielevering via een MT-warmtebron

MT-warmte (012) geeft cijfers over de energielevering van gebouwen met een aansluiting op een MT-net. In sommige gevallen komt dat niet alleen voor bij strategie S2, maar ook bij andere strategieën als gebouwen nu al op een warmtenet zijn aangesloten.

H13: energielevering via een LT-warmtebron

Indicator H13 toont de warmtevraag van gebouwen die zijn aangesloten op een LT-net plus de warmte die gebouwen aan de WKO's hebben toegevoegd door koeling.

H14: energielevering – overig

Code H14 geeft het saldo van de benutting van omgevingswarmte, die met name wordt gebruikt door warmtepompen, en het verlies van warmte aan de omgeving door warmteleidingen, wat vooral gebeurt bij warmtenetten en gasketels. Door de benutting van de omgevingswarmte kan dit getal een negatieve waarde hebben.

H15: CO2-uitstoot

Code H15 betreft de CO_2-uitstoot van de levering van aardgas, elektriciteit en warmte ten behoeve van de warmtevoorziening van de gebouwde omgeving. De CO_2-uitstoot van elektriciteit ten behoeve van apparaten en verlichting wordt *in dit kader* niet meegeteld.

4.5.3 Aantal aansluitingen per strategie

In de berekeningen voor de Startanalyse heeft elke woning en elk bedrijfsgebouw één aansluiting voor gas en één voor elektriciteit. In de praktijk wordt hiervan nogal eens afgeweken, zodat het aantal gebouwen niet automatisch gelijk is aan het aantal aansluitingen dat in openbare statistieken wordt vermeld. Daarin komen ook gebouwen voor zonder energieaansluiting, evenals gebouwen met meer dan één aansluiting. Netbeheerders hebben eigen data over het aantal aansluitingen in een buurt, waarmee de gegevens eventueel aangescherpt kunnen worden. Tabel 5.3 geeft het aantal berekende aansluitingen per type energielevering in het startjaar 2019 en de verschillende strategieën. Het aantal aansluitingen in het referentiejaar 2030 is niet opgenomen in de tabel omdat dit hetzelfde als in het startjaar.

Tabel 5.3: Aantal aansluitingen per type energielevering in buurt X.

Code	Indicator	2019	2030 S1	2030 S2	2030 S3[1]	2030 S4[2]	2030 S5[2]
A01	Aantal aansluitingen aardgas						
A02	Aantal aansluitingen eWP						
A03	Aantal aansluitingen MT						
A04	Aantal aansluitingen LT						
A05	Aantal aansl. hWP met DG[3]						
A06	Aantal aansl. HR met DG[3]						

[1] Als in S3 de LT-bronnen ontoereikend zijn voor de hele buurt, worden de resterende gebouwen voorzien van elektrische warmtepompen. Dit geldt sowieso voor gebouwen waarvoor de kosten van elektrische warmtepompen lager zijn dan de aansluiting op het warmtenet.

[2] Strategieën S4 en S5 gebruiken veel groengas respectievelijk waterstof. De beschikbaarheid van groengas of waterstof in 2030 en 2050 is onzeker. Hier is in de berekening voor deze tabel geen rekening mee gehouden.

[3] DG = duurzaam gas

Code A01: aantal aansluitingen aardgas

Code A01 staat voor het aantal *aardgas*aansluitingen in de buurt. Deze indicator zal alleen een waarde groter dan nul hebben in de kolom 2019. In de kolommen van de strategieën zijn alle aardgas-aansluitingen vervangen door een aansluiting op een alternatieve, duurzame energiedrager. Dat zal in 2030 nog (lang) niet overal gerealiseerd zijn, maar wel in 2050. Er staat '2030'in de kolomtitels omdat we rekenen met het verwachten kostenniveau in 2030.

Code A02: aantal aansluitingen eWP

Code A02 geeft het aantal aansluitingen op een individuele elektrische warmtepomp.

Code A03: aantal aansluitingen MT

Code A03 betreft het aantal aansluitingen op een midden- en hogetemperatuurwarmtenet.

Code A04: aantal aansluitingen LT

Code A04 geeft het aantal aansluitingen op een lagetemperatuurwarmtenet. Indien de LT-bron ontoereikend is voor de hele buurt, worden de resterende gebouwen voorzien van elektrische warmtepompen.

Code A05: aantal aansluitingen hWP met DG

Code A05 geeft het aantal aansluitingen op een hybride warmtepomp met duurzaam gas. In deze tabel is geen rekening gehouden met beperkingen in de beschikbaarheid van groengas of waterstof.

Code A06: aantal aansluitingen HR met DG

Code A06 geeft het aantal aansluitingen op een HR-ketel met duurzaam gas. In deze tabel is geen rekening gehouden met beperkingen in de beschikbaarheid van groengas of waterstof.

4.6 Energieverbruik en -levering van varianten van strategieën

Het energieverbruik en de energielevering zijn in tabellen 5.1 en 5.2 gegeven voor de variant met de laagste nationale kosten binnen elke strategie (paragraaf 4.5.1 en 4.5.2). Daar is voor elke strategie dus maar één variant getoond. Bij het maken van keuzes voor varianten kan het nuttig zijn inzicht te krijgen in de verschillen tussen het energieverbruik en de energielevering in de varianten binnen een strategie.

Tabellen 6.1, 6.2 en 6.3 geven het energieverbruik voor alle varianten van de warmtestrategieën. Voor een verklaring van de codes en een toelichting op de tabel zie paragraaf 4.5.1.

Tabellen 6.4, 6.5 en 6.6 tonen de berekende energielevering voor alle varianten van de warmte-strategieën. Voor een verklaring van de codes en een toelichting op de tabel zie paragraaf 4.5.2.

Tabel 6.1: Energieverbruik voor varianten[1] van strategieën met warmtepomp (S1) en warmtenet van MT-warmtebronnen (S2) (in GJ/weq/jaar) in buurt X.

Code	Indicator	S1a	S1b	S2a	S2b	S2c	S2d	S2e	S2f
H01	Energieverbruik								
H02	- wv. ruimteverwarming								
H03	- wv. warm tapwater								
H04	- wv. ventilatie								
H05	- wv. koude								
H06	- wv. apparaten en licht								
H07	Warmteverbruik (GJ/ha)								

[1] In de varianten S2a, S2b en S2c worden woningen geïsoleerd tot schillabel B. In de varianten S2d, S2e en S2f is dat schillabel D. De utiliteitsgebouwen worden in alle varianten geïsoleerd tot schillabel B.

Tabel 6.2: Energieverbruik voor varianten[1] van strategieën met warmtenet van LT-warmtebronnen (S3) (in GJ/weq/jaar) in buurt X.

Code	Indicator	S3a	S3b	S3c	S3d	S3e	S3f	S3g	S3h
H01	Energieverbruik								
H02	- wv. ruimteverwarming								
H03	- wv. warm tapwater								
H04	- wv. ventilatie								
H05	- wv. koude								
H06	- wv. apparaten en licht								
H07	Warmteverbruik (GJ/ha)								

[1] In de varianten S3a t/m S3e worden woningen geïsoleerd tot schillabel B. In de varianten S3f, S3g en S3h is dat schillabel D. De utiliteitsgebouwen worden in alle varianten geïsoleerd tot schillabel B.

Tabel 6.3: Energieverbruik voor varianten[1] van strategieën met groengas (S4) en waterstof (S5) (in GJ/weq/jaar) in buurt X.

Code	Indicator	S4a	S4b	S4c	S4d	S5a	S5b	S5c	S5d
H01	Energieverbruik								
H02	- wv. ruimteverwarming								
H03	- wv. warm tapwater								
H04	- wv. ventilatie								
H05	- wv. koude								
H06	- wv. apparaten en licht								
H07	Warmteverbruik (GJ/ha)								

[1] In de varianten S4a, S4b, S5a en S5b worden woningen geïsoleerd tot schillabel B. In de varianten S4c, S4d, S5c en S5d is dat schillabel D. De utiliteitsgebouwen worden in alle varianten geïsoleerd tot schillabel B.

Tabel 6.4: Energielevering voor varianten[1] van strategieën met warmtepomp (S1) en warmtenet van MT-warmtebronnen (S2) (in GJ/weq/jaar) in buurt X.

Code	Indicator	S1a	S1b	S2a	S2b	S2c	S2d	S2e	S2f
H08	Energielevering								
H09	- wv. aardgas								
H10	- wv. duurzaam gas								
H11	- wv. elektriciteit								
H12	- wv. MT-warmtebron								
H13	- wv. LT-warmtebron								
H14	- wv. overig[2]								

[1] In de varianten S2a, S2b en S2c worden woningen geïsoleerd tot schillabel B. In de varianten S2d, S2e en S2f is dat schillabel D. De utiliteitsgebouwen worden in alle varianten geïsoleerd tot schillabel B.

[2] Overig is het saldo van de benutting van omgevingswarmte die met name wordt gebruikt door een warmtepomp en het verlies van warmte aan de omgeving door warmteleidingen vooral bij warmtenetten en gasketels.

Tabel 6.5: Energielevering voor varianten[1] van strategieën met warmtenet van LT-warmtebronnen (S3) (in GJ/weq/jaar) in buurt X.

Code	Indicator	S3a	S3b	S3c	S3d	S3e	S3f	S3g	S3h
H08	Energielevering								
H09	- wv. aardgas								
H10	- wv. duurzaam gas								
H11	- wv. elektriciteit								
H12	- wv. MT-warmtebron								
H13	- wv. LT-warmtebron								
H14	- wv. overig[2]								

[1] In de varianten S3a t/m S3e worden woningen geïsoleerd tot schillabel B. In de varianten S3f, S3g en S3h is dat schillabel D. De utiliteitsgebouwen worden in alle varianten geïsoleerd tot schillabel B.

[2] Overig is het saldo van de benutting van omgevingswarmte die met name wordt gebruikt door een warmtepomp en het verlies van warmte aan de omgeving door warmteleidingen vooral bij warmtenetten en gasketels.

Tabel 6.6: Energielevering voor varianten[1] van strategieën met groengas (S4) en waterstof (S5) (in GJ/weq/jaar) in buurt X.

Code	Indicator	S4a	S4b	S4c	S4d	S5a	S5b	S5c	S5d
H08	Energielevering								
H09	- wv. aardgas								
H10	- wv. duurzaam gas								
H11	- wv. elektriciteit								
H12	- wv. MT-warmtebron								
H13	- wv. LT-warmtebron								
H14	- wv. overig[2]								

[1] In de varianten S4a, S4b, S5a en S5b worden woningen geïsoleerd tot schillabel B. In de varianten S4c, S4d, S5c en S5d is dat schillabel D. De utiliteitsgebouwen worden in alle varianten geïsoleerd tot schillabel B.

[2] Overig is het saldo van de benutting van omgevingswarmte die met name wordt gebruikt door een warmtepomp en het verlies van warmte aan de omgeving door warmteleidingen vooral bij warmtenetten en gasketels.

4.7 Samenstelling gebouwen

Gegevens over het aantal en het type woningen in de berekeningen zijn afkomstig van de Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG). Sommige gebouwen bestaan uit woningen en bedrijfsruimten, zoals een tandartspraktijk aan huis. Het energieverbruik van zo'n gebouw berekenen we op basis van de veronderstelling dat het een woning is met een gemiddeld verbruik, passend bij een bepaald bouwjaar, type en energielabel.

Code WB#

De codes WB gevolgd door een nummer staan voor het aantal woningen van een bepaald (bouw)type. WB36 is de som van alle type woningen.

Tabel 7.1 geeft de verdeling van de woningen in het startjaar 2019 over bouwjaarklassen en woningtypen. In tabel 7.2 is de verdeling gegeven van woningen over energielabels en woningtypen. Beide tabellen geven samen een beeld van de mate van uniformiteit van de woningvoorraad in een buurt. Hoe meer woningen van hetzelfde type, bouwjaar en energielabel, hoe beter de mogelijkheden zijn om de woningen met een gestandaardiseerde aanpak te verduurzamen. Standaardisatie is een belangrijke (maar niet de enige) voorwaarde voor kostenbeperking in de warmtetransitie van een buurt.

Tabel 7.1: Aantal woningen naar bouwjaar en type in 2019 in buurt X.

Code	Type/Bouwjaar	Voor 1930	1930-1945	1946-1964	1965-1974	1975-1991	1992-2005	2006-2019	Totaal
WB01	Vrijstaande woning								
WB08	2 onder 1 kap								
WB15	Rijwoning hoek								
WB22	Rijwoning tussen								
WB29	Appartementen								
WB36	Totaal								

Code WL#

De codes WL gevolgd door een nummer staan voor het aantal woningen met een bepaald energielabel. WL43 geeft per type woning de som van alle woningen met een energielabel.

Bij de interpretatie van tabel 7.2 moet bedacht worden dat dit overzicht voor de gemeente slechts ter indicatie is om een beeld te krijgen van de samenstelling van de buurt; de gegevens worden niet gebruikt in het model. Voor een deel van de woningen is het energielabel bekend door het definitieve label afkomstig van de database van RVO te koppelen met het woningenbestand van de BAG op basis van de coördinaten van de gebouwen. Woningen die nog niet beschikken over een officieel energielabel, krijgen een label toewezen op grond van het woningtype en bouwjaar. Om die reden is geen tabel opgenomen met de verdeling van woningen naar bouwjaar en energielabel. Beide kenmerken zijn namelijk sterk gecorreleerd waardoor zo'n tabel geen extra informatie over een buurt kan geven. De verdeling van labels is ook te bekijken in de kaartviewer; voorlopige (ingeschatte) labels worden daar apart (gearceerd) weergegeven.

Let op; In de modelberekeningen worden de voorlopige, ingeschatte labels niet toegepast, maar wordt gebruik gemaakt van het energieverbruik om de benodigde isolatiemaatregelen te bepalen.

Tabel 7.2: Aantal woningen naar type en energielabel[1] in 2019 in buurt X.

Code	Energielabel/Type	Vrijstaande woning	2 onder 1 kap	Rijwoning hoek	Rijwoning tussen	Appartementen	Totaal
WL01	Label A en beter						
WL07	Label B						
WL13	Label C						
WL19	Label D						
WL25	Label E						
WL31	Label F						
WL37	Label G						
WL43	Totaal						

[1] De gecertificeerde en voorlopige energielabels zijn bij elkaar opgeteld. Het totaal aantal woningen van de tabel kan afwijken van het aantal woningequivalenten gepresenteerd op de eerste pagina vanwege het gebruik van verschillende databronnen. Zie het gemeenterapport voor toelichting.

Code UB#

De codes UB gevolgd door een nummer staan voor het aantal utiliteitsgebouwen van een bepaald (bouw)type. UB71 is de som van alle type utiliteitsgebouwen.

Voor het analyseren van de warmtevoorziening van utiliteitsgebouwen is informatie over het aantal gebouwen minder interessant dan informatie over de omvang van die gebouwen. De omvang geeft namelijk een betere schatting van de energiebehoefte. Tabel 7.3 geeft informatie over het bruto vloeroppervlak (bvo) van utiliteitsgebouwen in een buurt, uitgesplitst naar type en

bouwperiode. Met deze informatie kan een ruwe schatting worden gemaakt van de energiebehoefte voor ruimteverwarming en de kosten van verduurzaming.

Voor utiliteitsgebouwen bevat het RVO-bestand nog te weinig afgemelde labels om er rekening mee te houden in de berekeningen. Voor het maken van berekeningen is het wel nodig de energetische toestand van die gebouwen in het startjaar te schatten. Die schattingen zijn gedaan voor een uitsplitsing naar type en bouwperiode. In de praktijk kunnen hier echter relatief grote afwijkingen optreden mede omdat er geen gebruik gemaakt kon worden van de energielabels. Het is zinvol deze informatie in een aanvullende lokale analyse te verzamelen.

Tabel 7.3: Oppervlakte[1] (in m²) gebouwen utiliteit naar bouwjaar en type in 2019 in buurt X.

Code	Type/Bouwjaar	Voor 1920	1921-1975	1976-1990	1991-1995	1996-2019	Totaal
UB01	Kantoor						
UB08	Winkel						
UB15	Zorg						
UB22	Logies						
UB29	Onderwijs						
UB36	Industrie						
UB43	Bijeenkomst						
UB50	Sport						
UB57	Cellen						
UB64	Overig						
UB71	Totaal						

[1] Oppervlakte uitgedrukt in m² bruto vloeroppervlak (bvo). 130m² bvo komt overeen met 1 weq.

