



Planbureau voor de Leefomgeving

ACHTERGRONDRAPPORT ACTUALISATIE STARTANALYSE AARDGASVRIJE BUURTEN 2026

Boris van Beijnum, Steven van Polen, Wessel Poorthuis en Janneke Blok
7 oktober 2026

PBL

Colofon

Achtergrondrapport actualisatie Startanalyse aardgasvrije buurten 2026

© PBL Planbureau voor de Leefomgeving
Den Haag, 2026
PBL-publicatienummer: 5630

Contact

Boris.vanbeijnum@pbl.nl

Auteurs

Boris van Beijnum, Steven van Polen, Wessel Poorthuis en Janneke Blok

Met dank aan

Het PBL is dank verschuldigd aan Florian Hesselink (CE Delft), Casper Tigchelaar (TNO), Hanna Jonker (TNO) en Jeffrey Sipma (TNO) voor bijdragen aan de actualisatie van de kengetallen; aan Walter van den Wittenboer (RVO), Bertus Mertens (RVO), Annemijn van Stiphout (RVO) en Joep Langeveld (RVO) voor diverse bijdragen aan de actualisatie van kengetallen en commentaar op de rapportage; aan Robert Deckers (RVO) voor informatie over thermische bronnen; aan Casper van Mourik (EZK) voor commentaar op de rapportage; aan Rens Limpens en Anastasia Koezjakov (Alliander), Sytze Buruma (Coteq), Tjarko Neerken (Enexis), Ka Wang Man en Isabel Nowak (Stedin) en Rick den Hartog (Westland Infra) voor het leveren van nieuwe netbeheerdersinformatie; aan Marian Abels en Allard Warrink (PBL) voor het opmaken van de figuren.

Toegankelijkheid

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

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Beijnum, B. van et al. (2026), Achtergrondrapport actualisatie Startanalyse aardgasvrije buurten 2026., Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

Het PBL doet onderzoek naar de leefomgeving en het leefomgevingsbeleid in Nederland en daarbuiten. Denk aan milieu, natuur en ruimtelijke inrichting. Met onze verkenningen, analyses en evaluaties leveren we strategische kennis voor beleid, politiek, maatschappelijke organisaties en het bredere publiek. We geven daarbij niet alleen feiten en inzichten over het hier en nu, maar kijken ook vooruit naar de nabije en verdere toekomst. We doen ons onderzoek gevraagd en ongevraagd, onafhankelijk en wetenschappelijk onderbouwd.

Inhoud

1	Inleiding	5
2	Inleiding op de Startanalyse	8
2.1	Wat is de Startanalyse?	8
2.2	Wat levert de Startanalyse op?	9
3	Strategieën en varianten	13
3.1	Referentiebeelden: 2023 en 2030	13
3.2	Strategie techniek en infrastructuur	14
3.3	Variantinvulling per strategie	17
3.4	Verschillen in strategieën tussen de SA2020 en de ASA2025	43
3.5	Overzicht strategieën en varianten	45
4	Verdiepende uitleg	46
4.1	Modellering van buurten met bestaand warmtenet	46
4.2	Clusteringsmethode lage-temperatuur warmtenetten	47
4.3	Supplementaire buurt-WKO strategievarianten	49
4.4	Allocatie klimaatneutraal gas	50
5	Uitgangspunten ASA2025	52
5.1	Methode actualisatie & validatiesessies	55
5.2	Algemene aanpassingen	56
5.3	Gebouwinformatie	60
5.4	Warmtebronnen	64
5.5	Buurtinformatie	69
5.6	Netbeheerdersdata	70
5.7	Energieverbruik gebouwen	74
5.8	Investerings energiebesparing woningen	79
5.9	Investerings energiebesparing utiliteit	87
5.10	Kentallen individuele installaties	87
5.11	Kentallen warmtenetten	93
5.12	Overige kentallen	106
5.13	Kosten van energiedragers	111
6	Wijzigingen ASA2026 ten opzichte van ASA2025	124
6.1	Correcties	124
6.2	Aanpassingen op basis van actuelere en betere gegevens	127
6.3	Beschikbaarheid klimaatneutraal gas	131
6.4	Extra gevoeligheidsanalyses	131
7	Vergelijking resultaten Startanalyse-publicaties op hoofdlijnen	133
7.1	Veranderingen in resultaten ASA2026	135
7.2	Kostenontwikkeling referentiebeeld 2030	137
7.3	Kostenontwikkeling strategie 1	139

7.4	Kostenontwikkeling strategie 2	141
7.5	Kostenontwikkeling strategie 3	145
7.6	Kostenontwikkeling strategie 4	147
7.7	Kostenontwikkeling bij de strategie met laagste nationale kosten	149

Referenties	152
--------------------	------------

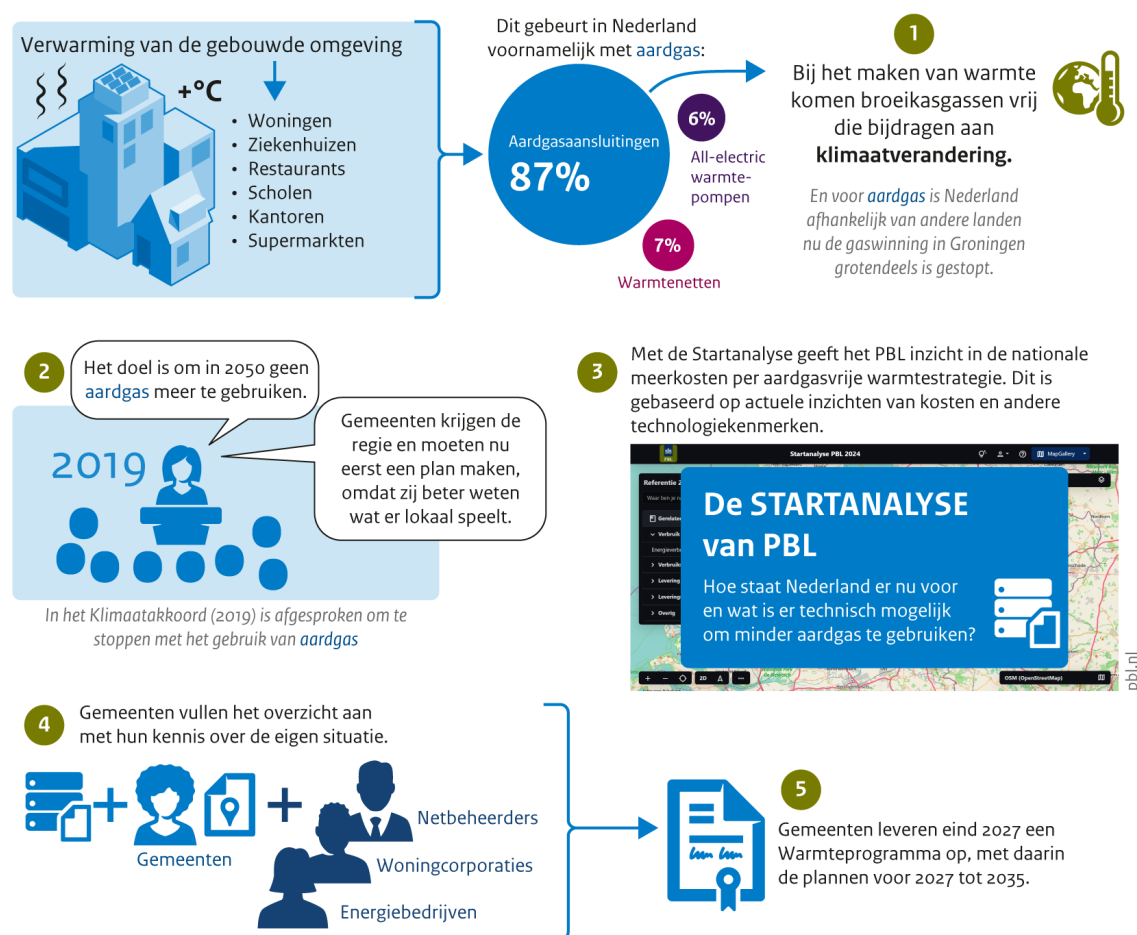
1 Inleiding

Om klimaatverandering tegen te gaan is het van belang om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen. Nederland heeft haar klimaatdoelen vastgesteld in de nationale Klimaatwet, waarbij de doelstelling is om in 2050 een klimaatneutraal energiesysteem te hebben. Voor de gebouwde omgeving betekent dit met name dat de inzet van aardgas moet worden afgebouwd. Gemeenten hebben hierin een regierol. De 'Startanalyse aardgasvrije buurten' [hierna: de Startanalyse] ondersteunt gemeenten bij het maken van keuzes voor een andere warmtevoorziening. Met de Startanalyse krijgen gemeenten inzicht in verschillende technische mogelijkheden om gebouwen zonder aardgas te verwarmen, en in de nationale kosten daarvan (zie Figuur 1).

Figuur 1

Met de Startanalyse geeft PBL inzicht in de nationale meerkosten per aardgasvrije warmtestrategie

Dit is gebaseerd op actuele inzichten van kosten en andere technologiekenmerken



De Startanalyse aardgasvrije buurten 2020 (hierna: SA2020) is uitgevoerd als voorbereiding op de transitievisies warmte die gemeenten eind 2021 hebben opgeleverd. De Actualisatie Startanalyse aardgasvrije buurten 2025 (hierna: ASA2025) richtte zich op de ondersteuning van gemeenten bij het opleveren van hun warmteprogramma's in 2026.

Dit achtergrondrapport bij de Actualisatie Startanalyse aardgasvrije buurten 2026 (hierna: ASA2026) bevat toelichting over de uitgangspunten van de ASA2026 en de verschillen met de ASA2025.

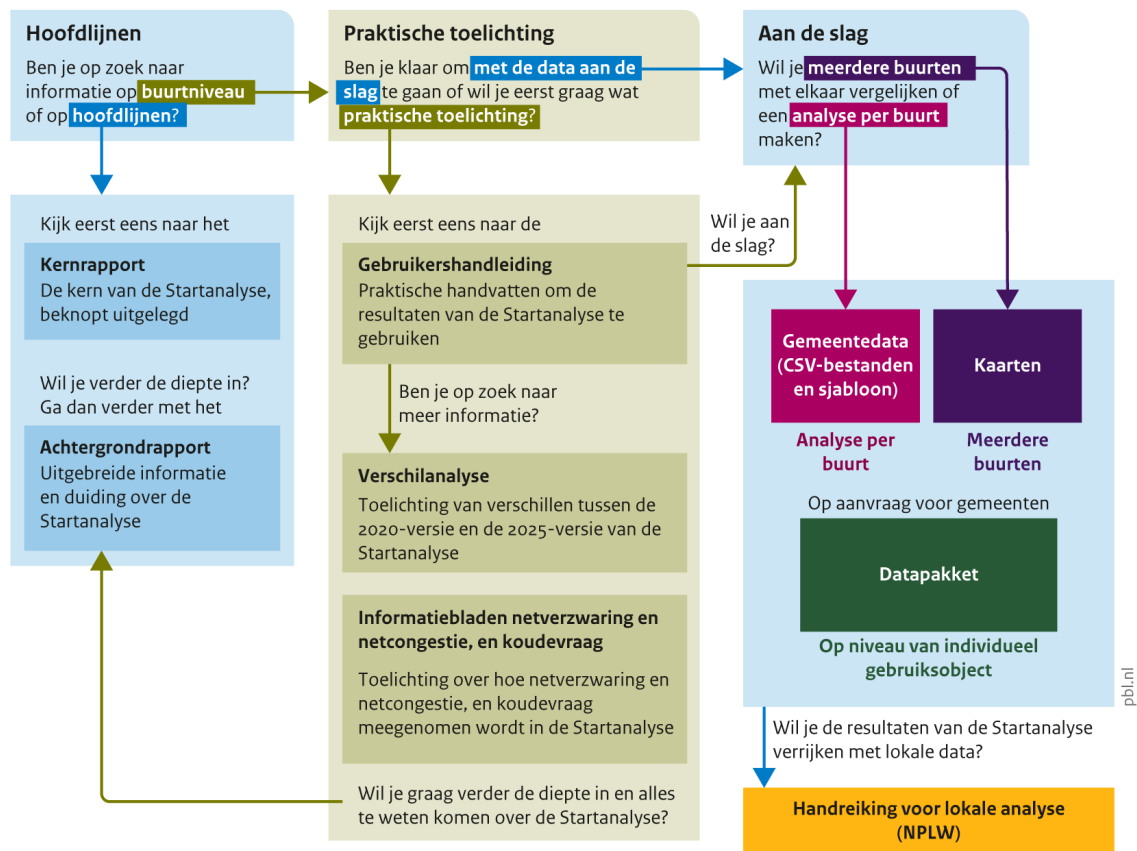
Rol van het achtergrondrapport in de bundeling van producten

De Startanalyse is een verzamelnaam voor een bundel producten om gemeenten te ondersteunen bij de oplevering van een warmteprogramma. Deze bundel van producten is te vinden via de [web-site van de Startanalyse](#), waarin ook een toelichting wordt gegeven op de producten via onder andere onderstaande keuzehulp (zie Figuur 2). De primaire uitkomst van de Startanalyse is inzicht op buurtniveau over de nationale meerkosten van verschillende aardgasvrije verwarmingsopties. Om deze uit te rekenen wordt gebruik gemaakt van het Vesta MAIS model (Van der Molen et al. 2021). Dit is een ruimtelijk energiemodel waarin zowel woningen als utiliteitsgebouwen zijn opgenomen. Om het Vesta MAIS model goed te laten rekenen is veel detailinformatie nodig over eigenschappen van technologieën, de potentie van warmtebronnen en diverse andere factoren. Voor de ASA2025 is deze data allemaal geactualiseerd en dit achtergrondrapport geeft de onderbouwing van deze keuzes. Het achtergrondrapport gaat met name in op de onderbouwing van de invoer. De methode (het Vesta MAIS model) wordt beschreven in een apart document: Het Functioneel Ontwerp. Het model is op onderdelen gewijzigd, maar de methode komt grotendeels overeen met het Functioneel Ontwerp 5.0 (van der Molen 2021).

Allereerst wordt een korte toelichting gegeven op de Startanalyse als studie in hoofdstuk 2. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 ingegaan op de gehanteerde strategieën en varianten in zowel de ASA2025 als de ASA2026. Hoofdstuk 4 geeft verdiepende uitleg over enkele complexe modelonderdelen, namelijk de modellering van bestaande warmtenetten, de methode om tot clusters te komen van gebouwen met een (zeer) lage temperatuur warmtenetaansluiting, de modellering van de supplementaire WKO-buurt strategievarianten en de allocatiemethode die in de Startanalyse wordt gehanteerd om een beperkte hoeveelheid klimaatneutraal gas te verdelen over buurten. Hoofdstuk 5 beschrijft de aanpassingen die zijn gedaan aan kengetallen en modellering in het kader van de ASA2025. Hoofdstuk 6 beschrijft de aanpassingen die daarna nog zijn gedaan in het kader van de ASA2026. Alle wijzigingen die in de hoofdstukken 5 en 6 zijn beschreven leiden tot verschuivingen in de Startanalyse resultaten tussen de SA2020 en de ASA2026. Hoe de resultaten zijn veranderd wordt beschreven in hoofdstuk 7.

Figuur 2

Keuzehulp voor navigatie door Startanalyse voor aardgasvrije buurten



Bron: PBL

Deze figuur is bedoeld als visuele keuzehulp voor navigatie door de verschillende Startanalyse producten. Op hoofddlijnen en nationaal niveau wordt informatie gegeven via het kernrapport en verdiepende rapport. Resultaten op buurniveau worden onder andere aangeboden via het gemeentelijke datapakket en detailkaarten.

2 Inleiding op de Startanalyse

De Startanalyse is een gedetailleerde studie naar verschillende aardgasvrije opties om gebouwen te verwarmen. De ASA2026 is een actualisatie, maar om deze resultaten goed te kunnen interpreteren wordt eerst de Startanalyse als studie geïntroduceerd.

2.1 Wat is de Startanalyse?

Op grond van de Wet gemeentelijke instrumenten warmtetransitie (Wgiw) die naar verwachting vanaf 1-1-2027 in werking zal treden (BZK g.d.), moeten gemeenten uiterlijk 31 december 2027 een warmteprogramma opstellen (NPLW g.d.). In een warmteprogramma wordt vastgelegd welke stappen een gemeente tot en met 2035 zal nemen om tot een aardgasvrije warmtevoorziening te komen. Als startpunt voor het opstellen van een warmteprogramma kunnen gemeenten de Startanalyse aardgasvrije buurten (hierna: Startanalyse) gebruiken. De hoofdpunten daarvan zijn in dit rapport beschreven. De Startanalyse maakt voor alle buurten in Nederland¹ inzichtelijk welke strategie (warmtepompen, warmtenetten, een combinatie van beiden of klimaatneutrale gassen) de laagste nationale meerkosten heeft en een potentieel startpunt is voor een warmteprogramma. Gemeenten kunnen hierop voortbouwen met aanvullende analyses, bijvoorbeeld van ruimtelijke impact, geluidshinder en het effect van strategieën op de energierekening van huishoudens, om vervolgens te komen tot een afgewogen warmteprogramma.

2.1.1 Aanleiding voor de Startanalyse aardgasvrije buurten 2020

Nederland staat voor de uitdaging om in 2050 een volledig klimaatneutrale gebouwde omgeving te hebben, zoals volgt uit de Klimaatwet. Dit betekent een verduurzamingsopgave voor circa 8 miljoen woningen en 0,5 miljoen gebouwen (Kadaster, 2024), waarbij is gekozen voor een wijkgerichte aanpak, waarvoor de regierol bij gemeenten ligt. Om de gemeenten te ondersteunen bij het maken van een integrale kostenanalyse is in het Klimaatakkoord opgenomen dat er een leidraad beschikbaar gemaakt wordt. In deze leidraad wordt informatie omtrent aardgasvrije strategieën beschikbaar gesteld op basis van transparante, gevalideerde, feitelijke data. Aan het PBL is verzocht om invulling te geven aan een deel van deze leidraad, wat heeft geresulteerd in de eerste versie van de Startanalyse in 2020² (van Polen et al. 2020). We refereren aan deze oorspronkelijk publicatie van de Startanalyse aardgasvrije buurten als de SA2020.

2.1.2 Aanleiding voor de Actualisatie Startanalyse aardgasvrije buurten 2025

Ongeveer twee derde van de gemeenten heeft de SA2020 gebruikt als bron bij het opstellen van hun transitievisie warmte (van der Molen et al. 2023). Met de invoering van de Wet gemeentelijke instrumenten warmtetransitie (Wgiw) wordt de term ‘transitievisie warmte’ vervangen door de

¹ Nederland heeft ongeveer 3.500 wijken en 14.500 buurten binnen de CBS 2023-indeling.

² Het andere deel bestaat uit de handreiking voor lokale analyse, die eerst werd vormgegeven door het Expertise Centrum Warmte (ECW) in 2020 en later door het Nationaal Programma Lokale Warmtetransitie (NPLW) in 2025 (NPLW 2025).

term ‘warmteprogramma’. In voorbereiding op de warmteprogramma’s is een behoeftepeiling gedaan onder gemeenten voor een nieuwe Startanalyse. Hierin gaf het grootste deel aan behoefte te hebben aan een actualisatie, voornamelijk van de kostenparameters.

De ministeries van Klimaat en Groene Groei (KGG) en Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening (VRO) hebben het PBL daarom verzocht de SA2020 te actualiseren met meer recente data. De Actualisatie Startanalyse aardgasvrije buurten 2025 (ASA2025) is gepubliceerd in maart 2025 (van Polen et al. 2025).

2.1.3 Aanleiding voor Actualisatie Startanalyse aardgasvrije buurten 2026

Het PBL publiceert de ASA2026 om verschillende redenen. Ten eerste zijn correcties van invoerwaarden en modelwijzigingen noodzakelijk gebleken naar aanleiding van de respons van gemeenten en aanvullende controles door het PBL. Ten tweede zijn op onderdelen betere en actuelere gegevens beschikbaar gekomen. Ten derde zijn er nieuwe uitgangspunten voor wat betreft de inzet van klimaatneutraal gas. Deze laatste aanpassing heeft een groot effect op de verdeling van warmtetechnologieën binnen de Startanalyse.

2.1.4 Wat voor type studie is de Startanalyse?

In de Startanalyse wordt een beeld van de toekomst geschetst, maar er zijn verschillende manieren om de toekomst te verkennen. De Startanalyse is een *wat-als studie*, bedoeld om informatie te geven over de toekomst wanneer gekozen wordt voor een bepaalde strategie om gebouwen aardgasvrij te verwarmen. Het doel is om op buurtniveau een eerste indruk te krijgen van de kosten van verduurzamingsstrategieën- in de Startanalyse gebruiken we daarvoor het ‘nationale meerkosten’ begrip- en om strategieën op basis van de nationale meerkosten met elkaar te vergelijken (Juijn et al. 2023).

De Startanalyse is geen *toekomstverkenning*, zoals bijvoorbeeld de Klimaat- en Energieverkenning. De Klimaat- en Energieverkenning geeft inzicht in de voortgang van de energietransitie gegeven het huidige vastgestelde, voorgenomen en geagendeerde beleid. De KEV focust zich op de invloed van beleid op het halen van doelstellingen waar de Startanalyse een mogelijk eindbeeld geeft, zonder de invloed van beleid mee te nemen.

2.2 Wat levert de Startanalyse op?

De Startanalyse omvat veel verschillende producten, welke kort toegelicht worden in paragraaf 2.2.1. De belangrijkste resultaten zijn de nationale meerkosten per aardgasvrije strategie. Dit begrip wordt toegelicht in paragraaf 2.2.2.

2.2.1 Overzicht van producten

Een overzicht van de Startanalyse is te zien in Figuur 2. Een interactieve versie van de figuur met een uitgebreidere toelichting per onderdeel is te vinden op de [website](#) van de Startanalyse.

Naast de nationale meerkosten is er een hoop aanvullende data beschikbaar, welke bijvoorbeeld inzichtelijk gemaakt worden in de [Strategievergelijking](#), de [Kaarten](#) en de [Gemeentedata](#). Deze data kunnen gebruikt worden voor aanvullende analyses door gemeenten. Een praktische toelichting

hierop staat in de [Gebruikershandleiding](#). Dit achtergrondrapport geeft uitgebreide informatie en duiding van deze resultaten en de onderliggende berekeningen. Daarnaast zijn er nog twee informatiebladen geschreven over de koudevraag in de gebouwde omgeving (Polen & Blok, 2025a) en over hoe netverzwaring en netcongestie worden meegenomen (Polen & Blok 2025b). Als laatste zijn er na publicatie van de ASA2025 diverse webinars gegeven waarin vragen konden worden gesteld. Deze zijn te vinden op de NPLW-website (Nationaal Programma Lokale Warmtetransitie) (NPLW g.d.b).

2.2.2 Nationale meerkosten

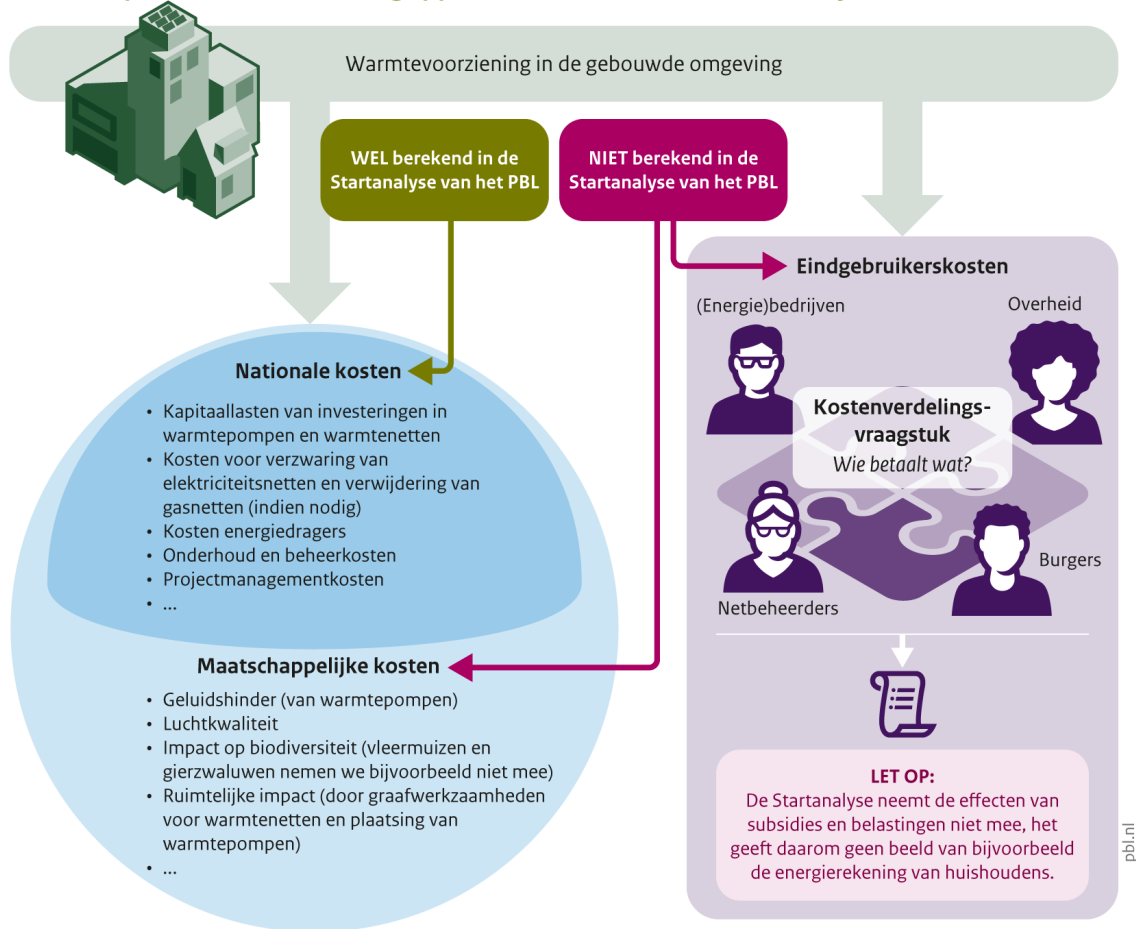
Om een vergelijking tussen verschillende strategieën te kunnen maken wordt gebruik gemaakt van het begrip ‘nationale meerkosten’. Bij dat kostenbegrip wordt geredeneerd vanuit Nederland als geheel. Rondom het begrip nationale kosten spelen verschillende definities een rol, zoals toegelicht in de Werkwijzer nationale kosten (Juijn et al. 2023). Wanneer zowel opbrengsten als kosten meegenomen worden, wordt gesproken over het nationale kostensaldo. In de Startanalyse worden echter geen opbrengsten in beeld gebracht en worden alleen de nationale kosten gehanteerd. Wel wordt meegenomen dat bijvoorbeeld variabele kosten dalen als gevolg van het toepassen van isolatie of een warmtepomp. Dit wordt verder toegelicht in het voorbeeld aan het einde van deze paragraaf. De nationale kosten voor aardgasvrije warmtestrategieën worden afgezet tegen de nationale kosten van het referentiebeeld 2030. Daarom wordt de term ‘nationale meerkosten’ gebruikt in plaats van nationale kosten. Met deze definitie is het mogelijk om een vergelijking te maken tussen verschillende warmtestrategieën. Voor iedere buurt in Nederland wordt bepaald welke strategie de laagste nationale (meer)kosten heeft. Figuur 3 geeft een overzicht van enkele kostentypen die vallen onder de nationale kosten. Daarnaast wordt ook geschetst hoe het nationale kostenbegrip zich verhoudt tot andere kostenbegrippen.

In het Klimaatakkoord (Rijksoverheid 2019) wordt gebruik gemaakt van de term *maatschappelijke kosten* als basis voor het bepalen van de meest geschikte strategieën om aardgasvrij te verwarmen. Hiervoor is echter geen definitie gegeven. Een interpretatie van maatschappelijke kosten kan zijn dat ook externaliteiten worden meegenomen, zoals ook wordt gedaan in een maatschappelijke kosten-baten analyse (MKBA). Externaliteiten zijn niet-financiële en indirecte effecten zoals luchtvervuiling en geluidshinder. De kosten van deze externaliteiten worden niet meegenomen in de Startanalyse.

De verdeling van kosten over verschillende partijen betrokken in de keten wordt ook niet meegenomen in de Startanalyse. Dit betekent dat nationale kosten altijd exclusief belastingen, heffingen en subsidies zijn. Deze worden gezien als betalingen van de ene groep mensen aan de andere, die de netto kosten voor beide groepen tezamen, en dus voor heel Nederland, niet beïnvloeden. De vereenvoudigende veronderstelling is dat de ene groep Nederlanders belasting betaalt die via de schatkist wordt uitgekeerd aan een andere groep Nederlanders die subsidie ontvangt (en er geen euro de landsgrens overgaat) waardoor Nederland geen financiële kosten maakt. Dit sluit aan bij de beperking van het nationale kostenbegrip tot directe, financiële effecten. Hoe de verdeling tussen partijen er wel uit ziet hangt af van beleidskeuzes en vaak specifieke lokale situaties.

Figuur 3

PBL-interpretatie van kostenbegrippen in het kader van de Startanalyse



Bron: PBL

Deze figuur geeft het verschil tussen verschillende kostenbegrippen in het kader van de Startanalyse conform de interpretatie van het PBL. Nationale kosten geven alle financiële kosten, zonder rekening te houden met de verdeling van die kosten over maatschappelijke actoren. Bij eindgebruikerskosten wordt gekeken naar de kosten voor specifieke maatschappelijke actoren of 'eindgebruikers', de verdeling van kosten is in dat perspectief belangrijk. Bij maatschappelijke kosten wordt ook gekeken naar externaliteiten, zoals geluidshinder en luchtkwaliteit. In de Startanalyse worden alleen nationale kosten berekend.

Praktijkvoorbeeld: kostenperspectieven bij het plaatsen van een individuele elektrische warmtepomp

Dit kan worden toegelicht aan de hand van een voorbeeld: het installeren van een individuele elektrische warmtepomp met bijbehorende isolatie voor eigenaar-bewoners zonder VvE. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen drie verschillende perspectieven: (1) het eindgebruikersperspectief, in dit geval de eigenaar-bewoner, (2) het overheidsperspectief, en (3) het nationale kostenperspectief. Zie ook Tabel 1 voor een overzicht van de kosten en baten per perspectief.

Voor het plaatsen van een individuele elektrische warmtepomp is een minimum isolatieniveau nodig; in de Startanalyse wordt verondersteld dat een gebouw tot minimaal schillabel B geïsoleerd wordt. Vervolgens wordt een warmtepomp aangeschaft en worden de conventionele radiatoren

door lage temperatuur-afgiftesystemen³ vervangen in een deel van de woningen. Dit resulteert in allerlei kosten, zowel in het nationale kostenperspectief als in het eindgebruikersperspectief.

Wel kan de eigenaar-bewoner voor de isolatiemaatregelen en de warmtepomp ISDE subsidie krijgen, of een renteloze lening via het Warmtefonds. Deze financiële ondersteuning zorgt voor respectievelijk baten en kosten vanuit het eindgebruikers- en overheidsperspectief, maar verandert niets aan het nationale kostenperspectief. De kosten worden anders verdeeld, maar Nederland als geheel maakt geen extra kosten.

Iets vergelijkbaars geldt voor de energierekening. De totale energierekening zal naar verwachting lager worden, wat geldt als baten voor de eindgebruiker en een daling van nationale kosten door lagere inkoopkosten voor energie (let op: dus wel hogere nationale kosten door de investering). Echter zal het verschil in energiebelasting geen verandering in het nationale kostensaldo teweeg brengen, omdat het hierbij gaat om een herverdeling van kosten.

Tabel 1

Overzicht van de verandering in saldo (kosten minus baten) vanuit verschillende perspectieven (eindgebruikers-, overheids- en nationale kostenperspectief) bij het plaatsen van een individuele elektrische warmtepomp.

Onderdeel	Eindgebruikersperspectief: bewoner	Overheidsperspectief	Nationale kostenperspectief
Isoleren naar label B+	+		+
LT-afgiftesysteem plaatsen	+		+
Aanschaf warmtepomp	+		+
Installatiekosten	+		+
ISDE-subsidie (warmtepomp + isolatie)	-	+	
Warmtefonds renteloze lening	-	+	
Onderhoudskosten	+		+
Kosten energiedragers	-		-
Energiebelasting elektriciteit	+	-	
Energiebelasting gas	-	+	

³ In de Startanalyse nemen we alleen convectoren mee als lage temperatuur-afgiftesystemen. Vloerverwarming laten we buiten beschouwing.

3 Strategieën en varianten

In dit hoofdstuk worden de gehanteerde strategieën en strategievarianten binnen de ASA2025 en de ASA2026 toegelicht. De strategieën en varianten zijn grotendeels onveranderd tussen de ASA2025 en de ASA2026, er is alleen een wijziging bij de invulling van variant S3g welke wordt toegelicht in paragraaf 6.1.7. Eerst wordt ingegaan op de referentiebeelden die gehanteerd worden voor de berekeningen (zie paragraaf 3.1). Dan wordt dieper ingegaan op de vier strategieën, die zijn gebaseerd op een combinatie van techniek en infrastructuur (paragraaf 3.2). De varianten binnen de strategieën worden vervolgens verder toegelicht in paragraaf 3.3. Vervolgens wordt een korte toelichting gegeven op de verschillen in strategieën tussen de SA2020 en de ASA2025 (zie paragraaf 3.4). Als laatste wordt een totaaloverzicht gegeven van de strategieën en varianten in paragraaf 3.5.

3.1 Referentiebeelden: 2023 en 2030

De Startanalyse is een techno-economische analyse waarin verschillende vormen van aardgasvrij verwarmen met elkaar worden vergeleken. Om deze vergelijking te kunnen maken wordt eerst het startjaar in beeld gebracht. Voor de ASA2025 en de ASA2026 is dit 2023. Het referentiebeeld 2023 geeft een beeld van de situatie zoals die was eind 2023. Denk hierbij bijvoorbeeld aan het totaal aantal gebouwen in Nederland, de afgemelde energielabels en het energieverbruik van de gebouwen.

Vervolgens wordt een raming gemaakt van enkele ontwikkelingen om een beeld te geven van de energiehuishouding in 2030. Dit wordt aangeduid als het referentiebeeld 2030. In dit referentiebeeld wordt uitgegaan van verwarming van gebouwen met aardgas. Dit referentiebeeld wordt gebruikt als basis voor de berekening van de nationale meerkosten voor de aardgasvrije warmteopties. In het referentiebeeld 2030 wordt met name gekeken naar de effecten van klimaatverandering, de kosten van energiedragers als aardgas en elektriciteit en de leereffecten van maatregelkosten. In het referentiebeeld 2030 worden verder geen autonome ontwikkelingen of beleid meegenomen die invloed hebben op de energiehuishouding van de gebouwde omgeving in 2030, zoals deze bijvoorbeeld wel worden meegenomen in de Klimaat- en Energieverkenning. Dit is een vereenvoudiging van de werkelijkheid, omdat autonome ontwikkelingen niet worden meegenomen terwijl in de praktijk er wel veranderingen zijn in de gebouwen tot 2030. HR-ketels moeten bijvoorbeeld wel worden vervangen als zij het einde van hun levensduur bereiken, maar die kosten worden in de Startanalyse niet meegenomen in het referentiebeeld. Indien vervanging van HR-ketels zou worden meegerekend, worden de nationale meerkosten van alle strategievarianten lager. Deze daling is echter gelijk voor alle strategievarianten en heeft daarom geen invloed op het verschil tussen de meerkosten van de strategievarianten.

3.2 Strategie techniek en infrastructuur

De basis voor het onderscheid tussen strategieën is het verschil in infrastructuur, isolatieniveau in de doelsituatie en techniek die nodig zijn voor de verwarming van gebouwen.

3.2.1 Toelichting begrippen bij onderscheid strategieën

Om het onderscheid tussen de strategieën te kunnen maken worden eerst de temperatuurniveaus van warmteproductie en -levering toegelicht.

Temperatuurniveaus warmteproductie en -levering

Het woord warmte lijkt een vrij simpel begrip, maar alleen het begrip warmte geeft in de context van de energietransitie nog niet voldoende informatie. Zo zit er bijvoorbeeld een belangrijk verschil tussen warmte van 100°C en 15°C: dit heeft implicaties voor het type infrastructuur dat er nodig is om die warmte te kunnen transporteren. Het is van belang om duidelijk te maken welke definities worden gehanteerd met betrekking tot warmte binnen de Startanalyse. Het verschil in temperatuurniveau is bepalend voor het onderscheid tussen een warmtenet met midden- of hogetemperatuur-warmtebron (S₂) en een warmtenet met een (zeer)lagetemperatuur-warmtebron (S₃).

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

- Hogetemperatuurwarmte (HT): 80 tot 100°C
- Middentemperatuurwarmte (MT): 60 tot 80°C
- Lagetemperatuurwarmte (LT): 30 tot 60°C
- Zeer-lagetemperatuurwarmte (ZLT): 5 tot 30°C

In Tabel 2 (aan het einde van dit hoofdstuk) wordt een overzicht gepresenteerd waarin wordt ingegaan op de verschillende temperatuurniveaus van bronnen, distributie en afgifte per variant.

3.2.2 Strategie 1: Individuele elektrische warmtepomp

Strategie 1 is een strategie waarin wordt uitgegaan van een warmtevoorziening op basis van individuele all-electric warmtepompen. De warmtepomp wordt ingezet voor zowel ruimteverwarming als voor de warmtapwatervoorziening. Deze warmtepompen maken gebruik van warmte en/of koude uit de omgeving (bodem, water of buitenlucht) en waarden deze op tot het gewenste temperatuurniveau.

In de winter is het verschil tussen de buitentemperatuur en de binnentemperatuur groter, waardoor de warmtepomp harder moet 'werken' om het gewenste binnentemperatuurniveau te behouden. Het rendement van de warmtepomp daalt wanneer het elektrische element bij moet springen om de binnentemperatuurniveaus te halen. Hierdoor stijgt het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp significant in de winterperiode. Omdat de warmtevoorziening nu volledig ingevuld kan worden door middel van elektriciteit is het aardgasnet overbodig geworden. De netbeheerders hebben in een uitvoeringsafpraak opgenomen dat een tijdelijke afsluiting maximaal één jaar duurt. Daarna moet de aansluiting weer in gebruik worden genomen of worden verwijderd met het oog op veiligheid (ACM g.d.). Binnen deze strategie zal daarom het aardgasnet verwijderd worden.

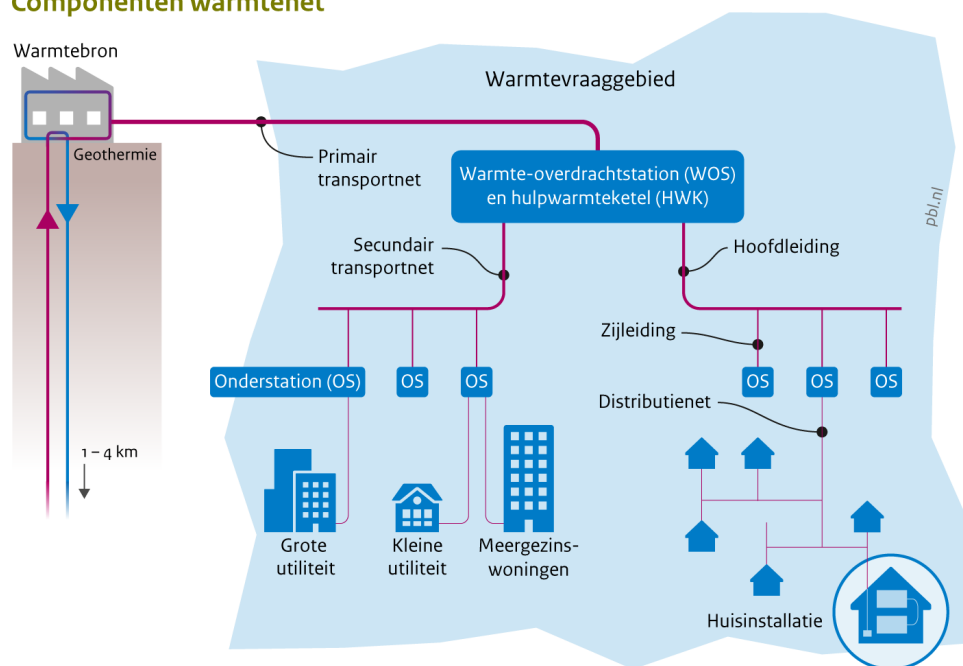
3.2.3 Strategie 2: Warmtenet met midden- of hogetemperatuurwarmtebron

In strategie 2 wordt de warmtevraag van gebouwen ingevuld door middel van aansluiting op een warmtenet met een midden- of hogetemperatuurwarmtebron. Met een warmtenet is er sprake van een bron die (een overschot aan) warmte beschikbaar heeft die ingezet kan worden voor de warmtevoorziening van gebouwen. Deze bron wordt omschreven als de *primaire bron*. De mogelijkheden voor de warmtevoorziening door middel van een warmtenet zijn onder andere afhankelijk van het temperatuurniveau van deze bron. Binnen strategie 2 worden alleen bronnen ingezet waarvan we reden hebben om aan te nemen dat deze warmtebronnen een temperatuurniveau hebben van +/- 70°C (MT-warmte) of hoger.

Warmte met deze temperatuurniveaus, aangevuld met de mogelijke aanvulling vanuit een hulpwarmte-installatie, kan in principe direct ingezet worden voor warm tapwater en de verwarming van gebouwen met de huidige radiatoren.