4.8 Resultaten niet-klimaatneutrale energiedragers

In de hoofdberekening is gebruik gemaakt van de kosten van klimaatneutrale energiedragers om de nationale kosten van strategieën en varianten te bepalen. Deze kosten zijn geldig voor de lange termijn (2050) en nodig om een keuze te maken voor de strategieën (energiedrager, warmtebron, infrastructuur, installatie en isolatiemaatregel) in de Transitievisie Warmte. In deze paragraaf worden de kosten van de varianten gegeven zoals ze worden verwacht op de korte termijn (2030), in een geval waarbij de energiedragers nog niet klimaatneutraal hoeven te zijn. De elektriciteit in deze berekening is ‘slechts’ voor 70% duurzaam omdat wordt uitgegaan van de samenstelling van het elektriciteitsproductiepark in 2030, volgens de Klimaat- en energie-verkenning 2019. Het duurzame gas in de hoofdberekening is hier vervangen door aardgas. De kosten van deze niet-klimaatneutrale energiedragers zijn gebaseerd op de Klimaat- en energieverkenning 2019. Hierbij geldt dat alle maatregelen van een variant uit de hoofdberekening hetzelfde zijn gebleven en alleen de kosten en de CO_2-uitstoot van de klimaatneutrale energiedragers zijn vervangen door de niet-klimaatneutrale energiedragers.

De hieronder weergegeven tabellen kunnen gebruikt worden door een gemeente om inzicht te krijgen of een strategie op de korte en/of lange termijn leidt tot de laagste nationale kosten voor een buurt. Dit kan bijdragen aan het maken van een robuuste keuze voor een strategie.

Tabel 8.1 (a, b, c) toont de extra nationale kosten van de varianten bij niet-klimaatneutrale energiedragers in 2030, ten opzichte van het referentiebeeld 2030. Het referentiebeeld 2030 moet nu echter ook worden berekend met de kosten van de niet-klimaatneutrale energiedragers. Deze zijn wegens tijdgebrek niet opgenomen in de buurttabellen maar kunnen alsnog worden opgevraagd bij het ECW.

De extra nationale kosten zijn de som van de extra kapitaalslasten en de extra variabele kosten. De extra kapitaalslasten bij de niet-klimaatneutrale energiedragers zijn hetzelfde als bij de klimaatneutrale energiedragers (zie K10 van tabel 4.1.2; 4.2.2; en 4.3.2). De extra variabele kosten van de niet-klimaatneutrale energiedragers wijken af van de klimaatneutrale energiedragers in de post van de levering van de energiedragers. De andere posten zijn hetzelfde voor niet-klimaatneutraal en klimaatneutraal (zie K14, K15 en K16 van tabel 4.1.3; 4.2.3; en 4.3.3).

De kosten van de levering van de niet-klimaatneutrale energiedragers zijn weergegeven in tabel 8.2 (a, b, c). Tenslotte toont tabel 8.3 (a, b, c) de bijbehorende CO_2-uitstoot bij de productie van elektriciteit ten behoeve van de warmtevoorziening en het verbranden van aardgas in de gebouwen en hulpketels van de warmtenetten. Alle drie tabellen tonen de resultaten van de doorrekening voor alle varianten van de vijf strategieën.

4.8.1 Extra nationale kosten van varianten bij niet-klimaatneutrale energiedragers

Tabel 8.1: Extra nationale kosten bij niet-klimaatneutrale energiedragers in 2030 t.o.v. het referentiebeeld 2030 in buurt X.

a) Varianten[1] van strategie 1 en 2

Code	Indicator	S1a	S1b	S2a	S2b	S2c	S2d	S2e	S2f
H16	Extra NK (1000€/jaar)								
H17	- per ton CO2-reductie (€/ton CO2)								
H18	- per woning (€/weq/jaar)								

[1] In de varianten S1a, S1b, S2a, S2b en S2c worden woningen geïsoleerd tot schillabel B. In de varianten S2d, S2e en S2f is dat schillabel D. De utiliteitsgebouwen worden in alle varianten geïsoleerd tot schillabel B. De utiliteitsgebouwen worden in alle varianten geïsoleerd tot schillabel B.

b) Varianten[1] van strategie 3

Code	Indicator	S3a	S3b	S3c	S3d	S3e	S3f	S3g	S3h
H16	Extra NK (1000€/jaar)								
H17	- per ton CO2-reductie (€/ton CO2)								
H18	- per woning (€/weq/jaar)								

[1] In de varianten S3a t/m S3e worden woningen geïsoleerd tot schillabel B. In de varianten S3f, S3g en S3h is dat schillabel
D. De utiliteitsgebouwen worden in alle varianten geïsoleerd tot schillabel B.

c) Varianten[1,2] van strategie 4 en 5

Code	Indicator	S4a	S4b	S4c	S4d	S5a	S5b	S5c	S5d
H16	Extra NK (1000€/jaar)								
H17	- per ton CO2-reductie (€/ton CO2)								
H18	- per woning (€/weq/jaar)								

[1] In de varianten S4a, S4b, S5a en S5b worden woningen geïsoleerd tot schillabel B. In de varianten S4c, S4d, S5c en S5d is dat schillabel D. De utiliteitsgebouwen worden in alle varianten geïsoleerd tot schillabel B.
[2] Strategieën S4 en S5 gebruiken veel groengas respectievelijk waterstof. De beschikbaarheid van groengas of waterstof in 2030 en 2050 is onzeker. Hier is in de berekening voor deze tabel geen rekening mee gehouden.

Code H16: zie paragraaf 4.2.3

Code H17: zie paragraaf 4.2.3

Code H18: zie paragraaf 4.2.3

4.8.2 De nationale kosten van de levering van niet-klimaatneutrale energiedragers

Tabel 8.2: De nationale kosten[2] (1000€/jaar) van de levering van niet-klimaatneutrale energiedragers in 2030 t.o.v. het referentiebeeld 2030 in buurt X.

a) Varianten[1] van strategie 1 en 2

Code	Indicator	S1a	S1b	S2a	S2b	S2c	S2d	S2e	S2f
K11	Warmte								
K12	Gas								
K13	Elektriciteit								

[1] In de varianten S1a, S1b, S2a, S2b en S2c worden woningen geïsoleerd tot schillabel B. In de varianten S2d, S2e en S2f is dat schillabel D. De utiliteitsgebouwen worden in alle varianten geïsoleerd tot schillabel B.

b) Varianten[1] van strategie 3

Code	Indicator	S3a	S3b	S3c	S3d	S3e	S3f	S3g	S3h
K11	Warmte								
K12	Gas								
K13	Elektriciteit								

[1] In de varianten S3a t/m S3e worden woningen geïsoleerd tot schillabel B. In de varianten S3f, S3g en S3h is dat schillabel
D. De utiliteitsgebouwen worden in alle varianten geïsoleerd tot schillabel B.

c) Varianten[1,2] van strategie 4 en 5

Code	Indicator	S4a	S4b	S4c	S4d	S5a	S5b	S5c	S5d
K11	Warmte								
K12	Gas								
K13	Elektriciteit								

[1] In de varianten S4a, S4b, S5a en S5b worden woningen geïsoleerd tot schillabel B. In de varianten S4c, S4d, S5c en S5d is dat schillabel D. De utiliteitsgebouwen worden in alle varianten geïsoleerd tot schillabel B.
[2] Strategieën S4 en S5 gebruiken veel groengas respectievelijk waterstof. De beschikbaarheid van groengas of waterstof in 2030 en 2050 is onzeker. Hier is in de berekening voor deze tabel geen rekening mee gehouden.

Code K11: zie paragraaf 4.2.4

Code K12: zie paragraaf 4.2.4

Code K13: zie paragraaf 4.2.4

4.8.3 CO_2-uitstoot van varianten bij niet-klimaatneutrale energiedragers

Tabel 8.3: CO_2-uitstoot bij niet-klimaatneutrale energiedragers in 2030 in buurt X.

a) Varianten[1] van strategie 1 en 2

Code	Indicator	S1a	S1b	S2a	S2b	S2c	S2d	S2e	S2f
H15	CO2-uitstoot[2] (ton/jaar)								

[1] In de varianten S1a, S1b, S2a, S2b en S2c worden woningen geïsoleerd tot schillabel B. In de varianten S2d, S2e en S2f is dat schillabel D. De utiliteitsgebouwen worden in alle varianten geïsoleerd tot schillabel B.
[2] Dit betreft de CO2-uitstoot van de levering van aardgas, elektriciteit en warmte ten behoeve van de warmtevoorziening van de gebouwde omgeving. De CO2-uitstoot van elektriciteit ten behoeve van apparaten en verlichting wordt niet meegeteld.

b) Varianten[1] van strategie 3

Code	Indicator	S3a	S3b	S3c	S3d	S3e	S3f	S3g	S3h
H15	CO2-uitstoot[2] (ton/jaar)								

[1] In de varianten S3a t/m S3e worden woningen geïsoleerd tot schillabel B. In de varianten S3f, S3g en S3h is dat schillabel
D. De utiliteitsgebouwen worden in alle varianten geïsoleerd tot schillabel B.
[2] Dit betreft de CO2-uitstoot van de levering van aardgas, elektriciteit en warmte ten behoeve van de warmtevoorziening van de gebouwde omgeving. De CO2-uitstoot van elektriciteit ten behoeve van apparaten en verlichting wordt niet meegeteld.

Code	Indicator	S4a	S4b	S4c	S4d	S5a	S5b	S5c	S5d
H15	CO2-uitstoot[3] (ton/jaar)								

[1] In de varianten S4a, S4b, S5a en S5b worden woningen geïsoleerd tot schillabel B. In de varianten S4c, S4d, S5c en S5d is dat schillabel D. De utiliteitsgebouwen worden in alle varianten geïsoleerd tot schillabel B.
[2] Strategieën S4 en S5 gebruiken veel groengas respectievelijk waterstof. De beschikbaarheid van groengas of waterstof in 2030 en 2050 is onzeker. Hier is in de berekening voor deze tabel geen rekening mee gehouden.
[3] Dit betreft de CO2-uitstoot van de levering van aardgas, elektriciteit en warmte ten behoeve van de warmtevoorziening van
de gebouwde omgeving. De CO2-uitstoot van elektriciteit ten behoeve van apparaten en verlichting wordt niet meegeteld.

Code H15: zie paragraaf 4.5.2

4.9 Index van gebruikte codes in hoofdstuk 4

Code (SA2020)	Betekenis (naam in buurttabellen)	Beschreven in paragraaf
H01	energieverbruik	4.5.1
H02	energieverbruik waarvan ruimteverwarming	4.5.1
H03	energieverbruik waarvan warm tapwater	4.5.1
H04	energieverbruik waarvan ventilatie	4.5.1
H05	energieverbruik waarvan koude	4.5.1
H06	energieverbruik waarvan apparaten en licht	4.5.1
H07	warmteverbruik	4.5.1
H08	energielevering	4.5.2
H09	energielevering waarvan aardgas	4.5.2
H10	energielevering waarvan duurzaam gas	4.5.2
H11	energielevering waarvan elektriciteit	4.5.2
H12	energielevering waarvan MT-warmtebron	4.5.2
H13	energielevering waarvan LT-warmtebron	4.5.2
H14	energielevering waarvan overig	4.5.2
H15	CO_2 uitstoot (van energielevering)	4.5.2
H16	extra nationale kosten	4.2.3
H17	extra nationale kosten per ton CO_2-reductie	4.2.3
H18	extra nationale kosten per woningequivalent	4.2.3
K01	elektriciteitsnet verzwaren	4.2.4
K02	kapitaalslasten - gasnet verwijderen	4.2.4
K03	kapitaalslasten - gasnet aanpassen	4.2.4
K04	kapitaalslasten - warmtedistributie buurt	4.2.4
K05	kapitaalslasten - warmtedistributie pand	4.2.4
K06	kapitaalslasten - warmtetransport	4.2.4
K07	kapitaalslasten - warmtebronnen	4.2.4
K08	kapitaalslasten - schilmaatregelen	4.2.4
K09	kapitaalslasten - installaties	4.2.4
K10	totaal extra kapitaalslasten	4.2.3
K11	variabele kosten - inkoop warmte	4.2.4
K12	variabele kosten - inkoop gas	4.2.4
K13	variabele kosten - inkoop elektriciteit	4.2.4
K14	variabele kosten - O&B gebouwen	4.2.4
K15	variabele kosten - O&B warmtenetten	4.2.4
K16	variabele kosten - O&B E- en G-netten	4.2.4
K17	totaal variabele kosten	4.2.4
K18	totaal extra variabele kosten	4.2.3
G01	effecten van veel kostenreductie op nationale kosten	4.2.5
G02	effecten van weinig kostenreductie op nationale kosten	4.2.5
G03	effecten van lagere energiekosten op nationale kosten	4.2.5
G04	effecten van hogere energiekosten op nationale kosten	4.2.5
A01	aantal aansluitingen aardgas	4.5.3
A02	aantal aansluitingen eWP	4.5.3
A03	aantal aansluitingen MT	4.5.3
A04	aantal aansluitingen LT	4.5.3
A05	aantal aansluitingen hWP met DG	4.5.3
A06	aantal aansluitingen HR met DG	4.5.3
WB#	(bouw)type woning	4.7
WL#	energielabel woning	4.7
UB#	(bouw)type utiliteit	4.7

5 Omgaan met de strategieën

In dit rapport presenteren we, samen met de tabellenbijlagen, alleen informatie over vijf verschillende strategieën (alternatieven) en hun varianten om gebouwen aardgasvrij te verwarmen. We selecteren geen strategie(ën), dat is uiteindelijk aan de gemeenten zelf. In de Handreiking voor lokale analyse[30] wordt ingegaan op (het selecteren van) strategieën in een bredere context, waarbij ook andere dan alleen technisch-economische factoren aan bod komen. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen het kiezen van (een) strategie(ën) (het 'wat') en het bepalen van een tijdspad wanneer wijken aardgasvrij worden gemaakt (het 'wanneer'). In dit hoofdstuk lichten we de parameters toe waarmee strategieën tegen elkaar kunnen worden afgewogen, en gaan we dieper in op enkele lastige aspecten bij het selecteren van strategieën.

Het is de bedoeling om alle relevante partijen te betrekken bij de besluitvorming over de voorkeursstrategie en over de timing. Daarbij wordt niet alleen de technisch-economische informatie uit deze Startanalyse gebruikt, maar ook aanvullende informatie over lokale omstandigheden, plannen en prioriteiten.

5.1 Selecteren van strategieën

5.1.1 Te hanteren criteria

In het Klimaatakkoord zijn criteria gegeven voor het selecteren van een gewenste strategie. In paragraaf C1.7 staat: *'*De informatie uit de leidraad ondersteunt gemeenten dus onder andere met informatie over maatschappelijke kosten en de kosten voor eindgebruikers ten behoeve van een integrale kostenanalyse. Op basis van deze informatie kunnen gemeenten de meest kosten-efficiënte wijken selecteren. Gemeenten zullen bij de besluitvorming expliciet motiveren als zij een andere optie kiezen dan het alternatief met de laagste maatschappelijk kosten.*'*

In deze eerste versie van de Startanalyse zijn drie indicatoren opgenomen voor nationale kosten (zie ook tabel 3). Dat zijn:

a. de extra nationale kosten ten opzichte van het referentiebeeld 2030 (H16);
b. de extra nationale kosten per ton CO_2-reductie (H17); en
c. de gemiddelde extra nationale kosten per woningequivalent (H18).

Voor het vergelijken van strategieën binnen één buurt geven deze indicatoren alle drie dezelfde informatie; de strategie die volgens H16 de goedkoopste is, is dat ook volgens H17 en H18. Ze verschillen alleen in de manier waarop ze worden uitgedrukt. Daarnaast geeft elke indicator aanvullende informatie.

Indicator H17 (extra kosten per ton CO_2-reductie) is op verzoek van de partijen aan de Sectortafel Gebouwde Omgeving in de Leidraad opgenomen. Deze indicator sluit het beste aan bij het doel van aardgasvrij verwarmen, namelijk het verminderen van de CO_2-uitstoot. Voorts is deze indicator het meest geschikt voor het afwegen van strategieën. Waar in het Klimaatakkoord wordt gesproken over 'het alternatief met de laagste maatschappelijke kosten', wordt deze indicator bedoeld. Gemeenten moeten in hun Transitievisie Warmte dus aangeven welk van de alternatieven of strategieën de laagste nationale kosten (H17) heeft.

[30] http://www.expertisecentrumwarmte.nl/handreikingvoorlokaleanalyse

Indicator H16 (extra kosten ten opzichte van ref2030) laat zien hoeveel het uitvoeren van een strategie in 2030 meer of minder gaat kosten dan ‘niets doen’, dat wil zeggen vanaf het startjaar geen maatregelen nemen om het energieverbruik te verlagen of schonere brandstoffen te gebruiken. Deze indicator laat dus per buurt beter zien om hoeveel geld het gaat dan H17.

Indicator H18 (extra kosten per woningequivalent) is vooral nuttig omdat mensen zich eenvoudig iets kunnen voorstellen bij gemiddelde kosten per woning(equivalent). Het berekende bedrag bevat niet alleen de jaarlijkse kosten voor de gebouweigenaar, maar ook de kosten voor de netbeheerders, de energieleveranciers, de gebruikers en overheden. Deze indicator corrigeert H16 voor het aantal woningequivalenten in een buurt. Hij is daardoor vooral bruikbaar om buurten met elkaar te vergelijken en te zien in welke buurt een bepaalde strategie het goedkoopst is. Lage kosten per woningequivalent komen vooral voor in buurten waar gebouwen nu al relatief goed geïsoleerd zijn. Daar zijn minder maatregelen nodig om aardgasvrij te worden en dat kan de omschakeling makkelijker maken. Anderzijds zijn daar de kosten per vermeden ton CO_2 hoger, wat de maatregelen minder efficiënt maakt. Bedenk ook dat het een gemiddeld bedrag is voor een hele wijk en dat daar nog grote verschillen tussen gebouwen achter schuil kunnen gaan.

5.1.2 Verschil tussen nationale kosten en eindgebruikerskosten

Tot hier is alleen geschreven over nationale kosten, die volgens het Klimaatakkoord een belangrijke rol spelen bij de selectie van strategieën. Maar gemeenten kunnen daarbij ook eindgebruikerskosten betrekken.

De term ‘eindgebruikerskosten’ wordt meestal gebruikt voor de kosten die eindgebruikers voor energie betalen. Maar energiekosten vormen slechts een onderdeel van de totale kosten die betaald moeten worden om gebouwen aardgasvrij te kunnen verwarmen. Daarom verbreden we die term naar alle kosten die partijen moeten betalen voor een aardgasvrije strategie. Dat zijn kosten voor energie en voor het gebruik van installaties en isolatie; daarin zijn alle subsidies en belastingen verwerkt. Eindgebruikers zijn in de eerste plaats huurders en eigenaar-gebruikers van gebouwen. Daarnaast worden ook de kosten van de verhuurders, energiebedrijven en de overheid inzichtelijk gemaakt. De jaarlijkse kosten die gepaard gaan met investeringen in isolatie en installaties (zoals afschrijvings- en rentekosten) worden berekend op basis van de marktrente die voor elke eindgebruiker van toepassing is.

Eindgebruikerskosten zijn – met andere woorden – de kosten die iedereen dagelijks ervaart en die mensen en bedrijven elkaar betalen, dus kosten inclusief belastingen (btw en andere belastingen) en heffingen (zoals accijns op benzine). Subsidies worden soms verrekend met eindgebruikers, soms met leveranciers. Bij iedere beslissing over een aanschaf of investering worden deze kosten (inclusief subsidies) afgewogen tegen de te verwachten voordelen.

Eindgebruikerskosten worden berekend uit nationale kosten, belastingen, heffingen en subsidies. Bij deze kosten wordt ook rekening gehouden met betalingen tussen actoren, zoals een aansluit-bijdrage die een gebouweigenaar betaalt aan de eigenaar van een warmtenet en extra huur als vergoeding aan huiseigenaren voor investeringen in isolatiemaatregelen. De afspraken in het Klimaatakkoord over belastingen, heffingen, subsidies, tarieven en huurverhoging moeten nog verder worden uitgewerkt om eindgebruikerskosten te kunnen berekenen. Ook zijn de eind-gebruikerskosten afhankelijk van de manier waarop de markt voor bijvoorbeeld warmtelevering of groengas in de toekomst wordt gereguleerd, en welke contractvormen daar ontstaan. Mede daarom konden die kosten nog niet worden opgenomen in deze versie van de Startanalyse.

5.1.3 Selecteren op basis van laagste nationale kosten

Bij het hanteren van de resultaten van de Startanalyse moet worden bedacht dat de berekende kostencijfers slechts een globale indicatie zijn van de werkelijk te verwachten nationale kosten van de transitie naar aardgasvrije verwarmingssystemen. Het is nu eenmaal zeer moeilijk om te voorspellen hoe de kosten van maatregelen de komende decennia zullen veranderen. In de Startanalyse benaderen we die kosten met behulp van een kostenraming voor 2030, in de veronderstelling dat daarmee niet zozeer het kostenniveau voorspeld kan worden maar dat daarmee een bruikbare indruk verkregen kan worden van de kosten*verschillen* tussen de onderzochte varianten.

Er zijn drie redenen waarom de nationale kosten van een strategie in een buurt, en dus ook de kostenverschillen tussen strategieën, in de praktijk gaan afwijken van de hier gepresenteerde kosten:

1. Als een naastliggende buurt een *andere strategie* gaat kiezen dan de eigen buurt, dan kan de hier gepresenteerde kostenraming voor de eigen buurt onbruikbaar worden, vooral als het om warmtenetten gaat. In paragraaf 5.3 leggen we uit hoe dat kan.
2. Als de feitelijke situatie in een buurt *afwijkt van de openbare gegevens* die hier zijn gebruikt voor de kostenberekening.
3. Als invloedrijke factoren zich de komende jaren *anders ontwikkelen* dan bij de berekeningen is verondersteld. In paragraaf 5.1.3 beschrijven we hoe gemeenten met deze onzekerheden kunnen omgaan.

Ook moet worden bedacht dat de hier gepresenteerde kostenberekeningen zijn gebaseerd op openbare gegevens over gemeenten. Het is goed mogelijk dat partijen in buurten meer relevante informatie hebben die tot nauwkeuriger kostenschattingen kan leiden. De Handreiking voor lokale analyse[31] is bedoeld om die aanvullende detailanalyses uit te voeren op de relevante parameters. Om te voorkomen dat er daarbij onnodige berekeningen worden gedaan, is het efficiënt om strategieën die volgens de Startanalyse onhaalbaar of onevenredig kostbaar zijn, op voorhand te laten afvallen. Het is dienstig om daarbij eerst de uitkomsten van de gevoeligheidsanalyse (zie paragraaf 5.1.4) te doorgronden, zodat strategieën niet ten onrechte afvallen. Het is ook noodzakelijk om te onderzoeken in welke mate de kostenramingen worden beïnvloed door de strategiekeuze in naastliggende buurten.

Als strategieën in de Startanalyse onderling weinig in kosten verschillen of in de gevoeligheids-analyses met elkaar overlappen is het niet verstandig al een selectie te maken. Dan is het raadzaam om met behulp van de Handreiking voor lokale analyse de cijfers te verfijnen en andere criteria mee te wegen.

5.1.4 Omgaan met onzekerheden: gevoeligheidsanalyse

Om kosten van maatregelen in 2030 te kunnen berekenen, zijn allerlei veronderstellingen gedaan, zowel over het type maatregel als over de mate waarin de kosten ervan tussen nu en 2030 zullen veranderen. Al die veronderstellingen zijn met deskundigen besproken en gevalideerd en ze worden onderbouwd in het achtergrondrapport bij deze Startanalyse. De toekomst blijft echter onzeker. Het betekent dat de berekende kosten van strategieën ook onzeker zijn.

Met een gevoeligheidsanalyse laten we zien hoeveel de berekende kosten veranderen als de gebruikte veronderstellingen veranderen. In de SA-2019 zijn die berekeningen gemaakt voor de

[31] De Handreiking is ook verkrijgbaar via deze site: www.expertisecentrumwarmte.nl/leidraad

vijf factoren of veronderstellingen die naar verwachting de grootste invloed hebben op de nationale kosten:

1. de hoogte van de investering per type techniek in 2018;
2. de kostenreductie tot 2030 door leerprocessen, schaalvergroting en ontwikkeling van technologieën;
3. de ontwikkeling van energieprijzen voor elektriciteit en groengas;
4. de te verwachten verbetering tot 2030 in de technische efficiëntie van verwarmingssystemen;
5. de kosten om schillabel A+ in gebouwen te bereiken in plaats van schillabel B die in de standaardberekening is gebruikt.

Het effect van elke factor op de hoogte van de nationale kosten is berekend bij een meer optimistische of pessimistische inschatting van die factor, terwijl voor de andere factoren de middenwaarde is gehanteerd. Dat betekent dat we geen rekening hebben gehouden met de *combinatie* van variaties (of onzekerheid) in genoemde factoren. We hebben dus niet gekeken naar het gecombineerde effect van bijvoorbeeld lage investeringskosten in 2018 (ad 1) en hoge kostenreductie tot 2030 (ad 2).

De gevoeligheidsanalyse uit SA-2019 bracht het inzicht dat factor 1 ongeveer dezelfde invloed op de kosten had als factor 2. Hetzelfde gold voor de factoren 3 en 4. Dat betekent dat we de gevoeligheidsanalyse kunnen vereenvoudigen door de invloed van twee factoren te onderzoeken in plaats van vier. Analyse van factor 5 leerde dat isoleren van gebouwen tot schillabel A of beter in alle gevallen leidde tot aanzienlijk hogere kosten dan isoleren tot minimaal schillabel B.

Op grond van deze resultaten uit SA-2019 is besloten de gevoeligheidsanalyse in SA-2020 te vereenvoudigen en te beperken tot twee factoren:

a. de kosten in 2030 van technische maatregelen;
b. de kosten in 2030 van energiedragers: klimaatneutrale elektriciteit, groengas en waterstof;

De resultaten van deze gevoeligheidsanalyse kunnen worden gebruikt om te zien of de kostenverschillen tussen strategieën afhankelijk zijn van de gekozen veronderstellingen ten aanzien van investeringskosten voor technische maatregelen (a) en productiekosten van energiedragers (b) die buiten de gebouwde omgeving worden geproduceerd. Factor a vertegenwoordigt nu de onzekerheid over factoren 1 en 2 uit SA-2019 en factor b combineert die van factoren 3 en 4. Factor b heeft overigens geen betrekking op de kosten van warmte; die worden in het model berekend op basis van de kosten van de technische installaties die nodig zijn om warmte aan gebouwen te kunnen leveren, zoals een geothermieput, een warmtenet, hulpketels, onderstations en afleversets. De invloed van variatie in de kosten van deze installaties op de totale kosten komt tot uiting bij factor a.

Gemeenten hebben doorgaans zelf geen of weinig invloed op de kostenontwikkeling van installaties en energiedragers. Toch is het zinvol om naar de effecten van veranderingen in deze factoren te kijken. Als bijvoorbeeld blijkt dat een strategie onder alle omstandigheden duidelijk goedkoper is dan alle andere, dan kan met meer zekerheid worden geconcludeerd dat die strategie op termijn waarschijnlijk de goedkoopste is en blijft. Door de resultaten van de gevoeligheidsanalyse in een grafiek weer te geven, is het waarschijnlijk gemakkelijker de invloeden op de verschillen tussen strategieën te observeren, zie figuur 2.4 in paragraaf 4.2.5.

Gemeenten hebben wél enige invloed op de huidige kosten van installaties en maatregelen en het na te streven isolatieniveau (allemaal onderdeel van factor a). De huidige kosten zijn bijvoorbeeld afhankelijk van het tijdstip waarop de maatregelen worden uitgevoerd, en in

hoeverre daarbij ‘meekoppelkansen’ kunnen worden benut. De Handreiking voor lokale analyse helpt om die kansen en de mogelijke impact op de kosten te verkennen. Valt dat samen met een ‘natuurlijk moment’, dan zijn de kosten lager dan wanneer bestaande voorzieningen vervroegd moeten worden afgeschreven. Gemeenten kunnen ook streven naar grootschalige projecten waarvoor kwantumkorting kan worden bedongen.

5.1.5 Overwegingen om af te wijken van goedkoopste strategie

Het Klimaatakkoord stelt dat een gemeente expliciet moet motiveren als een andere strategie wordt gekozen dan het alternatief met de laagste maatschappelijke (oftewel nationale) kosten. De Handreiking voor lokale analyse[32] biedt ondersteuning bij het afwegen op basis van de nationale kosten, maar daarin wordt ook aandacht besteed aan andere overwegingen die een gemeente kan hanteren bij het bepalen van het ‘wat’ en ‘wanneer’. Voor het afwegen aan de hand van de (laagste) nationale kosten en eindgebruikerskosten, de omgang met de gevoeligheidsanalyse en overige criteria verwijzen we vooral naar de stappen P1, P2 en W in de Handreiking voor lokale analyse (pagina 15 e.v.).

De gepresenteerde kosten in deze Startanalyse zijn alleen een bruikbare raming van de te verwachten kosten zolang alle buurten dezelfde strategie toepassen. Als blijkt dat voor naast-liggende buurten een andere strategie wordt gekozen, dan kunnen de werkelijke kosten van bijvoorbeeld een warmtenet hoger uitvallen dan hier is berekend (zie paragraaf 5.3). Als in aangrenzende buurten verschillende strategieën de laagste kosten hebben kan dat aanleiding zijn om nieuwe kostenberekeningen te (laten) maken en op grond daarvan mogelijk een andere strategie te kiezen dan de strategie die in deze Startanalyse de goedkoopste is. De noodzaak voor aanvullende berekeningen doet zich vooral voor in gemeenten waar in elke buurt een andere strategie de laagste nationale kosten heeft.

5.2 Omgaan met uitzonderlijke buurten

Sommige buurten hebben uitzonderlijke gebouwen of een bijzondere ruimtelijke omgeving van de bebouwing. Dat kan leiden tot vreemd berekende resultaten. Voor buurten met afwijkende resultaten is het daarom raadzaam te controleren of de samenstelling en ruimtelijke omgeving van de bebouwing afwijken van wat gebruikelijk is. Voorbeelden van uitzonderlijke buurten zijn:

- de aanwezigheid van monumentale panden, waarvan isoleren duurder is dan berekend in deze Startanalyse;
- de doorsnijding van een buurt met snelwegen, spoorlijnen, rivieren en kanalen, waardoor warmtenetten duurder kunnen zijn dan hier berekend;
- dichte bebouwing met kleine straten waar het moeilijk is om ondergrondse leidingen aan te passen, zoals het centrum van een stad met grachtenpanden;
- bedrijfsterreinen met bedrijven die tot de dienstensector behoren (wel opgenomen in de berekeningen) naast industriële bedrijven (niet opgenomen);
- buurten met een uitzonderlijke verhouding tussen woningen en utiliteitsgebouwen, zoals een buurt met een ziekenhuis en enkele woningen of buurten met zeer verschillende soorten gebouwen of type woningen; daar geven de berekende kosten een vertekend beeld van de werkelijkheid (zie paragraaf 5.2.1).

5.2.1 Buurten met zeer verschillende gebouwtypen

In de analyses van strategieën is steeds verondersteld dat alle gebouwen in een buurt dezelfde strategie toepassen. Dat is een logische aanpak voor homogene buurten, maar die is minder geschikt voor buurten met zeer verschillende gebouwtypen, zoals buurten met flats naast

[32] Deze Handreiking is verkrijgbaar via deze site: www.expertisecentrumwarmte.nl/leidraad

vrijstaande woningen of buurten met een oude uitlegweg met verspreide woningen naast een nieuwbouwwijk. Dat komt omdat bepaalde combinaties van strategie en gebouwtype goedkoper te realiseren zijn dan andere. Bij compacte bebouwing bijvoorbeeld zijn warmtenetten doorgaans goedkoper dan all-electric-oplossingen.

Dit betekent dat in divers samengestelde buurten de hier berekende kosten van een uniforme aanpak vermoedelijk hoger zijn dan van een verstandige toepassing van verschillende strategieën in die buurt, afgestemd op de daar voorkomende gebouwtypen. Dergelijke kostenberekeningen kunnen wel worden gemaakt met het Vesta MAIS-model, maar dat vergt veel tijd en was daarom in het kader van deze versie van de Startanalyse niet mogelijk. Het is raadzaam om voor dit type buurten wel aangepaste kostenberekeningen uit te (laten) voeren.

5.3 Strategiekeuzes afstemmen met omliggende buurten

Het Klimaatakkoord stelt dat buurten bij voorkeur de strategie kiezen met de laagste maatschappelijke (ofwel nationale) kosten. Als buurten daarbij uitsluitend afgaan op de nationale kosten die in deze Startanalyse zijn berekend, dan worden toch *niet* de strategieën geselecteerd die de gebouwde omgeving tegen de laagste nationale kosten aardgasvrij kunnen maken. Dat komt omdat bij die selectie geen rekening is gehouden met de samenhang tussen strategieën in omliggende buurten. Dat is het automatische (en ongewenste) gevolg van de manier waarop de nationale kosten van de afzonderlijke strategieën zijn berekend. Die kostenberekening is namelijk afgestemd op een situatie waarin alle omliggende buurten dezelfde strategie toepassen. Als dat niet het geval is, dan kunnen kosten zowel hoger als lager uitvallen dan eerder berekend. Dat betekent dat de berekende kosten van de strategieën *in bovengenoemde selectie* formeel niet meer van toepassing zijn.