Een warmtenet bestaat niet alleen uit een primaire warmtebron; er zijn nog diverse andere componenten nodig om te zorgen dat de warmte op het goede temperatuurniveau wordt aangeleverd aan een gebouw (zie Figuur 4).

Figuur 4
Componenten warmtenet



Bron: PBL

Deze figuur geeft een overzicht van de componenten van een warmtenet. Een warmtenet bestaat uit een primair transportnet, secundair transportnet en distributienet. Bij het distributienet wordt onderscheid gemaakt in hoofdleiding en zijleidingen.

Een eerste component is het leidingnet. De locatie van de primaire warmtebron is bekend, maar dan is het nog nodig dat de warmte vanaf deze locatie wordt getransporteerd naar de buurt met gebouwen die de warmte afnemen. De leiding voor dit transport van primaire bron naar de buurt

wordt aangeduid met de term primair (transport)net. Vervolgens moet de warmte binnen de buurt gedistribueerd worden naar alle gebouwen.

Het leidingnet dat zorgt voor de warmtedistributie binnen de buurt, is het secundaire net en wordt meestal aangeduid met de term distributienet. In dit distributienet staat vaak ook een back-up ketel die ervoor zorgt dat er altijd warmte geleverd kan worden, de zogeheten hulpwarmte-installatie (HWI). Deze ketel zorgt ervoor dat de warmte het temperatuurniveau haalt waar de gebouwen om vragen. Deze ketel wordt voornamelijk ingezet op piekmomenten (koude dagen) en wanneer de primaire bron bijvoorbeeld in onderhoud is.

De laatste component van een warmtenet betreft de aanpassingen in het gebouw zelf. Het gaat hierbij om de aansluiting van de warmtewisselaar en eventuele andere kosten binnen het gebouw om te zorgen dat het warmtenet alle woningen in bijvoorbeeld een appartementencomplex aan kan sluiten. Met de aanleg van een warmtenet in strategie 2 is het gasnet overbodig geworden. Het gasnet zal daarom worden verwijderd binnen deze strategie.

3.2.4 Strategie 3: Warmtenet met (zeer-) lagetemperatuurbron

Net als in strategie 2 wordt de warmtevraag in strategie 3 ingevuld door middel van aansluiting op een warmtenet. Het verschil met strategie 2 is dat de primaire bronnen voor dit warmtenet geen HT/MT-warmte over hebben, maar (Z)LT-warmte). Daarnaast is de capaciteit van de warmtebronnen vaak niet voldoende om een gehele buurt van warmte te kunnen voorzien. Daarom worden binnen deze strategie 'clusters' van gebouwen bepaald die worden aangesloten op het warmtenet met (zeer) lage temperatuur bron. De gebouwen die niet worden aangesloten op het warmtenet, worden voorzien van een individuele elektrische warmtepomp. Dit wordt uitgebreid toegelicht in hoofdstuk 4. Deze strategie is daarom een combinatie van aansluitingen op warmtenetten voor een gedeelte van de buurt en individuele warmtepompen voor de rest van de gebouwen in de buurt.

De temperatuur van de warmte in de (zeer) lagetemperatuurbronnen is te laag om direct warm tapwater te maken of ruimtes te verwarmen. Het is daarom noodzakelijk om deze warmte op te waarden naar een hoger temperatuurniveau om deze daarmee nuttig in te kunnen zetten voor de warmtevoorziening van gebouwen. Deze opwaardering van (Z)LT-warmte naar de benodigde temperatuurniveaus kan plaats vinden op basis van verschillende typen systemen. Zo is het mogelijk om de (Z)LT-warmte op het benodigde temperatuurniveau te brengen door een collectieve warmtepomp of met individuele warmtepompen per gebouw.

Het collectief opwaarderen van de temperatuur van de aangeleverde warmte naar MT-niveau (70°C) kost elektriciteit. Er raakt warmte verloren in de distributie van warmte, maar de aanpassingen in de gebouwen kunnen tot een minimum worden beperkt. Bij directe levering op LT-niveau (ca. 30°C) vanuit het warmtenet aan de afnemers zijn de distributieverliezen lager, maar dient er in elk aan te sluiten gebouw een individuele warmtepomp geplaatst te worden. Wanneer de aflevertemperatuur aan gebouwen voldoende is voor de invulling van ruimteverwarming (ca. 50°C) is er alleen een boosterwarmtepomp nodig voor de warm tapwatervoorziening.

De boosterwarmtepomp is een kleinere warmtepomp die in korte tijd hoge temperaturen kan bereiken door gebruik te maken van de aangeleverde warmte. Binnen dit systeem is het elektriciteitsverbruik lager, maar moeten binnen het gebouw de radiatoren wel aangepast worden naar een LT-afgiftesysteem. LT-afgiftesystemen zijn ook noodzakelijk bij andere systemen met een LT-warmtenet omdat het anders niet mogelijk is om de gebouwen te verwarmen.

Hiermee is er een grote variëteit in de opzet van warmtevoorzieningssystemen met een LT-warmtebron als basis. Om een eerste beeld te geven van de mogelijkheden van warmtenetten met deze bronnen binnen een buurt worden in de Startanalyse acht verschillende varianten onderscheiden. In deze varianten worden verschillende typen (Z)LT-warmtebronnen toegepast, uitgegaan van verschillende labelniveaus (waar mogelijk) en wordt de (Z)LT-warmte opgewaardeerd via verschillende (combinaties van) individuele en collectieve systemen. Deze worden verder toegelicht in paragraaf 3.4.4.

3.2.5 Strategie 4: Klimaatneutraal gas

Strategie 4 is de strategie met de minste aanpassingen ten opzichte van het referentiebeeld. In strategie 4 wordt namelijk uitgegaan van invulling van de warmtevraag met behulp van klimaatneutraal gas en een hybride warmtepomp in plaats van aardgas. Onder klimaatneutraal gas verstaan we groengas en/of waterstof, waarbij het uitgangspunt voor berekeningen groengas is. Met de inzet van klimaatneutraal gas hoeft er relatief weinig te veranderen aan de huidige infrastructuur omdat groengas kan worden getransporteerd door het bestaande gasnet en groene waterstof met enkele aanpassingen.

Een belangrijk nadeel van klimaatneutraal gas is dat er grote onzekerheid is over de toekomstige beschikbaarheid van het gas. Voor de totale beschikbaarheid van klimaatneutraal gas voor de gebouwde omgeving in 2050 werd in de ASA2025⁴ uitgegaan van 2 miljard kubieke meter. Hiervan wordt circa 0,5 miljard kubieke meter ('billion cubic meters', bcm) ingezet voor hulpketels voor bestaande en nieuwe warmtenetten. In de ASA2026 is de beschikbaarheid van klimaatneutraal gas aangepast. In de hoofdberekeningen wordt ervan uitgegaan dat er geen klimaatneutraal gas beschikbaar is voor individuele installaties, maar dat er alleen 0,5 miljard kubieke meter beschikbaar is voor de bijstook in warmtenetten. De wijziging van dit uitgangspunt tussen de ASA2025 en de ASA2026 wordt verder beschreven in hoofdstuk 6.

3.3 Variantinvulling per strategie

De strategieën verschillen in de infrastructuur die wordt ingezet voor de warmtevoorziening, maar ook met dezelfde infrastructuur zijn er nog verschillende manieren waarop gebouwen verwarmd kunnen worden. Binnen de Startanalyse wordt deze variatie meegenomen door middel van verschillende varianten per strategie. Het onderscheid in deze varianten kan zitten in verschillende isolatieniveaus van gebouwen of de technologieën die worden ingezet.

In deze paragraaf wordt een toelichting gegeven op het onderscheid tussen de verschillende varianten per strategie. Er worden eerst enkele begrippen zoals schillabel en warmteafgiftesysteem toegelicht.

Selectie van strategievarianten

In de studies ASA2025 en ASA2026 worden de nationale kosten geanalyseerd van achttien verschillende strategievarianten voor de verduurzaming van gebouwen. Bij het selecteren van deze

⁴ In de SA2020 werd uitgegaan van een beschikbaarheid van 2 bcm groengas

varianten zijn verschillende overwegingen meegenomen, waaronder de bijdrage aan de discussie over de warmtetransitie en de beschikbaarheid van valide informatie. Ook praktische aspecten, zoals de noodzaak voor modelaanpassingen binnen de geplande doorlooptijd, waren van belang. De selectie van strategievarianten is gebeurd in samenwerking met experts en vertegenwoordigers van het ministerie van Binnenlandse zaken (BZK), het ministerie van economische zaken (EZK), de Rijksdienst voor ondernemend Nederland (RVO), het Nationaal Programma Lokale Warmtetransitie (NPLW) en de vereniging van Nederlandse gemeenten (VNG). De uiteindelijke varianten bieden een overzicht van strategische mogelijkheden, maar zijn niet uitputtend: er zijn meer combinaties van isolatieniveaus, gebouwinstallaties en warmte-infrastructuren denkbaar.

Met name binnen strategie 3, die zich richt op de aansluiting van gebouwen op (zeer) lage temperatuur-warmtebronnen, zijn er diverse technische mogelijkheden beschikbaar. Hieruit is een selectie gemaakt van acht strategievarianten om een eerste indruk te geven van de beschikbare mogelijkheden.

Daarnaast is het belangrijk op te merken dat de technologieën voor het verwarmen van gebouwen nog volop in ontwikkeling zijn. Dit leidt tot een snel voortschrijdend inzicht in de mogelijkheden en het efficiënte gebruik van deze technologieën. Zo zijn er signalen dat woningen ook comfortabel kunnen worden verwarmd met warmtepompen (met enig rendementsverlies) bij lagere isolatieniveaus dan in de Startanalyse worden aangenomen (Pothof et al. 2022). Het is echter vaak moeilijk om nieuwe technologieën en oplossingen te integreren in de berekeningen, voornamelijk door het ontbreken van bruikbare, representatieve en gevalideerde data.

3.3.1 Toelichting begrippen voor onderscheid varianten

Schillabel

Het schillabel is een indicatie van de kwaliteit van de gebouwschil, oftewel de mate van isolatie van het gebouw. De gebouwschil bestaat uit de vloer op de begane grond, de buitenmuren, de deuren, de ramen en het dak. Het schillabel is gebaseerd op het energielabel van het gebouw (RVO 2024a), waarbij wordt aangenomen dat de warmtevoorziening wordt ingevuld door een HR-ketel en er geen lokale opwek van hernieuwbare elektriciteit of warmte aanwezig is, zoals met zonnepanelen. In de berekeningen worden de volgende schillabelniveaus gehanteerd:

- Schillabel B: Gebouwen hebben een isolatieniveau dat bij woningen overeenkomt met een gemiddelde RC-waarde van 2,5 voor woningen. De isolatieniveaus van gebouwdelen bij woningen in de doelsituatie worden beschreven in (Tigchelaar et al. 2025). Voor utiliteitsgebouwen is een apart 'groot' isolatiepakket samengesteld met specifieke isolatiewaarden voor gebouwdelen in de doelsituatie (Jonker & Sipma 2023).
- Schillabel D: Gebouwen hebben een isolatieniveau dat bij woningen overeenkomt met een gemiddelde Rc-waarde van 1-1,5. Ook hier is voor utiliteitsgebouwen een apart 'klein' isolatiepakket samengesteld.

Voor al deze besparingsniveaus geldt dat de besparing alleen effect heeft op de ruimteverwarmingsvraag en geen effect op de vraag naar warm tapwater. Verder hangt de mate van energiebesparing af van de uitgangssituatie (de huidige isolatiegraad). Het doellabel is een minimum, wat betekent dat woningen die al beter geïsoleerd zijn dan het doellabel niet meer hoeven te investeren in energiebesparing. Een woning met schillabel C hoeft niet meer te investeren in isolatie bij varianten met schillabel D, wel bij varianten met schillabel B.

Warmteafgiftesysteem

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

- MT-radiatoren (huidig): dit betreffen de huidige, gangbare radiatoren waar veruit het grootste deel van de Nederlandse gebouwen op dit moment mee wordt verwarmd. Wanneer een strategie gebruik maakt van deze optie, dan vindt er geen verandering van het afgiftesysteem plaats.
- LT-radiatoren: er zijn diverse mogelijkheden om een gebouw met een laagtemperatuurafgiftesysteem (LTAS) te verwarmen, zoals vloerverwarming of LT-radiatoren. Vloerverwarming kan ook aangesloten worden op MT-systemen (zoals een HR-ketel) maar is ook geschikt voor LT-systemen. Voor de varianten die met LT-afgifte werken, is ervoor gekozen om uit te gaan van LT-radiatoren.

Hoewel vloerverwarming over het algemeen een betere overdracht van LT-warmte heeft, is de toepassing van vloerverwarming niet altijd mogelijk of kostbaarder dan LT-radiatoren (Milieu Centraal 2025a). Dit kan bijvoorbeeld komen doordat de vloer hoger wordt en hierdoor bijvoorbeeld plinten en deuren moeten worden aangepast.

Invulling warmtevraag voor ruimteverwarming

Binnen gebouwen worden twee verschillende vormen van warmte onderscheiden. De eerste vorm betreft het temperatuurniveau van de ruimtes, dit wordt aangeduid met de term ruimteverwarming. Daarnaast wordt er ook warmte gevraagd, bijvoorbeeld in de vorm van douchewater of warm water gebruikt voor handmatig afwassen. Hier wordt de term warm tapwater voor gehanteerd. In dit kopje wordt ingegaan op de warmtevraag gerelateerd aan ruimteverwarming. Voor het voorzien in de vraag naar ruimteverwarming van een gebouw worden verschillende technieken onderscheiden. Hieronder worden de technieken zoals doorgerekend in de strategieën beschreven. Voor een gedetailleerde beschrijving zie het Functioneel ontwerp 5.0 (Van der Molen et al. 2021).

Individueel per woning of gebouw – all-electric

- Elektrische luchtwarmtepomp
- Elektrische bodemwarmtepomp

Individueel per woning of gebouw – in combinatie met bestaand gasnet

- Hybride warmtepomp

Collectieve technieken in combinatie met ontwikkeling van warmtenetten

- *Afgifte warmtedistributienet MT*: Een collectief warmtenet, dat wordt gevoed door ZLT-, LT-, MT- en eventueel (bestaande) HT-warmtebronnen, waarin warmte via het warmtedistributienet wordt afgeleverd aan gebouwen met een MT-warmtevraag van 70°C. Bij de ZLT- en LT-warmtebronnen wordt de temperatuur van het warme water van deze warmtebronnen via een collectieve warmtepomp verhoogd naar de vereiste middentemperatuur alvorens het verder wordt vervoerd in het warmtedistributienet. De aangeleverde warmte wordt via een warmtewisselaar afgegeven aan de gebouwen, welke daar rechtstreeks mee worden verwarmd.
- *Afgifte warmtedistributienet LT*: Een collectief warmtenet, dat wordt gevoed door ZLT-, LT-warmtebronnen (30°C), hiervan zijn twee varianten:
 1. Distributienet op 30°C en per gebouw een *individuele, elektrische warmtepomp* om de gewenste temperatuur te krijgen voor ruimteverwarming;

2. Distributienet op 50°C door collectief opwaarderen van de LT-warmte met een *collectieve warmtepomp*.

Warm tapwater

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

Dit is voornamelijk een minimumtemperatuur van 60°C, omdat er anders een risico is op de vorming van legionella (Milieu Centraal, 2025b)⁵. De technieken die warm tapwater kunnen leveren binnen de SA-2020 zijn:

- *Elektrische luchtwarmtepomp*
- *Elektrische bodemwarmtepomp*
- *Warmtenet*: er zijn drie opties voor warm tapwater bij een warmtenet:
 - Bij warmtelevering op 70°C wordt rechtstreeks van het warmtenet gebruik gemaakt voor warm tapwater. Rechtstreeks betekent hier via een warmtewisselaar maar zonder warmteopwekking;
 - Bij warmtelevering op 50°C wordt door tussenkomst van een *boosterwarmtepomp en buffervat* warm tapwater geproduceerd;
 - Bij warmtelevering op 30°C wordt door tussenkomst van een *combi-warmtepomp en buffervat* warmte voor ruimteverwarming en warm tapwater geproduceerd.
- *Hybride warmtepomp*: het warm tapwater wordt bij een hybride warmtepomp geproduceerd door de HR-ketel op gas.

Buffers

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

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

Regeneratiebronnen WKO

In de strategieën waarin gebruik wordt gemaakt van een WKO-bron wordt de mogelijkheid van een regeneratievoorziening opgenomen om te voorkomen dat de gemiddelde temperatuur van de bron op de lange termijn zal veranderen. De warmte die gedurende de winter aan de bron onttrokken wordt dient daarom gedurende de zomer weer aangevuld te worden, zodat de bron op jaarbasis energetisch in balans blijft. Hierin kan deels worden voorzien door de gebouwen in de zomer te koelen met water uit de koudebron. Het water dat gebruikt wordt om te koelen warmt hierdoor op en dit kan vervolgens gebufferd worden in de warmtebron voor gebruik in de koudere seizoenen. In

⁵ Aan de basis van dit uitgangspunt ligt de NEN1006. De NEN1006 is de norm voor veilige waterinstallaties en bevat algemene voorschriften voor leidingwaterinstallaties. Voor meer informatie zie de [NEN1006 pagina op de website van de NEN organisatie](#).

veel gevallen zal het beschikbare volume restwarmte (door koeling) uit gebouwen onvoldoende van omvang zijn om de WKO-bron energetisch in balans te houden (Schepers et al. 2019). Voor de overige balancerings van de bron wordt een regeneratievoorziening ingezet, hiermee wordt additionele warmte aan de WKO-bron aangeleverd. In de Startanalyse worden twee typen regeneratiebronnen toegepast:

- *Droge koeler*: met buitenluchtcollectoren wordt gedurende de warmere seizoenen warmte uit de buitenlucht geoogst en ondergronds opgeslagen in de WKO-bron voor gebruik in de winter. De droge koeler wordt aangedreven door elektriciteit.
- *Oppervlaktewater*: gedurende de warmere seizoenen wordt warmte uit oppervlaktewater gewonnen en ondergronds opgeslagen in de WKO-bron voor gebruik in de winter (ook wel aangeduid als Aquathermie of Thermische Energie uit Oppervlaktewater (TEO)).

3.3.2 Strategie 1: Individuele elektrische warmtepomp

Deze strategie bevat twee varianten die bijna identiek zijn qua opbouw. Het enige verschil is het type warmtepomp, maar de impact op infrastructuur, isolatie en afgifte zijn qua methode voor beide varianten hetzelfde. Daarom worden hier eerst de uitgangspunten besproken die voor beide varianten hetzelfde zijn. Vervolgens wordt kort ingegaan op het type warmtepomp per variant. In deze paragraaf wordt alleen een korte beschrijving gegeven van de typen warmtepompen. De uitgangspunten voor kosten en rendement van de warmtepompen zelf worden beschreven in paragraaf 5.10.

Beide varianten

Isolatiemaatregelen

Alle gebouwen worden verbeterd naar het isolatieniveau van schillabel B. Indien een bestaand gebouw dit schillabel heeft of een beter schillabel, dan wordt het huidige schillabel gehandhaafd.

Afgiftesysteem in woningen en gebouwen

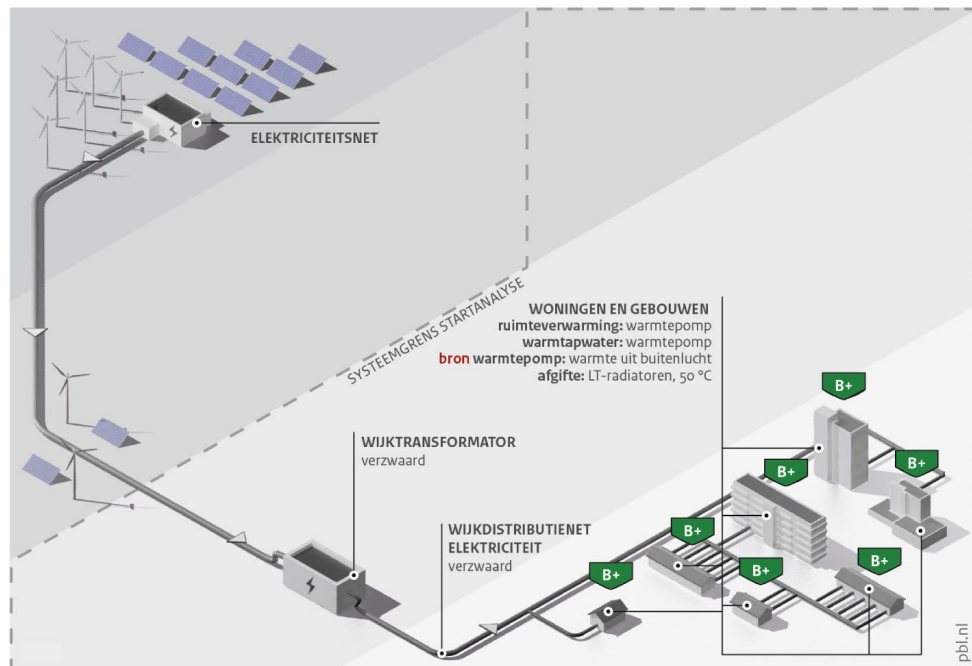
We gaan in beide varianten uit van het overstappen op LTAS voor het functioneren van een warmtepomp. Dit is niet in alle gevallen noodzakelijk, hierom is een generieke correctie op de investeringskosten gedaan, zoals toegelicht in paragraaf 5.12.2.

Variant S1a – combiwarmtepomp met buitenluchtcollector

In variant S1a (zie Figuur 5) worden elektrische luchtwarmtepompen ingezet, bestaande uit een buitenunit met luchtcollector en een binnenunit met warmtepomp. De buitenunit is bevestigd aan of op het gebouw of staat nabij het gebouw. Buitenlucht is de belangrijkste warmtebron, de warmtepomp wordt aangedreven met elektriciteit.

Figuur 5

Individuele elektrische luchtwarmtepomp



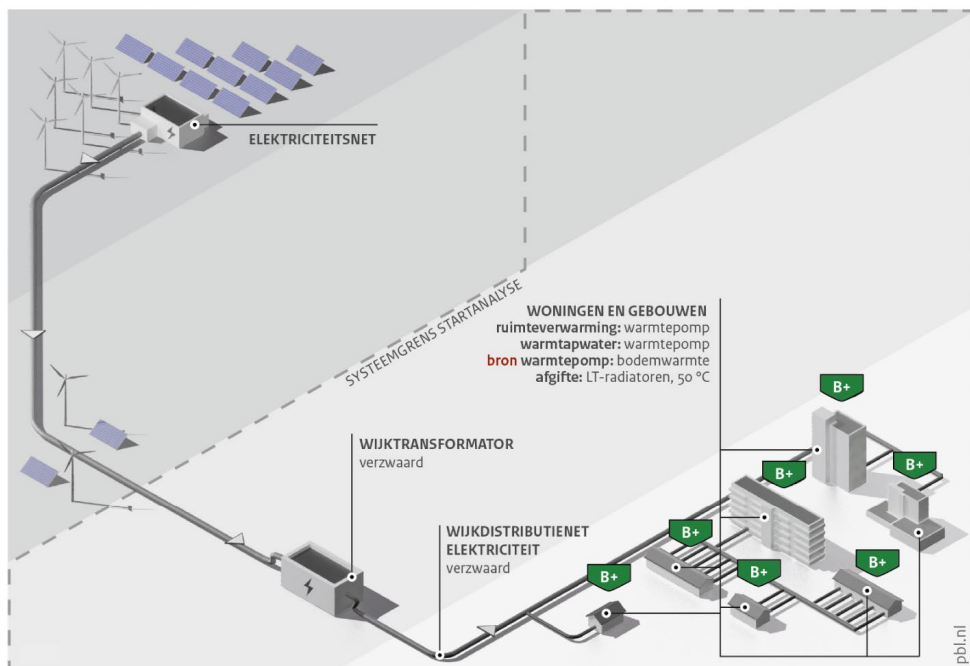
Bron: PBL

Schematische weergave van variant S1a – Combiwarmtepomp met buitenluchtcollector. Alle woningen en gebouwen worden in deze variant geïsoleerd tot schillabel B.

Variant S1b – combiwarmtepomp met bodemcollector

In variant S1b (zie Figuur 6) worden elektrische bodemwarmtepompen ingezet, bestaande uit een bodemcollector met warmtewisselaar en een binnenunit met warmtepomp. De bodemcollector wordt onder of nabij de woning aangebracht in de bodem. Bodemwarmte is de belangrijkste warmtebron, de warmtepomp wordt aangedreven met elektriciteit.

Figuur 6
Individuele elektrische bodemwarmtepomp



Bron: PBL

Schematische weergave van variant S1b – Combiwarmtepomp met bodemcollector. Alle woningen en gebouwen worden in deze variant geïsoleerd tot schillabel B.

3.3.3 Strategie 2: Warmtenet met midden- en hogetemperatuurwarmtebron

In strategie 2 (Hierna aangeduid als S2) worden in totaal zes verschillende varianten doorgerekend. Hierbij wordt ten eerste onderscheid gemaakt naar isolatieniveau. In S2a-S2c wordt uitgegaan van een isolatieniveau overeenkomend met schillabel B. Bij S2d-S2f wordt uitgegaan van een lager isolatieniveau, namelijk schillabel D.

Naast het onderscheid naar isolatieniveau, wordt ook onderscheid gemaakt naar het type warmtebronnen waarmee de warmtenetten primair gevoed worden. Hierbij wordt onderscheid gemaakt naar rest- en aftapwarmte en geothermie. Bij geothermie wordt daarbij ook onderscheid gemaakt tussen een variant waarin wordt uitgegaan van kansrijke gebieden voor geothermie en een theoretische variant waarin geothermie overal in Nederland beschikbaar is. Zie ook paragraaf 5.4.2 voor een uitgebreidere toelichting op de kansrijke gebieden voor geothermie.

Gezamenlijk levert dit de volgende zes varianten op:

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

- S2f: Geothermie, met isolatieniveau schillabel D met in heel Nederland een geschikte ondergrond voor geothermie verondersteld.

Op het isolatieniveau na zijn er geen verschillen in de aannames en berekeningen tussen beide schillabelniveaus binnen deze strategie. Daarom worden hieronder de varianten beschreven op basis van de uitgangspunten voor de warmtebron en worden de varianten gezamenlijk beschreven voor schillabel B en schillabel D. Voor een goede interpretatie van de resultaten van alle varianten is het nog wel van belang om kort in te gaan op de rol van de hulpwarmte-installatie (HWI).

Aanwezigheid hulpwarmte-installatie

Een aandachtspunt bij alle bovenstaande varianten is dat in de berekeningen voor een warmtenet ook altijd een hulpwarmte-installatie is opgenomen. In het geval van de Startanalyse wordt ervan uitgegaan dat deze hulpwarmte-installatie wordt gestookt op klimaatneutraal gas. Het is ook mogelijk om deze hulpwarmte-installatie in te vullen door andere installaties zoals bijvoorbeeld een collectieve warmtepomp of een elektrische boiler. Binnen de Startanalyse wordt hier niet vanuit gegaan omdat alle warmtenetten nu nog een gasgestookte hulpwarmteketel hebben en er daarom ook nog weinig informatie is over andere vormen van hulpwarmte-installaties. In de berekening van de beschikbaarheid van klimaatneutraal gas wordt om deze reden ook de inzet van groengas voor hulpwarmte-installaties meegenomen, wat in meer detail wordt toegelicht in paragraaf 4.4.

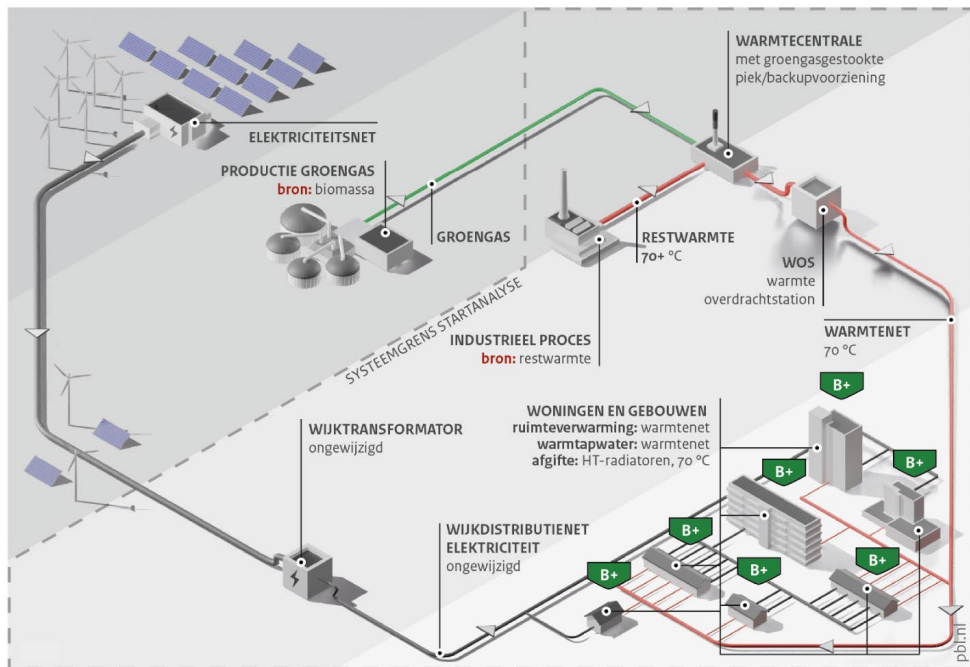
Individuele installatie en afgiftesysteem

Voor alle varianten binnen S2 wordt uitgegaan van aanvoer van MT-warmte op 70°C. Dankzij deze aanvoertemperatuur kunnen bestaande afgiftesystemen worden gehandhaafd. Daarbij is het temperatuurniveau van deze warmte ook voldoende om zowel de ruimteverwarmingsvraag als de warm tapwatervraag in te vullen. Binnen de gebouwen hoeft dus relatief weinig aangepast te worden om te voldoen aan de warmtevraag.

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

In deze varianten (zie respectievelijk Figuur 7 en Figuur 8) wordt bij de berekening van een warmtenet uitgegaan van nabijgelegen bestaande (of geplande) warmtebronnen, bijvoorbeeld een industriële restwarmtebron. Hieronder vallen ook elektriciteitscentrales, ook al is hier sprake van aftapwarmte in plaats van restwarmte. In deze rapportage valt alle warmte die wordt geleverd door warmtebronnen met een specifieke locatie onder de noemer van restwarmte. Een belangrijk uitgangspunt bij de berekeningen van deze varianten is het beschikbare vermogen voor warmtelevering en de locatie van deze warmtebronnen.

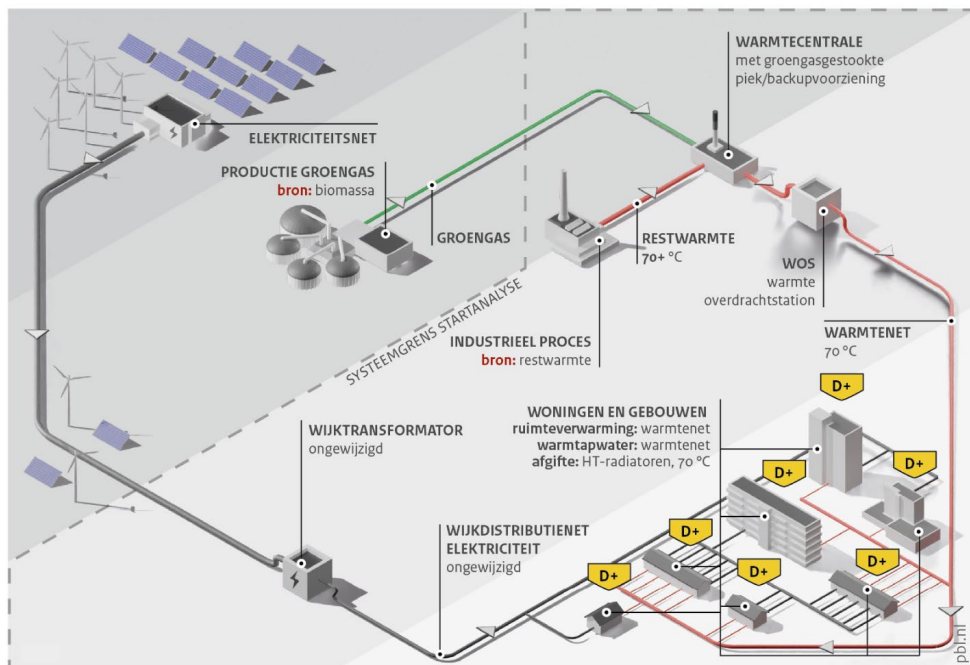
Figuur 7
Warmtenet met MT-restwarmtebron



Bron: PBL

Schematische weergave van variant S2a – Warmtenet met midden- of hogetemperatuur restwarmtebron. Alle woningen en gebouwen worden in deze variant geïsoleerd tot schillabel B.

Figuur 8
Warmtenet met MT-restwarmtebron



Bron: PBL

Schematische weergave van variant S2d – Warmtenet met midden- of hogetemperatuur restwarmtebron. Alle woningen en gebouwen worden in deze variant geïsoleerd tot schillabel D.

Broncapaciteit

De broncapaciteit van restwarmtebronnen is gebaseerd op informatie uit de Warmteatlas (RVO 2024b). Gemeenten hebben in de periode van april tot en met augustus 2024 de mogelijkheid gehad om deze data aan te passen of aan te vullen. Het is denkbaar dat sommige potentieel interessante restwarmtebronnen momenteel nog buiten het zicht van het model vallen of dat de informatie over de warmtebronnen die wel opgenomen zijn in de Startanalyse onvolledig is. In paragraaf 5.4 worden de gebruikte warmtebronnen verder toegelicht.

Vaststelling puntbron per buurt

De haalbaarheid van warmtenetten met een MT of HT-warmtebron wordt voor elke buurt berekend. Een aandachtspunt voor de varianten S2a en S2d is dat vanwege een beperkte broncapaciteit van de warmtebronnen het niet mogelijk is om voor elke buurt (tegelijk) dezelfde warmtebron te gebruiken. Hiermee wordt rekening gehouden door de capaciteit van een bron toe te delen aan buurten op basis van de hoogste opbrengst per eenheid warmtecapaciteit die theoretisch haalbaar is. De beperkende factor is de beschikbare capaciteit en daarom wordt gezocht naar de mogelijkheden om de warmtecapaciteit zo kosteneffectief mogelijk toe te wijzen. Deze kosteneffectiviteit wordt benaderd binnen het Vesta MAIS model door in verschillende rekenstappen (iteraties) het netwerk van aangesloten buurten steeds verder uit te breiden, waarbij buurten met een hoge waarde per capaciteitseenheid voorrang krijgen. In elke rekenstap wordt een buurt aan het netwerk toegevoegd, zolang de capaciteit in de bron nog niet volledig is uitgeput. Deze rekenstappen worden herhaald totdat de volledige capaciteit van alle warmtebronnen wordt benut, of er geen buurten mee binnen bereik zijn om aan te sluiten. Op deze manier wordt eerst de warmte geleverd aan de buurten met de laagste nationale kosten per ton vermeden CO₂-emissie en vervolgens worden de steeds duurdere buurten aangesloten. Het is echter niet bekend of gemeenten een voorkeur hebben om een bepaalde warmtebron als eerste te benutten. Om toch inzicht te geven in de kosten en rekening te houden met verschillen tussen buurten worden de kosten van onderdelen van het warmtenet apart gepresenteerd.

Schillabel

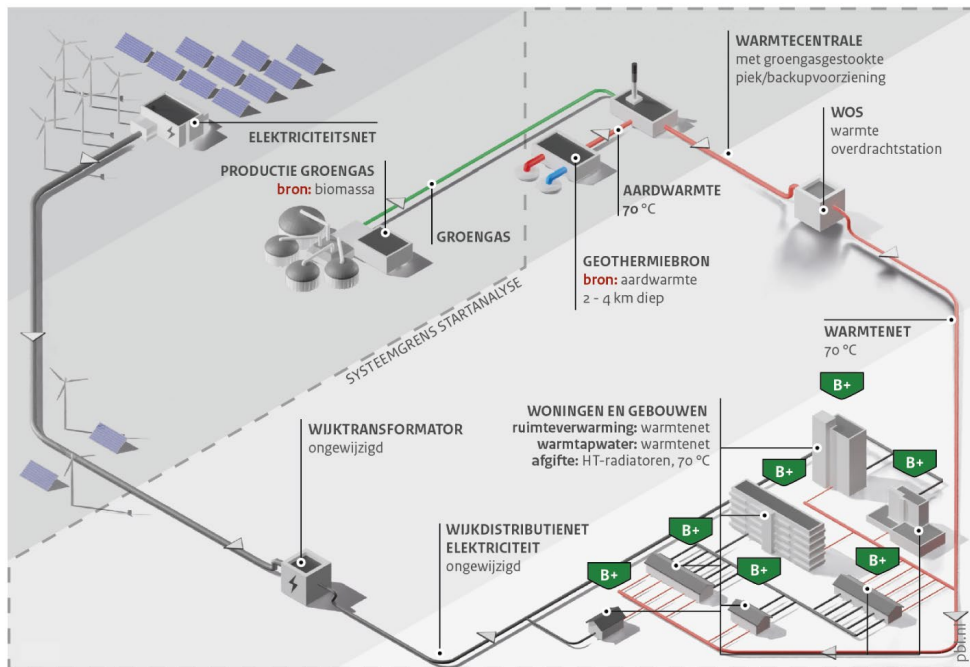
Er worden twee verschillende schillabelniveaus doorgerekend. Variant S2a gaat uit van schillabel B en variant S2d gaat uit van schillabel D.

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

In de varianten S2b en S2e (zie respectievelijk Figuur 9 en Figuur 10) wordt berekend wat de kosten zouden zijn van het voeden van een warmtenet met een nieuw te realiseren geothermie-installatie. Hierbij wordt in deze beide varianten rekening gehouden met de beschikbare informatie over bodemgeschiktheid van bepaalde gebieden voor geothermie. Een verdere toelichting hiervan wordt gegeven in paragraaf 5.4.2.

Figuur 9

Warmtenet met MT-geothermiebron, potentiecontour

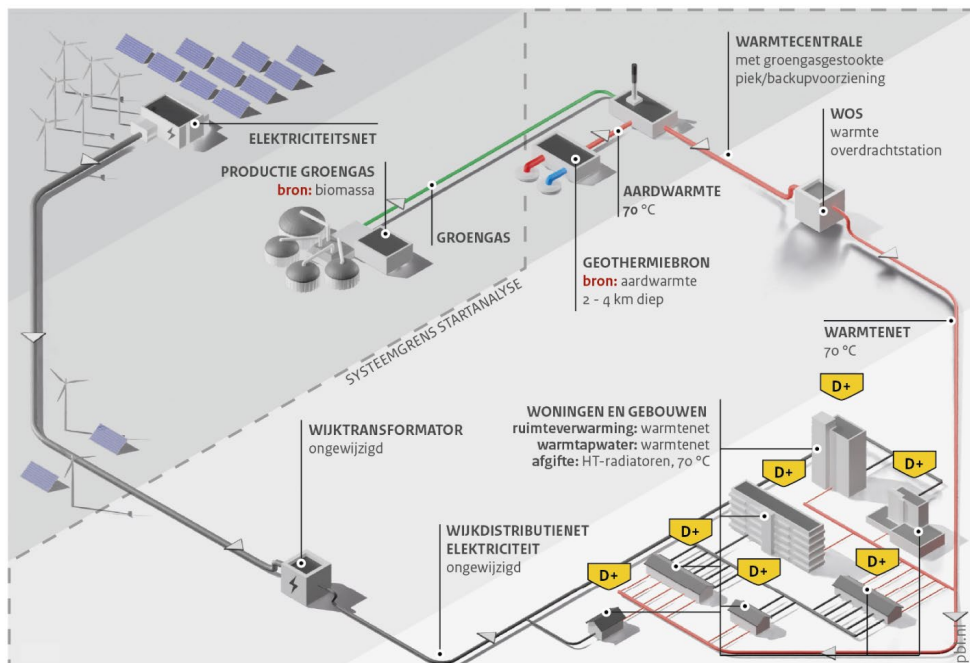


Bron: PBL

Schematische weergave van variant S2b – Warmtenet met middentemperatuur geothermiebron, rekening houdende met bodemgeschiktheid. Alle gebouwen worden in de variant geïsoleerd tot schillabel B.

Figuur 10

Warmtenet met MT-geothermiebron, potentiecontour



Bron: PBL

Schematische weergave van variant S2e – Warmtenet met middentemperatuur geothermiebron, rekening houdende met bodemgeschiktheid. Alle gebouwen worden in de variant geïsoleerd tot schillabel D.