Voor warmtenetten bijvoorbeeld kunnen de kosten hoger uitvallen omdat vaste kosten voor transportleidingen over minder afnemers kunnen worden gedeeld als minder buurten worden aangesloten. Minder buurten aansluiten kan ook betekenen dat er onvoldoende gezamenlijke capaciteitsvraag overblijft om een nieuw te realiseren geothermiebron rendabel te exploiteren. In de all-electric-strategie (S1) zijn de berekende kosten van netverzwaring afgeleid van de extra elektriciteitsvraag en de gemiddelde resterende netcapaciteit in een buurt. Als een buurt de reservecapaciteit niet nodig heeft (omdat de buurt op een warmtenet wil aansluiten), dan kan die reserve worden gebruikt in een buurt die all-electric gaat, en kunnen kosten voor netverzwaring mogelijk achterwege blijven. Die afhankelijkheid is ook aanwezig bij de strategie met waterstof omdat daar de kosten van aanpassen van het gasnet afhankelijk zijn van de schaal waarop dat nodig is. Het aansluiten van een geïsoleerde buurt op een waterstofnet (of warmtenet) is per aansluiting veel duurder dan aansluiten van een groter gebied. Dit zijn slechts enkele voorbeelden van hoe de samenhang tussen buurten uiteindelijk van grote invloed zal zijn op de inzet van gedeelde infrastructuur en bronnen. Bij warmtenetten is die afhankelijkheid het grootst, maar van elke strategie zijn de berekende kosten in een buurt afhankelijk van de situatie in andere buurten. Nationale kosten kunnen pas integraal worden doorgerekend als een gemeente een voorlopige keuze heeft gemaakt uit de verschillende varianten en daarbij ook een tijdspad uitstippelt.

5.4 Omgaan met bestaande aardgasleidingen

Momenteel heeft bijna elke buurt een aardgasnet en betalen mensen met een gasaansluiting voor de afschrijving en het onderhoud van dat net. Buurten die overschakelen op een warmtenet of op elektrisch verwarmen hebben dat gasnet niet meer nodig. De aardgasnetten in die buurten worden dan niets meer waard en netbeheerders zullen een oplossing moeten vinden voor dat

waardeverlies, vooral in buurten waar het aardgasnet nog (lang) niet het einde van zijn levensduur heeft bereikt.

Op welke manier de nationale kosten van vervroegd afschrijven van aardgasnetten in rekening worden gebracht is nog onbekend. Die kosten verschillen per buurt, afhankelijk van de resterende levensduur van het aardgasnet op het moment van afkoppeling. Binnen elke buurt zullen die kosten moeten worden betaald, ongeacht de gekozen strategie. Ook de strategieën met duurzaam gas die het bestaande aardgasnet willen gebruiken (na meer of minder ingrijpende aanpassingen) maken kosten voor het gebruik van het gasnet. In aanvulling daarop worden kosten gemaakt voor a) de benodigde aanpassingen van het aardgasnet en b) voor vervanging van het gasnet aan het einde van zijn levensduur.

De resterende kapitaalslast van bestaande aardgasnetten moet dus bij elke strategie worden betaald. De hoogte ervan is echter onbekend. We moeten dat bedrag daarom buiten de berekeningen laten. Omdat dat (onbekende) bedrag voor elke strategie gelijk is, heeft dat evenwel geen invloed op de selectie van strategieën op basis van nationale kosten.

Het *tijdstip* van afsluiten van het aardgasnet is wel van invloed op de resterende kapitaalslasten. Door dat tijdstip te laten samenvallen met het einde van de levensduur van het gasnet, kan een gemeente de kosten van het afsluiten minimaliseren. Gemeenten kunnen bij hun netbeheerder informatie opvragen over de resterende levensduur van de gasnetten in hun buurten en hiermee zelf berekenen hoeveel jaar die kapitaalslasten nog betaald moeten worden. Daarna vervalt die kostenpost in de buurten die overstappen op een gasloze warmtevoorziening.

Dit alles betekent dat de kapitaalskosten van het huidige aardgasnet in 2030 voor alle strategieën in de Startanalyse buiten beschouwing blijven. Dat is ook logisch omdat de hoogte van de kapitaalslasten van het huidige warmtenet niet afhankelijk zijn van de te kiezen alternatieve aardgasvrije strategie. Het is wel zo, dat de huidige aanwezigheid van een aardgasnet betekent dat strategieën met duurzaam gas een relatief kostenvoordeel hebben ten opzichte van de gasloze strategieën. Dat komt doordat ze tegen relatief lage kosten gebruik kunnen maken van een bestaand netwerk terwijl de andere strategieën relatief veel kosten veroorzaken voor de aanleg van een warmtenet of verzwaring van het elektriciteitsnet. In die zin creëert het bestaande aardgasnet een partiële lock-in voor verwarmingssystemen met gas. Anders gezegd: het bestaande speelveld is relatief gunstig voor gasgestookte verwarmingssystemen.

5.5 Omgaan met schaarse energiebronnen

Bij het huidige verwarmingssysteem op basis van aardgas maakt vrijwel niemand zich zorgen over de toekomstige beschikbaarheid van aardgas. Als we het in Groningen niet meer willen winnen om zo daar het risico op aardbevingen te minimaliseren dan zijn er altijd wel buitenlandse leveranciers die in dat gat willen springen. Als we aardgas willen vervangen door andere, nieuwe, klimaatneutrale energiedragers, zoals groene stroom, groene restwarmte, geothermie, aquathermie, groengas of duurzame waterstof, dan rijst de vraag of daarvan wel voldoende geproduceerd kan worden. Daarbij gaat het niet alleen over absolute volumes, maar ook over acceptabele kosten, acceptabele maatschappelijke impact (zoals ruimtegebruik en milieudruk) en de mate waarin de gebouwde omgeving toegang krijgt tot die geproduceerde hoeveelheden.

5.5.1 Biogrondstoffen

Biogrondstoffen voor energetische toepassingen worden beschouwd als klimaatneutraal omdat de opname van CO_2 op relatief korte termijn in evenwicht is met de uitstoot van CO_2 die ontstaat

bij verbranding. Bij (houtige) gewassen is die cyclus per definitie kort (hooguit enkele jaren), maar bij bomen is veel discussie over de vraag of het gebruik van hout voor energetische toepassingen leidt tot een (te) lange koolstofschuld ofwel tot een (te) lange periode waarin sprake is van een *toename* van de CO_2-uitstoot ten opzichte van het gebruik van aardgas of aardolie. Het antwoord op deze vraag is niet eenduidig en afhankelijk van vele aannames, zoals het vaststellen van de 'counterfactual' ofwel wat er gebeurd zou zijn indien de biogrondstof niet voor de betreffende toepassing was gebruikt (Strengers & Elzenga, 2020[33]). Ook de discussie over de mate waarin gegarandeerd kan worden dat biogrondstoffen duurzaam zijn en welke rol ze zouden moeten spelen in de energietransitie en de circulaire economie is in volle gang. In het recente SER-advies 'Biomassa in Balans'[34] - dat wordt onderschreven door een brede maatschappelijke basis van werkgevers, werknemers, NGO's en kennisinstellingen - ziet de SER voor energetische toepassingen op de lange termijn (na 2050) een beperkte rol omdat er steeds meer alternatieven komen. Voor de kortere termijn voorziet de SER een rol als overbruggingsoplossing voor lastig te verduurzamen sectoren, zoals zwaar wegtransport, lucht- en scheepvaart en hoge temperatuur warmte. Tevens wordt gesteld dat laagwaardige toepassingen, zoals verbranden voor elektriciteitsopwekking, warmte (lage-temperatuur) en bijmenging in brandstof voor lichte wegvoertuigen, moeten worden afgebouwd. Een exact tijdspad wordt niet gegeven omdat dit mede afhankelijk is van de beschikbaarheid van betaalbare alternatieven. Ten slotte wordt benadrukt dat houtige biogrondstoffen een rol kunnen (blijven) spelen in het leveren van flexibel vermogen (zowel warmte als elektriciteit) en als pieklast. Daarmee lijkt houtige biomassa een mogelijke brandstof in de overgangsfase naar andere warmtebronnen (aquathermie, geothermie, restwarmte) en uiteindelijk voor het opvangen van pieklast. Zie het achtergrondrapport voor meer details. Omdat de SA zich richt op de lange termijn, waarin aquathermie, geothermie en restwarmte zoveel mogelijk worden benut, is het niet logisch om daarnaast strategieën met biomassa te verkennen. Voor het opvangen van pieklast van warmtenetten kan groengas een goed alternatief zijn voor biomassa. Daarom wordt in de SA ook voor pieklast geen biomassa ingezet.

5.5.2 Groengas

Groengas is biogas of syngas dat is opgewerkt tot aardgaskwaliteit, zodat het geschikt is voor alle huidige toepassingen van laagcalorisch aardgas en kan worden bijgemengd in het aardgasnet. Momenteel wordt het meeste groengas in Nederland verkregen uit vergisting van natte biomassa, zoals gft-afval, reststromen uit de voedings- en genotmiddelenindustrie en dierlijke mest. Groengas kan ook via vergassing worden gemaakt uit houtachtige biomassa, een techniek die nu nog in ontwikkeling is. Er loopt onderzoek naar mogelijkheden om vergassing ook toe te passen op natte vormen van biomassa, omdat die in grotere hoeveelheden en tegen lagere kosten beschikbaar is of kan komen.

5.5.2.1 Hoeveel groengas is er op termijn beschikbaar?

In deze analyse kijken we naar de beschikbaarheid van groengas op lange termijn. Het gaat daarbij om volledige vervanging van aardgas. Op korte termijn zal groengas worden bijgemengd in het aardgasnet. Daardoor is het nu niet (goed) mogelijk om het gebruik van groengas te beperken tot bepaalde buurten. Op lange termijn kan dat wel; dan is alleen nog groengas of waterstof beschikbaar. Die gassen kunnen maar in beperkte mate worden gemengd. Daarom

[33] https://www.pbl.nl/publicaties/beschikbaarheid-en-toepassingsmogelijkheden-van-duurzame-biomassa-verslag-van-een-zoektocht-naar-gedeelde-feiten
[34] https://www.ser.nl/nl/Publicaties/biomassa-in-balans

zullen waarschijnlijk aparte netten ontstaan voor groengas of voor waterstof. Via die netten kunnen buurten dan exclusief gebruikmaken van groengas of van waterstof.

Het is onbekend hoeveel groengas er op termijn beschikbaar zal zijn in Nederland en hoeveel daarvan gebruikt kan worden voor de verwarming van gebouwen. De hoge energiedichtheid van groengas maakt het bijzonder geschikt voor toepassingen die veel energie vergen (zoals het creëren van zeer hoge temperaturen in de industrie) of voor toepassingen die gebaat zijn bij lichte brandstoffen (zoals vliegverkeer of langeafstandsvrachtverkeer over de weg).

De meeste studies en routekaarten projecteren een beschikbaarheid van 1 tot 2 bcm[35] groengas voor de gebouwde omgeving in 2030. Dat komt overeen met vrijwel de hele verwachte nationale productie op dat moment. Richting 2050 wordt het aanbodpotentieel exclusief import ingeschat op 7 tot 7,5 bcm groengas, dat dan, naar verwachting, voor een groot deel wordt ingezet in andere sectoren dan de gebouwde omgeving, zoals de industrie en de vervoerssector. Mocht de ontwikkeling van duurzame waterstof succesvol verlopen, dan is het denkbaar dat industrieën en vervoerders liever overschakelen op waterstof dan op groengas, zodat meer groengas beschikbaar komt voor de gebouwde omgeving. De SA-2020 loopt daar niet op vooruit.

Op dit moment vinden deskundigen het realistisch te rekenen met 2 bcm groengas die op lange termijn beschikbaar komt voor de gebouwde omgeving[36]. Hiervan zal ongeveer 0,5 bcm nodig zijn voor hulpketels bij warmtenetten. De resterende 1,5 bcm kan worden gebruikt voor verwarming van gebouwen waar verwarming met andere technieken buitensporig duur zou worden.

We kijken in deze analyse naar de lange termijn. Op korte termijn wordt groengas bijgemengd met aardgas en via het bestaande gasnet gedistribueerd, maar dat past in het beeld voor de lange termijn. De nationale productie van groengas in 2018 bedroeg 0,1 bcm en zal naar verwachting toenemen. De komende jaren wordt het gasnet op diverse plaatsen afgesloten en gaat het verbruik van aardgas afnemen. De verhouding groengas/aardgas zal daardoor toenemen, zover zelfs dat uiteindelijk alleen groengas overblijft en de distributie naar de gebouwde omgeving terugloopt naar 2 bcm per jaar.

Op dit moment onderzoekt de Rijksoverheid, onder meer in het kader van de Routekaart Groen Gas, of en hoe verder gestuurd wordt op de verdeling van groengas over verschillende sectoren. Betrokken partijen kijken in de Routekaart Groen Gas naar zowel het ontwikkelpotentieel als het toepassingsbereik van groengas. De komende jaren komt ongetwijfeld meer informatie beschikbaar over de te verwachten beschikbaarheid van groengas voor de verwarming van gebouwen op lange termijn.

5.5.2.2 Hoeveel groengas voor verwarming is wenselijk?

Bij het verschijnen van deze versie van de Startanalyse is nog niet bekend welke buurten gaan kiezen voor een strategie met groengas. Om toch een raming te kunnen maken van de wenselijke hoeveelheid groengas, is verondersteld dat buurten voor een groengasstrategie kiezen als die van alle doorgerekende strategieën de laagste nationale kosten per vermeden ton CO_2 heeft. De hoeveelheid groengas voor die buurten tezamen telt op tot 8 bcm, exclusief het gas voor de

[35] 1 bcm (billion cubic meters) is een gangbare maat voor gasvolumes op nationale schaal.
[36] Dit sluit aan bij de ambitie van de groengassector die in het Klimaatakkoord (p.38) is opgenomen: “70 PJ (= 2 bcm) groengas te realiseren in 2030 waarvan een substantieel deel kan worden ingezet voor de gebouwde omgeving (direct invoeden in gasnet, hybride warmtepomp of via warmtenet).”

hulpketels. Dat is meer dan de op termijn verwachte beschikbare hoeveelheid voor de gebouwde omgeving (2 bcm). De vraag is nu: hoe wordt die discrepantie opgelost?

In de praktijk zullen partijen concurreren om schaarse grondstoffen. Dat kan in eerste instantie leiden tot prijsverhogingen. Daardoor zullen sommige vragende partijen afhaken en een alternatieve energiebron inzetten. Andere partijen zullen hogere prijzen aangrijpen om alsnog of meer groengas te gaan produceren, zodat het aanbod toeneemt en de discrepantie tussen vraag en aanbod kleiner wordt. Op dit moment is het ongewis of en hoe dit afstemmingsproces zich zal gaan voltrekken; er bestaat nog geen goed werkende markt voor groengas en eventuele andere allocatiemechanismen moeten nog worden ontwikkeld. We kunnen al wel een beeld schetsen, op grond van het beschikbare materiaal, welke buurten het meeste voordeel zullen hebben van de toepassing van groengas voor verwarming van gebouwen. Voor de overige buurten is groengas dan geen optie in de afweging.

5.5.2.3 De waarde van groengasinzet per buurt

Voor elke buurt is berekend wat het Nederland kost (nationale kosten) om in 2030 alle gebouwen met groengas te verwarmen. In die berekeningen is de prijs van groengas gebaseerd op de verwachte productiekosten in 2030. Vanwege de beperkte beschikbaarheid zullen niet alle buurten groengas kunnen krijgen (omdat het er simpelweg niet is). In dat geval zullen zij de goedkoopste *alternatieve* strategie moeten kiezen om aardgasvrij te kunnen verwarmen. Het kostenverschil van die twee strategieën is een indicatie van de waarde van groengas voor een buurt. De waarde van groengas geeft aan welke kosten worden *bespaard* door niet de goedkoopste alternatieve strategie uit te voeren.[37]

Deze benadering betekent dat de waarde van groengas afhankelijk is van de kosten van de alternatieve strategieën die in de berekening worden betrokken. Omdat het onzeker is of waterstof beschikbaar komt voor verwarming van gebouwen, is de waterstofstrategie niet meegenomen bij de berekening van de waarde van groengas zoals die in figuur 1 wordt getoond. Voor elke strategie met groengas is deze waarde voor elke buurt berekend en weergegeven in paragraaf 4.3 van de buurttabellen.

5.5.2.4 In welke buurten is inzetten van groengas het meest voordelig?

Als alle buurten tezamen meer groengas willen inzetten dan beschikbaar is, dan is het efficiënt om groengas te benutten in de buurten waar het de hoogste waarde heeft (oftewel waar het de meeste kosten voor een alternatieve strategie kan besparen).