Broncapaciteit

Afhankelijk van locatie en het type installatie van afnemers bedraagt de capaciteit van een geothermie-installatie in de praktijk 15 – 25 MW thermische energie (TNO & EBN 2018). Om een dergelijk vermogen te benutten is een minimale warmtebehoefte ook noodzakelijk. Voor installaties van 15 – 25 MW thermische energie kan worden gedacht aan in totaal circa 2.500-5.000 woningequivalenten (weq). In de kostenberekening van de geothermiestrategie van een enkele buurt wordt er steeds vanuit gegaan dat meerdere buurten worden aangesloten waardoor er gezamenlijk zo'n grote warmtevraag is dat dit voldoende is om te investeren in een geothermie-installatie. Hiermee wordt voorkomen dat de potentie van geothermie onterecht negatief wordt beoordeeld in gebieden met meerdere geschikte kleine aangrenzende buurten, terwijl gezamenlijk voldoende vraag georganiseerd kan worden om geothermie haalbaar te maken. Dit is een aandachtspunt bij de interpretatie van de resultaten – de berekende potentie van geothermie op het niveau van individuele buurten zal in vrijwel alle gevallen slechts een deel van de benodigde afzet voor een rendabele businesscase vertegenwoordigen. Om op basis van de Startanalyse voor een buurt vast te stellen of nader onderzoek naar de haalbaarheid van geothermie de moeite waard is, dienen binnen of in de nabijheid van de buurt in totaal circa 2.500 - 5.000 woningequivalenten (weq) aansluitingen met een voldoende geconcentreerde warmtevraag gerealiseerd te kunnen worden. Of in combinatie met andere warmtevragers zoals de glastuinbouw. Het minimale aantal woningen dat aangesloten moet worden om tot een rendabele case te komen is sterk afhankelijk van de lokale omstandigheden, en ontwerpkeuzes zoals de temperaturen van de geothermiebron en de afgifte-installaties in woningen en gebouwen.

Geothermie voor de basislast

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

Schillabel

Er worden twee verschillende schillabelniveaus doorgerekend. Variant S2b gaat uit van schillabel B en variant S2e gaat uit van schillabel D.

Varianten S2c en S2f – Warmtenet met middentemperatuur geothermiebron, uitgaande van bodemgeschiktheid voor geothermie in heel Nederland

Deze varianten (zie respectievelijk Figuur 11 en Figuur 12) zijn nagenoeg hetzelfde als de varianten S2b en S2e, met het belangrijkste verschil dat er nu geen rekening wordt gehouden met de bodemgeschiktheid. Hiermee geven deze varianten een indicatie van het potentieel van geothermie in buurten die in de geothermische potentiekaarten als niet-kansrijk worden aangemerkt, indien de ondergrond toch geschikt zou blijken te zijn en voor gebieden waar onvoldoende informatie beschikbaar is. De varianten S2c en S2f hebben dus geen invloed op de gebieden die als kansrijk worden aangemerkt in de geothermie potentiekaarten. Het verschil voor de niet-kansrijke gebieden zit in de kosten die moeten worden gemaakt voor het primaire net om warmte uit de kansrijke gebieden te transporteren naar deze buurten. In de varianten S2b en S2e kan een buurt bijvoorbeeld 25 km buiten het kansrijke gebied liggen. Deze afstand moet dan overbrugd worden met een transportleiding om te zorgen dat de warmte daadwerkelijke geleverd kan worden.

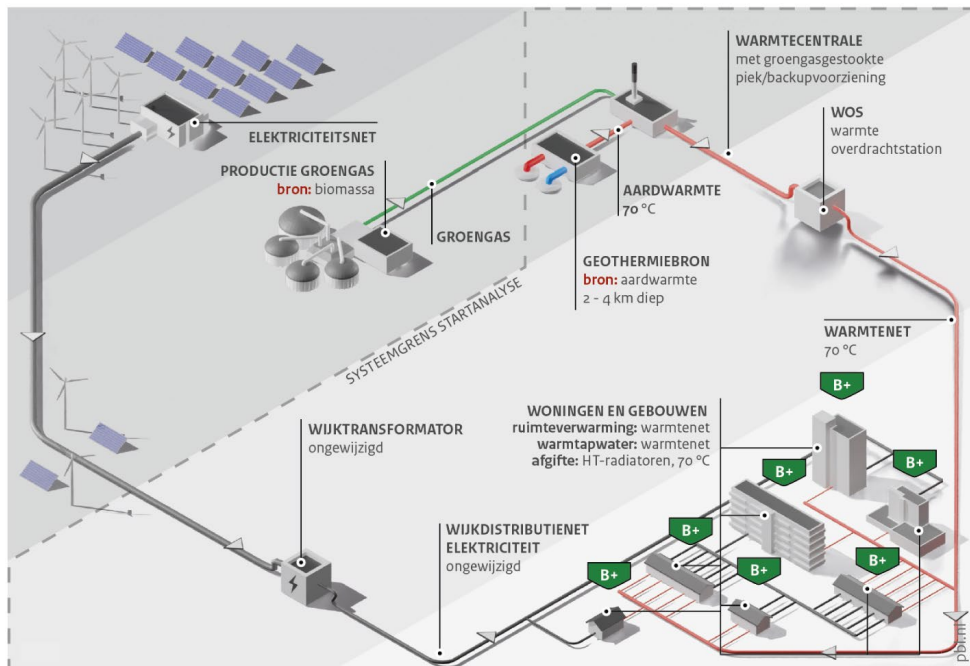
In de varianten S2c en S2f wordt het hypothetisch mogelijk geacht om op elke gewenste locatie een geothermie-installatie toe te passen, dus hoeven deze kosten voor het primaire net niet gemaakt te worden.

Varianten worden niet meegenomen in de laagste nationale kostenberekening

Strategievarianten s2c en s2f worden gezien als sterk theoretische varianten: ze worden daarom uitgesloten van de laagste nationale kosten berekening en zullen dus niet als variant met laagste nationale kosten geselecteerd worden.

Figuur 11

Warmtenet met MT-geothermiebron, overall

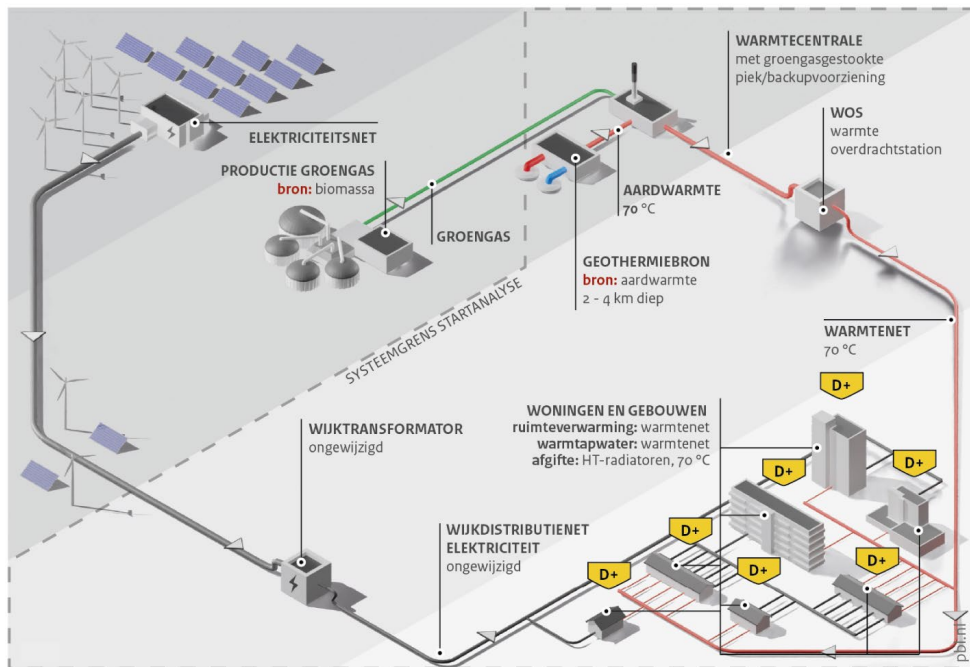


Bron: PBL

Schematische weergave van variant S2c – warmtenet met middentemperatuur geothermiebron, uitgaande van bodemgeschiktheid voor geothermie in heel Nederland. Alle gebouwen worden in deze variant geïsoleerd tot schillabel B.

Figuur 12

Warmtenet met MT-geothermiebron, overall



Bron: PBL

Schematische weergave van variant S2f – warmtenet met middentemperatuur geothermiebron, uitgaande van bodemgeschiktheid voor geothermie in heel Nederland. Alle woningen en gebouwen worden in deze variant geïsoleerd tot schillabel D.

3.3.4 Strategie 3: Combinatie (Z)LT-warmtenet met individuele elektrische warmtepompen

Strategie 3 is de strategie met de meeste varianten doordat er een grote variëteit zit in warmtevoorzieningssystemen met een (Z)LT-warmtebron als basis. In de varianten wordt onderscheid gemaakt naar individuele en collectieve systemen voor de opwaardering van (Z)LT-warmte, verschillende schillabelniveaus, verschillende afgiftesystemen en verschillende typen warmtebronnen (in combinatie met regeneratie).

Voor alle varianten wordt uitgegaan van de clusteringsmethode voor het bepalen van de aan te sluiten gebouwen op het warmtenet. Overige gebouwen worden voorzien van individuele elektrische warmtepompen. Deze methode wordt verder toegelicht in paragraaf 4.2.

Varianten uitgaande van schillabel B:

- S3a: Inzet van laagtemperatuur-restwarmte, bijvoorbeeld van datacenters. De warmte wordt bij gebouwen afgeleverd op (Z)LT-niveau (15-30°C) en vervolgens met een individuele combiwarmtepomp opgewaardeerd naar bruikbare temperatuurniveaus voor ruimteverwarming en warm tapwater.

- S3b: De warmte wordt bij gebouwen afgeleverd op ZLT-niveau (15°C) en vervolgens met een individuele combiwarmtepomp opgewaardeerd naar bruikbare temperatuurniveaus voor ruimteverwarming en warm tapwater. Als warmtebron wordt een WKO-systeem gebruikt. We gaan uit van algemene regeneratie (bijvoorbeeld met een droge koeler).
- S3c: De warmtebron is een WKO-systeem met een temperatuur van 15°C met algemene regeneratie. De warmte wordt met behulp van een collectieve warmtepomp opgewaardeerd tot 70°C. Daarmee is de warmte direct geschikt voor toepassing voor ruimteverwarming en warm tapwater binnen gebouwen.
- S3d: De warmtebron is een WKO-systeem met een temperatuur van 15°C met algemene regeneratie. De warmte wordt met behulp van een collectieve warmtepomp opgewaardeerd tot 50°C. Daarmee is de warmte direct geschikt voor toepassing voor ruimteverwarming. Er wordt een boosterwarmtepomp ingezet om de temperatuur naar een niveau op te waarden dat geschikt is voor warm tapwater.
- S3e: De warmtebron is een WKO-systeem met een temperatuur van 15°C met thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) als regeneratie. De warmte wordt op 15°C aangeleverd aan gebouwen, waar het met een individuele combiwarmtepomp opgewaardeerd wordt naar bruikbare temperatuurniveaus voor ruimteverwarming en warm tapwater.

Varianten uitgaande van schillabel D:

- S3f: De warmtebron is laagtemperatuur restwarmte (15-30°C). De warmte wordt met behulp van een collectieve warmtepomp opgewaardeerd tot 70°C. Daarmee is de warmte direct geschikt voor toepassing voor ruimteverwarming en warm tapwater binnen woningen.
- S3g: De warmtebron is een WKO-systeem met een temperatuur van 15°C met algemene regeneratie. De warmte wordt op 15°C aangeleverd aan woningen en gebouwen, waar het met een individuele combiwarmtepomp opgewaardeerd wordt naar bruikbare temperatuurniveaus voor ruimteverwarming en warm tapwater. Deze strategievariant is aangepast in de ASA2026 (zie paragraaf 6.1.7)
- S3h: Dezelfde uitgangspunten als in S3c, maar met schillabel D i.p.v. B.

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

Individuele elektrische warmtepompen binnen S3

In de Startanalyse worden alleen strategieën verkend van een 100% aardgasvrije warmtevoorziening. In de weergave van de resultaten voor S3 is echter te zien dat meestal niet de gehele buurt wordt aangesloten op een warmtenet met een (Z)LT-warmtebron. Het resterende gedeelte stapt in dat geval over op een individuele elektrische warmtepomp (S1). Dit principe wordt uitgelegd in paragraaf 4.2). Bij de interpretatie van de resultaten voor S3 kan dit een belangrijke invloed hebben doordat een gedeelte van de buurt een (Z)LT-warmtenet heeft en de rest een elektrische warmtepomp. Voor de interpretatie van S3 is het daarom van belang om rekening te houden met het aandeel aansluitingen op een warmtenet met een LT-warmtebron. Daarnaast moeten de resultaten vooral geïnterpreteerd worden als een indicatie van hoe nuttig het is om in een gegeven buurt de mogelijkheden van een warmtenet met een LT-warmtebron verder te onderzoeken, en niet als een precieze aanwijzing van welke gebouwen dan wel en niet zouden moeten deelnemen.

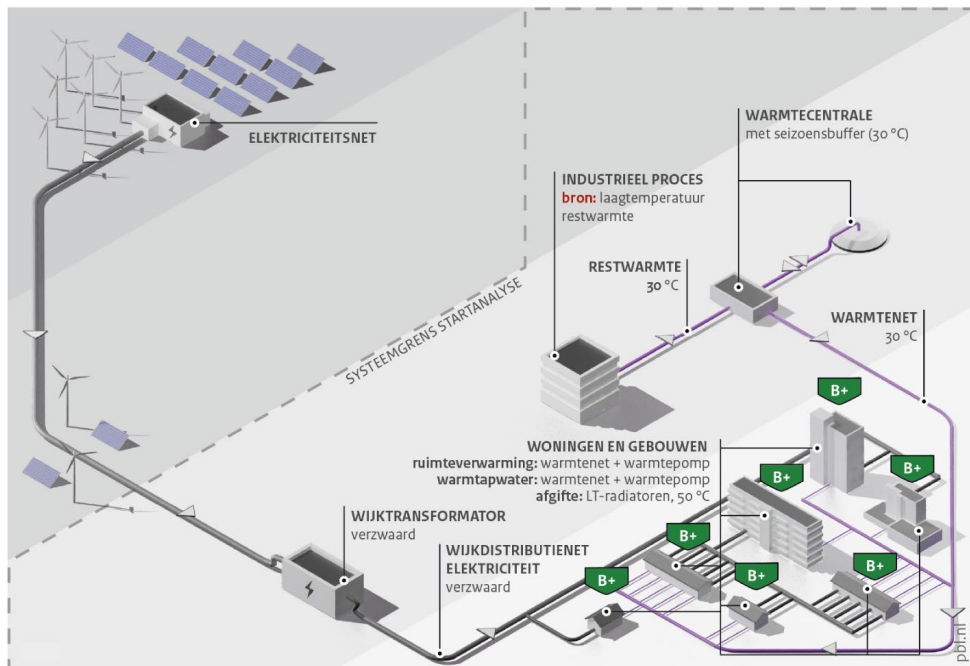
Variant S3a en s3f –LT-warmtenet met restwarmtebron en individuele elektrische warmtepomp

Het startpunt voor deze varianten is de beschikbare warmte uit (Z)LT-warmtebronnen. Hierbij gaat het om (industriële) restwarmtebronnen die (Z)LT-warmte over hebben van 15 tot +/- 30°C. Vervolgens wordt een (Z)LT-warmtenet aangelegd zodat de warmte verdeeld kan worden over de gebouwen in de nabije omgeving. In variant s3a wordt de (Z)LT-warmte direct aangeleverd aan de individuele gebouwen (zie Figuur 13). Vervolgens wordt de warmte per gebouw met een individuele warmtepomp opgewaardeerd tot het gewenste temperatuurniveau van 50 graden voor ruimteverwarming en warm tapwater. Plaatsing van individuele warmtepompen in alle gebouwen vereist mogelijk een verzwaring van het elektriciteitsnet in de buurt.

In variant s3f vindt collectieve opwaarding van de warmte plaats naar een temperatuurniveau van 70°C (zie Figuur 14). Vervolgens wordt deze warmte gedistribueerd over de gebouwen waarmee deze warmte direct geschikt is voor ruimteverwarming en warm tapwater.

Figuur 13

Warmtenet met LT-restwarmtebron

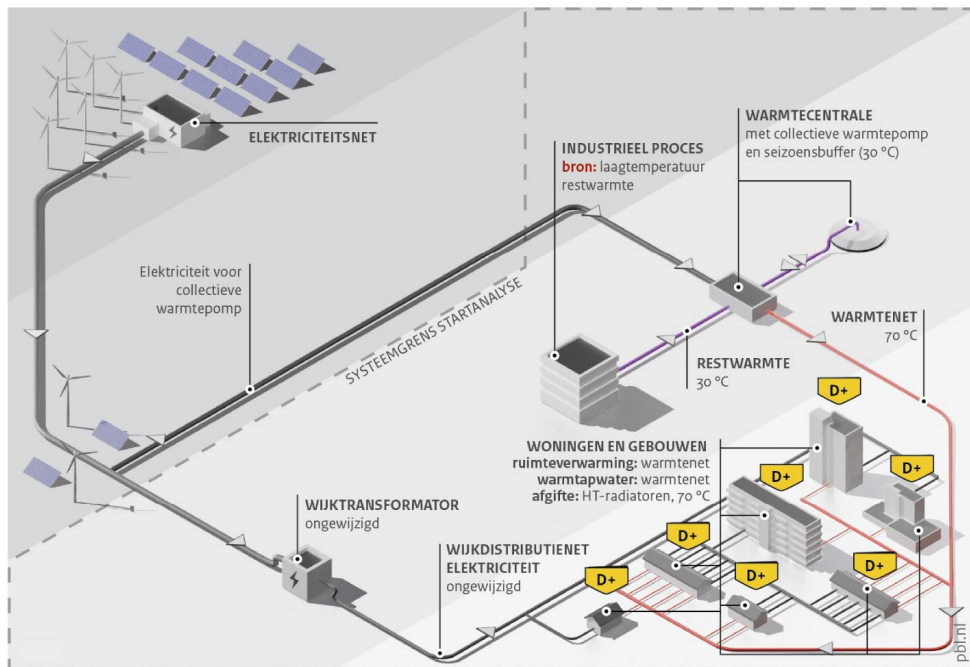


Bron: PBL

Schematische weergave van variant S3a – Combinatie van (Z)LT-warmtenet met individuele elektrische warmtepompen. Aanlevering bij gebouwen op 15-30°C, individuele opwaarding van aangeleverde warmte voor het benodigde temperatuurniveau voor ruimteverwarming en warm tapwater. De afgiftesystemen worden vervangen door LT-afgiftesystemen. Alle woningen en gebouwen worden in deze variant geïsoleerd tot schillabel B.

Figuur 14

Warmtenet met LT-restwarmtebron



Bron: PBL

Schematische weergave van variant S3f – Combinatie van warmtenet met (Z)LT-restwarmtebron met individuele elektrische warmtepompen. Collectieve opwaardering van de warmte tot 70°C. De bestaande afgiftesystemen zijn toereikend. Alle woningen en gebouwen worden in deze variant geïsoleerd tot schillabel D.

LT-warmtebron

De warmtebronnen binnen deze varianten bestaan uit de (Z)LT-warmtebronnen met een specifieke locatie. Voorbeelden van dergelijke warmtebronnen zijn datacenters, supermarkten en rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's). In paragraaf 5.4.1 worden deze bronnen verder toegelicht.

Collectieve installaties

In variant s3f wordt een collectieve warmtepomp geplaatst voor de opwaardering van de LT-warmte, deze waardeert de LT-warmte op naar een temperatuurniveau van 70°C. Deze warmte wordt vervolgens direct geleverd aan de gebouwen.

Schillabel

In variant s3a wordt uitgegaan van schillabel B. Het is voor de individuele warmtepomp in deze variant niet mogelijk om voldoende vermogen te leveren om het gebouw te kunnen verwarmen wanneer er niet voldoende geïsoleerd wordt. In variant s3f wordt uitgegaan van schillabel D, dat is toereikend om het gebouw bij 70 graden comfortabel te kunnen verwarmen.

Individuele installatie en afgiftesysteem

In variant s3a wordt op gebouwniveau een warmtepomp geplaatst die de aangeleverde (Z)LT-warmte opwaardeert naar het gewenste temperatuurniveau. De warmtepomp wordt ingezet voor zowel de ruimteverwarming als voor warm tapwater. Hierbij wordt ook het afgiftesysteem aangepast naar een LT-afgiftesysteem.

Infrastructuur

Doordat de warmtevoorziening niet langer wordt ingevuld door aardgas moet het gasnet worden verwijderd uit de buurt. In de buurt moet wel een warmtenet worden aangelegd die de gebouwen voorziet van warmte. In beide varianten worden gebouwen die niet op het warmtenet zitten, voorzien van een individuele elektrische warmtepomp. Door de additionele elektriciteitsvraag van de warmtepompen moet het elektriciteitsnet mogelijk verzwakt worden.

Buffer

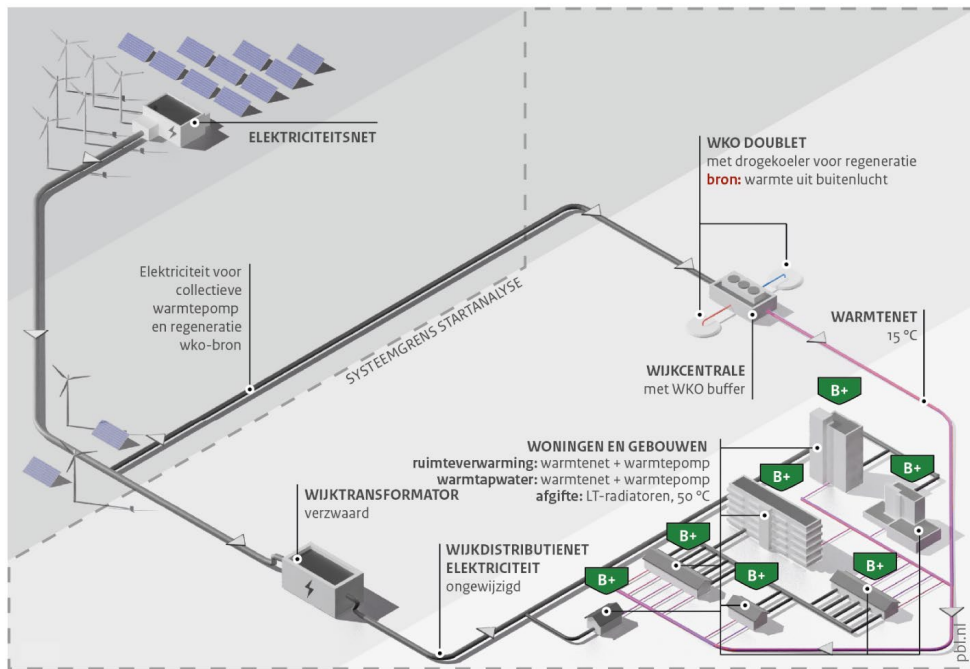
Om gedurende de koudere winterdagen voldoende warmte te kunnen leveren en ook op momenten te kunnen leveren waarop er vanuit de restwarmtebron tijdelijk geen warmte beschikbaar is wordt in beide varianten het warmtenet gecombineerd met een collectief buffervat met seizoensopslag.

Variant S3b, s3e en s3g – Combinatie van (Z)LT-warmtenet met WKO met individuele elektrische warmtepomp

Bij deze varianten wordt het gebouw verwarmd met als basis een (Z)LT warmtenet dat wordt gevoed met een WKO-systeem (zie Figuur 15 en Figuur 17). In variant s3e (zie Figuur 16) vindt ook regeneratie van het WKO-systeem plaats met thermische energie uit oppervlaktewater (TEO). De warmte wordt bij woningen en gebouwen geleverd op een temperatuurniveau van 15 °C. In deze varianten vindt geen collectieve opwaardering van de warmte plaats, maar wordt de ZLT-warmte direct aangeleverd aan de individuele gebouwen. Vervolgens wordt de warmte per gebouw met een individuele warmtepomp opgewaardeerd tot het gewenste temperatuurniveau voor ruimteverwarming en warm tapwater. In alle varianten is dat 50 graden.

Let op: deze paragraaf beschrijft de S3g strategievariant zoals die was vormgegeven in de ASA2025. De invulling van deze variant is gewijzigd in de ASA2026 versie van de Startanalyse. Dit betekent onder andere dat de afgiftemtemperatuur is aangepast naar 70 graden, waardoor een LT-afgiftesysteem niet meer nodig is. De wijzigingen worden beschreven in paragraaf 6.1.7.

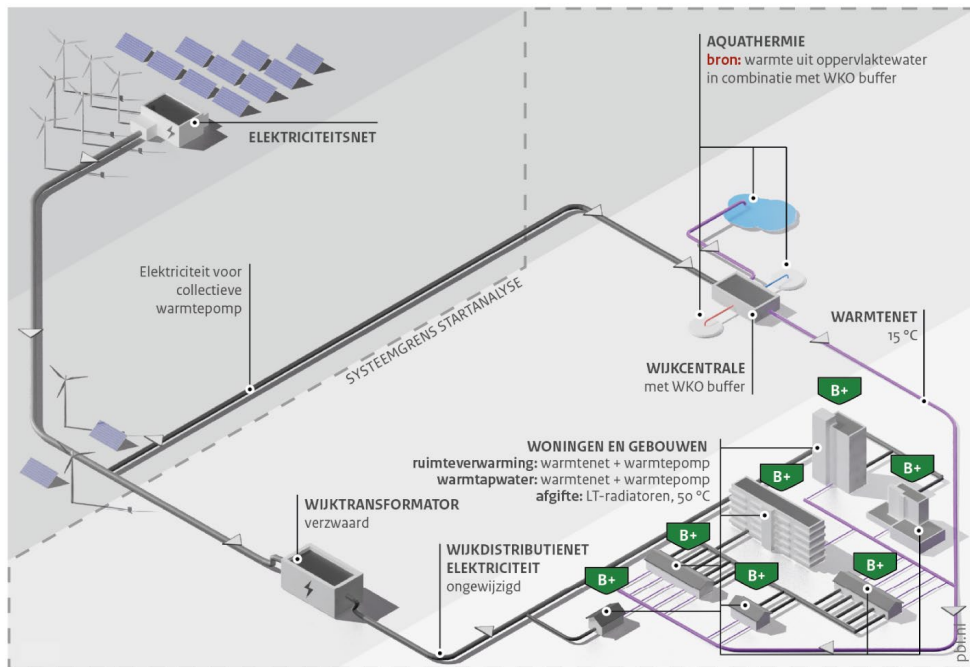
Figuur 15
ZLT-warmtenet met WKO



Bron: PBL

Schematische weergave van variant S3b – Combinatie van (Z)LT-warmtenet met een WKO-buffer met individuele elektrische warmtepompen. Aanlevering bij gebouwen op 15°C, individuele opwaardering van aangeleverde warmte voor het benodigde temperatuurniveau voor ruimteverwarming en warm tapwater. De afgiftesystemen worden vervangen door LT-afgiftesystemen. Alle woningen en gebouwen worden in deze variant geïsoleerd tot schillabel B.

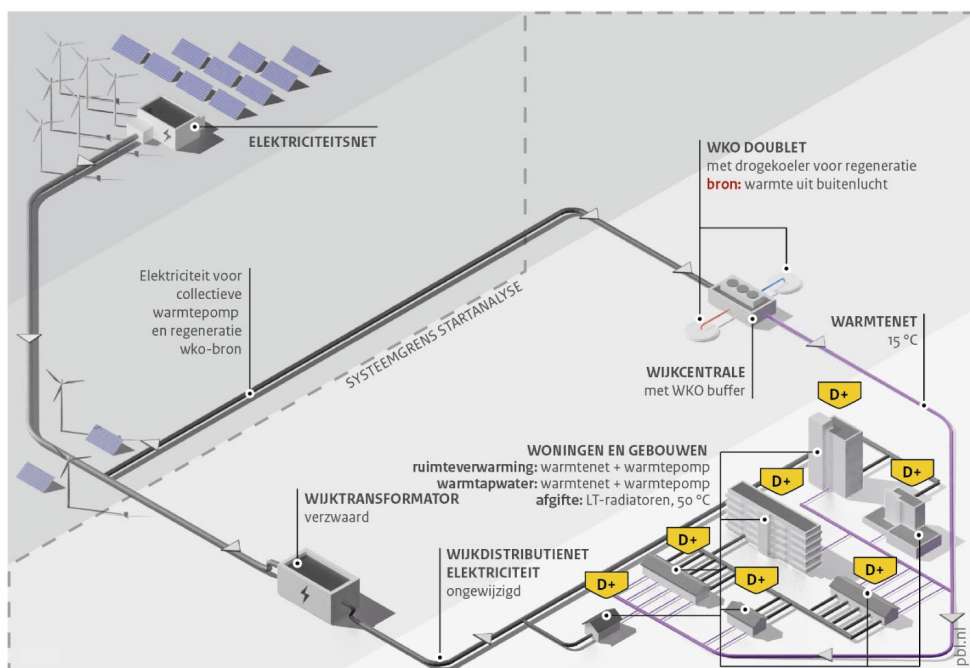
Figuur 16
ZLT-warmtenet met WKO en TEO



Bron: PBL

Schematische weergave van variant S3e – Combinatie van (Z)LT-warmtenet met een WKO-buffer met individuele elektrische warmtepompen. Regeneratie van het WKO-buffer met Thermische Energie uit Oppervlaktewater (TEO). De aanlevering bij gebouwen is op 15 °C, hier wordt het individueel opgewaardeerd naar de benodigde temperatuurniveaus voor ruimteverwarming en warm tapwater. De bestaande afgiftesystemen worden vervangen door LT-afgiftesystemen. Alle woningen en gebouwen worden in deze variant geïsoleerd tot schillabel B.

Figuur 17
ZLT-warmtenet met WKO



Bron: PBL

Schematische weergave van variant S3g – Combinatie van (Z)LT-warmtenet met individuele elektrische warmtepompen. De aanlevering bij gebouwen is op 15°C, hier wordt het individueel opgewaardeerd naar 50°C. De bestaande afgiftesystemen worden vervangen door LT-afgiftesystemen. Alle woningen en gebouwen worden in deze variant geïsoleerd tot schillabel D. Let op: deze figuur beschrijft de S3g strategievariant zoals die was vormgegeven in de ASA2025. De invulling van deze strategie is gewijzigd in de ASA2026 versie van de Startanalyse. De wijzigingen worden beschreven in paragraaf 6.1.7.

(Z)LT-warmtebron

De primaire bron in deze variant is een WKO-systeem. In variant S3e wordt het WKO systeem gecombineerd met thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) voor regeneratie.

Collectieve installaties

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

Schillabel

In varianten S3b en S3e wordt uitgegaan van schillabel B in de eindsituatie. In variant S3g wordt uitgegaan van schillabel D.

Individuele installatie en afgiftesysteem

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

Infrastructuur

Doordat de warmtevoorziening niet langer wordt ingevuld door aardgas moet het gasnet worden verwijderd uit de buurt. In de buurt moet wel een warmtenet worden aangelegd die de gebouwen voorziet van warmte. Daarnaast moet het elektriciteitsnet in de hele buurt mogelijk verzwaid worden.

Buffer

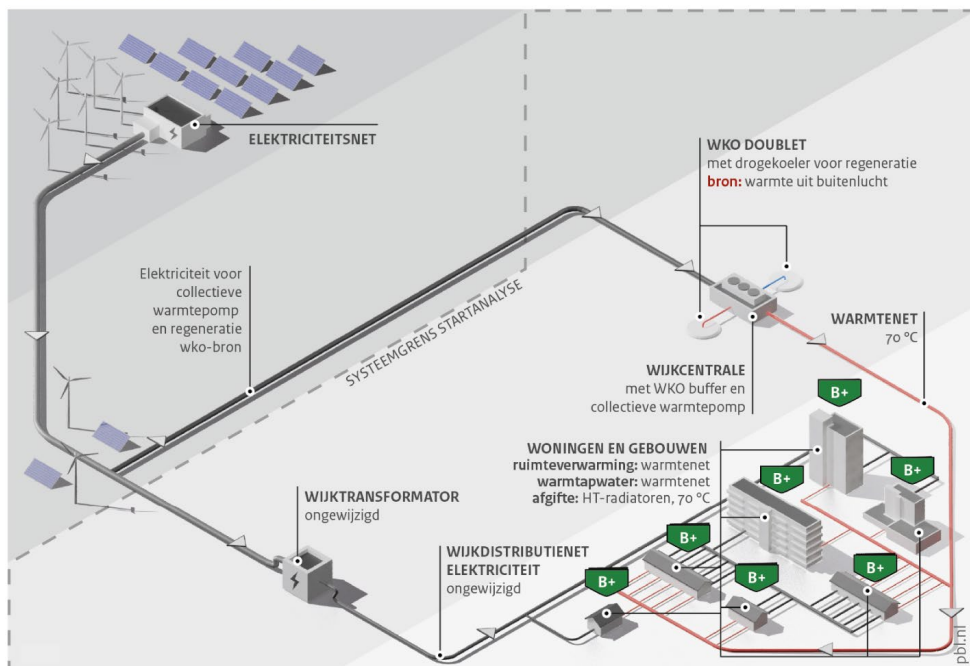
Om gedurende de koudere winterdagen voldoende warmte te kunnen leveren en ook op momenten te kunnen leveren waarop er vanuit de restwarmtebron tijdelijk geen warmte beschikbaar is wordt het warmtenet gecombineerd met een collectief buffervat met seizoensopslag.

Variant S3c, S3d en S3h – Combinatie van (Z)LT-warmtenet met WKO met collectieve warmtepomp

Bij deze varianten wordt het gebouw verwarmd met een (Z)LT-warmtenet dat wordt gevoed met een WKO-systeem. In deze varianten vindt collectieve opwaardering van de warmte plaats. In varianten S3c (Figuur 18) en S3h (Figuur 20) wordt de warmte opgewaardeerd tot 70°C, in variant S3d (Figuur 19) tot 50 graden. Vervolgens wordt deze warmte gedistribueerd over de gebouwen. In varianten S3c en S3h is de warmte direct geschikt voor ruimteverwarming en warm tapwater. In variant S3d moeten bestaande radiatoren worden vervangen door een LT-afgiftesysteem. Verder is het temperatuurniveau van 50°C nog niet voldoende voor de invulling van warm tapwater, deze wordt daarom nog verder opgehoogd door middel van een boosterwarmtepomp.

Figuur 18

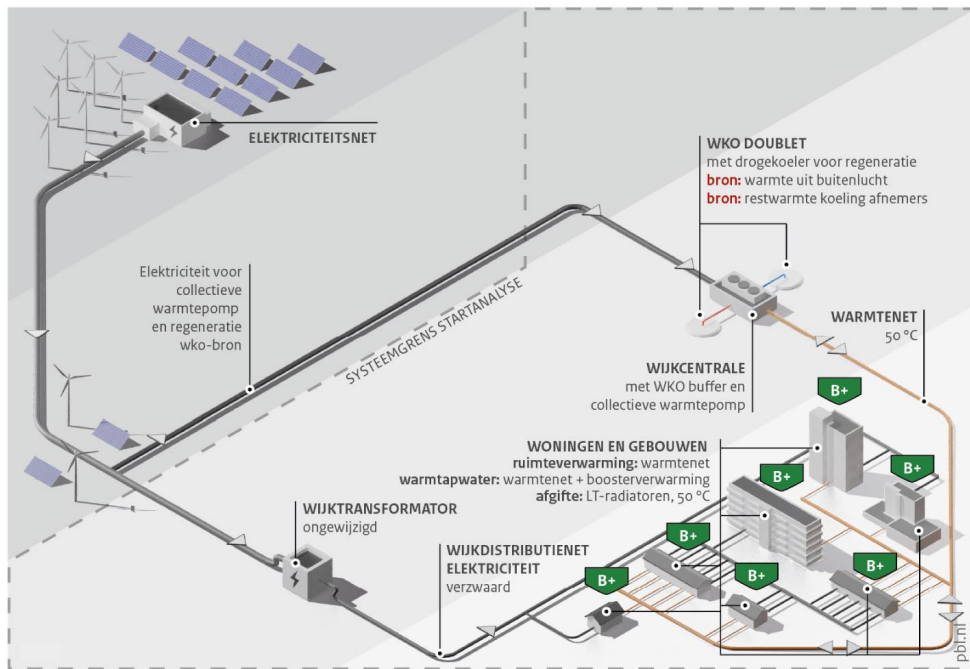
ZLT-warmtenet met WKO



Bron: PBL

Schematische weergave van variant S3c – Combinatie van (Z)LT-warmtenet met een WKO-buffer met individuele elektrische warmtepompen. Collectieve opwaardering van warmte naar 70°C. De bestaande afgiftesystemen zijn toereikend. Alle woningen en gebouwen worden in deze variant geïsoleerd tot schillabel B.

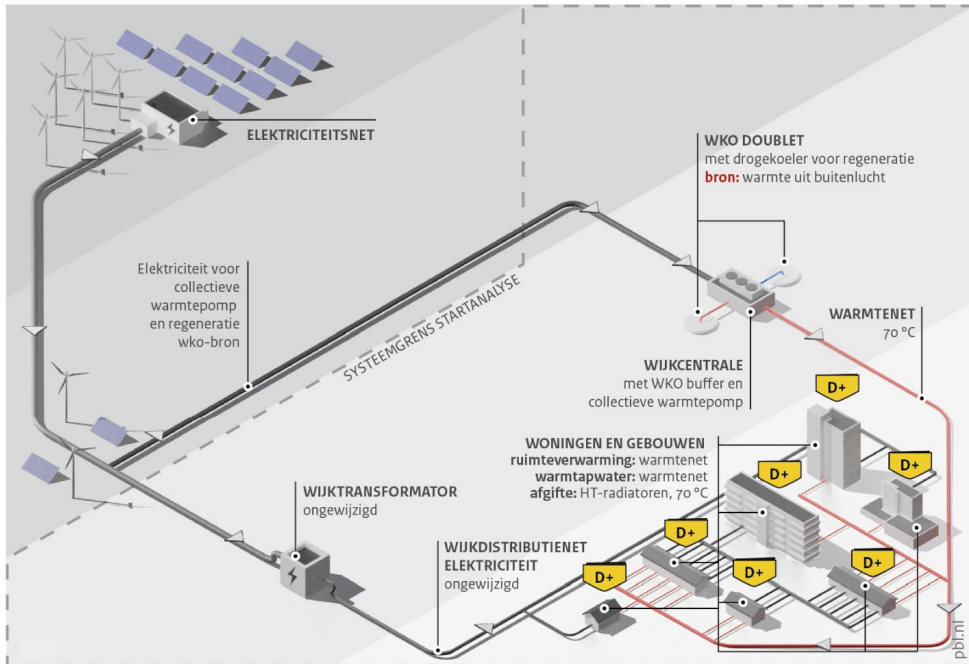
Figuur 19
ZLT-warmtenet met WKO



Bron: PBL

Schematische weergave van variant S3d – Combinatie van (Z)LT-warmtenet met een WKO-buffer met individuele elektrische warmtepompen. Collectieve opwaardering van warmte naar 50°C. Dit is toereikend voor ruimteverwarming, voor opwaardering naar benodigde temperatuurniveaus voor warm tapwater wordt een boosterwarmtepomp gebruikt. De bestaande afgiftesystemen worden vervangen door LT-afgiftesystemen. Alle woningen en gebouwen worden in deze variant geïsoleerd tot schillabel B.

ZLT-warmtenet met WKO



Bron: PBL

Schematische weergave van variant S3h – Combinatie van (Z)LT-warmtenet met een WKO-buffer met individuele elektrische warmtepompen. Collectieve opwaardering van de warmte tot 70°C. De bestaande afgiftesystemen zijn toereikend. Alle woningen en gebouwen worden in deze variant geïsoleerd tot schillabel D.

(Z)LT-warmtebron

De primaire bron in deze varianten is een WKO-systeem.

Collectieve installaties

In deze varianten wordt een WKO-systeem met een collectieve warmtepomp geplaatst voor de opwaardering van de ZLT-warmte, deze waardeert de ZLT-warmte op naar een temperatuurniveau van 70°C in varianten S3c en S3h en tot 50°C in variant S3d. Deze warmte wordt vervolgens direct geleverd aan de gebouwen.

Schillabel

In varianten S3c en S3d wordt uitgegaan van schillabel B. In variant S3h wordt uitgegaan van schillabel D.

Individuele installatie en afgiftesysteem

Dankzij de aanvoer van MT-warmte op 70°C kunnen bestaande afgiftesystemen worden gehandhaafd in varianten S3c en S3h. Daarbij is het temperatuurniveau van deze warmte ook voldoende om zowel de ruimteverwarmingsvraag als de warm tapwatervraag in te vullen. Binnen de gebouwen hoeft dus relatief weinig aangepast te worden om te voldoen aan de warmtevraag. Variant S3d heeft meer aanpassing aan gebouwen: op gebouwniveau wordt een boosterwarmtepomp geplaatst die de aangeleverde ZLT-warmte opwaardeert naar het gewenste temperatuurniveau voor warm tapwater.

Het temperatuurniveau van de aangeleverde warmte is voldoende voor ruimteverwarming bij schillabel B, alleen het afgiftesysteem moet wel worden aangepast naar een LT-afgiftesysteem.

Infrastructuur

Doordat de warmtevoorziening niet langer wordt ingevuld door aardgas moet het gasnet worden verwijderd uit de buurt. In de buurt moet wel een warmtenet worden aangelegd die de gebouwen voorziet van warmte. Daarnaast moet het elektriciteitsnet in de hele buurt mogelijk verzwaaard worden.

Buffer

De WKO-bron zelf fungeert als buffer. Hierbij wordt uitgegaan van algemene regeneratie van de bron, bijvoorbeeld met een droge koeler.

3.3.5 Strategie 4: Hybride warmtepomp met klimaatneutraal gas

In strategie 4 worden in totaal twee varianten onderscheiden. Hierbij wordt enkel onderscheid gemaakt op isolatieniveau, waarbij S4a uitgaat van schillabel B (Figuur 21) en S4b uitgaat van schillabel D (Figuur 22).