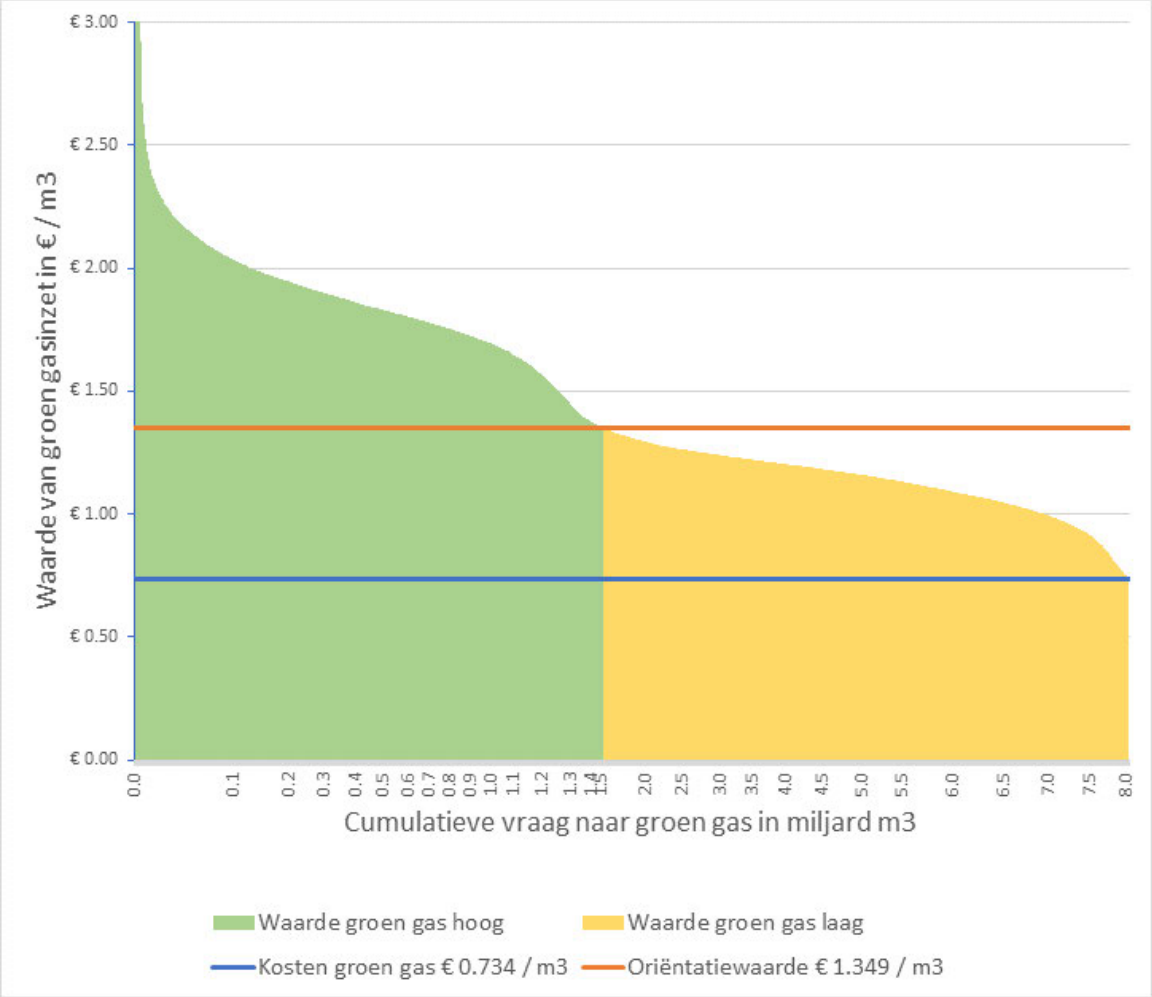
Met de resultaten van de Startanalyse kunnen we buurten ordenen naar aflopende waarde van de inzet van groengas in de vier varianten van strategie S4. Het resultaat daarvan staat in figuur 1. Uit deze figuur kan worden afgelezen dat een afzet van 1,5 bcm (miljard m^3) groengas overeenkomt met een waarde van 1,35 euro per kubieke meter (m^3) gas. Dat betekent dat het uit nationaal-economisch perspectief efficiënt is om de eerste 1,5 bcm groengas te laten gebruiken in buurten waar de waarde hoger is dan 1,35 euro/m^3. Dat is het geval in 6150 buurten, bijna de helft van het aantal buurten (13041) waar S4 de laagste nationale kosten heeft.

Ter duiding bij figuur 1; het merendeel van de varianten onder de oriëntatiewaarde (het groene deel) betreft hybride warmtepompen en maar een beperkt deel CV-installaties. Dit is deels een

[37] Dit is gelijk aan de *extra* kosten die moeten worden gemaakt voor de goedkoopste gasloze strategie (die moet worden uitgevoerd als er geen gas beschikbaar komt) plus de productiekosten van groengas.

logisch gevolg van het gegeven dat, voor een bepaalde warmtevraag, hybride warmtepompen minder groengas nodig hebben dan CV-installaties.

FIGUUR 1: GESCHATTE WAARDE VAN GROENGAS IN STRATEGIE S4.



Deze 1,35 euro/m^3 is een *oriëntatiewaarde* die een gemeente kan gebruiken bij het inschatten van haar kansen om een deel van de schaarse groengashoeveelheid voor haar buurten te bemachtigen. Voor buurten waar de waarde van groengas lager uitkomt, is groengas (zeer waarschijnlijk) geen optie. Maar omdat goed te kunnen beoordelen, is afstemming van de kostenberekening op lokale omstandigheden wel van belang. Zo houdt deze Startanalyse bijvoorbeeld geen rekening met extra kosten van isoleren van monumenten. Daardoor wordt de oriëntatiewaarde onderschat in buurten met relatief veel monumenten.

Hoe kleiner de totale hoeveelheid groengas die voor buurten beschikbaar is, hoe hoger de oriëntatiewaarde. Als er meer dan 0,5 bcm wordt ingezet bij hulpketels van warmtenetten, is er minder dan 1,5 bcm beschikbaar voor verwarming van individuele gebouwen en gaat de oriëntatiewaarde omhoog. De helling van de grafiek is het resultaat van allerlei veronderstellingen die aan de berekeningen ten grondslag hebben gelegen, en is dus niet meer dan een grove indicatie van de waardeontwikkeling van groengas. Als de grafiek in het gebied rond 1,5 bcm vlak zou verlopen, is het lastig een oriëntatiewaarde te vinden die kan helpen bij de selectie van buurten waar de inzet van groengas duidelijk efficiënter is dan in andere buurten. Dan zijn er aanvullende

overwegingen nodig om de beschikbare hoeveelheid groengas op een verantwoorde wijze te verdelen over buurten en gebouwen in Nederland. Het beleid op dit vlak in nog in ontwikkeling. De grafiek in figuur 1 vertoont rond de oriëntatiewaarde een duidelijke knik. Dat duidt erop dat er duidelijke kostenvoordelen te behalen zijn met de inzet van de eerste 1,5 bcm groengas en dat de inzet van meer dan 1,5 bcm duidelijk minder kostenbesparing oplevert. De ingezette 1.5 bcm groengas betreft voornamelijk de inzet via hybride warmtepompen (S4a & S4c)

5.5.3 Waterstof

Waterstof speelt mogelijke een belangrijke rol in een duurzame toekomst. Sommige deskundigen uit de gaswereld verwachten dat de productie binnen enkele decennia wereldwijd een hoge vlucht gaat nemen en dat de kosten spectaculair zullen dalen zodat waterstof een aantrekkelijke duurzame brandstof wordt voor tal van toepassingen in de industrie, het vervoer en wellicht ook voor verwarming van gebouwen. Er is echter geen enkele zekerheid dat dat ook gaat gebeuren. Door een strategie met waterstof in de Startanalyse op te nemen, kan een eerste indruk verkregen worden van de kosten van verwarmen met waterstof in verhouding tot de kosten van andere alternatieven voor verwarmen met aardgas.

5.5.3.1 Hoeveel waterstof is er op termijn beschikbaar?

Duurzame waterstof kan op verschillende manieren worden geproduceerd. Productie van blauwe waterstof uit aardgas in combinatie met CO2-opslag (CCS) en productie van groene waterstof middels elektrolyse van water zijn de technieken waar het meest van wordt verwacht.

De productie van blauwe waterstof berust grotendeels op de bestaande productietechniek van grijze waterstof waar de voor Nederland piepjonge techniek van CCS aan wordt toegevoegd om de uitstoot van CO2 te beperken. Als bedrijven de CO2-opslag onder de knie krijgen kan de productie van blauwe waterstof betrekkelijk snel worden opgeschaald. De maximale productiecapaciteit in Nederland wordt waarschijnlijk niet beperkt door de beschikbaarheid van aardgas. De geschatte opslagcapaciteit van CO2 in lege gasvelden op de Noordzee is vermoedelijk ruim voldoende voor de productie van 400 PJ blauwe waterstof gedurende 60 jaar (Hoogervorst 2020). Nederland heeft daarnaast nog veel meer opslagpotentieel in zoutkoepels op land. Scenario's voor de toekomstige Nederlandse behoefte aan waterstof variëren van 0 – 569 PJ per jaar, inclusief verbruik voor ruimteverwarming. Er lijkt dus voorlopig voldoende CO2-opslagcapaciteit om de Nederlandse behoefte aan waterstof met blauwe waterstof te dekken, zeker als groene waterstof op termijn goedkoper wordt dan blauwe en de levering van blauwe waterstof gaat overnemen.

Groene waterstof is in Nederland het goedkoopst te produceren uit windenergie op zee. De beschikbare capaciteit van wind op zee (72 GW) lijkt ruimte te bieden voor productie van 800 PJ groene waterstof. Dat is meer waterstof dan in de scenario's met de grootste verbruik. Die 72 GW windturbine-capaciteit neemt 20 – 30% van het Nederlandse Continentale Plat in gebruik en laat dus nog ruimte voor andere gebruiksfuncties. Dat wijst erop dat de beschikbare ruimte voor wind-op-zee geen technische belemmering zal vormen om in de nationale behoefte aan waterstof te voorzien, zelfs zonder de bijdrage van blauwe waterstof. Daarnaast is het natuurlijk de vraag of we 20 – 30% van het Continentale Plat willen inrichten met windturbines of liever een andere bestemming geven.

Naast nationale productie kan import van waterstof tot de mogelijkheden gaan behoren. Veel landen verkennen de mogelijkheden van waterstofproductie voor de export. In dunbevolkte landen met veel zonneschijn (bijvoorbeeld in Noord-Afrika, Australië en oliestaten in het Midden

Oosten) zou de productie van groene waterstof grote volumes kunnen bereiken tegen lage kosten, zodat het op termijn tegen concurrerende prijzen in West-Europese landen kan worden aangeboden. Deskundigen uit de gaswereld verwachten dat waterstof binnen enkele decennia in ruime mate geëxporteerd zal worden. Een relatief rijk land als Nederland zal dan tegen redelijke prijzen vrijwel onbeperkt toegang kunnen krijgen tot duurzaam geproduceerde waterstof.

5.5.3.2 Hoeveel waterstof voor verwarming is wenselijk?

Voor verwarming van gebouwen is de energiebehoefte afhankelijk van het aantal gebouwen dat zal worden verwarmd en van de energiebehoefte per gebouw. Als alle huidige gebouwen (woningen én bedrijfsgebouwen in de dienstensector) met een cv-ketel op waterstof zouden worden verwarmd, dan blijkt uit berekeningen met het Vesta MAIS model dat isoleren van alle gebouwen tot minimaal schillabel B resulteert in een jaarlijkse behoefte aan 300 PJ waterstof. Bij toepassing in een hybride warmtepomp daalt die behoefte naar ongeveer 144 PJ per jaar[38]. Met een hybride warmtepomp en isolatie van *woningen* tot minimaal schillabel D zou jaarlijks 150 PJ [check] nodig zijn. Dit geeft een bovengrens aan de hoeveelheden waterstof voor de gebouwde omgeving waarover gedacht kan worden. Het werkelijke toekomstige verbruik van waterstof in de gebouwde omgeving zal aanmerkelijk minder zijn dan deze hoeveelheden omdat een deel van de gebouwen met andere energiedragers zal worden verwarmd, afhankelijk van de beschikbaarheid ervan en van de onderlinge kostenverschillen.

Uit berekeningen voor deze Startanalyse blijft dat op termijn jaarlijks circa 4,4 bcm aardgasequivalenten (zie figuur 2) ofwel 140 PJ waterstof nodig is voor verwarming van gebouwen, om alle buurten van waterstof te voorzien waar de waterstofstrategie de laagste nationale kosten heeft.

5.5.3.3 De waarde van waterstofinzet per buurt

Het is nu onzeker hoeveel waterstof wanneer beschikbaar zal komen voor verwarming van gebouwen. Het is niet uit te sluiten dat er tegen 2050 minder waterstof beschikbaar is om de gebouwen te verwarmen waar waterstof nu de goedkoopste optie lijkt. Dan kan met behulp van de waarde van waterstof een indruk worden verkregen in welke buurten de inzet van waterstof vanuit nationaal-economisch oogpunt het meest efficiënt zou zijn.

De berekening van de waarde van waterstof verloopt op soortelijke wijze als de berekening van de waarde van groengas, wat in de vorige paragraaf is toegelicht. De groengas-strategie is hierbij een van de alternatieve strategieën voor waterstof. Omdat groengas in veel buurten goedkoper is dan waterstof, heeft waterstof zoals we dat hier berekenen in die buurten een negatieve waarde. Omdat de beschikbare hoeveelheid groengas beperkt is, is ook het aantal buurten met een negatieve waarde van waterstof beperkt. Dit betekent, dat de beschikbare hoeveelheid groengas van invloed is op de vorm en ligging van de waardecurve van waterstof.

Voor elke strategie met waterstof is deze waarde voor elke buurt berekend en weergegeven in paragraaf 4.3 van de buurttabellen.

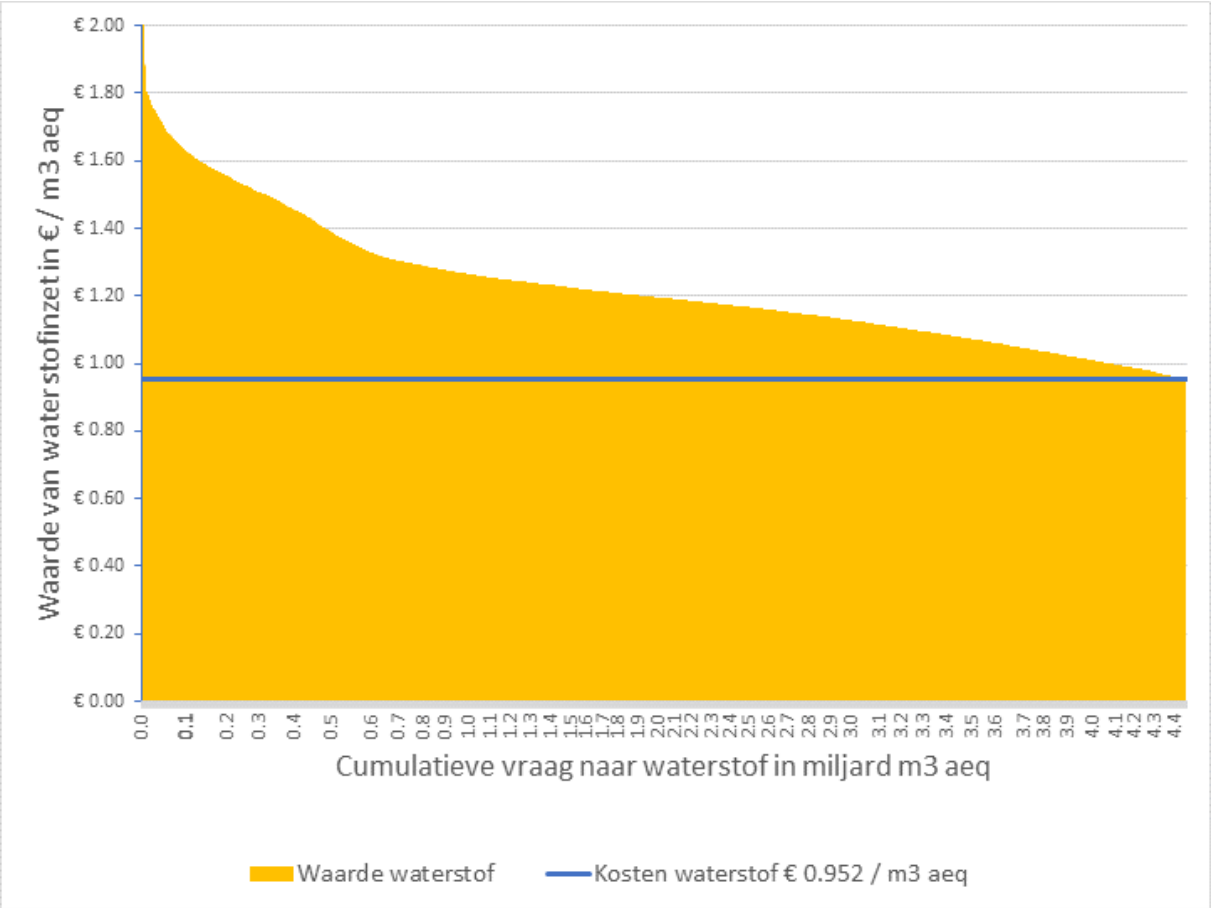
5.5.3.4 In welke buurten is inzetten van waterstof het meest voordelig?

De inzet van waterstof is voor de Nederlandse samenleving het meest voordelig in de buurten met de hoogste waarde van waterstof. In figuur 7 zijn alle buurten gerangschikt naar aflopende

[38] Deze berekeningen zijn gebaseerd op de aanname dat een hybride warmtepomp bij woningen 22% van de warmte met gas produceert en in de dienstensector 40%. Daarnaast is gas nodig voor warm tapwater. Bestaande warmtenetten leveren circa 5% van de benodigde warmte.

waarde van waterstof; de buurt met de hoogste waarde staat het dichtst bij de Y-as van de grafiek. Anders dan bij groengas, waar een gedeeld beeld is van de te verwachten hoeveelheid, kan bij waterstof geen oriëntatiewaarde worden vastgesteld, die gebruikt kan worden om te bepalen of een buurt aanspraak zou kunnen maken op een beperkte hoeveelheid waterstof, op grond van efficiëntie-overwegingen.

Gemeenten kunnen in figuur 2 aflezen of de waarde van waterstof in hun buurt hoog of laag is vergeleken met de waarde in andere buurten. Een relatief hoge waarde duidt erop dat het economisch gunstig kan zijn een beperkte hoeveelheid waterstof juist in die buurten in te zetten. Dat is echter niet meer dan een indicatie. Zo zal bijvoorbeeld nog nagegaan moeten worden of in die buurt een waterstofnet aangelegd kan worden tegen de gemiddelde aanlegkosten die in de berekeningen zijn gehanteerd.



FIGUUR 2: GESCHATTE WAARDE VAN WATERSTOF IN STRATEGIE S5.

5.5.4 Geothermie

Om geothermie (ofwel aardwarmte) succesvol te kunnen toepassen, moet de ondergrond voldoende doorlatend zijn voor het oppompen van warm water en het terugpompen (injecteren) van het afgekoelde water. De bestaande aardwarmteprojecten zijn voornamelijk ontwikkeld in gebieden waar veel informatie beschikbaar is over de ondergrond, verzameld voor de opsporing en productie van olie en gas. Dit geldt vooral voor grote delen van Zuid-Holland, Noord-Holland, Friesland en Groningen. Hier is de potentie van geothermie doorgaans vooraf goed in te schatten door middel van locatiegericht onderzoek. Aardwarmtevergunninghouders als Hydreco Geomec,

Wayland, Engie, HVC en ECW (zie ook www.nlog.nl) en warmtebedrijven gebruiken deze informatie en zijn in deze regio's belangrijke partners bij het inschatten van de rol die aardwarmte in de gebouwde omgeving kan spelen.

In de andere delen van Nederland ontbreekt veelal goede of voldoende informatie van de ondergrond om de potentie van aardwarmte goed te kunnen vaststellen. Dit zijn de gebieden waar het aardwarmtepotentieel nog moet worden onderzocht. Binnen het onderzoeksprogramma Seismische Campagne Aardwarmte Nederland (SCAN) worden in deze gebieden in de komende jaren meer gegevens verzameld zodat de potentie nauwkeuriger kan worden bepaald. Daarvoor wordt de ondergrond in beeld gebracht door middel van seismiek en bewerking van bestaande seismiek. Hierbij wordt voorzien dat in 2019/2020 in de strook Nijmegen-Haarlem nieuwe seismiek wordt verzameld, in 2020/2021 in Zeeland, Noord-Brabant en Limburg en in 2021/2022 het resterende gebied in Gelderland, Overijssel en Flevoland. De bedoeling is om voor 2023 heel Nederland op deze manier in kaart te hebben gebracht. Aanvullend is een aantal onderzoeksboringen gepland om de eigenschappen van aardlagen te bepalen. Dit onderzoek bevindt zich nog in een voorbereidingsfase (voor de actuele informatie over de planning van het programma zie www.ebn.nl/scan).

In het huidige onderzoek zijn alleen de bekende lagen voor aardwarmte meegenomen. Lagen die mogelijk geschikt zijn voor ondiepe geothermie of lagen die mogelijk geschikt zijn voor ultradiepe geothermie zijn hierin nog niet meegenomen. Van deze lagen zijn op dit moment nog te weinig gegevens beschikbaar om de potentie goed te kunnen inschatten. Door zowel SCAN als de GreenDeal UDG zal ook hierover in de komende jaren meer informatie beschikbaar komen.

Elk nieuw project, in de vorm van seismiek of een put, draagt bij aan het inzicht in de ondergrond, het reduceren van de risico's en het aanscherpen van de omvang van het aardwarmtepotentieel. Het aardwarmtepotentieel is dynamisch van aard en grotendeels nog in de opsporingsfase. Bij het maken van plannen voor aardgasvrije wijken is het van belang de ontwikkeling van het aardwarmtepotentieel in de regio in de gaten te houden. TNO is de partij die namens de overheid de meest recente data en informatie van de ondergrond centraal beheert. Die kennis maakt TNO voor aardwarmte publiek via ThermoGIS (www.thermogis.nl). De meest recente versie is ThermoGIS 2.0 en er wordt alweer gewerkt aan een nieuwe versie.

5.5.5 Restwarmte

Voor de berekeningen is gebruikgemaakt van het meest recente bestand uit de Warmteatlas van bronnen met restwarmte, aangevuld met opgaven van (enkele) gemeenten. Deze gegevens zijn onnauwkeurig en onvolledig. In het Klimaatakkoord is afgesproken dat de industrie gaat rapporteren over beschikbare capaciteit aan restwarmte. Dat kan ertoe leiden dat de informatie over beschikbare restwarmte in de komende tijd verbetert. Tot die tijd is het raadzaam dat gemeenten die overwegen restwarmte te gaan benutten contact opnemen met potentiële leveranciers voor nadere informatie over de capaciteit, het vermogen en de bestendigheid van de bronnen.

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

In deze Startanalyse is gerekend met een bestand met bronnen die gezamenlijk jaarlijks 13.612 megawatt midden- en hogetemperatuur restwarmte kunnen leveren. Met die bronnen berekent het model welke buurten en gebouwen het goedkoopst op een HT/MT-warmtenet aangesloten

kunnen worden (varianten S2a en S2d) bij twee verschillende isolatieniveaus. Als de beschikbare restwarmte volledig is toebedeeld, kunnen resterende gebouwen en buurten met deze varianten geen aansluiting op een warmtenet krijgen.

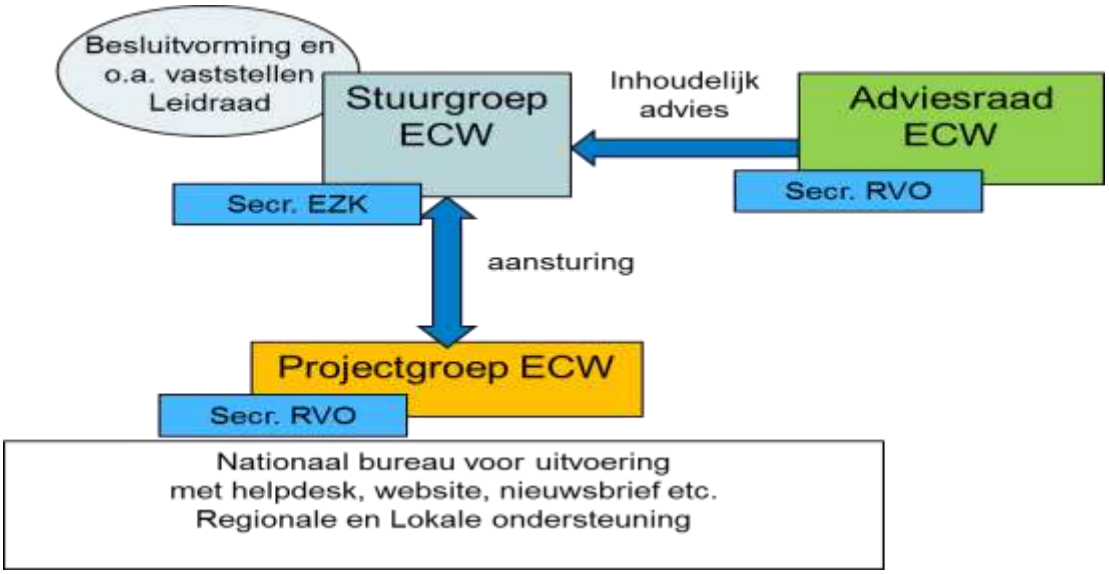
Een soortgelijke analyse is gemaakt met lagetemperatuurbronnen. In onze inventarisatie is jaarlijks 13.603 megawatt thermische warmte beschikbaar.

6 Hoe deze Startanalyse tot stand kwam

6.1 Organisatiestructuur

In het ontwerp-Klimaatakkoord (december 2018) is opgenomen dat een Leidraad zal worden gemaakt om gemeenten te helpen bij het opstellen van een Transitievisie Warmte (TVW). Die Leidraad zou eind september 2019 beschikbaar moeten zijn en bestaan uit twee delen: een Startanalyse van kosten van opties voor aardgasvrij verwarmen van gebouwen en een Handreiking voor het toepassen van de Startanalyse bij het opstellen van een Transitievisie Warmte. Werkgroep 2 van de Klimaattafel Gebouwde Omgeving kreeg de opdracht de productie van die Leidraad voor te bereiden. Na een verkenning van mogelijkheden besloot de werkgroep in december 2018 aan het PBL te vragen de berekeningen voor de Startanalyse uit te voeren met zijn rekenmodel Vesta MAIS. Voor het maken van de Handreiking zou een adviesbureau worden ingeschakeld. Het gehele productieproces moest worden aangestuurd door het Expertise Centrum Warmte (ECW), dat als uitvloeisel van het Klimaatakkoord zou worden opgericht.

FIGUUR 3: ORGANISATIESTRUCTUUR VAN HET ECW (BRON: JAARPLAN ECW 2019).



Begin 2019 is begonnen met de oprichting van het Expertise Centrum. Diens taken[39] zijn benoemd in het Klimaatakkoord. Het is een deskundig kenniscentrum, dat gemeenten ondersteunt op technisch, economisch en duurzaamheidsvlak bij de warmtetransitie van de Nederlandse woningen en gebouwen in wijken en buurten. Een belangrijke eerste taak is het organiseren van de productie van de Leidraad.

Het Expertise Centrum Warmte kent in zijn organisatie een Stuurgroep en een Adviesraad. Een stuurgroep met leden van betrokken overheden geeft richting aan de werkzaamheden van het Expertise Centrum Warmte en geeft formeel goedkeuring aan diens producten, waaronder de Leidraad. In de Stuurgroep hebben vertegenwoordigers zitting van de Vereniging van Nederlandse Gemeenten (VNG), het Interprovinciaal Overleg (IPO), de Unie van Waterschappen

[39] Een overzicht van de werkzaamheden van het ECW is opgenomen in het Jaarplan ECW 2019.

(UvW), het ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) en het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (BZK).

De stuurgroep laat zich adviseren door een Adviesraad. Hierin zijn vertegenwoordigd: Netbeheer Nederland, Energie Nederland, de Nederlandse Vereniging Duurzame Energie, Techniek Nederland, Aedes, TNO, Expertgroep Energietransitierekenmodellen (Eg ETRM), het Economisch Instituut voor de Bouw, Bouwend Nederland en Stichting Warmtenetwerk. Vanuit hun betrokkenheid bij uiteenlopende aspecten van de warmtetransitie beschikken ze over de expertise om te kunnen adviseren over de kwaliteit van de producten van het Expertise Centrum Warmte.

De uitvoering van het ECW is belegd bij de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO.nl).

6.2 Het productieproces van de eerste versie Startanalyse (SA-2019)

De werkzaamheden voor het opleveren van de eerste versie van de Startanalyse in oktober 2019 omvatten de volgende onderdelen:

a. het vaststellen van de gewenste outputspecificatie;
b. het aanpassen van het rekenmodel Vesta MAIS;
c. validatie van rekenregels en modelparameters;
d. het vaststellen van de modelinvoer;
e. het uitvoeren van berekeningen;
f. het opstellen van rapportages voor gemeenten.

In deze paragraaf geven we een korte beschrijving van de belangrijkste beslissingen die bij elk onderdeel moesten worden genomen en welke partijen daarbij betrokken zijn geweest. Vanaf het begin is gepoogd allerlei externe partijen te betrekken bij de productie van de Startanalyse. Daarvoor waren drie redenen: 1) om de Leidraad zo veel mogelijk af te stemmen op de wensen van toekomstige gebruikers, 2) om toekomstige gebruikers zo vroeg mogelijk bekend te maken met de achtergronden, mogelijkheden en beperkingen van de Startanalyse, en 3) om maximaal gebruik te maken van de expertise van externe deskundigen.

6.2.1 Vaststellen van de gewenste outputspecificatie

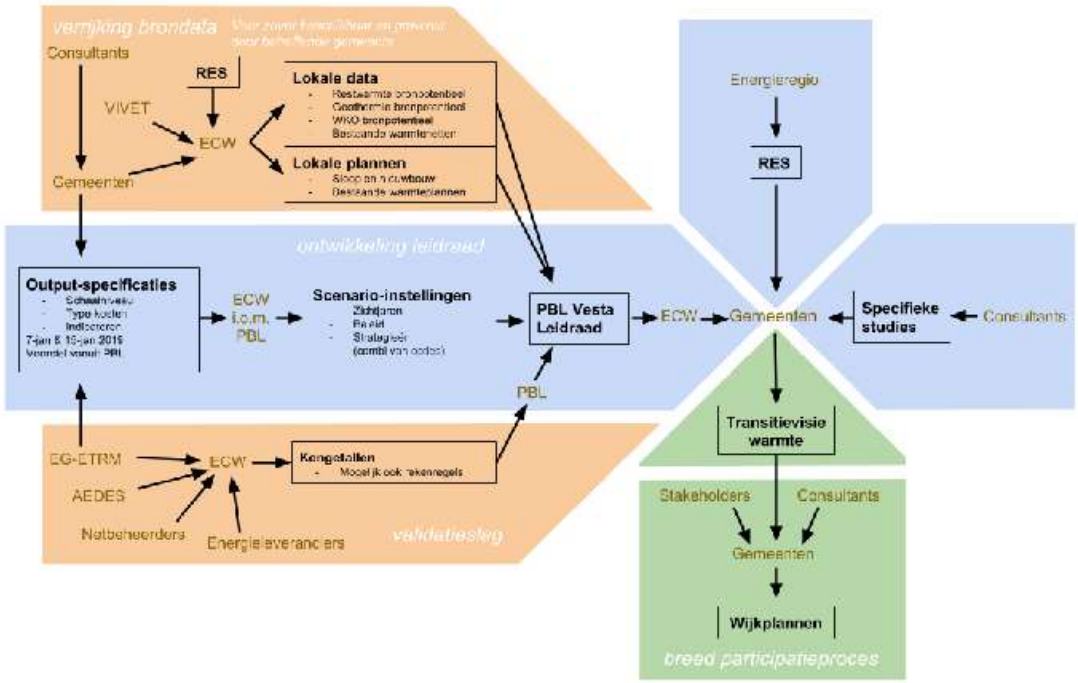
Enkele outputspecificaties waren al opgenomen in het ontwerp-Klimaatakkoord. Daarin staat dat de Startanalyse ‘tot op wijkniveau de gevolgen [weergeeft] van de verschillende (warmte)opties voor zowel de maatschappelijke kosten als de kosten voor verschillende eindgebruikers in de wijk’ (Ontwerp-Klimaatakkoord 2018: 29). Dit hebben we vertaald in een concept-tabellenset met indicatoren. Die set is besproken met deskundigen en vertegenwoordigers van enkele gemeenten en daarna ook in discussie gebracht tijdens vier bijeenkomsten voor gemeenten (in april en mei 2019) waarin de aanpak van de Leidraad werd gepresenteerd.

Tijdens die bijeenkomsten zijn ook de strategieën gepresenteerd als opties voor aardgasvrij verwarmen in de Startanalyse. Naar aanleiding van de discussie over die strategieën in de validatiesessies (zie paragraaf 6.2.3) zijn die strategieën aangevuld met enkele varianten.

Uit ervaringen met toepassing van het Vesta MAIS-model bij analyses voor Drechtsteden[40] is gebleken dat het presenteren van resultaten in de vorm van kaarten behulpzaam is bij het ondersteunen van gesprekken over de resultaten. Daarom is voorgesteld de resultaten van de Startanalyse in drie vormen te presenteren. In de vorm van: 1) kaarten die via een viewer worden

[40] Zie PBL (2018), *Technisch en economisch potentieel voor een aardgasvrije gebouwde omgeving in de regio Drechtsteden - Verkenning met het Vesta MAIS ruimtelijk energiemodel voor de gebouwde omgeving*.

ontsloten, 2) een rapport met tabellen voor elke buurt in een gemeente (het gemeenterapport), en 3) een datapakket dat kan worden gebruikt voor aanvullende analyses met Vesta, andere rekenmodellen of GIS. Daarnaast komt een technisch achtergrondrapport beschikbaar met een verantwoording van de gekozen rekenregels en modelparameters. De stuurgroep heeft hiermee ingestemd.