Afgiftesysteem in woningen en gebouwen

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

Technologie

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

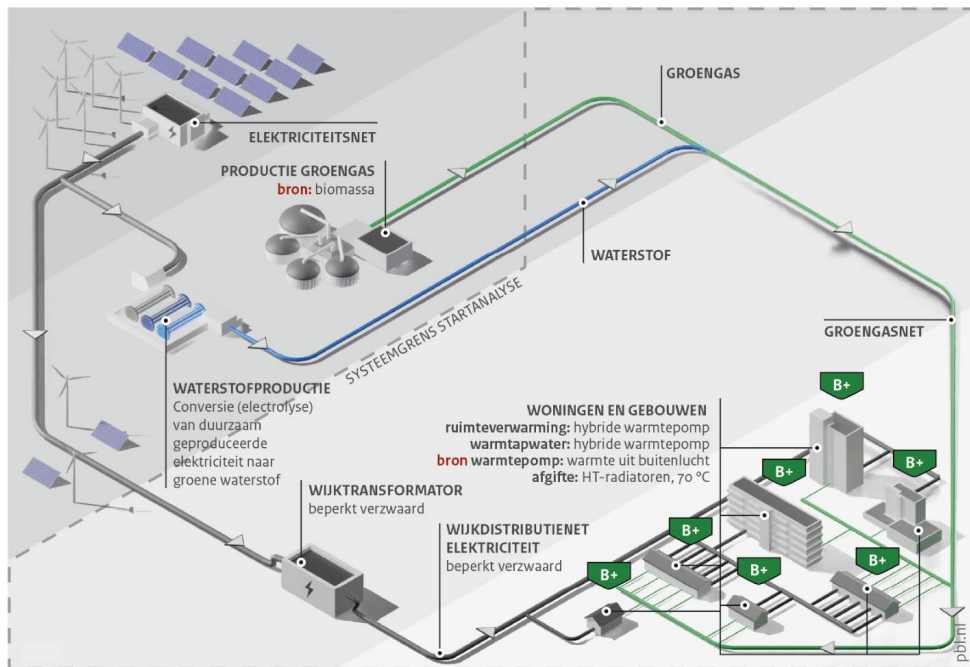
Individuele installatie

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

Infrastructuur

Met de hybride warmtepomp is nog wel klimaatneutraal gas nodig om de warmtevraag in te vullen. De huidige gasinfrastructuur blijft binnen deze varianten daarom liggen. De hybride warmtepompen resulteren wel in een hogere elektriciteitsvraag en om dit te kunnen invullen moet mogelijk het elektriciteitsnet verzwaaard worden.

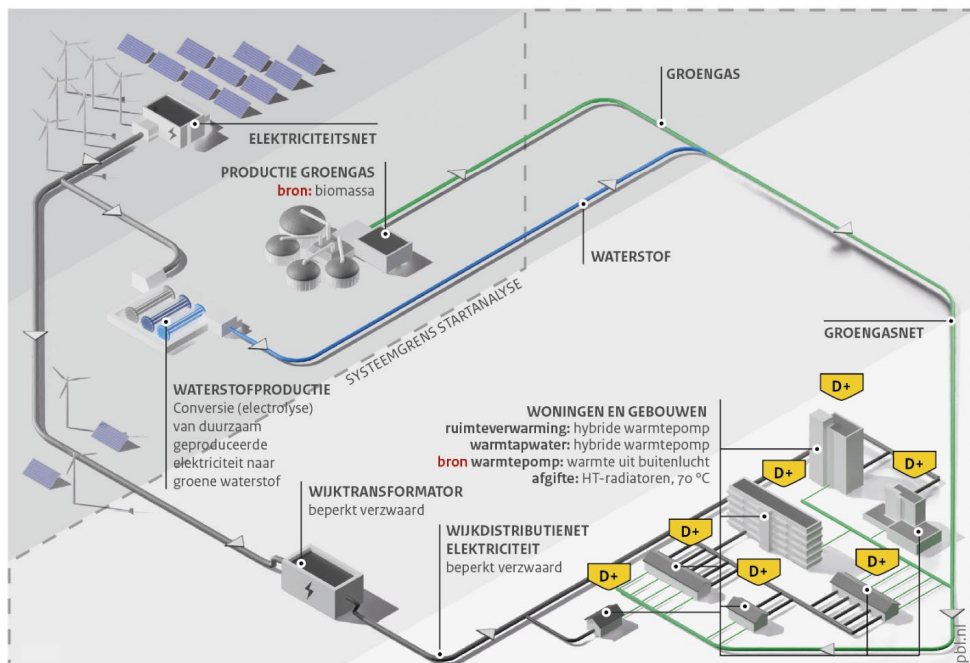
Figuur 21
Klimaatneutraal gas met hybride warmtepomp



Bron: PBL

Schematische weergave van variant Sqa – Hybride warmtepomp met klimaatneutraal gas. Alle woningen en gebouwen worden in deze variant geïsoleerd tot schillabel B.

Figuur 22
Klimaatneutraal gas met hybride warmtepomp



Bron: PBL

Schematische weergave van variant Sqb – Hybride warmtepomp met klimaatneutraal gas. Alle woningen en gebouwen worden in deze variant geïsoleerd tot schillabel D.

3.4 Verschillen in strategieën tussen de SA2020 en de ASA2025

Strategie 1 en 2 zijn ongewijzigd gebleven tussen de SA2020 en de ASA2025. Het is daarbij wel belangrijk te benoemen dat de informatie over de energielabels van utiliteitsgebouwen en de kosten van isolatie van utiliteitsgebouwen is verbeterd in de ASA2025. Die verbeteringen worden beschreven in paragraaf 5.3.3. De wijzigingen in strategie 3 en 4 worden hieronder individueel beschreven.

In de ASA2026 worden dezelfde strategieën en varianten gehanteerd als in de ASA2025, met uitzondering van strategievariant s3g. Wijzigingen in strategievariant s3g tussen de ASA2026 en de ASA2025 worden beschreven in paragraaf 6.1.7.

Wijzigingen in strategie 3

In strategie 3 zijn aanpassingen doorgevoerd om beter een indruk te geven van de diverse mogelijkheden van warmtenetten in combinatie met (Z)LT-bronnen. In de SA2020 werd voor een aantal varianten uitgegaan van het aansluiten van een volledige buurt op een warmtenet met (Z)LT-bron. In de ASA2025 hanteren we voor alle varianten de clusteringsmethode, wat betekent dat we voor (clusters van) gebouwen nagaan of het voordeliger is om deze aan te sluiten op een warmtenet of op een individuele elektrische warmtepomp. Hierdoor ontstaan clusters van gebouwen met een aansluiting op een warmtenet met (Z)LT-bron, wat naar verwachting beter overeenkomt met de meest aannemelijke toepassing van dergelijke bronnen. In de [gemeentedata](#) zijn de eerdergenoemde varianten met een warmtenet voor de hele buurt wel meegenomen.

Daarnaast zijn er meer varianten met individuele opwaardering naar 70°C, omdat we teruggekregen hebben van gemeenten dat dit een veelbelovend alternatief lijkt te zijn.

Ten slotte is de naamgeving voor een aantal varianten veranderd. De naamgeving die gehanteerd wordt in de ASA2025 wordt verder toegelicht in paragraaf 3.4.

Wijzigingen in strategie 4

In de SA2020 werd uitgegaan van twee strategieën met klimaatneutrale gassen, namelijk groengas (S4) en groene waterstof (S5). Er heerst grote onzekerheid rondom de toekomstige beschikbaarheid van zowel groengas als groene waterstof voor de gebouwde omgeving. Daarnaast is het zeer complex om een accurate kostenindicatie voor groene waterstof te geven (Elzenga et al. 2025). Dit gezamenlijk heeft ertoe geleid dat voor de ASA2025 is besloten om deze strategieën samen te voegen tot één strategie met klimaatneutraal gas.

Daarnaast werd in de SA2020 onderscheid gemaakt tussen twee verschillende technologieën: HR-ketels en hybride warmtepompen. In de ASA2025 worden alleen strategievarianten meegenomen waarbij gebruik wordt gemaakt van klimaatneutraal gas in hybride warmtepompen.

Dit brengt het totaal aantal varianten van acht (vier in S4, vier in S5) in de SA2020 terug naar twee in de ASA2025 in de gecombineerde strategie 4 met klimaatneutraal gas.

Bij de beslissing om varianten met klimaatneutraal gas in HR-ketels te schrappen, speelde de aangekondigde normering voor verwarmingsinstallaties een rol, die gericht was op het stimuleren van (hybride) warmtepompen (BZK 2023).

Hoewel de aangekondigde normering in 2024 is geschrapt, is er inmiddels een verplichting voor (hybride) warmtepompen aangekondigd in het huidige regeerakkoord vanaf 2029 op plekken waar een warmtenet niet de meest geschikte oplossing is (Rijksoverheid 2026).

De opbouw van strategie 4 is ongewijzigd tussen de ASA2025 en de ASA2026. Wel is er een wijziging in het uitgangspunt rond de beschikbaarheid van klimaatneutraal gas. Deze wijziging wordt verder toegelicht in hoofdstuk 6.

3.5 Overzicht strategieën en varianten

Tabel 2
Overzicht van strategievarianten in de Startanalyse aardgasvrije buurten 2025

Technologie		Isolatie niveau	Energiedr agers	Aanlevering aan gebouw	Afgifte ruimteverwarming	Gasnet verwijderen	Modeller ing gebouwniveau	Modeller ing clusterniveau	Modeller ing buurt niveau	Individuele warmte pomp	Collectieve warmte pomp	Regeneratie	Type afgiftesysteem
S1a	Individuele elektrische luchtwarmtepomp	B+	Elektriciteit, omgevingswarmte	n.v.t.	50 °C	Ja	Ja	Nee	Nee	Ja	Nee	n.v.t.	LT
S1b	Individuele elektrische bodemwarmtepomp	B+	Elektriciteit, omgevingswarmte	n.v.t.	50 °C	Ja	Ja	Nee	Nee	Ja	Nee	n.v.t.	LT
S2a	Warmtenet met MT-restwarmtebron	B+	MT-warmte, klimaatneutraal gas	70 °C	70 °C	Ja	Nee	Nee	Ja	Nee	Nee	n.v.t.	MT
S2b	Warmtenet met MT-geothermiebron, potentiecontour	B+	MT-warmte, klimaatneutraal gas	70 °C	70 °C	Ja	Nee	Nee	Ja	Nee	Nee	n.v.t.	MT
S2c	Warmtenet met MT-geothermiebron, overal	B+	MT-warmte, klimaatneutraal gas	70 °C	70 °C	Ja	Nee	Nee	Ja	Nee	Nee	n.v.t.	MT
S2d	Warmtenet met MT-restwarmtebron	D+	MT-warmte, klimaatneutraal gas	70 °C	70 °C	Ja	Nee	Nee	Ja	Nee	Nee	n.v.t.	MT
S2e	Warmtenet met MT-geothermiebron, potentiecontour	D+	MT-warmte, klimaatneutraal gas	70 °C	70 °C	Ja	Nee	Nee	Ja	Nee	Nee	n.v.t.	MT
S2f	Warmtenet met MT-geothermiebron, overal	D+	MT-warmte, klimaatneutraal gas	70 °C	70 °C	Ja	Nee	Nee	Ja	Nee	Nee	n.v.t.	MT
S3a	Warmtenet met LT-restwarmtebron	B+	(Z)LT-warmte, elektriciteit	15-30 °C	50 °C	Ja	Ja	Ja	Nee	Ja	Nee	n.v.t.	LT
S3b	ZLT-warmtenet met WKO	B+	(Z)LT-warmte, elektriciteit	15 °C	50 °C	Ja	Ja	Ja	Nee	Ja	Nee	Algemeen	LT
S3c	ZLT-warmtenet met WKO	B+	(Z)LT-warmte, elektriciteit	70 °C	70 °C	Ja	Ja	Ja	Nee	Nee	Ja	Algemeen	MT/LT
S3d	ZLT-warmtenet met WKO	B+	(Z)LT-warmte, elektriciteit	50 °C	50 °C	Ja	Ja	Ja	Nee	Nee	Ja	Algemeen	LT
S3e	ZLT-warmtenet met WKO en TEO	B+	(Z)LT-warmte, elektriciteit	15 °C	50 °C	Ja	Ja	Ja	Nee	Ja	Nee	TEO	LT
S3f	Warmtenet met LT-restwarmtebron	D+	(Z)LT-warmte, elektriciteit	70 °C	70 °C	Ja	Ja	Ja	Nee	Nee	Ja	n.v.t.	MT/LT
S3g	ZLT-warmtenet met WKO	D+	(Z)LT-warmte, elektriciteit	15 °C	50 °C	Ja	Ja	Ja	Nee	Nee	Ja	Algemeen	LT
S3h	ZLT-warmtenet met WKO	D+	(Z)LT-warmte, elektriciteit	70 °C	70 °C	Ja	Ja	Ja	Nee	Nee	Ja	Algemeen	MT
S4a	Hybride warmtepomp met klimaatneutraal gas	B+	Klimaatneutraal gas, elektriciteit	n.v.t.	70 °C	Nee	Ja	Nee	Nee	Ja	Nee	n.v.t.	MT
S4b	Hybride warmtepomp met klimaatneutraal gas	D+	Klimaatneutraal gas, elektriciteit	n.v.t.	70 °C	Nee	Ja	Nee	Nee	Ja	Nee	n.v.t.	MT

4 Verdiepende uitleg

In dit hoofdstuk worden vier onderwerpen belicht die vaak vragen oproepen. Allereerst wordt besproken hoe in de Startanalyse wordt omgegaan met buurten die al (deels) zijn aangesloten op een bestaand warmtenet. Vervolgens wordt de Clusteringmethode toegelicht, die wordt gebruikt om clusters van gebouwen te identificeren voor een warmtenet dat is verbonden met een lage- of zeer lage temperatuur warmtebron. In de derde sectie van dit hoofdstuk wordt het allocatiemechanisme beschreven dat wordt gebruikt om de beperkte nationale beschikbaarheid van klimaatneutraal gas te verdelen over buurten, waar de vraag naar gas de totale beschikbaarheid overstijgt. In de ASA2025 wordt dit allocatiemechanisme gebruikt om 2 miljard kubieke meter klimaatneutraal gas te verdelen over buurten. In de ASA2026 speelt het allocatiemechanisme alleen een rol in de gevoeligheidsanalyses waar klimaatneutraal gas nog verdeeld wordt over Nederland. In de laatste sectie van dit hoofdstuk wordt een verdiepende uitleg gegeven over de supplementaire ‘Buurt-WKO’ varianten die in de ASA2025 zijn toegevoegd. De Buurt-WKO varianten worden ook beknopt beschreven in paragraaf 5.4.5. Naast de verdiepende uitleg in dit hoofdstuk zijn bij de ASA2025 ook uitgebreidere informatiebladen geschreven over twee specifieke onderwerpen in de Startanalyse: koude (Polen & Blok 2025a) en netverzwaring (Polen & Blok 2025b).

4.1 Modellerings van buurten met bestaand warmtenet

Voor buurten met (deels) een bestaand warmtenet hoeven niet alle gebouwen aardgasvrij gemaakt te worden, omdat deze gebouwen al (gedeeltelijk) aangesloten zijn op een technologie die in de toekomst aardgasvrij kan verwarmen. In de ASA2025 en de ASA2026 wordt ervan uitgegaan dat de gebouwen die nu aangesloten zijn op een warmtenet in de toekomst klimaatneutraal worden gevoed, waarbij geen rekening gehouden wordt met de huidige staat van bestaande netten. Bij het bepalen van de nationale meerkosten voor een strategie is het daarom van belang dat de kosten, zoals de kapitaallasten, in mindering gebracht worden voor de gebouwen die al zijn aangesloten op een bestaand net.

Per buurt is informatie beschikbaar van het Centraal Bureau voor de Statistiek over het percentage woningen op een bestaand warmtenet, maar daarbij is niet precies bekend welke individuele gebouwen zijn aangesloten (CBS 2024). Daarom wordt een generieke correctie toegepast voor buurten met een bestaand warmtenet, gebaseerd op het percentage woningen dat aangesloten is op het bestaand warmtenet (hierna het correctiepercentage genoemd).

Deze correctie werkt als volgt:

1. Een buurt wordt doorgerekend zonder rekening te houden met de eventuele aanwezigheid van een bestaand warmtenet. Alle kostenindicatoren worden hierbij bepaald.
2. Al deze kosten (kapitaallasten, onderhoud- en beheerskosten, kosten energiedragers, etc.) worden vervolgens gecorrigeerd met het correctiepercentage.

Dit betekent dat in een fictieve buurt waarin 40% van de woningen is aangesloten op een bestaand warmtenet, alle kosten worden verminderd met 40%. Ook de benodigde levering

van energiedragers en het aantal aansluitingen in die buurt wordt gecorrigeerd met het correctiepercentage.

3. De energievraag van het bestaande warmtenet wordt hier weer bij opgeteld. Stel bijvoorbeeld dat strategie 1 (individuele elektrische warmtepomp) wordt doorerekend. Eerst wordt de hele buurt aangesloten op een individuele elektrische warmtepomp. Vervolgens wordt voor 40% van deze aansluitingen de extra elektriciteitsvraag van de warmtepomp gecorrigeerd en vervolgens wordt voor deze aansluitingen de warmtevraag ingevuld zoals bij een warmtenet bij S₂.
4. Bij het bepalen van kosten voor strategie 2 in een buurt met een bestaand warmtenet, waarbij het bestaande warmtenet wordt doorgeschakeld naar de rest van de buurt (en mogelijk naar aangrenzende buurten), dan wordt nog een extra aanname gedaan waarbij kosten voor het primaire net (de leiding van de warmtebron naar de buurt) buiten beschouwing worden gelaten. De kosten voor het primaire net worden niet meegenomen in de veronderstelling dat de warmtebron van het bestaande warmtenet voldoende capaciteit heeft om de gehele buurt aan te sluiten.

Voor buurten die 100% zijn aangesloten op een bestaand warmtenet worden geen kosten in beeld gebracht om over te gaan naar een aardgasvrije strategie en worden enkel de kosten voor de levering van de energiedrager voor het bestaande warmtenet in beeld gebracht.

4.2 Clusteringsmethode lage-temperatuur warmtenetten

Een belangrijk verschil tussen strategie 2 en strategie 3 is het schaalniveau van de warmtenetten. Binnen strategie 2 wordt er in de berekeningen van uitgegaan dat alle gebouwen binnen een buurt worden aangesloten op het warmtenet. Gemiddeld gaat het dan om 1000 -1500 gebouwen. Dit is ook het schaalniveau dat nodig is om dergelijke grootschalige warmtenetten uit te leggen. Het schaalniveau voor warmtenetten binnen S₃ kan een stuk kleiner zijn. Het gaat hier vaak om het aansluiten van 100- 150 woningen, of enkele utiliteitsgebouwen.

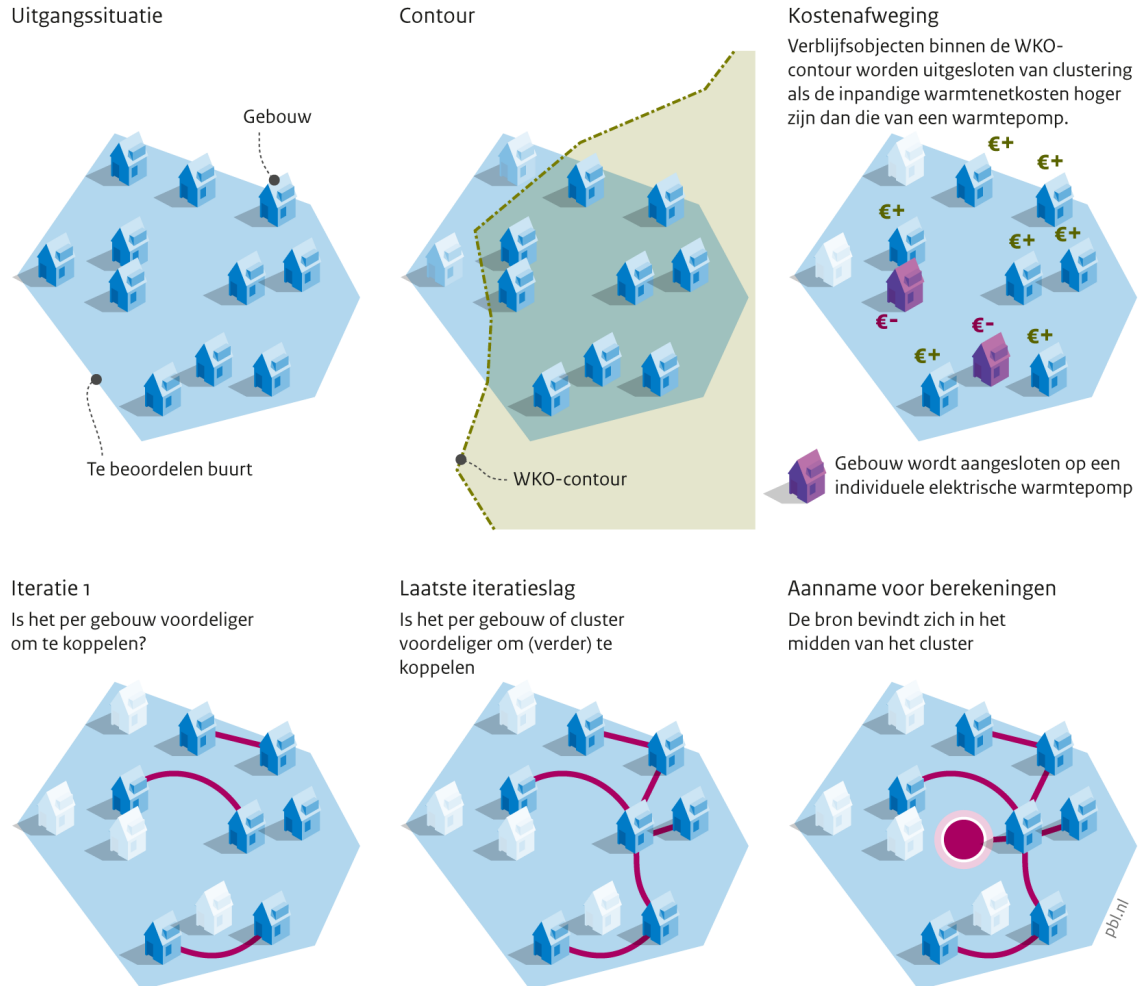
De reden voor het kleinere schaalniveau bij (Z)LT-warmtenetten is het beperkte vermogen van (Z)LT-warmtebronnen. Het is hierdoor niet mogelijk om alle gebouwen in een buurt van warmte uit de (Z)LT-warmtebron te voorzien. Gebouwen die niet kunnen worden aangesloten worden in de Startanalyse uitgerust met een all-electric warmtepomp (zonder warmtenet). Om te bepalen welke gebouwen worden aangesloten op het warmtenet met (Z)LT-warmtebron wordt gebruik gemaakt van een clusteringsmethode. Die clusteringsmethode beoogt de schaarse warmte van een (Z)LT-bron zo kosteneffectief mogelijk in te zetten. Om dat te doen worden de kosten (per gebouw) van de overstap naar een aansluiting op die bron vergeleken met de kosten van een individuele warmtepomp zonder warmtenet. Als die laatste optie voordeliger is, wordt het gebouw overgeslagen en wordt de warmte van de (Z)LT-bron elders ingezet. In dat geval wordt de overgeslagen woning of gebouw van een individuele warmtepomp (S₁) voorzien, waarbij wordt uitgegaan van de variant met de laagste nationale kosten voor deze buurt binnen S₁.

De methode waarmee deze clusters tot stand komen wordt verder toegelicht aan de hand van een voorbeeld in deze paragraaf en in het functioneel ontwerp 5.0 van het Vesta MAIS model (Van der Molen et al. 2021).

Figuur 23 bevat een conceptueel overzicht van de methode. Daarbij wordt in dit figuur uitgegaan van een WKO-bron, bij een (Z)LT-restwarmtebron werkt de clustermethode grotendeels hetzelfde alleen wordt de clustering gestart vanuit de bestaande warmtebron.

Figuur 23

Iteraties bij het uitkoppelen van een WKO via clusteringsmethode



Bron: PBL

Uitleg van de clusteringsmethode voor warmtenetten met een ZLT-bron (S_3), in dit geval een WKO. Van toepassing op varianten S_{3b} , S_{3c} , S_{3d} , S_{3e} , S_{3g} en S_{3h} .

1. Allereerst wordt een toets gedaan op basis van de WKO-potentiecontour. De WKO-contour is de regio waarin het theoretisch mogelijk is om een WKO te plaatsen (zie ook 5.4.3). Gebouwen die buiten deze contour vallen worden buiten beschouwing gelaten in verdere iteraties en zullen aangesloten worden op een individuele elektrische warmtepomp.

2. Vervolgens wordt per gebouw een kostenafweging gemaakt: als alle gebouwgerelateerde kosten— dus exclusief de kosten voor de warmte-infrastructuur buiten het gebouw— voor het aansluiten op een warmtenet (e.g. in pandige distributiekosten, afleverset, etc.) hoger zijn dan de kosten voor het plaatsen van een individuele elektrische warmtepomp wordt dit gebouw uitgesloten van verdere iteraties; het aansluiten op een warmtenet kan in deze situatie nooit lagere kosten opleveren dan het plaatsen van een individuele warmtepomp.
3. Per iteratie wordt per gebouw en cluster bekeken of het voordeliger is om te koppelen met andere gebouwen of clusters en deze dus aan hetzelfde net aan te sluiten. Dit iteratieve proces wordt herhaald tot de meest gunstige combinatie gevonden is. Hierna wordt ‘fictief’ een WKO-bron geplaatst in het midden van het cluster als basis voor de berekeningen.

De totale nationale meerkosten voor een buurt binnen deze strategie worden bepaald als de combinatie van kosten voor de gebouwen die op het ZLT-net aangesloten zijn en de kosten voor het plaatsen van individuele elektrische warmtepompen voor de overige gebouwen, inclusief de bijbehorende isolatiemaatregelen.

4.3 Supplementaire buurt-WKO strategievarianten

In strategie 3 worden woningen en utiliteitsgebouwen ‘geclusterd’ om tot een warmtenet te komen met lage- of zeer lage temperatuur bron (zie paragraaf 3.3.4 en 4.2). Zo’n cluster kan bijvoorbeeld worden gevormd rond een restwarmtebron, een aquathermische bron of een warmte-koude opslag (WKO).

In de ASA2025 worden ook bestanden aangeboden met gemeentedata, die kunnen worden ingelezen voor analyse met een sjabloon. In die gemeentedata worden ook configuraties doorgererekend met een zogeheten ‘buurt-WKO’ (zie uitleg paragraaf 4.3). Dat is een Warmte Koude Opslagstelsel op CBS-buurniveau waaruit warmte wordt aangeleverd op 70 graden, zonder regeneratie of koudelevering. Er zijn geen individuele voorzieningen voor warm water of ruimteverwarming. De buurt-WKO levert geen koude. De WKO wordt geplaatst in het midden van de buurt, zonder rekening te houden met de nabijheid van andere warmtebronnen.

De buurt-WKO strategievarianten zijn theoretische varianten die in de praktijk waarschijnlijk niet (kostenefficiënt) kunnen worden vormgegeven. De supplementaire buurt WKO-varianten zijn daarom vooral bedoeld om een indruk te krijgen van de infrastructurele kosten van een (Z)LT warmtenet voor een gehele buurt of een groot deel daarvan. Er zijn geen strategievarianten opgenomen met een buurt-WKO in de laagste nationale kostenberekeningen van de ASA2025.

Hoewel infrastructurele kosten voor de gehele buurt op vergelijkbare manier worden berekend als de infrastructurele kosten voor een cluster, zit een belangrijk verschil in de kosten voor de warmte-opwekking. Die kosten bestaan namelijk uit een ‘vast’ en een ‘variabel’ deel. Het vaste investeringsdeel is onder andere gebaseerd op de benodigde boring voor het WKO-systeem. Het variabele deel is afhankelijk van de vermogensvraag van de gebouwen die worden aangesloten op het (Z)LT warmtenet. In de reguliere ‘cluster’-berekening kan het zijn dat er meerdere, mogelijk buurtoverschrijdende clusters voorkomen binnen één buurt.

De vaste investeringscomponent wordt dan meerdere keren berekend. Indien een cluster gebouwen betreft uit meerdere buurten, worden de vaste investeringskosten verdeeld over de aangesloten buurten naar rato van het vermogen van de gebouwen die zijn aangesloten op het cluster. Hierdoor is het mogelijk dat in een buurt juist relatief hoge ‘vaste’ kosten voorkomen, bijvoorbeeld omdat de vaste kostencomponent meerdere keren wordt berekend voor ieder cluster in de buurt. Het is ook mogelijk dat in een buurt juist relatief lage vaste kosten voorkomen, bijvoorbeeld omdat er maar een paar gebouwen (met lage vermogen) worden aangesloten op een naburig cluster.

In de supplementaire buurt-WKO berekening vormt iedere buurt een geheel eigen cluster, in plaats van dat er meerdere kleinere, mogelijk buurtoverschrijdende, clusters worden gemaakt. Omdat iedere buurt een eigen cluster vormt, is de berekening van het vaste kostendeel simpeler: deze wordt direct eenmalig per buurt berekend. Hierdoor kan het voorkomen dat de kosten voor warmte-opwekking in de buurt-WKO variant lager zijn dan in de reguliere berekening met clusters. Het variabele kostengedeelte schaaft wel mee met de (grotere) vermogensvraag van alle gebouwen binnen de buurt).

4.4 Allocatie klimaatneutraal gas

Voor de totale beschikbaarheid van klimaatneutraal gas voor de gebouwde omgeving in 2050 wordt in de ASA2025 uitgegaan van 2 bcm. Circa 0,5 bcm wordt ingezet in hulpketels voor bestaande en nieuwe warmtenetten. Dat maakt dat er ongeveer 1,5 bcm klimaatneutraal gas overblijft voor gebruik in hybride warmtepompen in individuele woningen. De totale vraag naar klimaatneutraal gas in de modelresultaten overstijgt echter in de meeste gevallen de ambities van de overheid voor de productie, zoals wordt aangenomen in de ASA2025. Er is daarom een allocatieprincipe geïntroduceerd waarmee het klimaatneutraal gas wordt toegekend aan buurten, op basis van uitgespaarde kosten. In de ASA2026 wordt in de hoofdberekening aangenomen dat er geen klimaatneutraal gas beschikbaar is. In de ASA2026 zijn wel gevoeligheidsanalyses opgenomen met klimaatneutraal gas waar het allocatieprincipe voor wordt gebruikt.

Het allocatieprincipe is gebaseerd op de (extra) kosten die je zou moeten betalen— indien het klimaatneutraal gas niet beschikbaar zou zijn— voor de eerstvolgende alternatieve verduurzamingsstrategie zónder klimaatneutraal gas. Die uitgespaarde kosten worden berekend op basis van het verschil in kosten van de H16 hoofdindicator (de nationale meerkosten in euro per jaar) tussen de strategievariant met klimaatneutraal gas- en de eerstvolgende strategievariant zónder klimaatneutraal gas, die daarna de laagste nationale kosten heeft.

Vervolgens worden de uitgespaarde kosten nog gedeeld door het gasverbruik in de buurt, dit levert een indicatie van uitgespaarde kosten per eenheid klimaatneutraal gas. In Tabel 3 wordt het allocatieprincipe waarmee klimaatneutraal gas wordt toegekend aan buurten toegelicht met een rekenvoorbeeld.

Stel dat er in totaal 1 miljoen kubieke meter klimaatneutraal gas kan worden verdeeld over zes fictieve buurten (de ‘WARMTE’ buurten, iedere fictieve buurt krijgt een letter als naam) waar strategie 4 de laagste nationale kosten heeft volgens de modelberekeningen.

Op basis van de H16 indicator wordt het verschil in nationale kosten berekend tussen de strategie met klimaatneutraal gas (s4a of s4b) en de alternatieve strategie zónder klimaatneutraal gas met de laagste nationale kosten. In het voorbeeld worden dat de ‘uitgespaarde kosten’ genoemd.

De uitgespaarde kosten worden gedeeld door de behoefte aan klimaatneutraal gas van de buurt (in kubieke meter gas) om te komen tot uitgespaarde kosten per eenheid klimaatneutraal gas. In buurt E worden de meeste kosten bespaard per eenheid gas: dat betekent dat in die buurt volgens het allocatieprincipe relatief veel kosten kunnen worden uitgespaard ten opzichte van de andere buurten.

Buurt E krijgt als eerste klimaatneutraal gas toebedeeld, gevolgd door buurt A en buurt T. Omdat die buurten gezamenlijk 1 miljoen kubieke meter klimaatneutraal gas vragen is de totale beschikbaarheid daarmee opgebruikt: er is niet genoeg klimaatneutraal gas meer voor buurt W, die daarna het grootste kostenverschil heeft. Stel nu dat er niet één, maar slechts 0,6 miljoen kubieke meter klimaatneutraal gas beschikbaar is om te verdelen. In dat geval is er (ook) niet genoeg klimaatneutraal gas beschikbaar voor buurt T, omdat buurt E en A samen al 0,6 miljoen kubieke meter klimaatneutraal gas verbruiken. Buurt T krijgt dan de alternatieve strategievariant met laagste nationale kosten zónder klimaatneutraal gas.

Tabel 3
Voorbeeldberekening allocatieprincipe klimaatneutraal gas aan buurten

Buurt	Vraag klimaatneutraal gas	H16 goedkoopste KN gas strategie-variant	H16 goedkoopste strategievariant zónder KN gas	Uitgespaarde kosten door gebruik KN gas	Uitgespaarde kosten per eenheid klimaatneutraal gas
	[miljoen m ³]	[euro per jaar]	[euro per jaar]	[euro per jaar]	[euro per jaar/m ³]
Buurt W	0,2	3000	3200	200	0,0010
Buurt A	0,4	4000	5000	1000	0,0025
Buurt R	0,3	2000	2100	100	0,0003
Buurt M	0,5	1300	1350	50	0,0001
Buurt T	0,4	800	1300	500	0,0013
Buurt E	0,2	2500	3300	800	0,0040

Dit rekenvoorbeeld laat zien hoe de uitgespaarde kosten per eenheid klimaatneutraal gas berekend worden uit de H16 indicatoren van de strategievarianten met de laagste nationale kosten mét en zonder klimaatneutraal gas. Volgens het allocatieprincipe krijgen respectievelijk de buurten E, A en T als eerste klimaatneutraal gas toebedeeld. Daarna is er niet genoeg klimaatneutraal gas meer over voor de buurten W, R en M: die buurten krijgen de strategievariant met laagste nationale kosten toegewezen zónder klimaatneutraal gas.

5 Uitgangspunten ASA2025

Een belangrijke reden voor de actualisatie van de Startanalyse was het actualiseren van de verschillende vormen van informatie. Het gaat hierbij om informatie zoals de kenmerken van technieken, kostendata, (ruimtelijke) databronnen en kleine aanpassingen aan de modellering.

Dit hoofdstuk focust zich op de verschillen tussen de ASA2025 en de SA2020

In dit achtergrondrapport wordt de chronologische opbouw aangehouden overeenkomend met het eerder gepubliceerde conceptrapport bij de ASA2025. In dit hoofdstuk ligt de focus daarom op de verschillen tussen de SA2020 en de ASA2025. Daarna zijn er nog verschillen tussen de ASA2026 en de ASA2025. Deze worden apart beschreven in hoofdstuk 6.

Opzet van dit hoofdstuk

Het doel van elke beschrijving in dit hoofdstuk is om inzicht te geven in de wijzigingen die zijn gedaan in de ASA2025 ten opzichte van de SA2020, met de bijbehorende onderbouwing. Er zal daarom ook nog informatie terugkomen uit de SA2020, waarbij een toelichting wordt gegeven waarop de wijziging in informatie is gebaseerd. Er zit een grote verscheidenheid in de informatie die wordt geactualiseerd, daarbij wordt in grote lijnen de volgende indeling aangehouden:

- Voor kostendata wordt onderscheid gemaakt naar:
 - Korte beschrijving van informatie
 - Een tabel met:
 - Kostenkental SA2020, destijds in euro2018
 - Kostenkental SA2020, in euro2023 (gecorrigeerd voor inflatie)
 - Kostenkental ASA2025, in euro2023
 - Een toelichting waarop de nieuwe data zijn gebaseerd en een korte duiding van het verschil in de kentallen. Waar mogelijk worden hier ook onzekerheden benoemd.
- Voor andere aanpassingen wordt het volgende beschreven:
 - Korte beschrijving van informatie
 - Informatie in de SA2020
 - Informatie in de ASA2025
 - Korte duiding van de verschillen

Deze beschrijvingen geven een zo compleet mogelijk beeld van de wijzigingen ten opzichte van de SA2020, maar geven dus geen complete beschrijving van het model. Dit betekent dat van de lezer een zekere voorkennis wordt verwacht, van de warmtetransitie in het algemeen en van de SA2020 in het bijzonder. Een complete beschrijving van het model wordt gegeven in het Functioneel Ontwerp van Vesta MAIS 5.0 (Van der et al. Molen 2021). Dit functioneel ontwerp bevat een uitgebreide beschrijving van de rekenregels en van relevante begrippen, welke niet in dit rapport worden herhaald. De rekenregels voor de ASA2025 komen grotendeels overeen met de SA2020, maar er zijn enkele kleine aanpassingen gedaan. Deze aanpassingen worden nog gepubliceerd. Het achtergrondrapport bij de SA2020 geeft een verantwoording van de uitgangspunten en kengetallen zoals ze eerder zijn gehanteerd (van Polen et al. 2024). De lezer wordt verder verondersteld bekend te zijn met algemene begrippen die verband houden met de warmtetransitie, zoals de namen van technieken, termen als 'aflever- en afgiftetemperatuur' en relevante informatiebronnen zoals de BAG en de RVO/Arcadis kostendatabase voor verduurzamingsmaatregelen.

Voorafgaand aan een beschrijving van de individuele verschillen tussen de ASA2025 en de SA2020 wordt in paragraaf 5.1 eerst kort ingegaan op de methode waarmee de kengetallen zijn geactualiseerd. Zogeheten ‘validatiesessies’ waarbij de kengetallen zijn voorgelegd aan een scala aan experts en marktpartijen zijn een belangrijk onderdeel geweest van de actualisatie. Onderstaande Tabel 4 geeft een overzicht van de onderwerpen die in dit verdiepend rapport aan bod komen.

Tabel 4
Behandelde aanpassingen in dit hoofdstuk

Hoofdonderwerp	Deelonderwerp	Paragraafnr.
Methode	Actualisatie & validatiesessies	5.1
Algemene aanpassingen	Maatschappelijke discontovoet	5.2.1
	Inflatiecorrectie	5.2.2
	Leerfactoren	5.2.3
Gebouwinformatie	Gebouwenvoorraad	5.3.1
	Energielabels Woningen	5.3.2
	Energielabels Utiliteit	5.3.3
Warmtebronnen	Puntbronnen	5.4.1
	Geothermie	5.4.2
	WKO-contour	5.4.3
	TEO-contour	5.4.4
	Biomassa	5.4.5
Buurtinformatie	CBS-buurtindeling	5.5.1
	Lengte warmteleidingen	5.5.2
	Aandeel bestaande warmtenetten	5.5.3
	Uitgesloten buurten	5.5.4
Netbeheerdersdata	Informatie per buurt	5.6.1
	Kostenkengetallen	5.6.2
	Onderhoudskosten gasnet	5.6.3
Energieverbruik gebouwen	Warmtevraag woningen ruimteverwarming	5.7.1
	Warmtevraag woningen warm tapwater	5.7.2
	Lokale praktijkfactor	5.7.3
	Energieverbruik utiliteit	5.7.4
	Klimaatteffect	5.7.5
	Ventilatie	5.7.6
	Koude	5.7.7
Investerings energiebesparing	Gevoeligheidsanalyse energiebesparing	5.7.8
	Woningen	5.8
	Utiliteit	5.9
Kentallen individuele installaties	Investeringskosten warmtepompen	5.10.1
	Onderhoudskosten warmtepompen	5.10.2
	Rendementen warmtepompen ruimteverwarming	5.10.3

	Rendementen warmtepompen warm tapwater	5.10.4
	Inzet hybride warmtepompen	5.10.5
Kentallen warmtenetten	Investeringskosten geothermie-installatie	5.11.1
	Warmteproductie geothermie	5.11.2
	Uitkoppelkosten MT-restwarmtebronnen	5.11.3
	Investerings- en onderhoudskosten TEO	5.11.4
	Modelwaarden WKO	5.11.5
	Regeneratiekosten WKO	5.11.6
	Dimensionering basis- en pieklast bij warmtenetten	5.11.7
	Vermogensvraag warmtenetten	5.11.8
	Kosten warmte-overdrachtsstation en pieketel	5.11.9
	Kosten hulpketel	5.11.10
	Kosten onderstations	5.11.11
	Kosten en rendementen collectieve warmtepomp	5.11.12
	Leidingverliezen warmtenetten	5.11.13
	Investeringskosten warmteleidingen	5.11.14
	Leercurve ZLT leidingen	5.11.15
	Kosten aansluitleidingen en wijknet	5.11.16
	Inpandige distributiekosten	5.11.17
	Kosten afleverset	5.11.18
	Ongeriefvergoeding bij collectieve oplossingen	5.11.19
	Winst warmtebedrijven	5.11.20
Overige kentallen	Projectmanagementkosten	5.12.1
	Aanpassing LT warme afgifte	5.12.2
	Kosten aanpassingen meterkast en aansluiting	5.12.3
	Kosten voor elektrisch koken	5.12.4
Kosten van energiedragers	Groothandelsprijzen versus productiekosten	5.13.1
	Referentiekosten aardgas en elektriciteit in 2030	5.13.2
	Klimaatneutrale gassen	5.13.3
	Klimaatneutrale elektriciteit	5.13.4
	Gevoeligheidsanalyses energieprijzen	5.13.5

5.1 Methode actualisatie & validatiesessies

Uitgangspunt voor de ASA2025 was dat de rekenprincipes die aan de basis van de Vesta MAIS modellering liggen zoveel mogelijk hetzelfde moesten blijven: dit met het oog op vergelijkbaarheid tussen de ASA2025 en de SA2020. In de ASA2025 lag daarom de primaire focus op het actualiseren van de kengetallen die zijn gebruikt in de berekeningen voor de SA2020. Deze kengetallen zijn ten behoeve van de ASA2025 voor zover mogelijk met een iteratief proces geactualiseerd. ‘Geactualiseerd’ wil zeggen: aangepast op basis van de meest actuele kennis en onderzoeksinzichten. Omdat voor sommige kengetallen de aard en functie wezenlijk van elkaar verschillen, was dit actualisatieproces niet voor alle kengetallen gelijk.

Bij de actualisatie van de kengetallen is het PBL procesmatig ondersteund door RVO en inhoudelijk door CE Delft en TNO. Op hoofdlijnen was het actualisatieproces als volgt ingericht:

1. Kengetallen zijn ingedeeld in drie ruwe categorieën. Deze categorisering dient geen ander doel dan het vereenvoudigen van het actualisatieproces. Sommige kengetallen hadden ook bij een andere categorie kunnen worden ingedeeld, in die gevallen is vaak gekozen voor de samenhang van het kengetal met een bepaalde categorie in de modellering (e.g. kengetallen voor de ventilatiekosten bij de categorie ‘energiebesparing’ in plaats van de categorie ‘individuele installaties’):
 - i. Kengetallen in relatie tot ‘individuele installaties’: bijvoorbeeld kosten voor en rendementen van individuele warmtepompen en kosten voor lage-temperatuur afgiftesystemen.
 - ii. Kengetallen in relatie tot ‘warmtenetten’: bijvoorbeeld de kosten per meter buislengte in een warmtenet, leidingverliezen en de kosten voor een warmte-overdrachtstation.
 - iii. Kengetallen in relatie tot ‘energiebesparing’: bijvoorbeeld de kosten voor gebouwverbetering (in de vorm van schillabelsprongen) en kosten voor verbetering van het ventilatiesysteem.
2. Voor de drie categorieën met kengetallen zijn zogeheten ‘validatiesessies’ georganiseerd. Bij deze validatiesessies zijn experts uitgenodigd in de desbetreffende categorie en marktpartijen met relevante actuele kennis, denk bijvoorbeeld aan warmtebedrijven bij de validatiesessie warmtenetten. De validatiesessies zijn georganiseerd in samenwerking met RVO. De validatiesessies zijn inhoudelijk voorbereid in samenwerking met CE Delft en TNO. CE Delft is betrokken geweest bij de validatiesessie individuele installaties en warmtenetten. TNO is betrokken geweest bij de validatiesessie energiebesparing.
3. Deelnemers aan de validatiesessies kregen van tevoren een overzicht van de kengetallen die bij de validatiesessie zijn behandeld. Omdat het niet vanzelfsprekend mogelijk was om deelnemers te introduceren in de modellering, is het gebruik van de kengetallen geïllustreerd met diverse rekenvoorbeelden in Excel, die deelnemers eveneens voorafgaand aan de validatiesessies hebben ontvangen. Alleen bij de validatiesessie energiebesparing zijn geen rekenvoorbeelden aangeboden. In plaats daarvan hebben gebruikers een indruk gekregen van de kosten voor gebouwverbetering voor woningen van gemiddelde oppervlakte. CE Delft en TNO hebben voorafgaand aan de validatiesessie de kengetallen al voor zover mogelijk geactualiseerd op basis van recente informatie en eigen onderzoek.

CE Delft heeft daarbij onder andere gebruik gemaakt van twee updatestudies uit 2022 (Koster et al. 2022; Naber & Dehens 2022), waarin al suggesties zijn gedaan voor

aanpassing van de kengetallen die voor de SA2020 zijn gebruikt. TNO heeft in de validatiesessie een nieuwe methode gepresenteerd om de kosten van energiebesparing mee te bepalen, waarbij gebruik wordt gemaakt van de NTA8800 energielabeldatabase.

Omdat de NTA8800 energielabeldatabase uiteindelijk niet geschikt bleek om kosteninformatie voor gebouwverbetering uit af te leiden in een vorm die bruikbaar is voor de ASA2025, is er uiteindelijk toch gekozen voor een alternatieve benadering die raakvlak heeft met de methode die voor de SA2020 is vastgesteld. TNO heeft daar de benodigde kosteninformatie voor geleverd op basis van de Variatietool en de RVO/Arcadis kostendatabase. De wijziging in de methode voor het bepalen van de kosten van energiebesparing in woningen wordt beschreven in paragraaf 5.8.

4. Gedurende de validatiesessies konden de aanwezige inhoudelijke experts reageren op de kengetallen zoals ze zijn geactualiseerd en gepresenteerd door CE Delft en TNO. Ook na afloop van de validatiesessies hadden de deelnemers nog enkele weken de tijd om schriftelijke feedback aan te leveren op het materiaal dat in het kader van de validatiesessies is aangeboden. Alle reacties die gedurende de validatiesessies en achteraf schriftelijk zijn opgehaald zijn verwerkt door CE Delft en TNO. Belangrijke criteria bij het verwerken van de inzichten die bij de validatiesessie zijn opgehaald waren de mate waarin de inzichten konden worden onderbouwd (met onderzoeksresultaten) en de mate waarin er sprake was van consensus tussen de inhoudelijke experts. CE Delft heeft na verwerking van de inzichten van de validatiesessies een eindadvies opgesteld voor aanpassing van de kengetallen in de modellering, in relatie tot warmtenetten en individuele installaties (Hesselink et al., 2025a). Omdat met betrekking tot de kosten voor energiebesparing weer gebruik wordt gemaakt van de methode die in de SA2020 is vastgesteld, beperkt TNO zich tot een notitie met een verantwoording van de geleverde data uit de Variatietool en de RVO/Arcadis kostendatabase (Tigchelaar et al. 2025).
5. Bij de laatste iteratieslag in het actualisatieproces heeft het PBL de adviezen van CE Delft voor aanpassing van de kengetallen beoordeeld. Hierbij werd specifiek aandacht besteed aan de onderbouwing van de adviezen en werd beoordeeld in hoeverre de adviezen realistisch gezien konden worden opgenomen in de modellering. De meeste adviezen zijn, soms in bewerkte vorm, overgenomen. In sommige gevallen impliceren de adviezen vergaande modelaanpassingen die niet konden worden verwerkt in de beschikbare tijd: in die gevallen is meestal in samenspraak met CE Delft gekozen voor een vereenvoudigde benadering. De manier waarop de ASA2025 kengetallen zijn veranderd ten opzichte van de SA2020 wordt in de volgende paragrafen beschreven.

5.2 Algemene aanpassingen

In deze paragraaf worden meer algemene aanpassingen aan de modellering beschreven. In deze paragraaf wordt toelichting gegeven over de maatschappelijke discontovoet die wordt gebruikt bij het bepalen van de nationale kosten van verduurzamingsmaatregelen, de inflatiecorrectie die wordt gehanteerd om alle kosten om te rekenen naar euro2023 en de leerfactoren die de veronderstelde kostenontwikkelingen van technieken beschrijven.

5.2.1 Maatschappelijke discontovoet

In de Startanalyse worden investeringen vertaald naar jaarlijkse kapitaallasten door middel van een levensduur van maatregelen en een maatschappelijke discontovoet. Deze discontovoet kan worden opgevat als het minimaal vereiste rendement vanuit het maatschappelijk perspectief. De

maatschappelijke discontovoet wijkt hiermee af van de gemiddelde rendementseis op kapitaalmarkten.

In de SA2020 werd gerekend met een maatschappelijke discontovoet van 3%, in overeenstemming met het advies van de werkgroep discontovoet 2015 (Rijksoverheid 2015). De werkgroep discontovoet 2020 heeft de discontovoet omlaag bijgesteld naar 2,25% (Rijksoverheid 2020). De lagere discontovoet betekent dat de kapitaallasten van investeringen lager uitvallen. In 2025 heeft de werkgroep discontovoet een nieuwe gemiddelde maatschappelijke discontovoet vastgesteld van 2,8% (Rijksoverheid, 2025b). Deze wijziging kwam te laat om mee te nemen in de berekeningen van de ASA2025. In de hoofdberekeningen van de ASA2026 wordt gerekend met 2,25%. Maar om de invloed van dit uitgangspunten op de berekeningen inzichtelijk te maken is wel een gevoeligheidsanalyse gedaan met de nieuwste maatschappelijke discontovoet (zie paragraaf 6.4).

Levensduur maatregelen

Om de kapitaallasten te berekenen worden verschillende levensduren aangenomen per type maatregel. De aangenomen levensduur van de maatregelen is niet veranderd ten opzichte van de SA2020. Er wordt onderscheid gemaakt tussen de technische en economische levensduur. Voor het berekenen van de kapitaallasten wordt uitgegaan van de economische levensduur. Het verschil in technische en economische levensduur bij warmtenetten wordt veroorzaakt doordat er niet meteen inkomsten geïnd kunnen worden na het doen van de investering. Het Vesta MAIS model houdt voor de tijd tussen het doen van de investering en de start van de ontvangst van inkomsten twee jaar aan. Tabel 5 geeft een overzicht van de levensduur per maatregel.

Tabel 5
Technische en economische levensduren van kapitaallasten

Maatregel	Technische levensduur	Economische levensduur
Warmtepomp	15	15
Bodemlus voor warmtepomp	30	30
HR-ketel	15	15
Schilverbetering gebouwen	30	30
Laagtemperatuur afgiftesysteem	30	30
Meterkast	30	30
Elektrisch kookstel	15	15
Wijkdistributie warmtenet	30	28
Inpandig werk warmtenet	30	28
Transportleiding warmtenet	30	28
Warmteopwekking warmtenet	30	28
Elektriciteitsnet verzwaren	50	50
Proceskosten	n.v.t.	15
Gasnet verwijderen	50	50

5.2.2 Inflatiecorrectie

Kosten in de ASA2025 worden uitgedrukt in euro's met prijspeil 2023. Dit betekent dat kosteninformatie afkomstig uit andere jaren wordt gecorrigeerd voor inflatie zodat deze vergelijkbaar worden. Dit is van belang wanneer kosten tussen de SA2020, waar kosten werden uitgedrukt in euro2018, worden vergeleken met de kosten in de ASA2025.

Inflatiecorrecties in de ASA2025 zijn gebaseerd op de ‘Harmonized Index for Consumer Prices’ (HICP), welke voor Nederland wordt bijgehouden door het CBS (CBS 2025). In de ASA2026 worden kosten uitgedrukt in euro2023 net als in de ASA2025. Hieronder wordt in Tabel 6 een overzicht gegeven van de HICP en de correctiefactoren naar euro2023 voor verschillende jaren.

Tabel 6
Inflatiecorrectie conform HICP

	2018	2019	2020	2021	2022	2023
HICP jaarmutatie	1,6	2,7	1,1	2,8	11,6	4,1
Gecombineerde correctiefactor naar euro2023	1,24	1,21	1,19	1,16	1,04	1,00

5.2.3 Leerfactoren

Kosten van technieken blijven niet stabiel in de tijd. Door innovatie, standaardisatie en opschaling kunnen technieken in de loop der tijd goedkoper worden. Door andere factoren, zoals arbeids-schaarste of stijgende materiaalkosten kunnen kosten ook stijgen. Verwachtingen rond die kostenontwikkelingen krijgen modelmatige invulling in de vorm van zogeheten ‘leerfactoren’.

In de SA2020 zijn leerfactoren verondersteld, gebaseerd op Hoogervorst et al. (2019). Deze leerfactoren zijn echter verouderd.

Voor de modelontwikkeling van het Hestia model zijn nieuwe leercurves vastgesteld. Deze leercurves zijn overgenomen voor de ASA2025. De leercurves uit Hestia zijn geijkt op historische Arcadis kostenkennallen (RVO 2022) tussen de jaren 2009 en 2020. Hierop is een trendanalyse gedaan, waarbij ook is geëxtrapoleerd naar toekomstige jaren. Zie (Van der Molen et al. 2023) voor een uitgebreide beschrijving van de totstandkoming van de leerfactoren. De leerfactoren zoals ze worden gehanteerd in de ASA2025 worden weergegeven in Tabel 7. De leerfactoren zoals ze werden gebruikt in de SA2020 worden weergegeven in Tabel 8.

Tabel 7
Leerfactoren ASA2025

Technologie	Afkorting in model	Leercurve optimistisch [2010, 2020, 2030]	Leercurve pessimistisch [2010, 2020, 2030]
Terugvaloptie	Default	[100, 100, 100]	[100, 100, 100]
Lucht-water warmtepompen	eWPlw	[109, 100, 88]	[109, 100, 93]
Water-water-warmtepompen	eWPww	[109, 100, 88]	[109, 100, 93]
Hybride warmtepompen	hWP	[109, 100, 88]	[109, 100, 93]
Laag temperatuur afgiftesysteem	LTAS	[100, 100, 88]	[100, 100, 100]
Schilverbetering tot en met label C	Cmin	[84, 97,7, 109,4]	[83,2, 96,7, 113,2]
Schilverbetering naar label B	Bpls	[84, 97,7, 109,4]	[83,2, 96,7, 113,2]

Technologie	Afkorting in model	Leercurve optimistisch	Leercurve pessimistisch
Middentemperatuur warmtenetten	Mtnet	[100, 100, 79]	[100, 100, 100]
Inpandige systemen	Inpand	[100, 100, 75]	[100, 100, 100]
Aansluitleidingen	Aansl	[100, 100, 80]	[100, 100, 100]
Efficiencyverbetering warmteverlies	Verl	[100, 100, 72]	[100, 100, 100]
Onderhoud en administratie	OenM	[100, 100, 83]	[100, 100, 100]
Laagtemperatuur warmtenetten	Ltnet	[100, 100, 55]	[100, 100, 100]
Elektriciteit- en gasinfrastructuur	Infra	[100, 100, 100]	[100, 100, 100]
Geothermiebronnen	Geothermie	[100, 100, 74]	[100, 100, 100]
Hr-ketels	Hr	[100, 100, 81]	[100, 100, 100]

Tabel 8
Leerfactoren SA2020

Technologie	Afkorting in model	Leercurve optimistisch	Leercurve pessimistisch
		[2010, 2020, 2030]	[2010, 2020, 2030]
Terugvaloptie	Default	[100, 100, 100]	[100, 100, 100]
Lucht-water warmtepompen	eWPlw	[100, 100, 62]	[100, 100, 100]
Water-water-warmtepompen	eWPww	[100, 100, 62]	[100, 100, 100]
Hybride warmtepompen	hWP	[100, 100, 55]	[100, 100, 100]
Laag temperatuur afgiftesysteem	LTAS	[100, 100, 88]	[100, 100, 100]
Schilverbetering tot en met label C	Cmin	[100, 100, 82]	[100, 100, 100]
Schilverbetering naar label B	Bpls	[100, 100, 82]	[100, 100, 100]
Middentemperatuur warmtenetten	Mtnet	[100, 100, 79]	[100, 100, 100]
Inpandige systemen	Inpand	[100, 100, 75]	[100, 100, 100]
Aansluitleidingen	Aansl	[100, 100, 80]	[100, 100, 100]
Efficiencyverbetering warmteverlies	Verl	[100, 100, 72]	[100, 100, 100]

Technologie	Afkorting in model	Leercurve optimistisch	Leercurve pessimistisch
Onderhoud en administratie	OenM	[100, 100, 83]	[100, 100, 100]
Laagtemperatuur warmtenetten	Ltnet	[100, 100, 55]	[100, 100, 100]
Elektriciteit- en gasinfrastructuur	Infra	[100, 100, 100]	[100, 100, 100]
Geothermiebronnen	Geothermie	[100, 100, 74]	[100, 100, 100]
Hr-ketels	Hr	[100, 100, 81]	[100, 100, 100]

5.3 Gebouwinformatie

De Startanalyse maakt gebruik van alle woningen en utiliteitsgebouwen zoals vermeld in de Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG) van het Kadaster. Dit geeft een overzicht van de locatie van alle gebouwen en ook algemene informatie zoals het type gebouw en het bouwjaar. Deze gebouwinformatie wordt ook nog aangevuld met andere bronnen om het totaalbeeld te vormen.

5.3.1 Gebouwenvoorraad

Binnen de Startanalyse worden strategieën/varianten geschetst om de bestaande gebouwenvoorraad aardgasvrij te maken. Dit betekent dat er in de Startanalyse geen projecties voor de toekomstige bouw van woningen en utiliteitsgebouwen worden meegenomen. Binnen de SA2020 werd uitgegaan van de gebouwenvoorraad op basis van de BAG van 01-01-2020. Binnen de ASA2025 wordt dit aangepast naar de BAG van 01-01-2024 (Kadaster 2024). Op de dataset gebaseerd op de BAG van 01-01-2024 zijn enkele filters toegepast die niet in de SA2020 zijn toegepast.

Ten eerste wordt er onderscheid gemaakt in woningen die al van het gas af zijn en niet op basis van het bouwjaar van de woning. De scope van de ASA2025 betreft het aardgasvrij maken van de bestaande woningbouw. In 2020 werd 86% van de nieuwbouwwoningen in het werkgebied van de vier grootste netbeheerders gebouwd zonder een aardgasaansluiting (Energeia 2021; Alliander 2020; Stedin 2021; Enexis 2020). Dit percentage is hoog genoeg bevonden om woningen vanaf 2020 niet meer mee te nemen in de gemodelleerde verduurzamingsopgave.

Het totale aantal woningen in een buurt wordt nog wel meegeven in de databestanden van de Startanalyse, maar een gedeelte van deze woningen hoeft niet meer aardgasvrij gemaakt te worden in de analyses. Hiervoor worden ook geen kosten berekend. Van de totale woningvoorraad, met peildatum 01-01-2024, is dit ongeveer 3%.

Ten tweede is er bij de utiliteitsbouw een filter op het gebruiksoppervlak toegepast. Dit filter is per gebruiksfunctie gedifferentieerd. Het filter is opgesteld op basis van (van Schie et al. 2014) en (CBS 2014). De waarden per gebruiksfunctie zijn te vinden in Tabel 9. Dit filter is toegepast omdat er een groot aantal utiliteitsgebouwen met een klein gebruiksoppervlak in de BAG zit. Doordat in de ASA2025 niet met alleen een variabele kostencomponent, maar ook met een vaste kostencomponent voor gebouwverbetering wordt gewerkt, leidden deze kleine verblijfsobjecten tot een

overschatting van de totale kosten. Het filter verwijdert 47% van het aantal utiliteitsgebouwen, voornamelijk in de gebruiksfunctie 'Overig'. De totale hoeveelheid gebruiksoppervlak daalt door het filter met 3%.

Tabel 9
Minimum oppervlakte utiliteitsbouw

BAG gebruiksfunctie	Minimum oppervlakte
	Vierkante meter gebruiksoppervlak
Kantoor	50
Winkel	20
Gezondheidszorg	50
Logies	50
Onderwijs	150
Industrie	100
Bijeenkomst	50
Sport	100
Overig	50
Cel	50

Tabel 10 en 11 geven een overzicht van de gebouwenvoorraad zoals die is gedefinieerd in de ASA2026, respectievelijk voor woningen en utiliteitsgebouwen. In totaal worden in de Startanalyse kosten berekend voor bijna acht miljoen woningen, verdeeld over zes woningtypen en ruim een half miljoen utiliteitsgebouwen verdeeld over 10 utiliteitstypes.

Tabel 10
Overzicht woningvoorraad ASA2026

Woningtype	Aantal aansluitingen [x1000]	Som oppervlakte [miljoen m²]
2 onder 1 kap	694	100
meergezins: hoog	1415	110
meergezins: laag en midden	1399	109
rijwoning hoek	1013	126
rijwoning tussen	2361	282
vrijstaand	1019	210
Totaal	7902	938

Tabel 11
Overzicht voorraad utiliteitsgebouwen ASA2026

Utiliteitstype	Aantal aansluitingen [#]	Som oppervlakte [miljoen m ²]
Bijeenkomst	63126	34
Cel	138	1
Gezondheidszorg	21121	20
Industrie	35011	65
Kantoor	88648	65
Logies	109859	15
Onderwijs	14661	36
Overig	34753	26
Sport	11461	14
Winkel	125458	47
Totaal	504236	321

5.3.2 Energielabels woningen

Het energielabel van een woning geeft een indicatie van de mate waarin verduurzamingsmaatregelen zijn toegepast. Woningen die van origine niet zo goed geïsoleerd waren kunnen al aangepakt zijn en dit is belangrijke informatie om mee te nemen in de Startanalyse. Om deze reden wordt in de Startanalyse een actualisatie opgenomen van de energielabels. Binnen de SA2020 werd uitgegaan van de energielabels zoals bekend op 01-01-2020. Voor de ASA2025 wordt uitgegaan van de bekende energielabels op 01-01-2024 (RVO 2024a).

De geaggregeerde verschillen tussen deze datasets zijn te zien in Tabel 12. Een van de voornaamste verschillen is dat er in de meer recente dataset ongeveer 800.000 extra woningen een energielabel hebben. Er is een stijging in de aantallen woningen met energielabels A, B, C, F en G, en een vermindering van energielabels D en E.

De energielabels worden onder andere gebruikt om de vraag ruimteverwarming te bepalen met de zogeheten ‘Referentieverbruik’ methode. Hierbij wordt het energielabel gebruikt als proxy voor het schillabel. Het Referentieverbruik grijpt namelijk aan op het schillabel van een woning. Wanneer er geen energielabel is afgemeld, wordt er op basis van de geschatte vraag naar ruimteverwarming voor woningen zonder energielabel, een schillabel bepaald op de plekken waar dat nodig is. De werking van de deze methode wordt toegelicht in paragraaf 5.3.1.2 van het Functioneel ontwerp 5.0 van het Vesta MAIS model (van der Molen 2021). Een uitgebreide uitleg van de bepaling van de energievraag is te vinden in paragraaf 5.7.

Tabel 12
Verdeling energielabels bij woningen

Energielabel	SA2020	ASA2025	Vershil
	Miljoen woningen	Miljoen woningen	Aantal woningen
A(+)	0,85	1,74	0,89
B	0,63	0,80	0,18
C	1,05	1,19	0,14
D	0,55	0,48	-0,07
E	0,31	0,29	-0,02
F	0,19	0,19	0,00
G	0,16	0,19	0,03
N (geen afgemeld energielabel)	4,13	3,31	-0,82

5.3.3 Energielabels utiliteit

Bij utiliteit werd in de SA2020 nog uitgegaan van default labels in plaats van de afgemelde energie-labels bij ep-online. Voor de ASA2025 zijn wel afgemelde labels opgenomen, met peildatum 01-02-2024 (RVO 2024a). Voor utiliteitsbouw zonder afgemeld label wordt, net als in de SA2020, een defaultlabel gebruikt. Dit defaultlabel is gebaseerd op de gebruiksfunctie en bouwjaarklasse van het verblijfsobject. Zie Tabel 13 voor de verdeling van energielabels bij utiliteit.

Tabel 13
Verdeling energielabels bij utiliteit

Energielabel	Afgemeld	Afgemeld	Inclusief default-labels	Inclusief default-labels
	Aantal verblijfsobjecten [x1000]	Miljoen vierkante meter gebruiksoppervlak	Aantal verblijfsobjecten [x1000]	Miljoen vierkante meter gebruiksoppervlak
A(+)	85	89,2	85	89,2
B	18	12,4	167	103,0
C	24	14,9	78	46,3
D	10	5,9	10	5,9
E	7	3,9	103	51,4
F	1	2,3	4	2,3
G	11	6,6	57	22,7
N (geen afgemeld energielabel)	346	185,6	0	0

5.4 Warmtebronnen

De Startanalyse maakt gebruik van verschillende typen warmtebronnen voor warmtenetten. In deze paragraaf wordt een beschrijving gegeven van de verschillende types bronnen die worden gehanteerd, met ook een duiding van de verschillen tussen de ASA 2025 en de SA2020. In de ASA2026 zijn nog diverse wijzigingen doorgevoerd met betrekking tot de puntbronnen. Die wijzigingen worden beschreven in paragraaf 6.2.1.

5.4.1 Puntbronnen

Voor de SA2020 is een uitvraag geweest onder gemeenten om informatie aan te leveren over de aanwezige puntbronnen binnen hun gemeente. Met puntbronnen worden bronnen bedoeld die zich op een specifieke locatie (punt) in Nederland bevinden, denk aan bronnen met hoge- of middentemperatuurwarmte zoals industrieën, elektriciteitscentrales en afvalverbrandingsinstallaties. Daarnaast zijn er ook puntbronnen met (zeer) lagetemperatuurwarmte zoals supermarkten, zwembaden, datacenters en koel- en vrieshuizen.

Deze bronnen worden allemaal meegenomen in de berekeningen en voor de ASA2025 is het SA2020 overzicht van warmtebronnen wederom voorgelegd aan alle gemeenten (via het NPLW). Gemeenten zijn gevraagd om naar de data voor hun gemeente te kijken en de data te verbeteren. Dit heeft geleid tot aanpassingen in het puntbronnenbestand. Daarnaast is er door RVO een analyse gedaan om niet (meer) bestaande slachthuizen uit de dataset te verwijderen. De gevolgen van de aanpassingen voor MT- en (Z)LT-bronnen zijn te zien in respectievelijk Tabel 14 en Tabel 15.

Tabel 14

Overzicht van puntbronnen met hoge-of middentemperatuur warmte

Categorie	Aantal SA2020	Maximaal thermisch vermogen SA2020	Aantal ASA2025	Maximaal thermisch vermogen ASA2025
		Megawatt		Megawatt
Stoom- en gasturbine	37	6159	36	6169
Gasturbine	20	2324	16	1899
Gasmotor	4	18	8	200
Industrie	524	4330	509	4195
Raffinaderij	9	848	9	848
Kerncentrale	1	350	1	350
Geothermie	17	332	29	443
Afvalverbrandingsinstallatie	20	1042	22	1078
Biomassacentrale	20	314	23	323
Biomasse warmtekrachtkoppeling	5	53	5	42

Tabel 15
Overzicht puntbronnen met (zeer)lage temperatuur warmte

Categorie	Aantal SA2020	Maximaal thermisch ver- mogen SA2020	Aantal ASA2025	Maximaal thermisch vermogen ASA2025
		Megawatt		Megawatt
Supermarkt	2962	652	2914	519
Rioolwaterzuive- ringsinstallatie	356	1528	347	3486
Koel- en vrieshuizen	159	291	159	296
Bakkerij	599	12	589	9
Wasserij	38	76	38	76
Dienstverlening in- formatie	155	675	153	722
Voedingsmiddelen drank tabak	738	14770	719	14757
Slachthuis	772	2304	285	849
Datacenter	258	2986	153	3227
IJsbaan	24	0	24	0
Gemaal	1647	839	1598	816
Zwembad	3	0	8	0
Glastuinbouw	293	0	292	0
Bestaande warmte- koude-opslag	1	0	2	0

5.4.2 Geothermie

Geothermie is het ophalen van warmte uit de ondergrond. Deze warmtewinning gebeurt in drie stappen. Heet grondwater wordt omhoog gepompt, de warmte wordt daaruit onttrokken en overgedragen aan water in een warmtenet en het afgekoelde water wordt terug de ondergrond geïnjecteerd.

Voor de beschikbaarheid van geothermie wordt binnen het Vesta MAIS model gewerkt met een contour, een ruimtelijk vlak dat aangeeft waar geothermie mogelijk is. Deze contour is voor de ASA2025 geüpdatet. De nieuwe contour is gebaseerd op ThermoGIS v2.3 (TNO 2024). Hierbij is uitgegaan van de technische potentie met een 'Moderate indication > 5 MWth' en beter. Deze keuze is gemaakt in samenspraak met TNO, de beheerder van ThermoGIS.

In Figuur 24 zijn de geothermiecontouren te zien zoals ze zijn gebruikt in de SA2020 en de ASA2025. De contour die is gebruikt in de ASA2025 beslaat een groter deel van Nederland. Vooral in de provincies Noord-Holland, Friesland en Utrecht is de contour uitgebreid. Daarnaast zijn er in het westen van het land kleine vlakken bijgekomen en is er in Limburg een deel verdwenen.

Dit is een startpunt voor de analyse naar geothermie. ThermoGIS biedt rijkere informatie, bijvoorbeeld over datakwaliteit, die niet meegenomen kan worden in het Vesta MAIS model. Lokaal onderzoek is altijd vereist bij de afweging om geothermie te ontwikkelen als warmteoplossing.

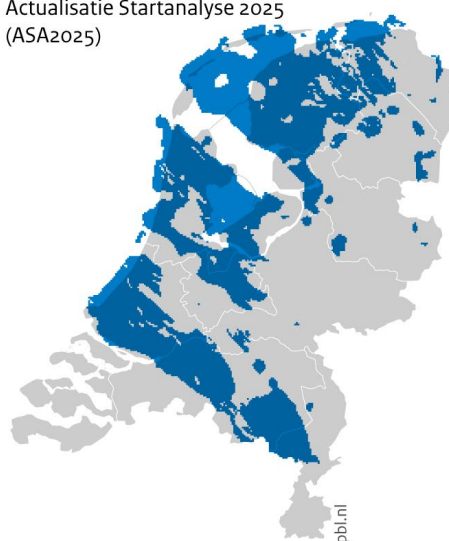
Figuur 24

Contour geothermie

Startanalyse 2020
(SA2020)



Actualisatie Startanalyse 2025
(ASA2025)



Bron: TNO

Deze figuur geeft een overzicht van de geothermie potentiecontour zoals die werd gehanteerd in de Startanalyse publicatie in 2020 (links) en in 2025 (rechts). In de ASA2025 beslaat de geothermie potentiecontour een groter gebied.

5.4.3 WKO-contour

WKO staat voor Warmte- en Koude Opslag, een technologie waarbij met behulp van twee putten (één voor warm water en één voor koud water) en een warmtepomp de verwarming en koeling van een gebouw kan worden gerealiseerd. Overtollige warmte en koude worden opgeslagen in een wattervoerende laag in de ondergrond en kunnen wanneer nodig bovengronds gebracht worden.

De toepassingsmogelijkheden van WKO worden in de Startanalyse berekend op basis van een contour. Deze contour is voor de ASA2025 geactualiseerd ten opzichte van de SA2020 op basis van de Warmteatlas (RVO 2024b). Hiervoor zijn de kaartlagen 'WKOopenWarmteOpslaguit' en 'Verbodsgebieden' gebruikt.

In Figuur 25 is een vergelijking van de contour zoals gebruikt in de SA2020 en de contour zoals gebruikt in de ASA2025 weergegeven. In de actualisatie is er minder oppervlak dat binnen de contour ligt. Waar de linker contour bijna landsdekkend is, zijn er bij de rechter contour meer gebieden waar WKO geen optie is. Dit levert een verschil in dekking van ongeveer 600.000 woningequivalenten op. Een verblijfsobject hoeft echter niet zelf binnen de contour te liggen om een WKO-aansluiting te kunnen krijgen. Er kan ook een transportleiding worden getrokken.

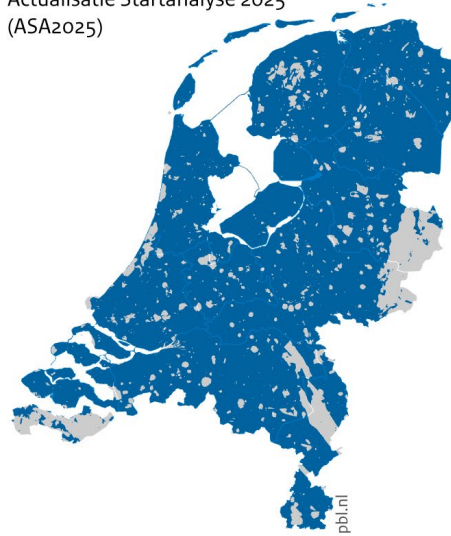
Figuur 25

Contour Warmte-en Koude Opslag (WKO)

Startanalyse 2020
(SA2020)



Actualisatie Startanalyse 2025
(ASA2025)



Bron: RVO

Deze figuur geeft een overzicht van de WKO potentiecontour zoals die werd gehanteerd in de Startanalyse publicatie in 2020 en in 2025. In de ASA2025 beslaat de WKO contour een iets kleiner gebied

5.4.4 TEO-contour

Thermische Energie uit Oppervlaktewater (TEO) houdt in dat oppervlaktewateren zoals rivieren ingezet kunnen worden, in combinatie met een WKO-systeem, om gebouwen te verwarmen. In de zomer kan warm water opgeslagen worden in de ondergrond, waarna deze warmte in de winter gebruikt kan worden. In de winter kan juist koud water opslagen worden, voor gebruik voor koeling in de zomer.

In de Startanalyse worden deze oppervlaktewateren meegenomen op basis van een contour. Deze contour is voor de ASA2025 geactualiseerd ten opzichte van de SA2020 op basis van de Warmteatlas (RVO 2024b). Hiervoor is de kaartlaag 'AquathermieOpenWater' gebruikt.

In Figuur 26 is een vergelijking te zien tussen de contouren gebruikt voor de SA2020 en de ASA2025. Het voornaamste verschil is dat in de nieuwe contour grote delen van de zoute wateren bij de kust niet meer worden meegenomen. De zoete binnenwateren, meren, plassen en rivieren, zijn gelijk tussen de twee contouren.

Figuur 26

Contour Thermische Energie uit Oppervlaktewater (TEO)

Startanalyse 2020
(SA2020)



Actualisatie Startanalyse 2025
(ASA2025)



Bron: RVO

Deze figuur geeft een overzicht van de TEO potentiecontour zoals die werd gehanteerd in de Startanalyse publicatie in 2020 en in 2025.

5.4.5 Biomassa

Binnen het Vesta MAIS model speelt biomassa (als vast aandeel van de totale hoeveelheid brandstof) een beperkte rol in de berekeningen als brandstof in biomassawarmtecentrales (BMC's) en Bio-WKK's. Daarbij wordt uitgegaan van 'vaste' biomassa, zoals houtpellets. Gezien de beperkte rol van biomassa in de ASA2026 berekeningen, is in de ASA2025 gekozen voor een eenvoudige kostenbenadering, waarbij wordt uitgegaan van de kosten voor biomassa zoals die in de SA2020 zijn gehanteerd met correctie voor inflatie. De kosten voor biomassa zoals die voor het jaar 2030 worden gehanteerd worden weergegeven in Tabel 16. Kosten voor klimaatneutraal gas (specifiek groengas) zijn met een aparte kostenbenadering bepaald (zie paragraaf 5.13.3). In de praktijk hangen de kosten voor biomassa en klimaatneutraal gas meer met elkaar samen.

Tabel 16

Kosten biomassa in 2030

	ASA2025	SA2020	SA2020
	euro2023/ GJ	euro2023/ GJ	euro2018/ GJ
Kosten	12,6	12,6	10,1

5.5 Buurtinformatie

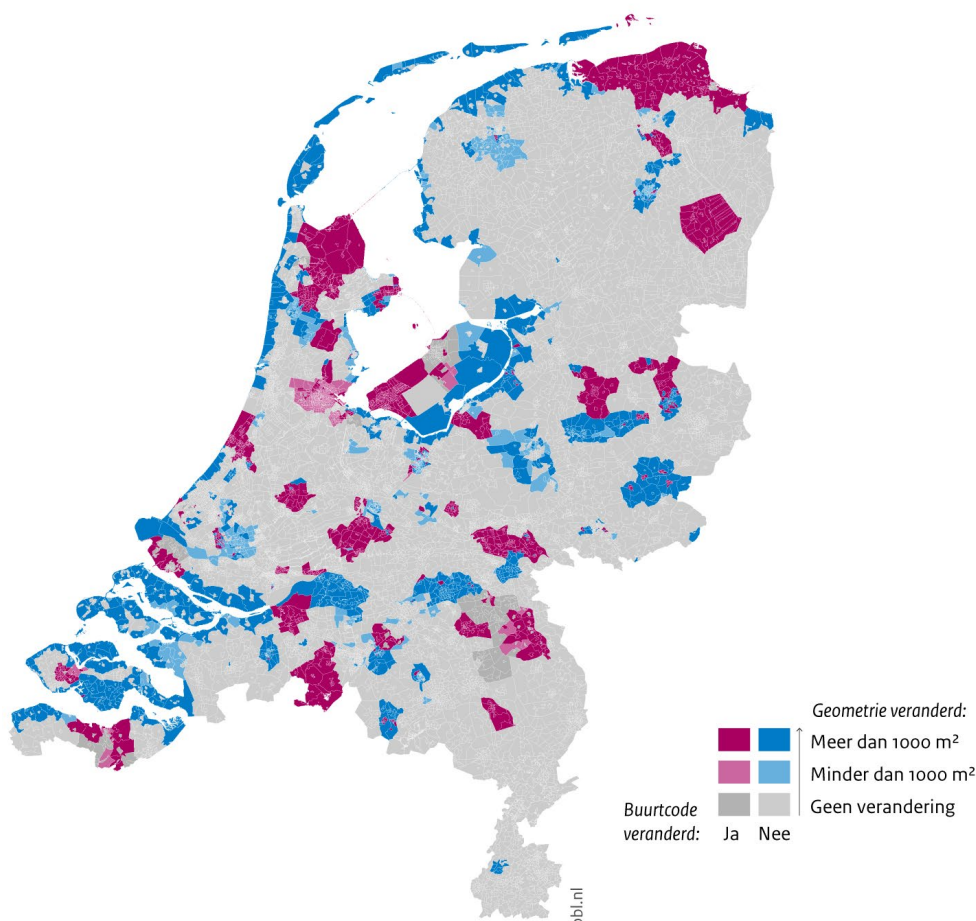
5.5.1 CBS-buurtindeling

Er worden regelmatig aanpassingen gedaan aan de buurtgrenzen van gemeenten. De CBS-buurtindeling 2023 wordt aangehouden in de ASA2025. Dit is een wijziging ten opzichte van de SA2020, waar werd uitgegaan van de CBS-buurtindeling 2020.

Dit is een belangrijke aanpassing omdat de indeling (grootte/aantal gebouwen) direct invloed heeft op de resultaten van de Startanalyse, waar alle informatie op buurtniveau wordt uitgevoerd. Hoewel er inmiddels recentere CBS buurtindelingen beschikbaar zijn, wordt in de ASA2026 ook uitgegaan van de CBS2023 buurtindeling om de consistentie te bewaren met de ASA2025. In Figuur 27 is ruimtelijk weergegeven hoe de buurten in de CBS2023-indeling zich verhouden tot de CBS-2020 indeling.

Figuur 27

Verschillen CBS-buurtindeling 2023 ten opzichte van 2020



Bron: CBS

Deze figuur geeft een kaart van Nederland. Op de kaart wordt weergegeven of buurten een andere buurtcode hebben gekregen in 2023 ten opzichte van 2020 conform indeling van het Centraal Bureau voor de Statistiek. Verder wordt aangegeven of de geografische samenstelling is gewijzigd.

5.5.2 Lengte warmteleidingen

Voor de lengte van de warmteleidingen wordt op CBS-buurniveau een indicatie gegeven van de hoeveelheid leidingen die nodig zijn in een buurt. Dit is op basis van de lengte van de wegen in een buurt, waarbij enkele verbeterlagen op de data van het wegennet worden gemaakt om te komen tot een goede inschatting van de benodigde lengte van leidingen. Deze methode is beschreven in de notitie bij de validatiesessies van de SA2020 (Kruit & Koster 2019). De data uit de SA2020 is ook in de ASA2025 gebruikt. Met het verschil in buurtindeling is rekening gehouden door de lengte van de leidingen gewogen op de lengte van het wegennet te verdelen over de nieuwe buurtindeling.

5.5.3 Aandeel bestaande warmtenetten per buurt

In 2023 was bijna 7% van de woningen aangesloten op een warmtenet (CBS StatLine 2024). Het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) heeft dit in kaart gebracht, maar dit is geen openbare informatie op gebouwniveau die gebruikt kan worden in het Vesta MAIS model. Wel is op buurniveau bekend welk percentage van de woningen is aangesloten op een warmtenet (CBS 2015 - 2023). Voor de ASA2025 zijn deze gegevens geactualiseerd op basis van de CBS-data voor de jaren 2015-2023. Voor iedere buurt wordt eerst het meest recente jaar gebruikt. Als daar geen gegevens voor zijn, wordt een eerder jaar geprobeerd.

5.5.4 Uitgesloten buurten

Voor de ASA2025 hebben gemeenten opnieuw de optie gekregen om buurten uit te sluiten van doorrekening, bijvoorbeeld omdat er al plannen zijn gemaakt voor een bepaalde verduurzamings-optie en de (nieuwe) resultaten deze lopende plannen mogelijk verstoren. In totaal zijn er voor de ASA2025 24 buurten uitgesloten van analyse door gemeenten. Het uitsluiten van buurten heeft geen invloed op de berekeningen zelf, alleen de resultaten worden niet gepresenteerd in de uiteindelijke Startanalyse producten.