FIGUUR 4: INFORMATIESTROMEN T.B.V. DE PRODUCTIE VAN DE STARTANALYSE EN DE TRANSITIEVISIE WARMTE

6.2.2 Aanpassen van het rekenmodel Vesta MAIS

Eind 2018 was versie 3.4 van het Vesta-model operationeel en gepubliceerd op GitHub, een platform voor open source-computermodellen. Die versie was nog niet geschikt om alle strategieën door te rekenen die voor de Startanalyse gewenst waren. Om productie van de Startanalyse mogelijk te maken, zijn de volgende functionaliteiten aan het model toegevoegd:

a. lagetemperatuurwarmtenetten;
b. berekening van de warmtevraag per woning als functie van het vloeroppervlak (als aanvulling op het gebouwtype, bouwjaar en energielabel);
c. benutting van aquathermie – Thermische Energie uit Oppervlaktewater (TEO) en Thermische Energie uit Afvalwater (TEA) – als warmtebron voor lagetemperatuur-warmtenetten;

Naast uitbreiding van de functionaliteiten van het model is ook de documentatie van Vesta MAIS verbeterd door bestaande documenten, die opeenvolgende uitbreidingen van het model toelichten, te integreren en bundelen in één document. Ook is de broncode van het model opgeschoond en toegankelijker gemaakt.

6.2.3 Validatie van rekenregels en modelparameters

Voor een brede acceptatie van de resultaten van de Startanalyse is van belang dat deskundigen de rekenregels in Vesta en de daarbij gebruikte parameters beschouwen als de best mogelijke benadering van de te verwachten werkelijkheid. Om dat te bereiken, zijn t.b.v. de SA-2019

validatiesessies georganiseerd met deskundigen uit het veld: twee sessies over warmtenetten (op 1 en 24 april 2019 met respectievelijk 33 en 39 deelnemers), een sessie over schilmaatregelen (met 37 deelnemers op 16 april 2019) en een sessie over conversietechnieken (met 39 deelnemers op 11 april 2019). De verslagen van die sessies zijn gepubliceerd op de website van het Expertise Centrum Warmte en de resultaten zijn verwerkt in de rekenregels en in de modelparameters die zijn gebruikt in de berekeningen voor de Startanalyse.

6.2.4 Vaststellen van modelinvoer

De modelinvoer van Vesta kan worden onderverdeeld in vier categorieën: 1) data over de huidige situatie, 2) technische parameters, 3) scenariokenmerken en 4) overige invoer. We beschrijven hierna kort per categorie hoe de te hanteren waarden zijn bepaald; een uitvoeriger toelichting is te vinden in het achtergrondrapport. Daar zijn ook de getalswaarden te vinden die in de berekeningen zijn gehanteerd.

6.2.4.1 Data over de huidige situatie

In deze categorie gaat het om data over de huidige gebouwen in Nederland, afkomstig uit de meest recente versie van de Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG), aangevuld met informatie over energielabels van de RVO. Daarnaast wordt informatie van het CBS gebruikt over het energieverbruik per buurt en informatie van netbeheerders over de aanwezige distributie-netten voor elektriciteit, aardgas en warmte.

6.2.4.2 Technische en financiële parameters

De technische parameters in het model zijn parameters met een vaste waarde in elke modelrun en in elke strategie. Ze hebben betrekking op technische prestatie-indicatoren van apparaten en isolatiemaatregelen. De waarden voor deze parameters zijn ontleend aan vakliteratuur en zijn gecontroleerd tijdens bovengenoemde validatiesessies.

In deze categorie vallen ook de parameters voor kosten van maatregelen in het startjaar. De parameters die worden gebruikt bij het berekenen van de jaarlijkse kosten, zoals discontovoeten en afschrijvingstermijnen, vallen onder ‘overige invoer’. De kostencijfers zijn ontleend aan vak-literatuur en gecontroleerd tijdens validatiesessies. Kosten van isolatiemaatregelen zijn ontleend aan de meest recente versie van de Arcadis-database (januari 2020) en zijn daarmee gelijk aan de kostencijfers die gebruikt worden bij de berekeningen voor het project Standaarden en Streef-waarden. De gehanteerde waarden zijn te beschouwen als een representatief landelijk gemiddel-de. Lokale omstandigheden kunnen aanleiding zijn om hiervan af te wijken. Gemeenten kunnen zelf beslissen of zij de uitkomsten van de Startanalyse voor hun buurten hiervoor willen corrigeren.

Als derde onderdeel van deze categorie is informatie opgenomen over de potentiële beschikbaar-heid van warmtebronnen: restwarmte, geothermie en aquathermie (TEO en TEA). Informatie over beschikbare restwarmte is ontleend aan de Warmteatlas en aan informatie die gemeenten hebben aangeleverd, in reactie op een uitnodiging hiertoe die in mei 2019 is rondgestuurd.

6.2.4.3 Scenario-kenmerken

In de categorie scenariokenmerken zitten parameters over relevante ontwikkelingen die niet kunnen worden beïnvloed door lokale actoren. Dat gaat onder andere over de verwachte temperatuurstijging (die van invloed is op de warmte- en koudevraag in gebouwen), de huidige en toekomstige energieprijzen, de inhoud van nationaal energiebeleid en het tempo waarin de

kosten van maatregelen gaan dalen als gevolg van technische innovaties en leereffecten bij installatiebedrijven.

Voor de te hanteren waarden van deze parameters heeft het PBL voorstellen geformuleerd en voorgelegd aan de projectgroep van het Expertise Centrum Warmte, de adviesraad en andere externe deskundigen. De stuurgroep heeft alle aangepaste voorstellen goedgekeurd. Dat heeft onder andere tot gevolg dat de eindgebruikerskosten nog niet kunnen worden berekend in deze versie van de Startanalyse. Dat komt omdat de informatie over het toekomstige nationale energiebeleid, zoals vastgelegd in het Klimaatakkoord, nog niet concreet genoeg was uitgewerkt op het moment dat alle invoerparameters moesten worden vastgesteld.

6.2.4.4 Overige invoer

De overige modelinvoer heeft betrekking op de configuratie van de modelruns, oftewel op de stuurvariabelen die ervoor zorgen dat de opgestelde strategieën juist worden doorgerekend. Het gaat dan bijvoorbeeld over de keuze van het zichtjaar (hier 2030), de selectie van gebouwtypen die in de berekeningen worden betrokken (in de Startanalyse zijn bijvoorbeeld kassen uitgesloten), de selectie van technieken die kunnen worden toegepast (verschilt per strategie) en het al dan niet betrekken van informatie over sloop en nieuwbouw. Informatie over geplande sloop en nieuwbouw is niet landsdekkend beschikbaar. Gemeenten kunnen deze informatie zelf toevoegen en de uitkomsten van de Startanalyse hiervoor corrigeren.

Onder ‘overige invoer’ vallen ook de parameters die worden gebruikt bij het berekenen van de jaarlijkse kosten, zoals discontovoeten en afschrijvingstermijnen.

6.2.5 Uitvoeren van berekeningen

De berekeningen voor de Startanalyse 2019 zijn in augustus en september 2019 uitgevoerd door medewerkers van het PBL, nadat alle invoerparameters waren vastgesteld en alle model-aanpassingen waren getest.

De uitkomsten zijn op talloze manieren getoetst op plausibiliteit, onder andere door:

a. te controleren of het totale nationale aardgasverbruik in de gebouwde omgeving volgens het CBS overeenkomt met het gesommeerde aardgasverbruik in alle buurten in het startjaar;
b. te kijken naar de uitkomsten van buurten met de hoogste en de laagste nationale kosten en te beoordelen of die uitkomsten plausibel zijn, gezien de fysieke kenmerken van die buurten.
c. berekeningen te controleren voor buurten die nu gedeeltelijk zijn aangesloten op een bestaand warmtenet en waar S4 of S5 de laagste nationale kosten heeft voor het resterende deel van die buurt.

Het is fysiek ondoenlijk om de uitkomsten voor elk van de ruim 13.600 buurten afzonderlijk te controleren. We kunnen daarom niet uitsluiten dat er vreemde resultaten ontstaan die om meer uitleg vragen dan de algemene uitleg die in dit rapport is opgenomen. Voor vragen over de uitkomsten voor uw buurt kunt u contact opnemen met de helpdesk van het Expertise Centrum Warmte via www.expertisecentrumwarmte/contact.

6.2.6 Opstellen rapportages voor gemeenten en buurten

Dit rapport bevat algemene informatie over de Startanalyse en is identiek voor elke gemeente. Het rapport is opgesteld door medewerkers van het PBL met betrokkenheid van de projectgroep, adviesraad en stuurgroep ECW.

Voor elke gemeente is een pdf-bestand met gemeenteresultaten beschikbaar. Hierin staan sets met tabellen en figuren voor iedere buurt van de gemeente. In dit rapport lichten we deze tabellen

toe in hoofdstuk 3 en 4. De tabellen en figuren zijn automatisch gegenereerd. Daarbij is gebruik gemaakt van de buurtcodering die het CBS hanteert. De pdf-bestanden met gemeenteresultaten zijn te downloaden via de viewer.

6.3 Productie van de Startanalyse versie 2020

Voor het maken van de Startanalyse versie 2020 is dezelfde aanpak gevolgd als voor productie van de eerste versie, zoals beschreven in paragraaf 6.2. Net als toen is het productieproces begeleid door dezelfde adviesraad en stuurgroep en door het ECW.

6.3.1 Vaststellen van de gewenste outputspecificatie

Op grond van ervaringen van gebruikers met de eerste versie van de Startanalyse zijn de specificaties van de tweede versie in januari 2020 door de stuurgroep vastgesteld. De planning was erop gericht om uiterlijk eind maart 2020 de resultaten te publiceren.

De belangrijkste verschillen met de eerste versie hadden betrekking op:

a. Een strategie met waterstof is toegevoegd, conform de wens die in het Klimaatakkoord was geformuleerd;
b. Varianten zijn toegevoegd met isoleren tot schillabel D, naar aanleiding van de wens van gemeenten om meer inzicht te krijgen in het effect van isolatiekosten op de kostenverschillen tussen strategieën;
c. Meer detailinformatie is gegeven over de opbouw van de nationale kosten per buurt en over het energieverbruik;
d. Er is gewerkt met actuele data over kosten en gebouwkenmerken;
e. De gevoeligheidsanalyse is tot twee factoren vereenvoudigd: effect van hogere of lager investeringskosten en hogere of lagere energiekosten.

De inhoudelijke gevolgen van deze (en andere) veranderingen worden kort beschreven in het vervolg van dit hoofdstuk en uitgebreid in het Achtergrondrapport bij de SA-2020.

Hoewel in de eerste versie nog werd aangekondigd dat de tweede versie (conform de wens uit het Klimaatakkoord) ook informatie over eindgebruikerskosten zou bevatten, heeft de stuurgroep besloten dat onderdeel toch niet op te nemen. Uit verkennende analyses was namelijk gebleken dat het format van de Startanalyse zich niet goed leent om inzicht te bieden in de variatie in eindgebruikerskosten die binnen buurten zal optreden. De Startanalyse kan een gemiddelde waarde per buurt berekenen, per type eindgebruiker zoals bewoners, bedrijven, en energie-leveranciers. Maar dat zegt weinig over de eindgebruikerskosten van verschillende soorten huishoudens (groot, klein; arm, rijk; koop, huur). Daarom is besloten om de eindgebruikerskosten met een andere methode te bepalen, volgend op de presentatie van de Startanalyse 2020.

6.3.2 Aanpassen van het rekenmodel Vesta MAIS

Om de nieuwe specificatie van resultaten te kunnen berekenen, is het Vesta MAIS-model op onderdelen aangepast en uitgebreid. Die aanpassingen zijn gedocumenteerd in het Functioneel Ontwerp Vesta 5.0 dat via de website van PBL te raadplegen is.

De belangrijkste aanpassingen hadden betrekking op:

a. Het model geschikt maken om strategieën met waterstof te kunnen doorrekenen;
b. De berekeningsmethode van kosten en effecten van isolatiemaatregelen;
c. De methode voor het bepalen van de lengte van een warmtenet.

6.3.3 Validatie van rekenregels en modelparameters

In januari 2020 zijn nieuwe validatiesessies georganiseerd om met externe deskundigen te bespreken welke parameters geactualiseerd konden worden. De resultaten van die actualisatie zijn beschreven in het Achtergrondrapport SA-2020 en worden in de volgende paragrafen kort aangestipt.

Toen medio maart de conceptresultaten van de SA-2020 werden besproken in de externe projectgroep werden aanvullende vragen gesteld over de uitgangspunten met betrekking tot a) de kosten en beschikbaarheid van waterstof, b) de methode om de vermindering van de warmtevraag door isolatiemaatregelen te bepalen en c) de kosten van klimaatneutrale elektriciteit. Om die vragen voldoende grondig te kunnen beantwoorden was meer tijd nodig. Toen is in overleg met de stuurgroep besloten de oplevering van SA-2020 uit te stellen tot september.

Vervolgens zijn voor elk van de genoemde onderwerpen nieuwe onderzoeken gestart. Die hebben geleid tot drie notities met onderzoeksresultaten. Elke notitie is beoordeeld door een aantal hoogleraren en externe deskundigen. Na verwerking van hun commentaar zijn die notities voorgelegd aan een bredere groep[41] van circa 40 deskundigen van o.a. de adviesraad en zijn hun opmerkingen – waar mogelijk – verwerkt in de notities. Die notities komen beschikbaar via de website van PBL;

a. Waterstof voor de gebouwde omgeving; operationalisering voor de SA-2020.
b. Kosten van klimaatneutrale elektriciteit in 2030; operationalisering voor de SA-2020.
c. Energiebesparing door isolatie van woningen in de Startanalyse 2020; Schatting op basis van gemeten en berekend aardgasverbruik.

In het Achtergrondrapport staan de parameterwaarden vermeld die uit bovengenoemde notities zijn gebruikt in de berekeningen voor de SA-2020, voorzien van een korte toelichting. Een uitgebreide toelichting vind je in bovengenoemde notities.

6.3.4 Vaststellen van modelinvoer

6.3.4.1 Data over het startjaar

In SA-2020 is het startjaar 2019, één jaar actueler dan de SA-2019. We hebben ook gebruik gemaakt van actuele informatie over de samenstelling van de gebouwenvoorraad, zoals opgenomen in de BAG van 1-1-2020 en het energielabelbestand van RVO.

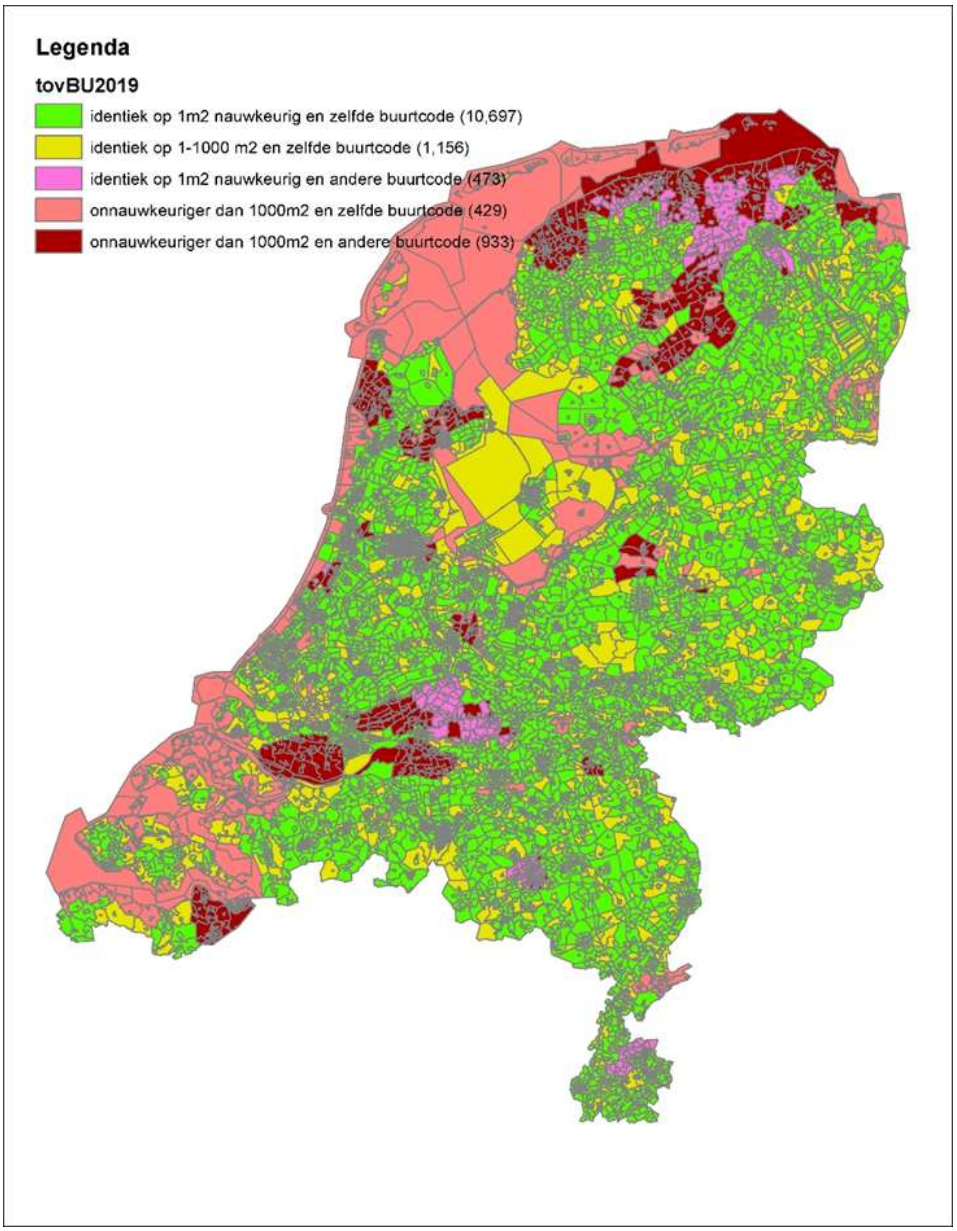
Buurtcodes soms aangepast

Een aantal gemeenten hanteerde in 2019 andere buurtcodes dan in 2018: soms zijn buurten gesplitst, samengevoegd of hebben de begrenzing aangepast. In de viewer zijn kaarten opgenomen die de globale verschillen laten zien (zie figuur 4) en die per buurt de oude en nieuwe buurtgrenzen laat zien. Voor 10.697 buurten is er niets veranderd. Er zijn 1.156 buurten met dezelfde code maar een kleine aanpassing in de begrenzing waardoor de oppervlakte 1-1000 m^2 afwijkt. Bij 473 buurten is alleen de code veranderd. Bij 429 is de oppervlakte met meer dan 1000

[41] De bijeenkomsten waren: 29 juni klimaatneutrale elektriciteit, 6 juli waterstof en 13 juli energiebesparing.

m^2 veranderd maar bleef de buurtcode gelijk. Bij 933 buurten veranderde zowel de code als de oppervlakte met meer dan 1000 m^2.