5.6 Netbeheerdersdata

In de Startanalyse wordt een inschatting gemaakt van de kosten voor netverzwaring gerelateerd aan de warmtetransitie en de verwijderingskosten van gasnetten, afhankelijk van de strategieën. Hiervoor is opnieuw data verzameld op CBS-buurniveau 2023 waarbij vijf van de zes netbeheerders nieuwe informatie hebben aangeleverd. Het gaat hier om een actualisatie van de kosten voor het verzwaren van elektriciteitsnetten en het verwijderen van gasnetten, de lengte van de huidige netten per buurt en het huidige vermogen van de netten per buurt. Deze hernieuwde data worden meegenomen in de ASA2025.

De vijf netbeheerders die data hebben aangeleverd op buurniveau zijn Alliander, Enexis, Stedin, Westland infra en Coteq. Voor de kosten is informatie ontvangen van Alliander, Enexis, Stedin en Westland infra.

Het is daarbij belangrijk om te benoemen dat de aangeleverde kosteninformatie een momentopname betreft en netbeheerderskosten nog steeds aan sterke schommelingen onderhevig zijn: de kosten voor de ASA2025 zijn bepaald in 2023, maar in een jaar kunnen er veranderingen in de kosten optreden wanneer er veel vraag is naar beperkt beschikbare arbeid en grondstoffen.

Dit kan maken dat de kosten voor met name het aanpassen van het elektriciteitsnet nu hoger uit zouden kunnen vallen.

5.6.1 Netbeheerderinformatie per buurt

Voor de ASA2025 wordt informatie verstrekt door de netbeheerders over de infrastructuur in de buurten in hun beheer. Specifiek krijgt het PBL van de netbeheerders informatie op buurtniveau over:

- Het aantal gasaansluitingen
- De lengte van het lagedruk (LD) gasnet [meter]
- De lengte van het laagspanning (LS) elektriciteitsnetwerk [meter]
- Het aandeel van de aansluitingen dat zwaarder is dan 3x25A
- Huidig opgestelde vermogenscapaciteit aan MS-ruimtes per buurt [kVA]

De meeste regionale netbeheerders: Liander, Enexis, Stedin, Westland Infra en Coteq hebben informatie kunnen aanleveren over de infrastructuur in hun aflevergebieden. Alleen Coteq heeft geen informatie aangeleverd over de huidig opgestelde vermogenscapaciteit in de buurten in hun beheer. Buurtinformatie is door de netbeheerders aangeleverd in CBS2023 buurtindeling. Alleen Enexis heeft de lengte van het LD- gasnet en de lengte van het LS-elektriciteitsnet van de buurten in hun aflevergebied aangeleverd in CBS2022 buurtindeling. Die informatie is door het PBL omgezet naar CBS2023 buurtindeling waarbij gebruik is gemaakt van de verhouding in de lengte van het straatnet tussen buurten.

Lengte laagspanningsnet & lage druk gasnet

Voor de elektriciteitsinfrastructuur is ten opzichte van de SA2020 veranderd, onder andere door aanleg van laadpalen is de lengte van het LS-net in een deel van de buurten toegenomen. Ook beschikken meer gebouwen over een zware (meer dan 3x25A) elektriciteitsaansluiting. Om een indruk te krijgen van de verschillen in de informatie die van de netbeheerders is ontvangen voor de ASA2025 ten opzichte van de informatie in de SA2020 is in Tabel 17 een overzicht opgenomen van de totale lengte van het LS-net en het LD-net. De totale lengte van het LS-net en het LD-net zijn afgenomen in de ASA2025 ten opzichte van de SA2020. Dit komt waarschijnlijk door een andere filtermethode van de data door de netbeheerders⁶. Hoewel de verschillen in filtermethode door de netbeheerders en veranderingen in het LS-net (onder andere door de aanleg van laadpalen) onder de streep leiden tot een afname van de totale infrastructuur in de ASA2025 ten opzichte van de SA2020, kan dit anders uitpakken in specifieke buurten. In veel buurten veroorzaakt dit een afname van de infrastructuur, in andere een toename.

De lengte van het LS-net en het LD-net is veelal korter in de ASA2025 ten opzichte van de SA2020 in buurten die vallen in het aflevergebied van Enexis. Enexis geeft aan dat dit komt omdat zij voor de ASA2025 gas- en elektriciteitsnetten die buiten bedrijf zijn niet hebben meegenomen. Verder heeft Enexis openbare verlichtingskabels (OVL) buiten beschouwing gelaten, wat ook invloed heeft op de lengte van het LS-net.

De lengte van de LS- en LD-netten in buurten die vallen in het aflevergebied van Liander zijn soms juist langer. Volgens Liander heeft dit ook te maken met een andere filtermethode. Zo zijn in de SA2020 in ieder geval de lengtes van de LD-aansluitleidingen van het gasnet niet aangeleverd. De toename van de lengte van het LS-net door het aanleggen van laadpalen, in combinatie met

⁶ Netbeheerders hebben eigen data-afdelingen, met eigen filter-opties en methoden om hun data te selecteren en analyseren.

aangepaste filtermethoden door de netbeheerders van hun data, maakt dat de lengte van het LS- en LD-net in sommige buurten is toegenomen en in andere buurten is afgenomen in de ASA2025 ten opzichte van de SA2020. Netto leiden deze verschillen in filtermethode dus tot een iets lagere lengte van het totale elektriciteits- en gasnet.

Op basis van de informatie die is aangeleverd door de netbeheerders kan niet worden afgeleid welk aandeel van het totale laagspanningsnet wordt gebruikt voor laadpalen. De rol van mobiliteit en de opwek van elektriciteit met zonnepanelen vallen buiten de Startanalyse.

Tabel 17

Totale lengte LS- elektriciteitsnet en LD-gasnet ASA2025 versus SA2020

		ASA2025 [x1000 km]	SA2020 [x1000 km]	Procentuele af- name
LS totaal	km	177	180	-2%
LD totaal	km	106	114	-7%

5.6.2 Kostenkengetallen netbeheerdersactiviteiten

Diverse kosten in de ASA2025 strategieën worden gemaakt door de regionale netbeheerders. Zij maken bijvoorbeeld kosten voor het verwijderen van het lagedruk (LD) gasnet wanneer een woning wordt verduurzaamd, voor het verzwaren van laagspanning (LS) elektriciteitsinfrastructuur, voor het verzwaren van elektriciteitsaansluitingen of voor het plaatsen van middenspannings-ruimtes (MS-ruimte). Voor de ASA2025 zijn de kosten voor diverse netbeheerdersactiviteiten geactualiseerd. We hebben kostenkengetallen aangeleverd gekregen door Enexis, Liander, Stedin en WestlandInfra.

De kostenkengetallen die door de netbeheerders zijn aangeleverd zijn gewogen op basis van de verdeling van de desbetreffende (of aanverwante) infrastructuurparameter over de netbeheerders. Zo worden de kosten voor het vervangen van het LD-gasnet, specifiek per netbeheerder, gewogen naar de lengte LD-gasnet die de netbeheerders in beheer hebben. Kosten voor het verwijderen van gasaansluitingen worden gewogen op basis van het aantal gasaansluitingen per netbeheerder, etc. In Tabel 18 wordt een overzicht gegeven van de wijzigingen in kosten ten opzichte van de SA2020. In sommige gevallen zijn kengetallen die door netbeheerders zijn aangeleverd buiten beschouwing gelaten in de weging van de kosten. De kosten zijn dan een veelvoud van de kosten die worden gerekend door de andere netbeheerders waardoor het vermoeden bestaat dat er is uitgegaan van een verkeerde kostenparameter door de netbeheerder. In gevallen waar een kostenkengetal van een netbeheerder buiten beschouwing wordt gelaten, wordt ervan uitgegaan dat de informatie van de andere netbeheerders voldoende basis geeft voor actualisatie van het kostenkengetal.

In het kostenoverzicht van Tabel 18 valt op dat de meeste kostencomponenten toenemen. Vooral het verzwaren van netaansluitingen is met een factor drie stijging ten opzichte van de SA2020 fors duurder geworden.

Ook de kosten voor het verwijderen van de gasaansluiting zijn toegenomen. Alleen de kosten voor het verwijderen van de gasaansluiting bij utiliteit en de kosten voor het plaatsen van nieuwe MS-ruimtes lijken iets te zijn afgenomen.

De kostenkengetallen in de ASA2025 voor de netbeheerderskosten zijn- net als bij de andere kostenkengetallen- zoveel mogelijk gebaseerd op peiljaar 2023. Diverse netbeheerders hebben echter

aangegeven dat ze worden geconfronteerd met hoge kostenstijgingen in 2024. Dit heeft in de eerste plaats betrekking op de kosten voor het verzwaren van elektriciteitsinfrastructuur en komt, naast een stijging van materiaalkosten, vooral door tekorten aan gecertificeerd personeel. Het is daarom mogelijk dat in de ASA2025 deze kosten- in ieder geval op de korte termijn- nog worden onderschat.

Tabel 18
Kostenkengetallen netbeheerdersactiviteiten

	Eenheid	Gewogen naar	ASA2025 euro2023	ASA2020 euro2023	SA2020 euro2018
Vervangen LD-gasnet / meter	€/m	Lengte LD net	382	335	270
Verwijderen gasaansluiting laagbouw	€/ST	Gasaansluitingen	1212	682	550
Verwijderen gasaansluiting hoogbouw	€/ST	Gasaansluitingen	479	226	182
Verwijderen LD gasnet / meter	€/m	Lengte LD net	104	124	100
Verwijderen gasaansluiting utiliteit	€/ST	Gasaansluitingen	1250	2396	1932
Verzwaren aansluiting naar 3x25A	€/ST	Vermogen	765	281	227
Plaatsen nieuwe MS-ruimte	€/ST	Vermogen	63673	86802	70000
Verzwaren LS-net / meter	€/m	Lengte LS net	118	136	110

5.6.3 Onderhoudskosten gasnet

Bij de validatiesessies hebben verschillende deelnemers aangegeven te verwachten dat er in de periode tussen 2025 en 2050 kosten gemaakt moeten worden voor onderhoud van het gasnet, door veroudering van het materiaal. Deze kosten zouden moeten worden opgenomen in het referentiebeeld voor 2030 en in strategieën waarin nog gebruik wordt gemaakt van het gasnet, vooral in S4 en in mindere mate in S2 en S3 in relatie tot bijstook in warmtenetten.

Het PBL heeft daarom aan de netbeheerders gevraagd om informatie over onderhoudsplannen van het gasnet. Liander beschrijft dat slechts 3% van haar transport-, distributie- en aansluitleidingen in de toekomst mogelijk in aanmerking komt voor een vervanging op basis van natuurlijke veroudering.

Ook verwacht Liander niet dat deze populatie in de komende 25 jaar sterk zal groeien, aangezien de huidige inzichten in veroudering geen snelle achteruitgang laten zien. Stedin schat dat ongeveer 6% van haar gasnet in de periode tot 2050 moet worden vervangen als gevolg van veroudering en afspraken met de toezichthouder. Dit betreft vooral 'grondroeringsgevoelige' leidingen die zijn gemaakt van de eerste generatie PVC of nodulair gietijzer. Grondroeringsgevoelige gasleidingen zijn sowieso beoogd om te worden vervangen, ongeacht verduurzamingsplannen voor de gebouwde omgeving. De kosten voor het vervangen van dit type leidingen werden in de SA2020 daarom al buiten beschouwing gelaten. Enexis kon geen schatting geven van het aandeel van haar gasnet

waar mogelijk onderhoud aan moet worden gepleegd in de periode tot 2050. Wel heeft Enexis aan-gegeven weinig degradatie te zien in de kwaliteit van haar bestaande gasnetten. Bovenstaande geeft geen aanleiding om onderhoudskosten voor het gasnet mee te nemen in het referentiebeeld of mee te wegen in de kostenvergelijking tussen strategieën.

Een aandachtspunt is wel dat eventuele grondwerken in relatie tot de warmtetransitie (bijvoor-beeld voor het aanleggen of verzwaren van elektriciteitskabels) een risico vormen voor de be-staande gasinfrastructuur door grondbewegingen en graafschades. Netbeheerders zetten daarom in op diverse beheersmaatregelen. Eventuele kosten voor graafschades en dergelijke worden bui-ten beschouwing gelaten in de ASA2025.

5.7 Energieverbruik gebouwen

Het energieverbruik van gebouwen is informatie die valt onder de Algemene verordening gege-vensbescherming (AVG). Dit betekent dat het energieverbruik van gebouwen niet vanzelfsprekend kan worden gebruikt, maar met een rekenmethode moet worden geschat. Ook de energiebespa-ring na isolatiemaatregelen (en daarmee het energieverbruik in de doelsituatie na isolatiemaatre-gelen) moet worden geschat. Er bestaan diverse methoden om het energieverbruik van gebouwen en de energiebesparing bij isolatiemaatregelen mee te schatten. Het rapport ‘Consequenties van modelkeuzes voor het berekenen van energiebesparing bij woningen’ geeft een indruk van ver-schillen tussen methoden (van Beijnum et al. 2024). In deze paragraaf wordt beschreven welke me-thoden worden gebruikt in de ASA2025 om tot het energieverbruik van gebouwen te komen en tot een schatting van de energiebesparing bij gebouwverbetering.

5.7.1 Warmtevraag woningen: ruimteverwarming

In 2023 heeft het PBL de ‘Referentieverbruikmethode’ gepubliceerd: een methode om het energie-verbruik van woningen mee te schatten, gebaseerd op statistische energieverbruiksgegevens van het CBS. De Referentieverbruikmethode is uitvoerig beschreven in (van Beijnum & van den Wijn-gaart 2023). Ook wordt in het achtergrondrapport bij het Referentieverbruik ingegaan op de ver-schillen tussen het Referentieverbruik en de methode die is gebruikt voor de SA2020 (aangeduid als ‘CBS2018’). In de vorige Startanalyse is voor het energieverbruik van woningen gerekend met een methode die kan worden beschouwd als een voorloper van het Referentieverbruik, waarbij ook ge-bruik werd gemaakt van statistische data, zij het geaggregeerd.

Statistische data worden gebruikt voor het bepalen van kengetallen voor de warmtevraag voor ruimteverwarming door middel van een lineaire regressie analyse. De statistische informatie die werd gebruikt voor de SA2020 kwam uit 2018. De Referentieverbruikmethode maakt gebruik van microdata van het CBS uit 2020.

In 2025 is de Referentieverbruikmethode nog verbeterd (van Beijnum et al. 2025), daarom wordt onderscheid gemaakt tussen Referentieverbruik I en Referentieverbruik II. Hoewel Referentiever-bruik I en Referentieverbruik II op dezelfde onderzoekspopulatie zijn gebaseerd, zijn er enkele be-langrijke verschillen:

- Voor het vaststellen van regressiecoëfficiënten voor de ruimteverwarmingsvraag wordt in het Referentieverbruik II project gebruik gemaakt van een meervoudige lineaire regressie benadering, waar in het Referentieverbruik I project regressiecoëfficiënten werden vastge-steld met een eenvoudige lineaire regressie.

- Schattingen met de Referentieverbruikmethode worden nog gecorrigeerd richting de gemiddelde lokale warmtevraag met de zogeheten 'lokale praktijkfactor'. Deze factor is veranderd in Referentieverbruik II ten opzichte van Referentieverbruik I. Voor een uitleg over de lokale praktijkfactor en hoe deze is veranderd in de herziening, zie paragraaf 5.7.3 ('warmtevraag woningen: lokale praktijkfactor').
- In Referentieverbruik I werden verouderde energielabels nog als aparte onderzoekspopulatie meegenomen. In Referentieverbruik II wordt alleen gekeken naar energielabels vanaf 2014 omdat oudere labels per 2024 zijn verlopen.
- In Referentieverbruik I werd altijd onderscheid gemaakt naar type eigendom. In Referentieverbruik II zijn enkel twee losse termen met eigendom meegenomen.
- Tussen 2020 en 2023 is het verbruik van huishoudens significant afgenomen, met name door aanpassingen in het stookgedrag van huishoudens. De vraag is echter wel in welke mate dit stookgedrag structureel op dit niveau blijft. In Referentieverbruik II wordt vanaf 2023 uitgegaan van een structurele daling van 10% van het energieverbruik voor ruimteverwarming van huishoudens ten opzichte van 2020, conform de uitgangspunten van de KEV2024 (Hammingh et al. 2024).

De methode achter Referentieverbruik II zal worden beschreven in een aparte notitie naast deze publicatie (van Beijnum et al. 2025). Voor de ASA2025 wordt gebruik gemaakt van de kengetallen voor ruimteverwarming en warm tapwater van de Referentieverbruik II-methode. De kengetallen voor de warmtevraag ruimteverwarming van het Referentieverbruik II project konden niet vanzelfsprekend worden toegepast, waardoor er twee bewerkingen nodig waren op de Referentieverbruik II methode. De bewerkingen leiden tot verschillen in resultaten, al zijn de verschillen in de meeste gevallen beperkt (ordegrootte 5-10% verschil):

- De Referentieverbruik II methode maakt gebruik van een nieuwe methode voor de (regionale) klimaatcorrectie, die is ontwikkeld voor het PBL/ TNO Hestia model. Het zou modelmatig ingrijpende veranderingen vergen om deze methode voor de klimaatcorrectie over te nemen in Vesta MAIS. Daarom is ervoor gekozen om de methode van de SA2020 te blijven gebruiken.
- Vesta MAIS voorziet niet in een onderscheid van eigendomstypen voor woningen. Daarom is een gewogen gemiddelde genomen van de kengetallen voor ruimteverwarming van het Referentieverbruik II project op basis van het aantal aansluitingen per eigendomstype.

5.7.2 Warmtevraag woningen: warm tapwater

Het Referentieverbruik II project biedt ook kengetallen voor de warmtevraag voor warm tapwater en koken. De warmtevraag voor koken heeft slechts een gering aandeel in de totale warmtevraag van een woning en wordt niet meegenomen in de ASA2025. De warmtevraag voor koken maakte ook geen onderdeel uit van de SA2020.

De kengetallen voor warm tapwater van het Referentieverbruik II project zijn afhankelijk van de geschatte huishoudgrootte van een woning en de grootte van de woning in de vorm van oppervlakte. In de ASA2025 wordt voor de huishoudgrootte een (afgerond) gemiddeld aantal bewoners verondersteld per woningtype. De gemiddelde huishoudgrootte per woningtype wordt weergegeven in Tabel 19 en is gebaseerd op (van Beijnum & van den Wijngaart 2023).

Tabel 19

Veronderstelde huishoudgrootte (aantal bewoners) per woningtype in ASA2025

Woningtype	Afgerond aantal bewoners
Vrijstaand	3
2-onder-1-kap	3
Rijwoning hoekwoning	2
Rijwoning tussenwoning	2
Appartementen t/m 4 verdiepingen	2
Appartementen met 5 verdiepingen of meer	2

5.7.3 Warmtevraag woningen: lokale praktijkfactor

Zoals eerder beschreven geeft de Referentieverbruik-methode een schatting voor het energieverbruik van woningen, gebaseerd op landelijke gemiddelden van energieverbruiksstatistieken, gedifferentieerd naar woningenkenmerken. Zo geeft het Referentieverbruik een gemiddelde schatting voor een vrijstaande woning uit een bepaald bouwperiode, waarbij het gemiddelde energieverbruik wordt geschaald met de grootte van de woning (in de vorm van oppervlakte). Het kan echter zo zijn dat er lokaal factoren zijn waardoor het energieverbruik, zelfs na correctie voor het lokale klimaat, afwijkt van het Referentieverbruik op basis van het landelijke gemiddelde⁷. Denk bijvoorbeeld aan het gedrag van de bewoners in een bepaalde buurt. De Referentieverbruik I- methode voorzagt daarom al in een lokale fit-factor, de zogeheten 'lokale praktijkfactor': daarmee kon de schatting voor het energieverbruik op basis van het landelijke gemiddelde, na correctie voor het lokale klimaat en voor een specifieke woningcombinatie worden 'gefit' op het gemiddelde statistische verbruik volgens het CBS op een zeer laag resolutieniveau.

In Referentieverbruik II is ook een lokale praktijkfactor vastgesteld op het niveau van specifieke woningtypen in een bepaalde buurt. De AVG-wetgeving staat niet toe om de schattingen te fitten voor een groep van minder dan vijftig woningen: als er minder dan vijftig woningen van een bepaald type in een buurt staan worden de schattingen gefit op een hoger aggregatieniveau: namelijk op het niveau van de buurt. Idem voor het niveau van wijk, of zelfs gemeente.

Om te illustreren hoe de lokale praktijkfactor werkt wordt de buurt Appingedam-Centrum als voorbeeld genomen. In die buurt staan honderd vrijstaande woningen. Om de lokale praktijkfactor te bepalen wordt eerst het gemiddelde genomen van de schattingen voor het energieverbruik van deze woningen met de Referentieverbruik II methode.

Het gemiddelde van de Referentieverbruik II schattingen voor het energieverbruik wordt gedeeld door het gemiddelde verbruik van dezelfde woningen volgens de CBS registratie. Het resultaat van die berekening geeft de lokale praktijkfactor van de vrijstaande woningen in Appingedam-Centrum (zie voorbeeldberekening in Tabel 20).

⁷ Hierbij wordt al rekening gehouden met regionale (ruimtelijke) verschillen in klimaat

Tabel 20

Voorbeeldberekening lokale praktijkfactor

Buurt	Woningtype	Aantal woningen	Gemiddeld gasverbruik		Lokale praktijkfactor
			Ref II	CBS	Ref II/ CBS
Appingedam-Centrum	Vrijstaand	100	2183	2209	0.99

Alle schattingen voor het energieverbruik van de vrijstaande woningen in Appingedam-Centrum worden gecorrigeerd met de lokale praktijkfactor. Na correctie met de lokale praktijkfactor komt het gemiddelde van de geschatte energieverbruiken met de Referentieverbruik II methode overeen met het gemiddelde verbruik volgens de CBS registratie (zie Tabel 21 ter illustratie).

De resultaten van het Referentieverbruik zijn gebaseerd op het gemeten gasverbruik dat door de netbeheerders is gecorrigeerd voor klimaatinvloeden om tot het zogeheten 'standaardjaarverbruik' (SJV) te komen. De klimaatcorrectie van de netbeheerders ligt door gebruik van een andere methode echter lager dan de (jaarlijkse) klimaatcorrectie die wordt gehanteerd door het PBL. Daarom wordt nog een extra klimaatcorrectie uitgevoerd, bovenop het standaardjaarverbruik dat door de Netbeheerders wordt berekend.

Tabel 21

Voorbeeld correctie schatting warmtevraag ruimteverwarming met lokale praktijkfactor

	Ref II	Ref II na fit	Ref II na fit en (SJV-) extra klimaatcorrectie	CBS
	[m³ aardgas]	[m³ aardgas]	[m³ aardgas]	[m³ aardgas]
Vrijstaand 1	1528	1546	1421	n.b.
Vrijstaand 2	1746	1767	1624	n.b.
Vrijstaand 3	2838	2871	2638	n.b.
Vrijstaand 4	2620	2650	2435	n.b.
...				
Gemiddelde buurt woningtype	2183	2209	2030	2209

5.7.4 Energieverbruik utiliteit

In 2023 heeft TNO in opdracht van het PBL een nieuwe analyse gemaakt van het energieverbruik door de verschillende utiliteitstypen. Deze nieuwe dataset wordt gebruikt voor de ASA2025 en verschilt hiermee ten opzichte van de SA2020.

Daarbij is er nog wel een belangrijk aandachtspunt rondom procesenergie. Dit wordt nu indirect meegenomen in de data van de ASA2025 (eerder ook in de SA2020), doordat de verbruiksdata is gebaseerd op statistische data.

De opgestelde kentallen voor ruimteverwarming zijn geijkt op het jaar 2020. De vraag naar energie voor ruimteverwarming en warm tapwater is, net als bij woningen, in het Vesta MAIS model bijgesteld met een 10% reductie ten opzichte van die kentallen.

5.7.5 Klimaateffect

Bij de inschatting van het energieverbruik speelt ook de toekomstige ontwikkeling van klimaatverandering een rol. Bij een hogere gemiddelde temperatuur zal er een lagere energievraag naar ruimteverwarming zijn. In de ASA2025 worden dezelfde klimaatscenario's gebruikt als in de SA2020: de KNMI'14-klimaatscenario's (KNMI 2014).

Het klimaateffect is ruimtelijk gedifferentieerd over Nederland. In het zuiden van het land is het gemiddeld warmer dan in het noorden, en ook de toename in de temperatuur is ongelijk verdeeld. Over geheel Nederland gemiddeld wordt de vraag naar ruimteverwarming 6% lager in 2030 dan in het referentiejaar 2023. Het opwarmende klimaat heeft ook effect op de koudevraag. Het klimaateffect voor koude is in de ASA2025 aangepast (zie paragraaf 5.7.7). Gemiddeld wordt deze 17% groter.

5.7.6 Ventilatievraag

In de ASA2025 zijn geen aanpassingen gedaan met betrekking tot de ventilatievraag van gebouwen ten opzichte van de SA2020. Bij gebouwen met een startlabel lager dan B wordt de ventilatievraag hoger als het schillabel verbeterd wordt naar doellabel B. Bij utiliteit wordt verondersteld dat in de startsituatie (voorafgaand aan isolatie) al ventilatie aanwezig is en daarmee het energieverbruik van deze installaties al onderdeel is van het verbruik voor elektrische apparatuur. Voor meer informatie over de investeringskosten voor ventilatiesystemen, zie paragraaf 5.8.2.

5.7.7 Koude

De koudevraag wordt niet integraal meegenomen in de nationale kostenberekening. Maar de koudevraag wordt wel in beeld gebracht binnen de Startanalyse. Voor de ASA2025 zijn hiervoor nieuwe kentallen opgenomen, op basis van een recent onderzoek van TNO voor het Hestia model. Hierin zijn schattingen voor het energieverbruik van airconditioning omgezet naar kentallen voor de berekening van de functionele vraag naar koude.

De gemaakte aanpassingen betreffen een aanpassing in de functionele vraag naar koude bij woningen en een aanpassing van het klimaateffect bij koude. De functionele vraag naar koude bij woningen is van 0.01296 GJ per vierkante meter gebruiksoppervlak bijgesteld naar 0.01917 GJ per vierkante meter gebruiksoppervlak.

De aanpassing van het klimaateffect leidt tot een gemiddelde afname van de vraag naar koude van 1% tot 2% (totale klimaateffect voor de koudebehoefte tussen 2023 en 2030 komt neer op circa 17%, zie paragraaf 5.7.5). Uitgebreide documentatie van de nieuwe koudekentallen is te lezen in de releasenotes van Hestia 1.2.

5.7.8 Gevoeligheidsanalyse energiebesparing

Er is veel onzekerheid over de effecten van isolatiemaatregelen. In de standaardberekeningen wordt uitgegaan van besparing op basis van het Referentieverbruik, maar er wordt wel een gevoeligheidsanalyse gedaan op basis van de uitgangspunten conform Hestia. Een dergelijke gevoeligheidsanalyse werd niet gedaan bij de SA2020, maar geeft wel een indicatie van de gevoeligheid van het effect van isolatie voor de aannames hieromtrent. Met deze gevoeligheidsanalyse hebben gemeenten een indicatie wat methodische uitgangspunten voor effect kunnen hebben rondom isolatie, dit bouwt voort op een eerdere studie die was gericht om de effecten van modellen te

vergelijken (van Beijnum et al. 2024). Die studie geeft ook een indruk van de berekende energiebesparing bij verschillende methoden.

5.8 Investeringskosten energiebesparing woningen

Voor woningen wordt een actualisatie gemaakt van de investeringskosten voor energiebesparing. De investeringskosten zijn begin juli 2024 voorgelegd tijdens een validatiesessie. Uit de validatie kwam naar voren dat de investeringen te laag werden ingeschat. Uiteindelijk is gekozen voor een benadering om tot de investeringen voor energiebesparing in woningen te komen, voortbouwend op de methode die werd gehanteerd in de SA2020. Hier heeft TNO een notitie over geschreven die wordt aangeboden bij de Startanalyse-publicatie.

Het Vesta MAIS model geeft een indicatie van de isolatiegraad van een woning in de vorm van een 'schillabel'. Het schillabel is gelijk aan het energielabel, indien een woning is voorzien van een HR-ketel voor ruimteverwarming en warm tapwater en er geen zonneboiler en/of zonnepanelen aanwezig zijn in de woning. Onder die voorwaarden kan het schillabel worden gebruikt als indicatie van de isolatiekwaliteit van de woning. Er worden zeven schillabel-categorieën onderscheiden 'A' tot en met 'G', gelijk het energielabel. Er wordt ook een aparte categorie onderscheiden voor woningen waarvan het energielabel niet bekend is. In het Vesta MAIS model worden de kosten voor isolatie van woningen bepaald in de vorm van 'schillabelstappen'. Dit betekent dat isolatiemaatregelen die in een woning zijn genomen in kaart worden gebracht en daarbij een energielabel wordt bepaald, dit wordt de 'uitgangssituatie' voorafgaand aan isolatie genoemd. Daarna wordt verondersteld dat in diezelfde woning diverse aanvullende isolatiemaatregelen worden genomen, welke leiden tot een ander energielabel: de 'doelsituatie'. De kosten voor het pakket isolatiemaatregelen tussen uitgangssituatie en doelsituatie vormen de isolatiekosten.

Aanvankelijk was het de bedoeling om voor de ASA2025 nieuwe isolatiepakketten vast te stellen op basis van de NTA8800⁸ energielabeldatabase. Die database bevat gedetailleerde informatie over vastgestelde energielabels en de achterliggende isolatiemaatregelen die zijn genomen om tot die energielabels te komen.

De kosten voor de isolatiepakketten conform de NTA8800 energielabeldatabase zouden dan worden bepaald volgens de methode van het Hestia model voor de gebouwde omgeving van PBL en TNO, omdat dit model op hoofdlijnen aansluit bij de NTA8800 methodiek (van der Molen et al. 2023). Een eerste set resultaten van deze methode werd door TNO gepresenteerd bij de validatiesessie energiebesparing. Deze methode bleek om verschillende redenen echter niet werkbaar.

- Een belangrijke reden is dat de 'compactheid' van een woning en de installaties voor ruimteverwarming en warm tapwater onderdeel uitmaken van de bepalingmethode van het energielabel. Hierdoor komt het geregeld voor dat vergelijkbare woningen een ander energielabel hebben, zonder een duidelijk verschil in isolatiekwaliteit.

⁸ NTA8800 is het standaard normeringsmodel dat sinds januari 2021 wordt gebruikt voor het bepalen van het energielabel.

- Verder berekent Hestia kosten voor individuele isolatiemaatregelen en bleek die methode niet vanzelfsprekend bruikbaar voor het bepalen van kosten voor pakketten van isolatiemaatregelen.

Gegeven bovenstaande bezwaren tegen een kostenschatting op basis van de NTA8800 energielabeldatabase is er voor de ASA2025 voor gekozen om gebruik te maken van een alternatieve benadering die raakvlak heeft met de methode die is gehanteerd bij de SA2020. De ASA2025 methode is ook gebaseerd op de WoON2018 database, met enkele essentiële verschillen.

De WoON2018 database bevat gedetailleerde informatie over het energielabel en isolatiekwaliteit van circa 4000 woningen. DGMR heeft voor de SA2020 isolatiepakketten bepaald voor deze woningen en heeft voor deze (theoretisch geïsoleerde) woningen nieuwe energielabels vastgesteld. In de SA2020 heeft TNO voor al deze combinaties van woningen en de door DGMR bepaalde isolatiepakketten kosten bepaald op basis van de RVO/ Arcadis kostendatabase. Op basis van de kosteninformatie van TNO heeft PBL voor de SA2020 lineaire regressieanalyses uitgevoerd, waarbij de kosten voor isolatie werden vastgesteld als functie van de oppervlakte van woningen. Bij deze regressieanalyses werd nadruk gelegd op het inzichtelijk maken van kostenverschillen op een hoog resolutieniveau: er werd bij de regressieanalyses daarom onderscheid gemaakt tussen een vijftal woningtypen en elf bouwperiodes. Hierbij werd altijd rekening gehouden met een minimale regressiepopulatie van tien woningen.

TNO heeft voor de ASA2025 dezelfde kostendataset geleverd, op basis van dezelfde DGMR isolatiepakketten maar met geactualiseerde kosteninformatie uit de Arcadis kostendatabase uit 2023. Volgens zijn weer regressieanalyses uitgevoerd, zij het met een aangepaste methode. Vanuit statistisch oogpunt is het robuuster om regressiepopulatie vorm te geven met een hoger aantal woningen.

Daarom is er voor de ASA2025 voor gekozen om bepaalde woningtype- en bouwperiode categorieën samen te voegen. De samenstelling van deze geaggregeerde categorieën hangt samen met het voorkomen van bepaalde typen isolatiemaatregelen. In principe kunnen in eengezinswoningen vergelijkbare isolatiemaatregelen worden getroffen: dit valt ook terug te zien in de maatregelpakketten die door DGMR zijn vastgesteld. In meergezinswoningen is isolatie van de zoldervloer niet mogelijk. Daarom is het aantal woningtypen teruggebracht van vijf naar twee: 'eengezinswoningen' en 'meergezinswoningen'. De woningtypen conform de SA2020 en de ASA2025 worden weer gegeven in Tabel 22.

Tabel 22
Woningtypen conform SA2020 en ASA2025

ASA2025	SA2020
Eengezins	Vrijstaand
Eengezins	2-onder-1-kap
Eengezins	Rijwoning hoek
Eengezins	Rijwoning tussen
Meergezins	Appartement

Op vergelijkbare wijze is ook het aantal bouwperiodes teruggebracht van elf bouwperiodes naar drie. In de isolatiepakketten die door DGMR zijn vastgesteld komt spouwmuurisolatie veel voor bij woningen die zijn gebouwd voor 1964. Spouwmuurisolatie komt nauwelijks nog voor in de isolatiepakketten voor woningen die zijn gebouwd tussen 1964 en 1996 en maakt helemaal geen

onderdeel meer uit van de pakketten die zijn gedefinieerd voor woningen die na 1996 zijn gebouwd. Dit komt waarschijnlijk omdat er steeds meer eisen werden gesteld aan de isolatiekwaliteit van nieuwbouwwoningen en de spouwmuur al enigszins werd geïsoleerd conform de bouweisen die toen geldig waren. Verder komt vervanging van enkel glas niet meer voor in de isolatiepakketten die door DGMR zijn bepaald voor woningen die zijn gebouwd na 1995. De bouwperiodes conform de SA2020 en de ASA2025 worden weergegeven in Tabel 23.

Tabel 23
Bouwperiodes conform SA2020 en ASA2025

ASA2025	SA2020
tot en met 1964	tot en met 1929
tot en met 1964	1930-1945
tot en met 1964	1946-1964
1965-1995	1965-1974
1965-1995	1975-1991
1965-1995	1992-1995
1996-2020	1996-1999
1996-2020	2000-2005
1996-2020	2006-2010
1996-2020	2011-2014
1996-2020	2015-2020

Aanvullende bewerkingen

Bij het bepalen van kostenkengetallen voor gebouwschilverbetering zijn enkele aanvullende bewerkingen gedaan met de volgende volgorde:

1. Bij een aantal specifieke combinaties van woningtype, bouwperiode en labelsprong waren geen datapunten beschikbaar om kostenkengetallen van af te leiden. In die gevallen zijn waarden geselecteerd over het gemiddelde van alle bouwperiodes
2. Er zijn weinig datapunten beschikbaar voor diepe of zeer diepe renovatie, waarbij een slecht geïsoleerde woning (label F of G) met meerdere isolatiemaatregelen tegelijkertijd wordt geïsoleerd naar doellabel D of B. Daarom zijn gemiddelden genomen van de schilsprongen GD en FD en van GB en FB.
3. In sommige gevallen waren wel datapunten beschikbaar, maar was het aantal datapunten te klein om verantwoord kostenkengetallen te kunnen afleiden. In die gevallen zijn (ook) waarden geselecteerd over het gemiddelde van alle bouwperiodes.

Effect op (gemiddelde) kosten energiebesparing

Over het algemeen zijn de kosten voor isolatiemaatregelen gemiddeld 7% sneller gestegen dan de algemene inflatie (Tigchelaar et al. 2025). Doordat de kostenontwikkeling niet gelijk is voor alle specifieke isolatiemaatregelen (bij maatregelen voor meergezinswoningen is zelfs sprake van een daling van de kosten) en doordat ook de methode voor het berekenen van de energiebesparing zoals die in de SA2020 is gehanteerd is herzien, pakt deze kostenontwikkeling anders uit voor verschillende woningtypen en labelsprongen. Om een indruk te geven hoe de actualisatie van de kostenkengetallen en de herziening van de methode voor het berekenen van de kosten van bouwverbetering invloed heeft op de woningtypen zoals ze in de SA2020 werden gehanteerd,

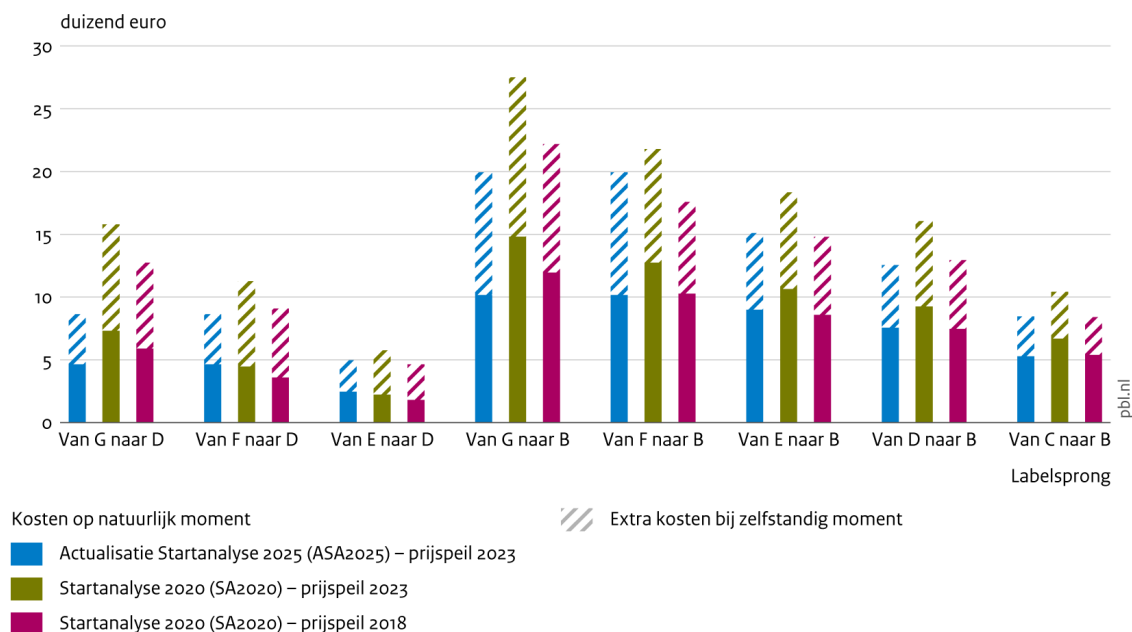
wordt een overzicht van de kosten voor labelsprongen gegeven bij een gemiddelde oppervlakte voor drie woningtypen:

- Meergezins, gebouwd tussen 1965 en 1974
- Rijwoning tussen, gebouwd tussen 1946 en 1964
- Vrijstaand , gebouwd tussen 1964 en 1964

In Figuur 28 worden de kosten voor gebouwverbetering gegeven bij een gemiddelde oppervlakte voor meergezinswoningen gebouwd tussen 1965 en 1974. Kosten verschillen wanneer bouwmaatregelen worden genomen op een natuurlijk moment (zonder arcering) en een zelfstandig moment (inclusief arcering), waarbij de kosten op een natuurlijk moment lager zijn. Kosten voor gebouw verbetering van meergezinswoningen zijn over het algemeen lager dan in de SA2020 na correctie voor inflatie. Dit komt vooral omdat de kosten van maatregelen voor meergezinswoningen zijn gedaald.

Figuur 28

Kosten van isolatie voor meergezinswoningen (minder dan vijf verdiepingen) gebouwd tussen 1965 en 1974



Bron: TNO 2024; bewerking PBL

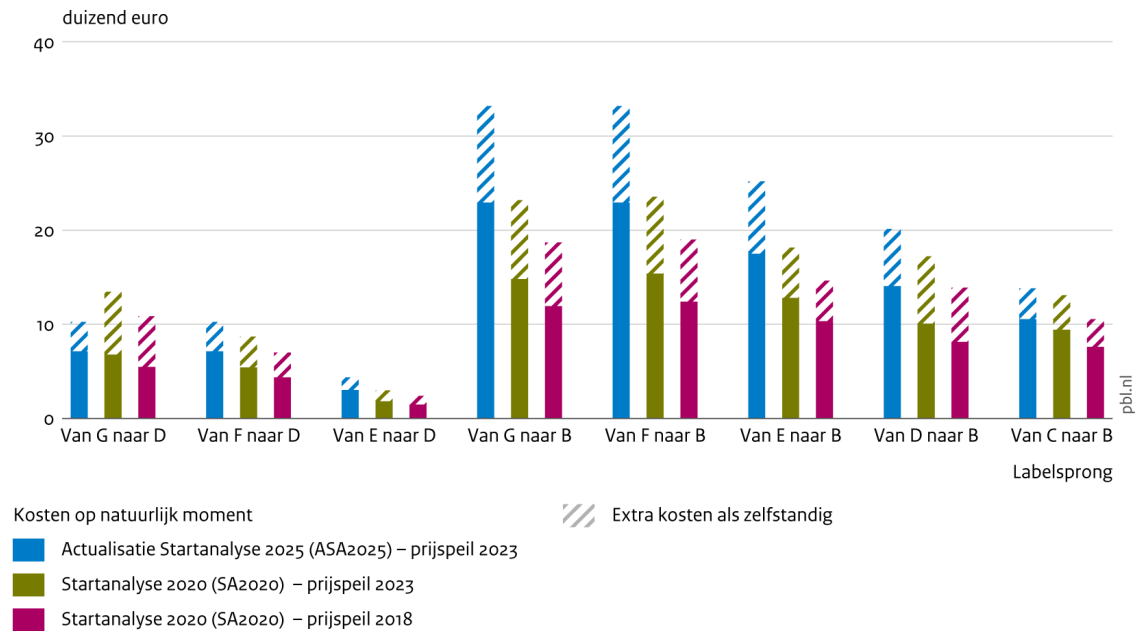
Deze figuur geeft de kosten van isolatie, bij verschillende labelsprongen, voor meergezinswoningen (minder dan vijf verdiepingen), gebouwd tussen 1965 en 1974, op natuurlijk en zelfstandig moment. De staaf exclusief arcering geeft de kosten op een natuurlijk moment. De staaf inclusief arcering geeft de kosten op een zelfstandig moment.