Deze actualisatie heeft tot gevolg dat de resultaten van de SA-2020 moeilijk te vergelijken zijn voor buurten die een andere buurtcode hebben gekregen en voor buurten met dezelfde code maar verandering in het oppervlak. Dat geldt dus voor ruim 20% van de 13.600 buurten uit de SA-2019.



FIGUUR 5: WIJZIGINGEN VAN BUURTCODES TUSSEN 2019 EN 2020.

Capaciteit van warmtebronnen geactualiseerd

In januari 2020 is aan gemeenten gevraagd het bronnenbestand voor LT-, MT- en HT-warmte-bronnen te controleren dat we in SA-2019 hebben gebruikt bij de berekeningen voor de strategieën met warmtenetten. In totaal hebben 50 gemeenten, 7 provincies, OD-IJmond en Regio Parkstad informatie geleverd die is bewerkt en geschikt gemaakt. Via de UvW hebben we

nieuwe informatie van Deltares gekregen over de wateren die geschikt zijn voor de winning van thermische energie uit oppervlaktewater (TEO).

Het resultaat hiervan is, dat er MT-bronnen zijn afgevallen en toegevoegd. Een aantal grote warmtebronnen hebben hun beschikbare capaciteit verlaagd (Tata, Chemelot). De totale beschikbare capaciteit aan MT-warmtebronnen veranderde daardoor van 12.498 MWthermisch naar 13.612 MWthermisch. Bij de LT-bronnen zijn netto bronnen afgevallen. Van de potentiele LT-bronnen hebben we nu van meer bronnen capaciteit-data ontvangen, vnl. van supermarkten. De totale beschikbare LT-capaciteit is gedaald van 14.459 MWthermisch naar 13.603 MWthermisch. Ook zijn de gemalen geschrapt uit de lijst met potentiele bronnen voor koude-levering.)

Kosten elektriciteit gecorrigeerd

De kosten van elektriciteit in het startjaar zijn in SA-2019 abusievelijk afgeleid van de kosten in 2010 in plaats van die in 2018. Dat had geen invloed op de kostenverschillen tussen de varianten, alleen op de absolute hoogte van de extra kosten ten opzichte van het startjaar. In SA-2020 zijn voor het startjaar de kosten in 2019 gebruikt.

6.3.4.2 Technische en financiële parameters

Een aantal technische parameters zijn geactualiseerd. Een volledig overzicht is opgenomen in het Achtergrondrapport. De belangrijkste aanpassing heeft betrekking op de verhouding gas/elektriciteit in de warmteproductie door een hybride warmtepomp. Op grond van ervaringen uit de installatiebranche is die verhouding veranderd van 50/50 naar 20/80 (woningen) en 40/60 (utiliteit). Let op dat het hier alleen gaat om energie nodig voor ruimteverwarming.

Kosten van isolatiemaatregelen

Bij de financiële parameters hebben we de kosten van isolatiemaatregelen geactualiseerd en in overeenstemming gebracht met de kostencijfers die ook gebruikt worden bij het onderzoek ten behoeve van het opstellen van een isolatiestandaard en isolatiestreefwaarden, zoals aangekondigd in het Klimaatakkoord. Het gevolg van deze actualisatie (plus het overstappen op data uit WoON-2018 in plaats van WoON-2010) is dat de kosten van isolatiemaatregelen *gemiddeld* 20% hoger zijn voor woningen die naar schillabel B gebracht worden. Voor isolatiemaatregelen tot schillabel D kan geen kostenvergelijking worden gemaakt omdat die optie in SA-2019 niet voorkomt. Deze actualisatie heeft geen invloed op de kostenverschillen tussen varianten die tot eenzelfde schillabel isoleren; die worden namelijk allemaal evenveel duurder. Het is wel van invloed op het kostenverschil tussen varianten met schillabel B en die met schillabel D.

Om de aansluiting bij het onderzoek voor de isolatiestandaard verder te verbeteren, hebben we de indeling van bouwperioden geharmoniseerd, Daardoor is de periode ‘ouder dan 1946’ uit SA-2019 gesplitst in ‘ouder dan 1930’ en een periode ‘1931-1945’’. Bij woningen van vóór 1930 veronderstellen we dat geen spouwmuur aanwezig is. Dat heeft gevolgen voor de kosten van isoleren tot schillabel D of B van dat type woningen.

Energiebesparing

Vergeleken met de SA-2019 is de berekeningsmethode van energiebesparing veel gedetailleerder. Nu maken we onderscheid tussen woningen met een formeel, afgemeld energielabel en woningen zonder zo’n label. Om te bepalen welk type maatregelen genomen moeten worden in welk type woning moesten we in SA-2019 nog gebruik maken van data uit de WoON-2012-enquête, die eens in de zes jaar wordt gehouden. Voor de SA-2020 konden we

gebruik maken van data uit WoON-2018. Een uitgebreide toelichting op de nieuwe manier van omgaan met energiebesparing is te vinden in het Achtergrondrapport en in het Functioneel Ontwerp Vesta 5.0. De vermindering van de warmtevraag door isolatiemaatregelen is berekend met de methode op basis van gemeten verbruik. De keuze om deze methode te hanteren wordt beschreven in de notitie Energiebesparing door isolatie van woningen in de Startanalyse 2020, Schatting op basis van gemeten en berekend aardgasverbruik.

Leidinglengte bij warmtenetten

In de SA-2020 is een nieuwe methode toegepast om de lengte te bepalen van de leidingen van een distributienet voor warmte. In de vorige versie werd die lengte geschat op basis van de oppervlakte van een buurt. In de nieuwe methode wordt de lengte geschat met behulp van het stratenpatroon dat in elke buurt aanwezig is. Dat leidt ertoe dat de leidingen in SA-2020 meestal langer zijn dan in SA-2019 en de kosten navenant hoger.

6.3.4.3 Scenario-kenmerken

In de categorie scenariokenmerken zitten parameters over relevante ontwikkelingen die niet kunnen worden beïnvloed door lokale actoren. Dat gaat onder andere over de verwachte temperatuurstijging (die van invloed is op de warmte- en koudevraag in gebouwen), de huidige en toekomstige energieprijzen, de inhoud van nationaal energiebeleid en het tempo waarin de kosten van maatregelen gaan dalen als gevolg van technische innovaties en leereffecten bij installatiebedrijven.

Voor de te hanteren waarden van deze parameters heeft het PBL voorstellen geformuleerd en voorgelegd aan de projectgroep van het Expertise Centrum Warmte, de adviesraad en andere externe deskundigen. Voor de kosten van waterstof en van klimaatneutrale elektriciteit zijn aparte notities opgesteld en extern gereviewd. De stuurgroep heeft alle aangepaste voorstellen goedgekeurd.

Vergeleken met de SA-2019 zijn geen veranderingen aangebracht in de verwachte temperatuur-stijging, het nationale energiebeleid en het verwachte tempo waarin de kosten van maatregelen gaan dalen tussen nu en 2030.

Kosten elektriciteit

De kosten van elektriciteit in 2030 zijn nu hoger dan in SA-2019. Toen hanteerden we de verwachte groothandelsprijs voor elektriciteit in 2030 zoals die in de KEV werd gerapporteerd. Voor een eerlijke vergelijking van kosten van aardgasvrije, klimaatneutrale strategieën moeten de kosten van elektriciteit ook gebaseerd zijn op die van klimaatneutrale elektriciteit. De stroompro-ductie in 2030 is naar verwachting voor zo'n 70% gebaseerd op hernieuwbare bronnen en dus nog niet geheel klimaatneutraal. Bovendien zijn groothandelsprijzen geen goede indicatie voor nationale kosten omdat daarin nog de SDE++subsidies zijn verdisconteerd. In de SA-2020 is voor beide effecten gecorrigeerd en hanteren we nationale kosten (dus zonder subsidies) van geheel klimaatneutrale elektriciteit.

Kosten groengas en beschikbaarheid

De kosten van groengas in 2030 zijn nu lager dan in SA-2019. Dat komt doordat uit berekeningen van productiekosten in het kader van SDE++ blijkt dat die kosten elk jaar lager worden. Die indicatie was in 2019 ook al zichtbaar maar toen was de trend nog onzeker. Nu blijkt dat de productiekosten enkele jaren op rij lager worden, is er meer zekerheid dat die ontwikkeling structureel is. Op grond van die nieuwe SDE-berekeningen zijn de nationale productiekosten van

groengas (excl. overheadkosten) in 2030 nu bepaald op 67 cent per m^3 aardgasequivalent, duidelijk lager dan de 103 cent/m^3 die in de SA-2019 is gebruikt.

De beschikbaarheid van groengas voor verwarming van gebouwen op lange termijn is bepaald op 2 bcm per jaar, net als in de SA-2019. Daarvan is 0,5 bcm gereserveerd voor de hulpketels bij warmtenetten zodat voor de verwarming van woningen en bedrijfsgebouwen in de berekeningen 1,5 bcm beschikbaar is. Het blijft onzeker of die hoeveelheid op termijn daadwerkelijk beschikbaar komt; het zou zowel meer als minder kunnen worden.

Kosten waterstof en beschikbaarheid

De kosten van waterstof in 2030 werden in de SA-2019 nog niet gebruikt. Op grond van eigen onderzoek en met behulp van een literatuurstudie door CE Delft zijn kostenramingen voor 2030 gemaakt van de productie van blauwe en groene waterstof. De analyse is uitvoerig beschreven in de notitie “Waterstof voor de gebouwde omgeving; operationalisering voor de SA-2020”. De conclusie van die studie is, dat we in de SA-2020 rekenen met de verwachte productiekosten van blauwe waterstof. Die bedragen gemiddeld €3,61 per kilogram ofwel 95 cent per m^3 aardgas-equivalent, met een bandbreedte van 64 tot 137 cent/m^3. Op termijn kan groene waterstof goedkoper worden, ook als die geïmporteerd wordt uit verre landen. Voor de Startanalyse is dat niet zo relevant omdat verwacht mag worden dat de productiekosten van andere duurzame energiedragers na 2030 ook nog dalen. Voor een selectie van strategieën is niet zozeer de absolute hoogte van de kosten van belang maar de kostenverschillen tussen strategieën en varianten.

De beschikbaarheid van waterstof voor verwarming van gebouwen op lange termijn is erg onzeker. Anders dan bij groengas is er voor waterstof geen breed gedragen schatting van de beschikbare hoeveelheid voor handen. Het is mogelijk dat grootschalige productie van waterstof niet van de grond komt, maar het is ook mogelijk dat het over enkele decennia (tegen redelijke prijzen) in onbeperkte hoeveelheden beschikbaar komt.

6.3.4.4 Overige invoer

In deze categorie invoerdata zijn alleen aanpassingen ten opzichte van de eerste Startanalyse aangebracht voor zover die noodzakelijk waren om de nieuwe specificaties van de output te kunnen leveren, zoals de extra varianten voor waterstof.

6.3.5 Uitvoeren van berekeningen en kwaliteitscontrole

De berekeningen voor SA-2020 zijn op dezelfde wijze uitgevoerd als voor de vorige versie. Dit keer hebben medewerkers van de ECW-helpdesk meer tijd gehad om de uitkomsten te controleren. Desondanks kunnen we niet garanderen dat alles foutloos is verlopen.

Bij vragen over de uitkomsten kan je het beste contact opnemen met de ECW-helpdesk, te bereiken via www.expertisecentrumwarmte/contact.

6.3.6 Rapportages voor gemeenten en buurten

Dit rapport bevat algemene informatie over de Startanalyse en is identiek voor elke gemeente. Het rapport is opgesteld door medewerkers van het PBL met betrokkenheid van de projectgroep, adviesraad en stuurgroep ECW.

Voor elke gemeente is een zip-bestand met gemeenteresultaten beschikbaar. Dit bestaat uit csv-files met data en pdf-bestand met voor iedere buurt van de gemeente een set van tabellen en figuren. Vergeleken met de SA-2019 is de tabellenset uitgebreid en onderverdeeld in hoofdstukken, om de verschillende soorten gegevens sneller te kunnen vinden. In dit rapport lichten we deze tabellen toe in hoofdstuk 3 en 4. De tabellen en figuren zijn automatisch gegenereerd. Daarbij is gebruik gemaakt van de buurtcodering die het CBS hanteert. De zip-bestanden met gemeenteresultaten zijn te downloaden via de viewer. Tevens zijn via de Samenvattende pagina van de viewer de gemeenteresultaten per buurt beschikbaar.

6.3.7 Verschillenanalyse

Hierboven is beschreven dat de SA-2019 op tal van punten is uitgebreid, geactualiseerd en verbeterd in de SA-2020. Dat heeft natuurlijk gevolgen voor de berekende nationale kosten van de onderzochte varianten van strategieën voor aardgasvrij verwarmen van gebouwen. Dat kan ook betekenen dat in jouw buurt nu een andere strategie de laagste nationale kosten heeft dan in SA-2019, ook als de waterstofstrategie buiten beschouwing wordt gelaten. Dat reflecteert de dynamiek van het transitieproces waar we aan werken. Juist doordat veel partijen werken aan technieken om de CO_2-uitstoot bij verwarmen van gebouwen te reduceren, komen er steeds nieuwe inzichten beschikbaar. Dat is vervelend voor mensen die houvast en zekerheid zoeken, maar het is ook hoopgevend voor mensen die vinden dat de transitie goedkoper en efficiënter moet worden. Dat zijn niet zelden dezelfde mensen.

Vergeleken met de vorige versie laat deze Startanalyse zien dat de nationale kosten van drie van de vier strategieën uit SA-2019 nu (over het algemeen) hoger zijn. De groengas-strategie is nu aanmerkelijk goedkoper dan in de vorige versie. Tevens laat de nieuwe Startanalyse zien dat isoleren tot schillabel D in veel gevallen lagere systeemkosten vergt dan isoleren tot schillabel B. Ook blijkt dat de waterstof-strategie in veel gevallen lagere nationale kosten heeft dan de strategieën met warmtenetten en met elektriciteit. Er zijn dus goedkopere opties in beeld gekomen om de gebouwde omgeving – op termijn – zonder aardgas te verwarmen. Verwarmen met aardgas zal nog heel lang de goedkoopste optie blijven zolang de maatschappelijke kosten van de CO_2-uitstoot niet worden meegerekend. Maar deze Startanalyse laat zien er meer kostenverschillen tussen de strategieën zijn dan de vorige versie liet zien.

Het is niet eenvoudig om op buurtniveau de berekende kosten in beide Startanalyses goed te vergelijken, zelfs niet voor identieke varianten. Dat komt doordat de extra kosten in SA-2020 worden bepaald ten opzichte van de kosten in de referentiesituatie in 2030 terwijl in SA-2019 de extra kosten bepaald werden ten opzichte van de kosten in het startjaar 2018 (met energiekosten van 2010). Om de mensen van de helpdesk bij ECW te ondersteunen, is een analysetool ontwikkeld waarmee een systematische vergelijking van de kostenberekeningen in SA-2019 en SA-2020 gemaakt kan worden voor de buurten die in beide studies dezelfde buurtcode hebben en voor de varianten die in beide studies zijn geanalyseerd. Dat betekent dat we geen vergelijking kunnen maken voor alle varianten met waterstof en varianten met schillabel D omdat die in SA-2019 niet voorkwamen. Die analysetool wordt niet online aangeboden omdat hij niet gebruiksvriendelijk is maar de medewerkers van de helpdesk kunnen hem gebruiken om de verschillen tussen de huidige en vorige versie voor jouw buurt te helpen verklaren.