Over het algemeen zijn de kosten van maatregelen voor eengezinswoningen gestegen. Figuur 29 en Figuur 30 geven een indruk van de kosten voor gebouwverbetering bij rijwoningen en vrijstaande woningen. Echter: doordat deze woningtypen, samen met twee-onder-een-kap woningen en hoekwoningen zijn samengevoegd tot het type 'eengezinswoning' in de ASA2025, worden de kosten voor gebouwverbetering van vrijstaande woningen over het algemeen iets lager en de kosten voor de andere woningtypen in de aggregatiecategorie over het algemeen iets hoger. Deze verandering komt ook terug in Figuur 29 waarin de kosten voor gebouwverbetering van rijwoningen zijn gestegen in de ASA2025 ten opzichte van de SA2020 na inflatiecorrectie. Figuur 30 laat zien dat de

kosten voor gebouwverbetering voor vrijstaande woningen over het algemeen zijn gedaald in de ASA2025 ten opzichte van de SA2020 na inflatiecorrectie.

Figuur 29

Kosten van isolatie voor rijwoningen (tussen) gebouwd tussen 1946 en 1964

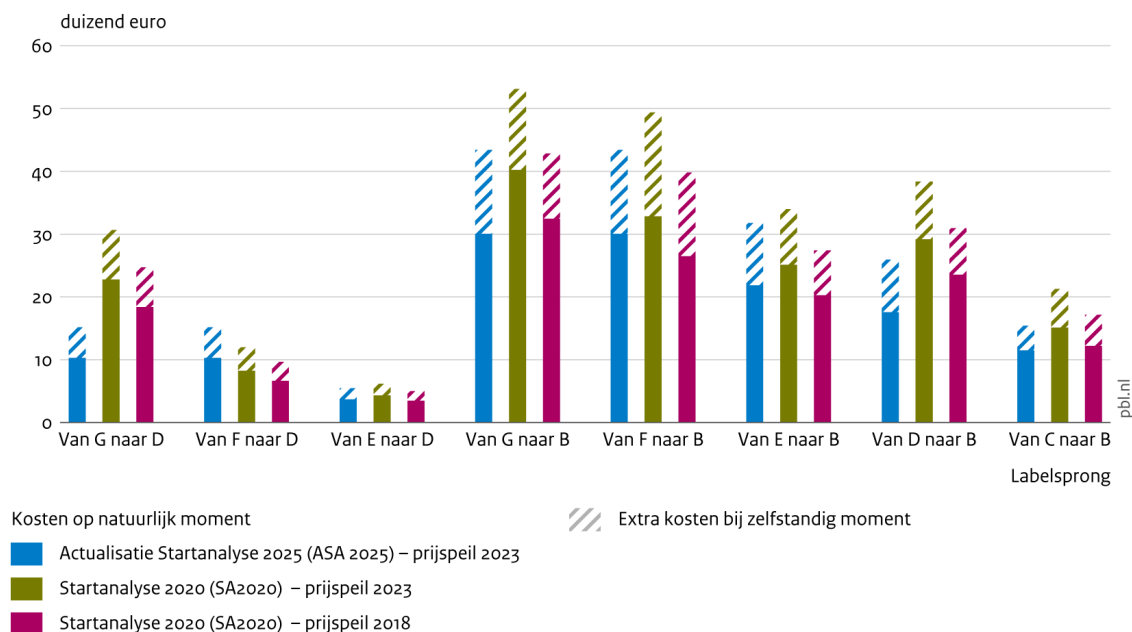


Bron: TNO 2024; bewerking PBL

Deze figuur geeft de kosten van isolatie, bij verschillende labelsprongen, voor rijwoningen (tussen) gebouwd tussen 1946 en 1964 op natuurlijk en zelfstandig moment. De staaf exclusief arcering geeft de kosten op een natuurlijk moment. De staaf inclusief arcering geeft de kosten op een zelfstandig moment.

Figuur 30

Kosten van isolatie voor vrijstaande woningen gebouwd tussen 1946 en 1964



Bron: TNO 2024; bewerking PBL

Deze figuur geeft de kosten van isolatie, bij verschillende labelsprongen, voor vrijstaande woningen, gebouwd tussen 1946 en 1964, op natuurlijk en zelfstandig moment. De staaf exclusief arcering geeft de kosten op een natuurlijk moment. De staaf inclusief arcering geeft de kosten op een zelfstandig moment.

5.8.1 Isolatiekosten voor woningen zonder afgemeld energielabel

Zoals in de vorige paragraaf wordt beschreven worden isolatiekosten bepaald op basis van het huidige geregistreerde energielabel en het energielabel in de doelsituatie. Voor woningen zonder afgemeld energielabel wordt een schatting gemaakt van het energielabel in de vorm van een defaultlabel. In de SA2020 werd het defaultlabel bepaald op basis van de bouwperiode van de woning. In de ASA2025 is die methode verbeterd door het defaultlabel te bepalen op basis van de warmtevraag. Dat werkt als volgt: de Referentieverbruikmethode (zie paragraaf 5.7 voor uitleg) biedt aanknopingspunten om de warmtevraag voor ruimteverwarming te schatten van woningen zonder afgemeld energielabel, waarbij gebruik wordt gemaakt van de woningkenmerken zoals woningtype, bouwperiode en grootte van de woning. Vervolgens wordt binnen dezelfde categorie van woningkenmerken gekeken welke energielabels met betrekking tot de warmtevraag het dichtste in de buurt liggen, zogeheten 'grenslabls'. Vervolgens wordt een gewogen gemiddelde genomen van de isolatiekosten van die grenslabls naar een bepaald energielabel in de doelsituatie. De isolatiekosten van het energielabel dat met betrekking tot de warmtevraag het dichtste in de buurt ligt worden zwaarder meegewogen in het kostengemiddelde.

5.8.2 Ventilatiekosten

In de ASA2025 wordt, net als in de SA2020, aangenomen dat een woning die goed wordt geïsoleerd moet beschikken over een ventilatiesysteem dat kan zorgen voor voldoende ventilatie. Daarom worden kosten voor ventilatie in rekening gebracht voor woningen die worden geïsoleerd naar doellabel B. Sommige woningen beschikken al over een efficiënt ventilatiesysteem en hoeven daarom geen kosten te maken wanneer ze worden geïsoleerd. Om een indruk te krijgen van de verdeling van ventilatiesystemen in de huidige woningvoorraad heeft PBL informatie gekregen van TNO op basis van de NTA8800 energielabeldatabase. Uit die informatie kan worden opgemaakt hoeveel woningen op dit moment beschikken over een natuurlijk ventilatiesysteem, een mechanisch ventilatiesysteem (al dan niet met vraagsturing) en een balans ventilatiesysteem. In Tabel 24 wordt de verdeling van ventilatiesystemen weergegeven, gedifferentieerd naar meergezins- en eengezinswoningen. Op basis van deze verdeling lijken meergezinswoningen vaker te beschikken over een mechanische- of balansventilatiesystemen dan eengezinswoningen.

Tabel 24

Verdeling ventilatiesystemen op basis van de NTA8800 energielabeldatabase (versie 2023)

Woningtype	Type ventilatie	Aantal [x1000]	Aandeel ventilatiesysteem in woningtype
meergezins	Balans	2	1%
meergezins	Mechanisch	86	51%
meergezins	Natuurlijk	82	48%
eengezins	Balans	1	0%
eengezins	Mechanisch	42	19%
eengezins	Natuurlijk	180	81%

Kosten van ventilatiesystemen zijn aangeleverd door TNO en zijn gebaseerd op de RVO/ Arcadis2023 kostendatabase. Rekening houdend met de huidige verdeling van ventilatiesystemen in de NTA8800 energielabeldatabase (zie Tabel 24) wordt een inschatting gemaakt van de gemiddelde kosten voor aanschaf van een ventilatiesysteem bij isolatie naar doellabel B voor de verschillende woningtypen. Bij het bepalen van de kosten voor ventilatiesystemen worden de volgende aannamen gedaan:

- Aangenomen wordt dat de verdeling van ventilatiesystemen in de NTA8800 labeldatabase representatief is voor de gehele voorraad.
- Woningen met natuurlijke ventilatie die worden geïsoleerd tot schillabel B investeren in mechanische ventilatie met vraagsturing⁹. Er is geen onderzoek gedaan naar de mate waarin ventilatiesystemen ook worden verbeterd bij isolatie van een woning.

Vanuit gezondheidsperspectief is het echter van belang dat een woning voldoende wordt geventileerd, daarom wordt bij woningen met doellabel B minimaal een mechanisch

⁹ In de RVO/ Arcadis (2023) kostendatabase gaat het om de kostenparameter Mec_Vst_Glk_new. Dit is een nieuw mechanisch ventilatiesysteem op gelijkspanning met vraagsturing.

ventilatiesysteem verondersteld. Het gemiddelde wordt genomen tussen kosten op een natuurlijk of zelfstandig moment.

- Indien een woning reeds beschikt over een mechanisch ventilatiesysteem, kan op basis van de informatie die door TNO is aangeleverd uit de NTA8800 labeldatabase niet vanzelfsprekend worden vastgesteld om wat voor (sub)type installatie het gaat. Bijvoorbeeld of het systeem beschikt over vraagsturing. Aangenomen wordt dat woningen met een mechanisch ventilatiesysteem geen aanpassingen hoeven te doen aan het ventilatiesysteem indien ze worden geïsoleerd naar doellabel B, ongeacht het subtype. Ook woningen die in de uitgangssituatie beschikken over een systeem met balansventilatie hoeven geen kosten te maken.
- Een klein aandeel woningen heeft een motorventilatiesysteem. Bij de weging wordt aangenomen dat woningen met een motorventilatiesysteem dezelfde kosten moeten maken als woningen met een natuurlijk ventilatiesysteem.
- De RVO/ Arcadis database geeft ook kosten voor ventilatiesystemen, wanneer deze projectmatig (voor meerdere woningen) worden aangeschaft: deze kosten zijn altijd iets lager ten opzichte van de situatie waarin een ventilatiesysteem wordt aangeschaft voor een individuele woning. De kosten voor projectmatige aanschaf worden buiten beschouwing gelaten en er wordt alleen rekening gehouden met aanschaf voor een individuele woning.

De weging van de kosten voor ventilatiesystemen met de NTA8800 energielabeldatabase en bovenstaande aannamen leidt tot de geactualiseerde kosten voor ventilatiesystemen in Tabel 25. Wat hierin opvalt is dat de kosten voor ventilatiesystemen lager uitvallen voor zowel eengezins- als meergezinswoningen in de ASA2025.

Tabel 25
Ventilatiekosten bij isolatie naar doellabel B

	ASA2025	SA2020		SA2020	
	euro2023	euro2023		euro2018	
	gewogen gemiddeld	min	max	min	max
Ventilatiekosten meergezins	1718	3689	5946	2975	4795
Ventilatiekosten eengezins	3049	3689	5946	2975	4795

5.8.3 Duiding isolatiekosten

De nieuwe benadering voor het vaststellen van kostenkengetallen voor verbetering van de gebouwschil levert plausibeler resultaten op dan de methode die werd gehanteerd voor de SA2020. Zo komen ontsparringen (negatieve kosten bij een labelsprong) niet meer voor. Daarnaast is het bij een gemiddelde oppervlakte per woningtype altijd goedkoper om in één keer meerdere isolatiemaatregelen tegelijk te nemen (e.g. labelsprong van F naar B) in plaats van in twee stappen (eerst van F naar D en dan van D naar B). Het feit dat in de nieuwe benadering minder woningtypen en bouwperioden voorkomen betekent wel dat kosten voor gebouwschilverbetering lokaal veel kunnen veranderen: zo zullen de kosten voor gebouwschilverbetering in buurten met een groot aandeel rijwoningen bijvoorbeeld stijgen, terwijl de kosten in buurten met een groot aandeel vrijstaande woningen zullen dalen.

Kosten voor isolatie van recent gebouwde woningen

In de ASA2025 worden (net als in de SA2020) kostenkengetallen vastgesteld voor verbetering van de gebouwschil van recent gebouwde woningen. Dit druist in tegen de verwachting, omdat recent

gebouwde woningen meestal al goed zijn geïsoleerd conform bouwbesluit. Het komt echter incidenteel voor dat recent gebouwde woningen (na 1996) toch een relatief slecht energielabel¹⁰ hebben. Daarom zijn ook voor deze combinaties van woningtype, bouwperiode en labelsprong (bij benadering) kostenkengetallen vastgesteld.

5.9 Investerings energiebesparing utiliteit

Voor utiliteit is samen met de actualisatie van het energieverbruik in 2023 een actualisatie gemaakt door TNO (Jonker & Sipma 2023). In deze actualisatie zijn 3 niveaus onderscheiden, waarbij 2 niveaus bruikbaar zijn voor de Startanalyse. Ten opzichte van de SA2020 worden daarom de volgende aanpassingen gedaan:

- De investeringen worden geactualiseerd, waarbij de suggesties tijdens de validatiesessies nog wel worden bekeken.
- Aanpassing in isolatieniveaus. In de SA2020 werd utiliteit in alle varianten (ook die met schillabel D) geïsoleerd naar schillabel B omdat er te beperkte informatie beschikbaar was om schillabel D goed vast te stellen.

Nu is deze data wel beschikbaar, daarom wordt voor schillabel D nu uitgegaan van het ‘kleine pakket’. Verder wordt in de ASA2025 niet uitgegaan van schillabel B, maar van schillabel A voor het ‘grote pakket’ omdat dit het schillabel is dat overeenkomt met de maatregelen die zijn opgenomen in dit pakket.

5.10 Kentallen individuele installaties

Zoals al eerder beschreven in paragraaf 5.1 (‘methode actualisatie & validatie sessies’) heeft CE Delft in 2022 en 2023 de (kosten)kentallen rondom warmtenetten en installaties geactualiseerd. Deze kentallen zijn in mei en juni van 2024 voorgelegd tijdens twee validatiesessies met marktpartijen en experts, één rondom installaties en één rondom warmtenetten. De deelnemers van de validatiesessies zijn gevraagd om te reflecteren op de door CE Delft geactualiseerde kengetallen en zijn uitgenodigd om recente(re) informatie aan te leveren met betrekking tot de kengetallen indien beschikbaar. De inzichten die zijn opgedaan gedurende de validatiesessies en op basis van het door deelnemers aangeleverde materiaal zijn gebundeld en verwerkt door CE Delft. CE Delft heeft op basis van alle opgehaalde informatie een ‘advies aan PBL’ geschreven in de vorm van een notitie met daarin aanbevelingen voor aanpassing van de kengetallen. De notitie van CE Delft wordt als aparte bijlage aangeboden (Hesselink et al. 2025a). De wijzigingen van de kengetallen voor individuele installaties zoals ze in deze paragraaf worden beschreven zijn goeddeels gebaseerd op het eindadvies van CE Delft.

5.10.1 Investeringskosten warmtepompen

Eén van de belangrijke technologieën om woningen aardgasvrij te verwarmen zijn individuele warmtepompen, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen bodem-warmtepompen en lucht-

¹⁰ Bijna 4000 woningen (eengezins en meergezins), gebouwd na 1996 hebben een energielabel E, F of G ten tijde van dit onderzoek.

warmtepompen. Voor de ASA2025 zijn de kosten en andere uitgangspunten daarom expliciet voor-gelegd tijdens de validatiesessies, waarna nog aanvullende gegevens zijn aangeleverd. Daarbij kon het soms het geval zijn dat er tegenstrijdige informatie werd aangeleverd, in deze gevallen is waar mogelijk gezocht naar aanvullende informatiebronnen. Een voorbeeld hiervan zijn de investeringskosten van lucht-warmtepompen bij woningen. Hier zijn aanvullende analyses gedaan op basis van factuurgegevens van de ISDE-regeling (aangeleverd door RVO): deze vormen de basis voor de inschatting van de investeringskosten voor lucht-warmtepompen en hybride warmtepompen. Voor de investeringskosten van een lucht-water warmtepomp bij utiliteit en voor de investeringskosten van bodemwarmtepompen is geen nieuwe informatie binnengekomen vanuit de validatiesessie. Voor utiliteitsgebouwen zijn de investeringskosten van warmtepompen wel aangepast op basis van de RVO/ Arcadis 2024 kostendatabase.

Naast kosten voor materiaal en arbeid om de warmtepomp aan te sluiten, worden ook kosten in rekening gebracht voor het demonteren en afvoeren van de oude cv-installatie. CE Delft gaat in haar eindadvies uit van 500 euro voor het demonteren en afvoeren van de huidige installatie: deze verwijderingskosten zijn verwerkt in de investeringskosten van all-electric warmtepompen. Kosten voor demontage en verwijdering van de CV-installatie bij strategieën met all-electric warmtepompen zijn een verandering ten opzichte van de SA2020. Daar werd dit type verwijderingskosten alleen in rekening gebracht bij warmtenetten.

Hoewel geluidswerende maatregelen in veel situaties in de praktijk wél worden toegepast, maken deze geen onderdeel uit van de kostenschattingen. Dit komt omdat er geen informatie beschikbaar is over de kosten en er geen indicatie beschikbaar is van de situaties waarin deze maatregel genomen dient te worden (Hesselink et al. 2025a). De geactualiseerde investeringskosten voor warmtepompen worden weergegeven in Tabel 26.

Tabel 26
Investeringskosten warmtepompen

Type pomp	Type gebouw		ASA2025		SA2020		SA2020	
			euro2023		euro2023		euro2018	
			min	max	min	max	min	max
lucht-water	Woningen	€/ aansluiting	4562	6843	5750	6645	4637	5359
		€/kW	430	644	397	620	320	500
lucht-water	Utiliteit	€/ aansluiting	3000	6500	4673	7789	3769	6281
		€/kW	750	1250	688	1147	555	925
Bodem	Woningen	€/ aansluiting	8760	12475	5739	10491	4628	8460
		€/kW	1105	1575	934	1115	753	899
Bodem	Utiliteit <100 kW	€/ aansluiting	5000	10000	6519	10864	5257	8761
		€/kW	1750	2750	1451	2418	1170	1950
Bodem	Utiliteit >100 kW	€/ aansluiting	140000	220000	190786	317977	153857	256428
		€/kW	300	400	363	605	293	488
Inpandig water-water	Woning label B+	€/ aansluiting	9000	11000	5580	5580	4500	4500
Inpandig water-water	Woning label C/D/E	€/ aansluiting	9000	11000	8680	8680	7000	7000
Inpandig water-water	Utiliteit	€/kW	868	868	868	868	700	700
Hybride	Woning	€/ aansluiting	3520	3520	2871	2871	2315	2315
		€/kW	380	380	310	310	250	250
Hybride	Utiliteit	€/ aansluiting	3000	6500	4673	7789	3769	6281
		€/kW	750	1250	688	1147	555	925
Booster	Woning	€/ aansluiting	3000	3000	2170	4030	1750	3250

5.10.2 Onderhoudskosten warmtepompen

Er is geen informatie verkregen uit de validatiesessie individuele installaties die aanleiding geeft de huidige waarden voor de onderhoudskosten van warmtepompen (zie Tabel 27)- vastgesteld als percentage van de investeringskosten- aan te passen.

CE Delft verondersteld in haar eindadvies dat in de SA2020 geen onderhoudskosten werden gerekend voor de inpandige (water-water) warmtepomp en booster (water-water) warmtepomp. Dat

klopt niet: in het Vesta MAIS model wordt bij eigen opwek in warmtenetten een onderhoudspercentage gerekend over het totaal van de in pandige kosten, inclusief de in pandige warmtepomp en/of booster. Het onderhoudspercentage voor deze systemen is niet aangepast.

Tabel 27
Onderhoudskosten warmtepompen

Beschrijving	Parameter	ASA2025	SA2020
		[% investering]	
Buitenlucht (lucht-water)	R_OH (eWP_lw_w)	1,5	1,5
	R_OH (eWP_lw_u)	2	2
Bodem (water-water)	R_OH (eWP_bw_w)	0,9	0,9
	R_OH (eWP_bw_uK)	1	1
	R_OH (eWP_bw_uG)	1	1
Inpandig (water-water)		2,5	2,5
Hybride (lucht-water)	R_OH (Hybride WP)	3,45	3,45
Booster (water-water)		2,5	2,5

5.10.3 Rendementen warmtepompen ruimteverwarming

Het rendement van een warmtepomp voor ruimteverwarming is afhankelijk van de afgiftetemperatuur. In de SA2020 werd de afgiftetemperatuur niet gespecificeerd. In de ASA2025 is ervoor gekozen om de afgiftetemperatuur afhankelijk te maken van de isolatiekwaliteit van de woning in de vorm van het schillabel. In een relatief goed geïsoleerde woning (schillabel A of B) is het doorgaans mogelijk om de woning comfortabel te verwarmen met lagere afgiftetemperaturen (mits het afgiftesysteem geschikt is voor lage-temperatuur afgifte). In Tabel 28 wordt de veronderstelde afgiftetemperatuur per schillabel weergegeven voor de ASA2025.

Tabel 28
Veronderstelde afgiftetemperatuur per schillabel

Schillabel	Afgiftetemperatuur [°C]
A(++++)	30 - 40
B	40 - 50
C	50 - 60
D	60 - 70
E/F/G	70 - 80

Op basis van de afgiftetemperaturen per schillabel in Tabel 28 zijn door CE Delft rendementen vastgesteld voor verschillende typen warmtepompen op basis van gelijkwaardigheidsverklaringen, ook wel BCRG-verklaringen genoemd (Hesselink et al. 2025a). Omdat de veronderstelde afgiftetemperatuur verschilt per schillabel, is het rendement van de warmtepomp schillabelafhankelijk.

De rendementen van verschillende typen warmtepompen worden weergegeven in Tabel 29. De rendementen zoals die in de SA2020 werden gehanteerd voor ruimteverwarming worden tussen haakjes getoond achter het rendement zoals die in de ASA2025 wordt gehanteerd.

Tabel 29

Rendementen warmtepompen voor ruimteverwarming [%]

Installatie	A	B	C	D	E	F	G
Buitenluchtwarmtepomp (lucht-water)	450 (466)	425 (381)	400 (339)	350 (339)	350 (339)	350 (339)	350 (339)
Bodemwarmtepomp (water-water)	550 (563)	500 (407)	450 (361)				
Inpandige warmtepomp (water-water), LT-afgifte	600 (800)	550 (800)	500 (320)	(320)	(320)		
Inpandige warmtepomp (water-water), ZLT- afgifte	600 (800)	550 (420)	(420)	(420)	(420)		
Hybride warmtepomp (lucht- water)	420 (380)	400 (380)	380 (380)	360 (380)			

Over het algemeen wordt verondersteld dat een warmtepomp warmte voor ruimteverwarming afgeeft op 50 graden, wat correspondeert met een doellabel B. In de technologie configuraties van de ASA2025 komt echter een (Z)LT-variant voor met een inpandige warmtepomp waarbij de temperatuur wordt opgewaardeerd naar 50 graden, bij een doellabelniveau D¹¹. Ook komt er een configuratie voor met een collectieve warmtepomp, die water van een (Z)LT bron opwaardeert naar 70 graden. Voor deze individuele gevallen heeft CE Delft, rekening houdend met de specifieke bron koppeling, aparte rendementen voor de warmtepomp bepaald. Deze worden weergegeven in Tabel 30.

Tabel 30

Rendementen voor ruimteverwarming bij specifieke techniekconfiguraties en doellabelniveaus woningen [%]

Installatie - bron-/ afgiftetemperatuur	A(++++)	B	C	D
WKO individueel – 15/50				450
WKO individueel – 15/70				350
WKO collectief – 15/70	350	350	350	350

Rendementen warmtepompen voor ruimteverwarming utiliteitsbouw

Afgezien van het vermogen, zijn warmtepompen die worden toegepast in de utiliteitsbouw vergelijkbaar met warmtepompen die worden toegepast in woningen, met eveneens vergelijkbare rendementen. Ondanks dat de rendementen voor warmtepompen bij woningen zijn aangepast is er in de ASA2025 echter voor gekozen om voor de rendementen van warmtepompen bij utiliteitsgebouwen de kengetallen aan te houden van de SA2020.

Dit komt omdat het Vesta MAIS model geen mogelijkheden biedt om een apart rendement te veronderstellen voor doellabel D bij utiliteit in de eindsituatie. De benodigde modelbewerkingen om het rendement bij utiliteitsgebouwen te differentiëren zijn te ingrijpend voor de actualisatie. De rendementen voor warmtepompen bij utiliteit worden weergegeven in Tabel 31.

¹¹ Deze strategievariant is in de ASA2026 komen te vervallen

Tabel 31

Rendementen voor ruimteverwarming bij specifieke techniekconfiguraties en doellabelniveaus utiliteit [%]

Installatie	A	B	C
Buitenluchtwarmtepomp (lucht-water)	339 (339)	339 (339)	339 (339)
Bodemwarmtepomp (water-water)	361 (361)	361 (361)	361 (361)
Inpandige warmtepomp (water-water), LT-afgifte	600 (800)	550 (420)	500 (320)
Inpandige warmtepomp (water-water), ZLT- afgifte	600 (800)	550 (800)	350 (420)
Hybride warmtepomp (lucht- water)	342 (342)	342 (342)	342 (342)

5.10.4 Rendementen warmtepompen warm tapwater

Naast aanpassingen van de rendementen van warmtepompen voor ruimteverwarming (zie voorgaande paragraaf) zijn ook de rendementen van warmtepompen aangepast voor het leveren van warm tapwater. De nieuwe rendementen zijn gebaseerd op (Hesselink et al. 2025a). De rendementen van warmtepompen voor warm tapwater voor woningen worden weergegeven in Tabel 32.

Tabel 32

Rendementen warm tapwater [%]

Installatie	ASA2025	SA2020
Buitenluchtwarmtepomp (lucht-water)	185	175
Bodemwarmtepomp (water-water)	210	300
Inpandige warmtepomp (water-water), LT-afgifte	240	275
Inpandige warmtepomp (water-water), ZLT- afgifte	240	275
Boosterwarmtepomp	210	375

Rendementen warmtepompen voor warm tapwater utiliteitsbouw

Rendementen voor warm tapwater in utiliteitsbouw zijn niet veranderd in de actualisatie ten opzichte van de SA2020.

5.10.5 Inzet hybride warmtepompen

Een hybride warmtepomp kan in de warmtebehoefte voorzien met een elektrische warmtepomp-gedeelte en een HR ketel gedeelte. In Vesta MAIS wordt één waarde gehanteerd voor het aandeel op de totale volumevraag voor ruimteverwarming waarin het warmtepompgedeelte voorziet. Dit noemen we ook wel de ‘inzet’ van de hybride warmtepomp.

Voor het resterende deel van de volumevraag voor ruimteverwarming (de piekvraag) wordt de warmtevoorziening overgenomen door het HR-ketel gedeelte van de hybride warmtepomp, tegen een ander rendement. Een voorstel om de inzet van de hybride warmtepomp schillabelspecifiek te maken werd door experts gedurende de validatiesessies van de hand gedaan. Uit het ‘Demonstratieproject hybride warmtepompen in de gebouwde omgeving’ zou blijken dat de inzet van de hybride warmtepomp niet afhankelijk is van het woningtype of het schillabel.

Voor warm tapwater wordt in het Vesta MAIS model aangenomen dat deze wordt ingevuld door middel van het HR-ketelgedeelte van de hybride warmtepomp. De inzet van de hybride warmtepomp werkt door op ruimteverwarming in het Vesta MAIS model en hier is besloten de 78% aan te houden die ook was verondersteld in de vorige Startanalyse. Hiermee wordt afgeweken van het advies van CE Delft om dit aan te passen, omdat de 75% van het demonstratieproject op de totale aardgasvraag gaat en niet alleen om ruimteverwarming. De inzet van de hybride warmtepomp blijft dus gelijk tussen de twee versies van de Startanalyse, zoals ook te zien in Tabel 33.

Tabel 33
Inzet hybride warmtepompen [%]

Parameterwaarde	ASA2025	SA2020
Aandeel van totale volumevraag warmte voor ruimteverwarming ingevuld door warmtepomp in hybride installatie (P_vol)	78	78

5.11 Kentallen warmtenetten

De methode van de actualisatie en de functie van de validatiesessies daarin wordt beschreven in paragraaf 5.1. Naast de validatiesessie individuele installaties, heeft RVO op verzoek van PBL ook een validatiesessie warmtenetten georganiseerd. Deze validatiesessie is inhoudelijk vormgegeven door CE Delft. CE Delft heeft de belangrijkste kengetallen in relatie tot de berekeningen rond warmtenetten in Vesta MAIS voorgelegd aan de deelnemers van de validatiesessie en heeft de opgehaalde informatie verwerkt in haar eindadvies aan PBL. De wijzigingen van de kengetallen in relatie tot warmtenetten die in deze paragraaf worden beschreven zijn goeddeels gebaseerd op dit eindadvies van CE Delft. De wijzigingen worden per kengetal beschreven:

- In de paragrafen 5.11.1 tot en met 5.11.6 worden wijzigingen in kengetallen beschreven die relatie hebben met warmtebronnen.
- Paragrafen 5.11.7 en 5.11.8 beschrijven wijzigingen in kengetallen in relatie tot de dimensionering van basislast, pieklast en vermogensvraag bij warmtenetten.
- Paragrafen 5.11.9 tot en met 5.11.15 beschrijven wijzigingen in kengetallen in relatie tot de warmteleidingen buiten het pand, alsook kengetallen in de relatie tot het warmte overdracht station (WOS) en de collectieve warmtepomp.
- Paragrafen 5.11.16 tot en met 5.11.19 beschrijven wijzigingen in kengetallen in relatie tot het pand bij aansluiting op een warmtenet.

5.11.1 Investerings- en onderhoudskosten geothermie-installatie

De uitkoppelkosten voor geothermie zijn geactualiseerd op basis van het eindadvies basisbedragen voor de SDE++ voor 2025 (Lensink en Eggink 2025). De SDE++ bepaalt investeringskosten voor het

jaar waarin verwacht wordt dat de investeringsbeslissing valt¹². Voor geothermieprojecten is dit, bij dit advies, het jaar 2028. De (concept) investeringskosten die zijn vastgesteld, zijn teruggerekend naar het valutajaar 2023. In de investeringskosten van de SDE++ 2025 zijn ook de kosten voor een warmteoverdrachtstation (WOS) opgenomen: voor deze kosten wordt gecorrigeerd, omdat deze binnen Vesta MAIS worden bepaald. Dit levert de investeringskosten voor geothermie in Tabel 34.

Tabel 34
Investeringskosten geothermie

	ASA2025	SA2020	SA2020
	euro2023	euro2023	euro2018
Geothermie-installatie [euro2023/ kW]	2064	1889	1523

Onderhoudskosten geothermie

Het Vesta MAIS model drukt de onderhoudskosten van geothermie-installaties uit in een percentage van de totale investeringskosten. CE Delft stelt voor om de onderhoudskosten voor geothermie omhoog bij te stellen. Het voorstel van CE Delft is geschaald op basis van de SDE++ 2024. De aanpassing van de onderhoudskosten is beperkt en de verwachting is dat dit schalingspercentage vergelijkbaar zal zijn op basis van de recentere SDE++ 2025 basisbedragen. Het voorstel van CE Delft is daarom overgenomen in de ASA2025 en wordt weergegeven in Tabel 35.

Tabel 35
Onderhoudskosten geothermie

	ASA2025	SA2020
	procent	procent
Onderhoudskosten geothermie (R_ow_onderhoud (geo))	7,3	6,9

5.11.2 Efficiëntie van warmteproductie uit geothermie

In haar eindadvies stelt CE Delft voor om het rendement voor de warmteproductie uit geothermie aan te passen (Hesselink et al. 2025a). Dit voorstel is overgenomen in de ASA2025. De aanpassing van het rendement voor geothermie wordt weergegeven in Tabel 36.

Tabel 36
Efficiëntie van warmteproductie uit geothermie

	ASA2025	SA2020
	%	%
SPF_geothermie	2169	2304

5.11.3 Uitkoppelkosten MT-restwarmtebronnen

Er zijn kosten verbonden aan het ontsluiten van bronnen opdat ze warmte kunnen leveren aan een MT- (of HT) warmtenet. Deze zogenaamde ‘uitkoppelkosten’ verschillen per type bron. In de

¹² Dit heet de ‘Financial investment decision’ (FID).

updatestudie van CE Delft over de kengetallen voor warmtenetten in Vesta MAIS zijn al aanbevelingen gedaan voor de actualisatie van deze uitkoppelkosten. In de ASA2025 wordt aangesloten bij de aanbevelingen van de updatestudie. De uitkoppelkosten per bron worden weergegeven in Tabel 37. Vooral de kosten voor hulpketels zijn fors gedaald in de ASA2025 ten opzichte van de SA2020. In haar eindadvies naar aanleiding van de validatiesessies beschrijft CE Delft dat de kosten die in de SA2020 werden gehanteerd voor de hulpketel erg hoog zijn en eerder aansluiten bij de kosten voor een nieuwe gasmotor in plaats van een nieuwe gasgestookte hulpketel. In de ASA2025 zijn de kosten voor een hulpketel daarom lager ingeschat¹³.

Tabel 37
Uitkoppelkosten MT-restwarmtebronnen

		ASA2025		SA2020		SA2020	
		euro2023		euro2023		euro2018	
	Eenheid	min	max	min	max	min	max
STEG	€/kW	250	250	186	217	150	175
Gasmotor	€/kW	992	2232	992	2232	800	1800
Gasturbine	€/kW	150	200	217	229	175	185
Industrie	€/kW	500	500	279	341	225	275
Raffinaderij	€/kW	190	235	186	217	150	175
AVI	€/kW	190	235	186	217	150	175
BMC	€/kW	190	235	186	217	150	175
Hulpketel	€/kW	250	250	1612	1612	1300	1300
BioWKK	€/kW	1200	1200	515	515	415	415

5.11.4 Investerings- en onderhoudskosten TEO

Op basis van de validatiesessies hebben diverse partijen voorgesteld om voor de kosten van thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) gebruik te maken van het 'Rekenmodel kosten aquathermie' van WarmingUp. WarmingUp is een onderzoekscollectief van diverse organisatie die werken in en onderzoek doen naar de warmtetransitie, onder andere: Deltares, KWR, TNO en de TU Eindhoven. Zoals ook in het eindadvies van CE Delft wordt beschreven kent de Startanalyse ook configuraties waarin WKO-systemen zonder TEO worden toegepast: daarom worden de kosten voor een WKO en voor het uitkoppelen van TEO bronnen apart geschat. Ook kosten voor de collectieve warmtepomp die bij TEO systemen wordt toegepast, worden apart in beeld gebracht (zie paragraaf 5.11.12), alsook de kosten voor het leidingwerk dat de TEO bron verbindt met de collectieve warmtepomp en het WKO systeem (zie paragraaf 5.11.16).

De investeringskosten voor TEO beslaan dus alleen het aquathermiegedeelte: de warmtewisselaar in het oppervlaktewater. CE Delft heeft TEO-gerelateerde kosten geschat voor verschillende projectgroottes, gebruikmakend van het rekenmodel van WarmingUp en hebben deze kosten met een lineaire regressie afhankelijk gemaakt van het vermogen van de TEO-installatie. Dit levert de geactualiseerde investeringscomponenten in Tabel 38.

¹³ Let op: de parameter voor de hulpketel wordt niet gebruikt in de berekening voor de laagste nationale kosten. Voor warmtenetten zijn de kosten van de piekketel al geïntegreerd in de kosten van de WOS (zie paragraaf 5.11.9).

Tabel 38
Investeringskosten TEO

		ASA2025	SA2020	SA2020
parameter	eenheid	euro2023	euro2023	euro2018
Ki_TEO_vast_min_i	Eur	110000	111602	90000
Ki_TEO_vast_max_i	Eur	140000	136402	110000
Ki_TEO_var_min_i	Eur_kW	120	246	198
Ki_TEO_var_max_i	Eur_kW	150	300	242

Onderhoudskosten

CE Delft stelt in haar eindadvies ook voor om de onderhoudskosten voor TEO installaties te verhogen, gebaseerd op de WarmingUp Tool. Het Vesta MAIS model drukt deze uit in een vast percentage van het investeringsbedrag. Het voorstel van CE Delft is overgenomen in de ASA2025 (zie Tabel 39).

Tabel 39
Onderhoudskosten geothermie

	ASA2025	SA2020
	procent	procent
Onderhoudskosten geothermie (R_ow_onderhoud (geo))	4,5	3

5.11.5 Modelwaarden WKO

CE Delft heeft nieuwe investeringskosten voor WKO-systemen aangeleverd voor de ASA2025 op basis van de RVO/Arcadis kostendatabase 2024. In de RVO/Arcadis 2024 database staan investeringskosten voor WKO-systemen met divers thermisch vermogen. De meeste systeemvermogens van WKO-projecten in de RVO/Arcadis database zijn echter groter dan 500 kW (middelgrote systemen).

Deze middelgrote systemen geven na een lineaire regressieanalyse van de kosten als functie van het thermisch vermogen ongeveer 100.000 euro voor de vaste investeringscomponent en 100 euro voor de variabele component. In de modellering in het Vesta MAIS model komen echter ook woningclusters voor met WKO-systemen met lager vermogen (kleiner dan 500 kW). Voor deze systemen met klein vermogen worden de investeringskosten onderschat, wanneer de trendlijn alleen wordt gebaseerd op kosten van WKO-systemen met middelgroot vermogen. In de Arcadis 2024 database komt één WKO-systeem voor met klein vermogen (125 kW).

Ondanks het lage vermogen van 125 kW heeft dit systeem relatief hoge projectkosten en lijkt daarmee over gedimensioneerd: afgaande op de systeemeigenschappen die in de RVO/ Arcadis 2024 database worden beschreven, zijn doorgaans hogere vermogens mogelijk. Wanneer het systeem met 125 kW vermogen als datapunt wordt toegevoegd en de lineaire regressie opnieuw wordt uitgevoerd, geeft de trendlijn 140.000 euro vaste kosten en 80 euro variabele kosten. Hiermee worden de kosten voor WKO-systemen met klein vermogen waarschijnlijk iets overschat. Voor de definitieve trendlijn, waarmee zowel de kosten voor WKO-systemen met klein vermogen alsook

middelgroot vermogen moeten worden beschreven, wordt van het gemiddelde uitgegaan van de twee trendlijnen. De investeringskosten worden weergegeven in Tabel 40.

De ASA2025 is een wat-als studie (zie paragraaf 2.1) met als doel om een indicatie te krijgen van de kosten als een buurt met een lage-temperatuur strategie wordt verduurzaamd en clusters van gebouwen worden aangesloten op een WKO-systeem, zelfs wanneer dit in de praktijk niet kosteneffectief is. Hoge kosten voor strategievarianten met WKO-systemen komen daarom geregeld voor gezien de hoge gemiddelde vaste investeringscomponent (120.000). Deze kosten hangen vooral samen met de hoge kosten voor de boring en worden geregeld gemaakt voor kleine gebouwclusters. Het is dan onwaarschijnlijk dat een WKO-variant naar voren komt als verduurzamingsoptie met de laagste nationale kosten.

Tabel 40
Investeringskosten WKO

		ASA2025	SA2020	SA2020
		euro2023	euro2023	euro2018
Minimaal vast	euro2023	100000	167403	135000
Minimaal variabel	euro2023/kW	100	128	104
Maximaal vast	euro2023	140000	204604	165000
Maximaal variabel	euro2023/kW	80	157	127

Beperkingen benadering investeringskosten WKO-systemen

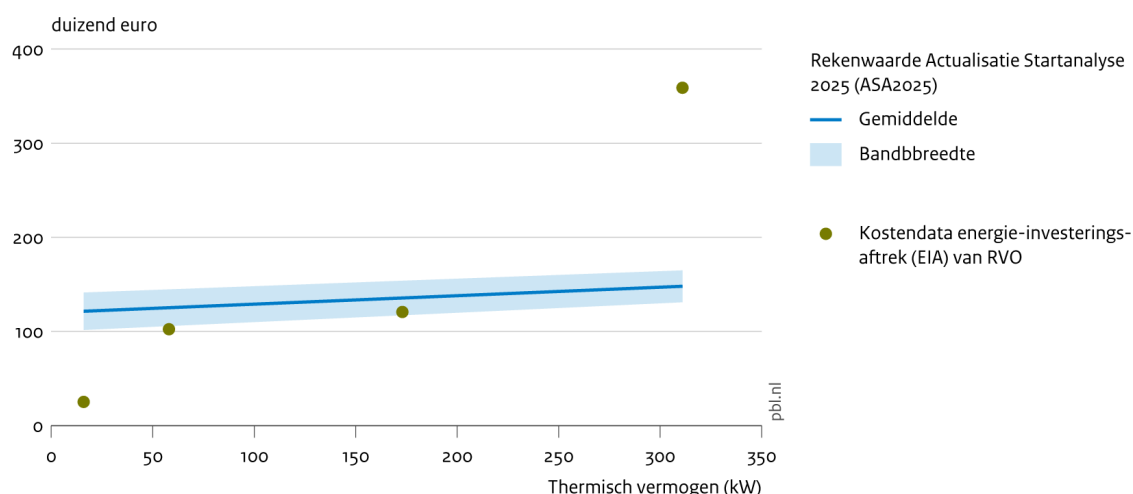
De benadering van de investeringskosten met een enkele lineaire regressielijn voor WKO-systemen in Vesta MAIS kent beperkingen. Dit komt omdat er in de praktijk eigenlijk twee soorten WKO-systemen bestaan: de meest gangbare methode voor seizoensopslag in Nederland is in watervorende lagen in de ondiepe grond (aquifers). Dit systeem wordt meestal gebruikt voor warmte- én koude-opslag (WKO): in de winter wordt warmte aan het systeem onttrokken en in de zomer wordt via de omgekeerde route koude onttrokken aan de ondergrond. Een dergelijk systeem met aquifers wordt ook wel een 'open bodemenergiesysteem' (OBES) genoemd. OBES systemen worden meestal gebruikt voor grotere groepen woningen, appartementencomplexen en grote utiliteitsgebouwen. Dit komt omdat de boring naar een aquifer duur is en daarom eigenlijk alleen wordt overwogen bij een grotere vermogensvraag. Voor kleinere groepen woningen of individuele gebouwen wordt eerder gebruik gemaakt van een gesloten bodemenergiesysteem (GBES) met bodemlussen waar water of koelvloeistof doorheen stroomt. De (meer)kosten van de bodemlussen moeten dan opwegen tegen de kosten voor de boring naar een aquifer (NPLW g.d.c).

Bij de beide WKO-systemen (OBES en GBES) hoort een ander kostenplaatje. In Vesta MAIS wordt echter alleen rekening gehouden met open WKO-systemen. Het is daarom mogelijk dat WKO-systemen met laag vermogen goedkoper kunnen worden vormgegeven met een gesloten bodemenergiesysteem dan in de huidige modellering wordt verondersteld. Er is echter weinig kosteninformatie beschikbaar over gesloten bodemsystemen met een laag vermogen. Ter controle heeft het PBL kosteninformatie van een viertal WKO projecten met klein vermogen ontvangen van RVO op basis van de energie-investeringsaftrek (EIA). De gemiddelde kostentrendlijn die voor de ASA2025 is bepaald lijkt in ieder geval projecten tussen de 58 en 173 kW vermogen goed te

beschrijven¹⁴ (zie Figuur 31). Kosten voor projecten met klein vermogen lijken te worden overschat. Deze conclusie is echter gebaseerd op maar één datapunt. Daarnaast zou het vergaande modelaanpassingen vergen om onderscheid te maken in de twee WKO-systemen. Daarom is voor de ASA2025 besloten om geen onderscheid te maken in de kostenbenadering voor WKO-systemen met laag en middelgroot vermogen.

Figuur 31

Investeringskosten warmte- en koudeopslag (WKO) versus kostendata energie-investeringsaftrek



Bron: RVO 2024; bewerking PBL

Deze figuur geeft de (gemiddelde) investeringskosten voor WKO-systemen op basis van de kengetallen die voor de ASA2025 zijn vastgesteld. Die investeringskosten zijn in de figuur afgezet tegen een viertal datapunten uit de EIA, die de kosten geven van WKO-systemen met klein thermisch vermogen. Uit de figuur blijkt dat de ASA2025 kengetallen de kosten goed beschrijven tussen de 58 en 173 kW thermisch. Kosten lijken op basis van één datapunt te worden overschat voor projecten kleiner dan 58 kW.

5.11.6 Regeneratiekosten WKO

In strategievarianten met een WKO-bron zal het beschikbare volume restwarmte (door koeling) uit gebouwen niet genoeg zijn om de WKO-bron van warmte te voorzien. Om ervoor te zorgen dat de WKO-bron kan beschikken over voldoende warmte kan gebruik worden gemaakt van een 'regeneratievoorziening'. Er worden twee typen regeneratie toegepast:

- Droge koelers: dat zijn buitenluchtcollectoren waarmee warmte uit de buitenlucht wordt geoogst in warmere seizoenen en wordt doorgegeven aan de WKO-bron voor gebruik in de winter.
- Thermische energie uit oppervlaktewater (TEO): waarbij warmte in de warmere seizoenen wordt gewonnen uit oppervlaktewater.

¹⁴ Voor de controle wordt het bedrag genoemd dat in de EIA verklaring wordt genoemd. Het is niet altijd duidelijk hoe dit bedrag is opgebouwd en in hoeverre deze kan worden vergeleken met de kosten-schattingen voor WKO systemen in Vesta-MAIS. De bedragen in de EIA verklaringen worden daarom alleen gebruikt om te kijken of de modelschattingen qua ordegrrootte in de buurt komen van kosten voor WKO projecten met klein thermisch vermogen. De EIA informatie wordt niet gebruikt voor het bepalen van de kengetallen in het model.

In de ASA2025 zijn er diverse strategievarianten waarbij een WKO wordt gekoppeld aan een (TEO) LT-warmtenet. In dat geval hoeft er geen aanvullende regeneratievoorziening te worden geplaatst. In strategievarianten met een WKO zónder aansluiting op een LT warmtenet, worden kosten in rekening gebracht voor een regeneratievoorziening. In de SA2020 werd uitgegaan van circa 10% regeneratiekosten bovenop de kosten voor het WKO systeem. Op basis van informatie van de gemeente Utrecht is in de ASA2025 dit percentage voor de regeneratiekosten verhoogd naar 25%.

5.11.7 Dimensionering basis- en pieklast bij warmtenetten

In het functioneel ontwerp van het Vesta MAIS model staat beschreven dat, indien de piekvraag en basislast door twee verschillende apparaten worden ingevuld, moet worden vastgesteld hoe groot beide apparaten moeten worden gedimensioneerd ten opzichte van de totale capaciteitsvraag. In de SA2020 werd aangenomen dat er geen bijstook nodig is bij LT-warmtenetten.

Diverse organisaties hebben in het kader van de validatiesessie warmtenetten aangegeven dat bijstook voor LT-warmtenetten wel wordt toegepast in de praktijk. Daarom wordt in de ASA2025 aangenomen dat er bij LT-warmtenetten 10% bijstook nodig is (zie Tabel 41). Ook de volume-aandelen voor MT-warmtenetten zijn gewijzigd op basis van het eindadvies van CE Delft (Hesselink et al. 2025a).

Tabel 41

Vermogens- en volumeaandelen hoofdwarmtebron en bijstook voor typen warmtenetten [%]

Beschrijving	ASA2025	SA2020
MT volumeaandeel hoofdwarmtebron	85	80
MT volumeaandeel bijstook	15	20
LT volumeaandeel hoofdwarmtebron	90	100
LT volumeaandeel bijstook	10	0
ZLT volumeaandeel hoofdwarmtebron	100	N.v.t.
ZLT volumeaandeel bijstook	0	N.v.t.

5.11.8 Vermogensvraag warmtenetten

In de SA2020 werd gerekend met een oppervlakte-afhankelijke vermogensvraag voor woningen die worden aangesloten op een warmtenet. Daarbij werd onderscheid gemaakt tussen grondgebonden en gestapelde woningen. In de praktijk is de vermogensvraag echter afhankelijk van de warmtevraag. In de ASA2025 is er daarom voor gekozen om de vermogensvraag gelijk te stellen aan 25% van de warmtevraag, conform de richtlijnen van de NEN7120 (zie Tabel 42).

Tabel 42

Vermogensvraag woningen die worden aangesloten op een warmtenet

		ASA2025	SA2020		
			min	max	gem
Vaste vermogensvraag ruimteverw. Laagbouw woningen	kW/Aansl.		3,08	5,03	4,06
Var. vermogensvraag ruimteverw. Laagbouw woningen	kW/m ²		0,04	0,03	0,04
Vaste vermogensvraag tapwater Laagbouw woningen	kW/Aansl.		4		4,00
Vaste vermogensvraag ruimteverw. Hoogbouw woningen	kW/Aansl.		2	2,39	2,20
Var. vermogensvraag ruimteverw. Hoogbouw woningen	kW/m ²		0,03	0,04	0,04
Vaste vermogensvraag tapwater Hoogbouw woningen	kW/Aansl.		2		2,00
Vermogensvraag ruimteverwarm. Laagbouw én Hoogbouw woningen	kW/Aansl.	25% van de vraag ruimteverwarming			
Vermogensvraag tapwater Laagbouw én Hoogbouw woningen	kW/Aansl.	25% van de vraag warm tapwater			

5.11.9 Kosten warmte-overdrachtsstation en piekketel

In haar eindadvies naar aanleiding van de validatiesessies warmtenetten stelt CE Delft voor om de investeringskosten voor een warmte-overdrachtsstation (WOS) op te delen in twee individuele kostenparameters: kosten voor de 'piekketels' en kosten voor het 'overdrachtsstation' (lees: gebouw met hulpinstallaties). CE Delft stelt dit voor om spraakverwarring te voorkomen, omdat een WOS niet noodzakelijkerwijs hoeft te beschikken over een gasgestookte piekketel. In de ASA2025 wordt de kostenparameter niet modelmatig gescheiden. De kostenopbouw van het kengetal wordt wel gespecificeerd, waarbij onderscheid wordt gemaakt in kosten voor de piekketels en de kosten voor het gebouw met hulpinstallaties. Gezamenlijk vormen deze onderdelen de investeringskosten voor de WOS (zie Tabel 43).

Tabel 43

Investeringskosten warmte-overdrachtstation (WOS)

		ASA2025		SA2020		SA2020	
		euro2023		euro2023		euro2018	
Parameter	eenheid	min	max	min	max	min	max
Ki_WOS	€/kW	250	300	141	173	114	139
Waarvan piekketels	€/kW	131	149				
Waarvan gebouw met hulpinstallaties	€/kW	118	150				

5.11.10 Kosten hulpketel

De kosten voor piekketels in warmtenetten maken (standaard) onderdeel uit van de kosten voor een warmte overdracht station.

5.11.11 Kosten onderstations

Voor de kosten van onderstations is geen nieuwe input ontvangen in het kader van de validatiesessie. De investeringskosten van onderstations worden naar beneden bijgesteld op basis van de CE Delft updatestudie (Koster et al. 2022). De investeringskosten voor onderstations worden weergegeven in Tabel 44.

Tabel 44
Investeringskosten onderstations

	ASA2025	SA2020
	€/kW	€/kW
min	53	120
max	143	150

5.11.12 Kosten en rendementen collectieve warmtepomp

CE Delft heeft op basis van het rekenmodel kosten aquathermie van WarmingUP (eerder besproken in paragraaf 5.11.12), een nieuw kostenkengetal voorgesteld voor collectieve warmtepompen. De kengetallen die CE Delft voorstelt zijn vergelijkbaar met de kengetallen die in de SA2020 werden gehanteerd na inflatiecorrectie. De administratie- en onderhoudskosten van collectieve warmtepompen worden uitgedrukt als percentage van de investeringskosten: deze blijven gelijk tussen de SA2020 en de ASA2025 met respectievelijk 2,5 en 3,5%. Zie Tabel 45 voor de investeringskosten van een collectieve warmtepomp.

Tabel 45
Investeringskosten collectieve warmtepomp

		ASA2025		SA2020		SA2020	
		euro 2023		euro2023		euro2018	
Parameter	Eenheid	min	max	min	max	min	max
Ki_eWP_coll	€/kW	1000	1500	992	1488	800	1200

Rendementen collectieve warmtepomp

Voor de rendementen van collectieve warmtepompen verwijst CE Delft naar de updatestudie over warmtenetten uit 2022 (Naber & Dehens 2022) (zie Tabel 46).

Tabel 46
Rendementen collectieve warmtepompen bij verschillende bron- en afgiftetemperatuur

	ASA2025	SA2020
	%	%
15 naar 50 °C	420	320
15 naar 70 °C	300	300
30 naar 50 °C	590	420

	ASA2025	SA2020
30 naar 70 °C	380	320
50 naar 70 °C	540	0

Het rendement van collectieve warmtepompen is afhankelijk van de temperatuur van de bron en de temperatuur waarnaar moet worden opgewaardeerd. Verder moet bij het bepalen van het rendement rekening worden gehouden met de isolatiekwaliteit in de doelsituatie in de vorm van het schillabel en de aanwezigheid van een WKO installatie. In de (Z)LT strategievarianten die we in de ASA2025 hanteren komen alleen brontemperaturen voor van 15 (ZLT) of 30 (LT) graden. We maken geen onderscheid in strategievarianten met een afgiftetemperatuur van 30 graden.

In Tabel 47 geven we een overzicht van de rendementen die we aannemen voor de collectieve warmtepompen in de s3 (Z)LT strategievarianten¹⁵. CE Delft heeft apart rendementen bepaald voor collectieve warmtepompen bij een isolatie doellabelniveau van schillabel D.

Over het algemeen zijn de rendementen van collectieve warmtepompen verbeterd ten opzichte van de aannamen in de SA2020. Zie Tabel 46 voor een overzicht van de rendementen voor collectieve warmtepompen bij een isolatie doellabelniveau van schillabel B.

Tabel 47

Rendementen collectieve warmtepompen per s3 (Z)LT-warmte strategievariant

	type aanlevering	doellabel	bron	aanlever	afgifte	ASA2025	SA2020
s3a	individueel	B	30	30	50	550	800
s3b	individueel, WKO	B	15	15	50	550	nvt
s3c	collectief, WKO	B	15	70	70	350	300
s3d	collectief, WKO	B	15	50	50	420	320
s3e	individueel, WKO	B	15	15	50	550	420
s3f	Collectief	D	30	70	70	380	320
s3g16	individueel, WKO	D	15	15	70	350	nvt
s3h	collectief, WKO	D	15	70	70	350	300

5.11.13 Leidingverliezen warmtenetten

Leidingverliezen in warmtenetten ontstaan onder andere door warmte uitwisseling tussen de warmteleidingen en de bodem. In de SA2020 werden leidingverliezen in warmtenetten gemodelleerd in de vorm van een aandeel van het totale warmtevolume. Leidingverliezen zijn in de praktijk echter afhankelijk van de brontemperatuur van het water en de retourtemperatuur. CE Delft heeft voor verschillende temperatuurregimes leidingverliezen vastgesteld in [GJ/ aansluiting].

Het PBL heeft kengetallen gekozen voor de leidingverliezen op basis van bron- en retourtemperaturen die stroken met warmtenetsystemen in de ASA2025 strategievarianten. Tabel 48 geeft de leidingverliezen per type warmtenet zoals ze voor de ASA2025 zijn vastgesteld.

¹⁵ De s3g variant is hier ingevuld conform de ASA2026 uitgangspunten om verwarring te voorkomen (zie paragraaf 6.1.7)

¹⁶ De S3g variant is hier ingevuld conform de ASA2026 uitgangspunten om verwarring te voorkomen (zie paragraaf 6.1.7)

Leidingverliezen in warmtenetten zijn van invloed op het vermogen (of ‘capaciteit’) waarop het secundaire warmtenet moet worden gedimensioneerd: het netwerk moet immers worden overgedimensioneerd om te compenseren voor de leidingverliezen. Het kengetal voor capaciteitsverlies (gemiddeld 5%) is in Vesta MAIS echter onafhankelijk bepaald van de verliezen in de leidingen (van der Molen et al. 2021). Het kengetal voor het capaciteitsverlies is in de ASA2025 niet geactualiseerd. Ondanks dat er geen leidingverliezen worden gerekend in ZLT netten wordt daardoor toch rekening gehouden met capaciteitsverlies bij het bepalen van het benodigde vermogen van het ZLT netwerk.

Tabel 48
Leidingverliezen warmtenetten

Type warmtenet	Temperatuur bron	Retourtemperatuur	Delta T	GJ/ aansluiting
ZLT	15	9	6	0
LT	30	15	15	2,6
MT/ HT	70	40	30	10,5

5.11.14 Investeringskosten warmteleidingen

Investeringskosten voor warmteleidingen in het Vesta MAIS model zijn afhankelijk van de ongelijktijdige vermogensvraag van een pand. De kosten per meter voor de aansluitleidingen zijn gebouwspecifiek en afhankelijk van de (ongelijktijdige) vermogensvraag per pand: de aansluitleidingen worden immers eveneens gedimensioneerd op het gevraagde vermogen van het pand.

CE Delft doet in haar eindadvies twee suggesties voor een nieuwe methode om de investeringskosten van warmteleidingen mee te bepalen. Idealiter wordt een nieuwe methode gebaseerd op de updatestudie warmtenetten van CE Delft uit 2022 (Koster et al. 2022). De methode die in de updatestudie wordt voorgesteld, maakt het mogelijk om de investeringskosten voor warmteleidingen afhankelijk te maken van bron- en retourtemperaturen van het netwerk, op een vergelijkbare manier als bij het bepalen van de leidingverliezen (zie voorgaande paragraaf 5.11.13). CE Delft geeft in haar eindadvies al aan dat voor de methode die in de updatestudie wordt voorgesteld vergaande modelbewerkingen nodig zijn en doet daarom eveneens een suggestie voor een alternatieve, eenvoudiger benadering door de huidige kostencurve met een percentage te verhogen. Op basis van ontvangen input van de validatiesessie warmtenetten beveelt CE Delft aan om de kosten met 30% te verhogen: diverse partijen hebben aangegeven zich te herkennen in een dergelijke kostenstijging. In de ASA2025 wordt gebruik gemaakt van de eenvoudige benadering en zijn de investeringskosten voor warmteleidingen met 30% verhoogd, voor zowel (Z)LT alsook MT/ HT warmteleidingen.

5.11.15 Leercurve ZLT-leidingen

Bij de validatiesessies warmtenetten werd door de deelnemers aangegeven dat kosten voor ZLT-leidingen op termijn lager kunnen worden dan die van overige type warmtenetten. Die verwachting is gebaseerd op de idee dat- ondanks dat dit nog niet helemaal strookt met de huidige praktijk- ZLT-leidingen minder diep hoeven te worden gelegd en er daarom bespaard kan worden op graafwerkzaamheden. Op basis van de ontvangen input van de validatiesessie stelt CE Delft in haar eindadvies voor een leercurve toe te voegen voor warmtenetten, waarmee de kosten van ZLT-leidingen 25% zouden dalen ten opzichte van de kosten voor LT- en MT- leidingen. Een leercurve van 25% zou stroken met een kostendaling van circa 40% voor de graafwerkzaamheden.

Het PBL heeft ervoor gekozen om 25% aan te houden als maximale kostendaling voor ZLT-leidingen. Voor het minimum wordt daarom geen kostendaling verondersteld van ZLT-leidingen ten opzichte van LT- en MT-leidingen. Gemiddeld leidt dit tot een kostendaling van 12,5% voor ZLT-leidingen ten opzichte van LT- en MT-leidingen.

5.11.16 Kosten aansluitleidingen en wijknet

In Vesta MAIS wordt vanaf het onderstation naar de woning onderscheid gemaakt in het ‘wijknet’ en de ‘aansluitleidingen’. De aansluitleiding verbindt een gebouw met de straat. Het wijknet bestaat uit de warmteleidingen die de aansluitleidingen (van het gebouw naar de straat) verbinden met het onderstation. De wijze waarop de lengte van wijknet en aansluitleidingen wordt bepaald verschilt tussen de warmtenetstrategieën.

Voor strategievarianten met MT- of HT-warmtenetten (S2) wordt de lengte van het wijknet en de aansluitleidingen in een buurt vastgesteld met de methode die in paragraaf 5.5.2 staat beschreven. Daarbij wordt de lengte van het wijk- en aansluitnet bepaald op basis van de straatlengte. Voor het bepalen van de kosten wordt de gemiddelde lengte van de aansluitleiding vermenigvuldigt met de leidingkosten (zie vorige paragraaf).

Voor strategievarianten met (zeer) lage temperatuur warmtenetten waarbij de clustermethode wordt toegepast, wordt de lengte van het aansluitnet ook afgeleid van de Greenvis methode: eerst wordt vastgesteld in welke buurt een cluster tot stand komt. Vervolgens wordt voor die buurt de gemiddelde lengte van de aansluitleiding per pand vastgesteld. Die gemiddelde lengte van de aansluitleiding per pand wordt aangehouden voor alle gebouwen binnen het warmtecluster. Voor het bepalen van de kosten wordt de gemiddelde lengte van de aansluiting vermenigvuldigt met de leidingkosten (zie vorige paragraaf). Vervolgens worden de kosten nog vastgesteld per verblijfsobject, op basis van het aantal verblijfsobjecten in het pand.

Voor het bepalen van de lengte en de kosten van het wijknet in een warmtecluster wordt een aparte inschatting gemaakt. In de SA2020 was dit bedrag gebaseerd op 6 meter per pand. In recente praktijkprojecten waar WIS-subsidie voor is aangevraagd, lag de gemiddelde lengte per kleinverbruiker echter hoger: rond de 9 meter. In de ASA2025 wordt daarom uitgegaan van een gemiddelde van 9 meter per aansluiting voor het bepalen van de kosten voor het wijknet. In combinatie met de hogere kosten voor de leidingen (zie voorgaande) levert dit ruim 6500 euro per aansluiting voor het wijknet in warmteclusters (zie Tabel 49).

Tabel 49
Kosten wijknet

	ASA2025	SA2020	SA2020
	euro2023	euro2023	euro2018
Kosten/ aansluiting	6509	4139	3338

5.11.17 Inpandige distributiekosten

Op basis van de input die is opgehaald bij de validatiesessie warmtenetten en informatie uit het ‘Keuzemodel warmtenet aansluiten bestaande bouw’ van Atriensis uit 2023, heeft CE Delft nieuwe kostenschattingen gemaakt voor de inpandige distributiekosten. De kostenschattingen van CE Delft voor inpandige distributie zijn in de ASA2025 overgenomen. De kengetallen voor de inpandige distributiekosten, uitgedrukt in een investeringsbedrag per aansluiting, worden weergegeven in Tabel 50.

Tabel 50
Inpandige distributiekosten gedifferentieerd naar type woning

Beschrijving	Parameter	Eenheid	ASA2025	SA2020	SA2020
			euro2023	euro2023	euro2018
grondgebonden woningen	Ki_in- pand_laag	€/aansluiting	2700	3100	2500
gestapelde woningen zonder blokverwarming	Ki_in- pand_hoog _g eenblok	€/aansluiting	3000	1860	1500
gestapelde woningen met blokverwarming	Ki_in- pand_hoog _m etblok	€/aansluiting	1444	895	722

5.11.18 Kosten afleverset

De kosten voor de afleverset zijn omhoog bijgesteld op basis van informatie die is opgehaald bij de validatiesessie over warmtenetten. Naast kosten voor materiaal, arbeid om de afleverset aan te sluiten en in te regelen en de warmtemeter, worden ook kosten in rekening gebracht voor het demonteren en afvoeren van de oude installatie. In het eindadvies van CE Delft wordt voorgesteld om uit te gaan van 700,- voor de verwijdering van de CV installatie. Daarmee zouden de totale kosten voor de afleverset, inclusief demonteren en afvoeren van de oude installatie, uitkomen op 2000 euro per aansluiting. PBL heeft de kosten voor het demonteren en afvoeren van de CV installatie bij montage van een afleverset echter gelijkgesteld aan de kosten voor het demonteren en afvoeren van de CV installatie bij montage van warmtepompen (bij warmtepompen gaat CE Delft uit van 500 euro, zie paragraaf 5.10.1). Deze kosten zijn gelijkgesteld omdat de bijbehorende werkzaamheden niet afhankelijk zijn van de nieuwe warmte-installatie. De totale investeringskosten voor de afleverset vallen daardoor iets lager uit dan het voorstel in het eindadvies van CE Delft en komen op 1800,- euro per aansluiting (zie Tabel 51). Kosten voor de afleverset bij utiliteitsgebouwen zijn (alleen) gecorrigeerd voor inflatie.

Tabel 51
Investeringskosten afleverset

	ASA2025	SA2020	SA2020
	euro2023	euro2023	euro2018
Ki_afleverset	1800	1612	1300

5.11.19 Ongeriefvergoeding bij collectieve oplossingen

In de SA2020 werd rekening gehouden met een ongeriefvergoeding van circa 140 euro, bedoeld voor huisvesting van bewoners terwijl er werkzaamheden worden gedaan in de woning. Deze ongeriefvergoeding werd alleen in rekening gebracht bij strategieën met een warmtenet. Het is echter aannemelijk dat er ook sprake is van een ongeriefvergoeding indien een huis een grote renovatie ondergaat bij een strategie met warmtepompen. In plaats van nieuwe kengetallen vast te stellen, gedifferentieerd naar verschillende strategieën, is er in de ASA2025 voor gekozen om de ongeriefvergoeding buiten beschouwing te laten.

5.11.20 Winst warmtebedrijven

Bij de actualisatie van de kostenkengetallen werd een inconsistentie vastgesteld in de wijze waarin winsten werden meegenomen in de kostenberekening van de SA2020. Warmtebedrijven rekenen de eigen winsten (op kapitaalinvesteringen en variabele kosten) door aan de eindgebruiker in de prijs van de warmte. Die winst werd in de SA2020 niet in rekening gebracht, alleen de (uitkoop-)kosten. Winsten in de warmtenetketen werden daardoor de facto doorberekend tot aan het warmtebedrijf. Bij de kosten van warmtepompen wordt de winst in de keten wél doorberekend tot en met de eindgebruiker, omdat deze is verwerkt in de investeringskosten van de warmtepomp, zij het impliciet.

In een correcte kostenvergelijking tussen verduurzamingsstrategieën moet de winst in de laatste stap van de warmtenetketen (winst bij levering aan de woningeigenaar) daarom worden toegevoegd. De overige winsten eerder in de keten zijn wel (impliciet) verwerkt in de kostenkengetallen, denk daarbij aan de winst die impliciet zit verwerkt in de kosten van graafwerkzaamheden, de aankoop van buizen, etc. In de ASA2025 is dit opgelost door de winst van de laatste stap in de keten bij warmtenetten als kostenpost toe te voegen aan de eenheidsprijs van warmte. Deze kostenpost wordt zowel bij MT- als bij LT-warmte toegevoegd.

De winst voor warmtebedrijven wordt op de volgende wijze berekend:

- De winst mag een warmtebedrijf rekenen over alle (infrastructuur)kosten, exclusief de kosten voor isolatie van de woning. Isolatiekosten worden in de meeste gevallen namelijk gemaakt door de woningeigenaar. Eerste stap is dus om de som te berekenen van alle kapitaal- en variabele lasten die voor rekening komen van het warmtebedrijf.
- Over die totale (jaarlijkse) kosten wordt een ‘winstpercentage’ van 3,25% gerekend, gelijk aan warmtepompen (Arcadis).
- Er is een extra post gemaakt voor de winsten van de warmtebedrijven. Deze post is als K23_winst_warmtebedrijven apart opgenomen in de NationaleKosten-output, en wordt ook opgeteld bij Inkoop warmte (K11).

5.12 Overige kentallen

In deze paragraaf worden wijzigingen beschreven in een viertal kentallen die niet per se samenhangen met specifieke installaties of uitsluitend toebehoren aan de berekeningen voor warmtenetten. In deze paragraaf wordt ingegaan op projectmanagement kosten, kosten voor aanpassingen aan de meterkast, kosten voor elektrisch koken en kosten om een gebouw geschikt te maken voor lage temperatuur afgifte.

De eerste drie kengetallen die worden beschreven komen terug in alle strategievarianten binnen de ASA2025. Aanpassingen aan het warmte afgiftesysteem komen voor bij alle strategie varianten met een warmtepomp en waar warmte voor ruimteverwarming wordt afgegeven op 50 graden.

5.12.1 Projectmanagementkosten

In de SA2020 werden projectmanagementkosten in rekening gebracht voor collectieve verduurzamingsstrategieën. De projectmanagementkosten in de SA2020 waren vooral gebaseerd op de organisatie van keukentafelgesprekken. Hierbij werd onderscheid gemaakt in projectmanagementkosten voor gestapelde woningen (zonder blokverwarming) en grondgebonden woningen.

Op basis van de informatie die is opgehaald bij de validatiesessie warmtenetten is vastgesteld dat de projectmanagementkosten zoals die in de SA2020 werden gehanteerd te laag zijn. Bovendien komt de warmtetransitie steeds meer in de sfeer van een wijkgerichte aanpak, waarbij— in het verlengde van de warmteprogramma's— plannen worden opgesteld voor de verduurzaming van complete buurten. Het is daarom aannemelijk dat er ook projectkosten moeten worden gemaakt voor afstemming tussen actoren in buurten waar warmtepompen zijn beoogd. Naast keukentafelgesprekken met woningeigenaren gaat het hier bijvoorbeeld ook om afstemming met netbeheerders over verzwaring van het elektriciteitsnetwerk en ontwerpkosten. In de ASA2025 worden daarom ook proceskosten in beeld gebracht voor strategieën met warmtepompen: S1 met volledig elektrische warmtepompen en S4 met hybride warmtepompen.

Er is echter weinig bekend over projectmanagementkosten die in de praktijk worden gemaakt. Het economisch instituut voor de bouw (EIB) heeft informatie geanalyseerd van de proeftuinen aardgasvrije wijken (PAW). Daaruit blijkt dat er grote verschillen bestaan in de proceskosten per woning. Gemiddeld wordt door de EIB uitgegaan van 5000 euro per aansluiting aan proceskosten voor woningen die worden aangesloten op een warmtepomp en 8000 euro per aansluiting aan proceskosten voor woningen die worden aangesloten op een warmtenet (Arnoldussen et al. 2021).

De analyse van de EIB is gebaseerd op een beperkt aantal proeftuinen. Bovendien gaat het om proeftuinen waar gemeenten voor het eerst een proces rondom collectieve warmte hebben georganiseerd en soms ook van voorkeurs techniek zijn gewijzigd gedurende het proces. Deze kosten kunnen mogelijk lager worden naarmate gemeenten en warmtebedrijven ervaring opdoen met de organisatie van het proces rondom collectieve warmtevoorzieningen, of kunnen proceskosten lager zijn voor kleinschaliger projecten.

Er is daarom gekozen om een gemiddelde te hanteren tussen de projectmanagementkosten zoals die in de SA2020 werden gehanteerd¹⁷ en de informatie van de EIB (zie tabel). Het is aannemelijk dat proceskosten voor strategie 4 (hybride warmtepompen) lager zijn dan bij strategie 1 met volledig elektrische warmtepompen. Dit komt omdat er voor hybride warmtepompen minder aanpassingen nodig zijn aan de elektriciteitsinfrastructuur.

Voor strategie 4 wordt daarom uitgegaan van de minimale proceskosten voor warmtepompen zoals ze in het EIB rapport worden beschreven: 2000 euro proceskosten per aansluiting. De projectkosten zoals die in de ASA2025 worden gehanteerd worden weergegeven in Tabel 52. De projectmanagementkosten zijn in alle strategieën ondergebracht in de kostenindicator voor de gebouw installaties (K09).

Tabel 52

Projectmanagementkosten per aansluiting voor collectieve warmtevoorzieningen

	ASA2025		SA2020		SA2020	
	euro2023		euro2023		euro2018	
	min	max	min	max	min	max
S1 All-electric	209	5000				

¹⁷ Na inflatiecorrectie

S2 MT- en HT warmtenetten	209	8000	70	348	56	281
S3 LT- warmtenetten	209	5000	70	348	56	281
S4 Hybride warmtepomp	209	2000				

Gevoeligheidsanalyse projectmanagementkosten

In de praktijk zijn projectmanagementkosten sterk afhankelijk van de grootte van het project: grotere warmteprojecten vergen meer kosten voor logistiek, technisch ontwerp en communicatie met woningeigenaren. Projectmanagementkosten kunnen lager zijn voor kleinere projecten, omdat het aantal gebouweigenaren waarmee moet worden afgestemd lager is. Bij lokale verrijking van de ASA2025 resultaten door gemeenten is het belangrijk om te onderzoeken in hoeverre projectmanagementkosten kunnen afwijken voor specifieke lokale warmteprojecten. Om gemeenten hier handvaten voor te bieden zijn gevoeligheidsanalyses uitgevoerd met hogere en lagere projectmanagementkosten. Voor de gevoeligheidsanalyses met hoge en lage projectmanagementkosten is gebruik gemaakt van respectievelijk de min en max waarden per strategie in voorgaande tabel 4.31.

5.12.2 Aanpassing LT warmte afgifte

Verwarmingsinstallaties verwarmen water tot een bepaalde temperatuur. Deze aanvoertemperatuur is bij moderne cv-ketels circa 80 °C en wordt over het algemeen met (midentemperatuur) radiatoren afgegeven aan de woning. Duurzame verwarmingsinstallaties zoals warmtepompen verwarmen het water doorgaans tot een lagere temperatuur: circa 55 °C wordt 'lage temperatuur' genoemd (LT) en 15-35 °C wordt 'zeer lage temperatuur' (ZLT) genoemd. Hogere temperaturen zijn ook haalbaar, maar dat gaat ten koste van het rendement van de installatie. Midentemperatuur radiatoren zijn vaak niet geschikt om warmte op temperaturen onder de 55 °C af te geven aan een woning omdat ze te klein zijn uitgevoerd: de woning wordt dan niet of niet snel genoeg warm. Een aanpassing aan het afgiftesysteem is in dat geval nodig. Dit kan doorgaans op twee manieren: met (Z)LT-radiatoren of vloerverwarming.

In de Startanalyse van 2020 werd aangenomen dat woningen die naar doellabel B worden geïsoleerd altijd behoefte hebben aan een LT-warmteafgiftesysteem. Voor de kosten van deze aanpassing wordt ervan uitgegaan dat alle conventionele radiatoren worden vervangen door (Z)LT radiatoren.

Hier horen diverse werkzaamheden bij zoals het verwijderen en afvoeren van de bestaande radiatoren en het vullen, aftappen en waterzijdige inregelen van de nieuwe installatie.

In deze actualisatie van de Startanalyse worden de kosten voor LT-afgiftesystemen in utiliteitsgebouwen gebaseerd op de RVO/Arcadis 2024 kostendatabase. Kosten voor LT-afgiftesystemen in woningen zijn gebaseerd op een nog te verschijnen studie van CE Delft voor het PBL waarin onderzoek is gedaan naar marktprijzen van LT-radiatoren.

De gemiddelde kostenpost bij woningen is gebaseerd op het gemiddelde oppervlak van Nederlandse eengezinswoningen en meersgezinswoningen, respectievelijk 143 en 80 m². Daarbij wordt in de minimale situatie bij de eengezinswoning aangenomen dat er drie radiatoren minder vervangen hoeven te worden en in de maximale situatie drie extra. Voor meersgezinswoning wordt een verschil van twee radiatoren aangenomen. Vloerverwarming wordt als optie (weer) buiten beschouwing gelaten: die kosten zijn aanzienlijk hoger en bovendien moeten dan ook kosten in rekening

worden gebracht voor de vloer zelf. De bandbreedte (minimale en maximale kosten) is afhankelijk van hoeveel (Z)LT radiatoren worden geplaatst.

Zonder verdere bewerking zouden de kosten voor LT-afgifte met de nieuwe kostenkengetallen in de ASA2025 grofweg drie keer hoger komen te liggen ten opzichte van de SA2020. Recente onderzoeksinspanningen laten echter zien dat aanpassing van het LT-afgiftesysteem niet altijd nodig is bij verduurzaming van de warmtevoorziening met een warmtepomp: hieronder wordt beschreven hoe met dat gegeven rekening wordt gehouden bij de kostenschatting voor LT-afgifte.

Noodzaak LT-afgifte bij doellabel B

Het is niet altijd nodig om aanpassingen te doen aan het afgiftesysteem wanneer woningen worden geïsoleerd naar doellabel B in de eindsituatie, zoals werd aangenomen in de Startanalyse van 2020. In het rapport 'Standaard en streefwaarden' door Nieman (Cornelisse et al. 2021) wordt beschreven dat aanpassing aan het afgiftesysteem waarschijnlijk slechts nodig is bij 20% van de woningen die voldoen aan de isolatiestandaard. Woningen die aan de isolatiestandaard voldoen zullen in de meeste gevallen een energielabel A krijgen¹⁸ (Cornelisse et al. 2021). In hetzelfde onderzoek is ook gekeken in hoeverre het nodig is om het afgiftesysteem aan te passen in woningen waarin 'gangbare verbetermaatregelen' in de bovengrens zijn genomen, welke wij interpreteren als schillabel B. In dat geval moet bij circa 50% het afgiftesysteem worden aangepast.

In een studie van het Warming-up collectief (Pothof et al. 2022) wordt op basis van een relatief kleine steekproef geconcludeerd dat 60% van de bestaande installaties zonder aanpassingen aan het afgiftesysteem al geschikt zou zijn voor verwarming op lagere temperatuurniveaus. Dat gaat om aanmerkelijk meer woningen. In dat onderzoek is echter alleen gekeken naar de te bereiken warmtevraag (vermogen) en de te bereiken setpoint (operatieve temperatuur). De onderzoekers hebben geen rekening gehouden met andere belangrijke comfortaspecten, zoals hoe snel de woning kan worden opgewarmd.

Voor de ASA2025 wordt daarom uitgegaan van de volgende aannamen:

- In lijn met de observaties van het standaard- en streefwaarden onderzoek door Nieman wordt er in de ASA2025 van uitgegaan dat in 20-50% (gemiddeld 35%) van de woningen met schillabel B in het eindbeeld en afgifte op 50 graden- LT afgiftesystemen nodig zijn (in de vorm van LT convectoren).
- In de ASA2025 is ook één variant opgenomen met een ZLT geothermiebron, waarbij de warmte collectief wordt opgewaardeerd tot 70 graden (afgifte ook 70). In deze variant worden woningen geïsoleerd tot doellabel B maar is geen LT-afgiftesysteem nodig in verband met de hoge afgiftetemperatuur.

De behoefte aan lage temperatuur afgifte wordt gewogen in de kosten, zonder dat daarbij wordt gedifferentieerd naar specifieke buurten. Zoals eerder in deze paragraaf beschreven laat CE Delft in haar marktonderzoek zien dat de kosten voor LT-radiatoren circa drie keer hoger ligt dan wat in de SA2020 werd aangenomen. Als in de weging van de kosten rekening wordt gehouden met de

¹⁸ Dit is niet voor alle woningen het geval: het energielabel hangt- naast de isolatiekwaliteit van de woning- onder andere af van de gebouwinstallaties, de compactheid van de woning en de aanwezigheid van zon-pv.

noodzaak voor LT-afgifte leidt dat tot de kosten in Tabel 53. Deze kosten zijn vergelijkbaar met de kosten die in de SA2020 zijn aangenomen.

Tabel 53
Investeringskosten lage temperatuur afgifte systemen (LTAS) naar gebouwtype

		ASA2025		SA2020		SA2020	
		euro2023		euro2023		euro2018	
		min	max	min	max	min	max
woningen	euro/ aansluiting	1288	3199	1187	3995	957,2	3222
eengezins							
woningen	euro/ aansluiting	1117	1855	498	2498	401	2015
meergezins							
utiliteit	euro/ m2	4,2	6,3	11,3	11,3	9,1	9,1

5.12.3 Kosten aanpassingen meterkast en aansluiting

In de SA2020 werden geen kosten in rekening gebracht voor het verzwaren van de meterkast. Het verzwaren van de meterkast gaat in eerste instantie om het verzwaren van de netaansluiting door de netbeheerder, maar hierbij kan ook worden gedacht aan aanpassingen van de meterkast of zelfs het vervangen van de bestaande meterkast. Toch zijn er in de meeste gevallen wel aanpassingen aan de meterkast nodig. Bij installatie van een all-electric warmtepomp is doorgaans een zwaardere aansluiting nodig. Ook bij een hybride- of inbandige water-water warmtepomp in combinatie met elektrisch koken (zie volgende paragraaf) moeten vaak aanpassingen worden gedaan aan de meterkast. Daarom is er voor gekozen om in de ASA2025 een kostenpost toe te voegen voor het verzwaren van de meterkast.

CE Delft stelt in haar eindadvies voor om te rekenen met twee kostenniveaus: een hoog kostenniveau voor strategie S1 (all-electric), omdat in die strategie vaak meer aanpassingen gedaan zullen moeten worden in verband met de installatie van een warmtepomp. Voor de overige strategieën heeft CE Delft een lager kostenniveau vastgesteld. De kostenkengetallen zijn gebaseerd op een te verschijnen marktvalidatiestudie van CE Delft voor het PBL (Hesselink et al. 2025b).

In de ASA2025 zijn de kengetallen van CE Delft overgenomen, echter: het hoge kostenniveau wordt bij alle strategieën aangenomen waar een warmtepomp wordt geïnstalleerd. Dit betekent dat er ook hogere kosten voor meterkastverzwaring worden gerekend bij S3 strategievarianten met een individuele warmtepomp. Voor alle overige installaties wordt uitgegaan van het lage kostenniveau. In Tabel 54 wordt een overzicht gegeven van de kostenkengetallen voor meterkastverzwaring.

Tabel 54
Kosten verzwaren meterkast

		ASA2025	SA2020
laagbouw met warmtepomp	euro/ aansluiting	1200	nvt
hoogbouw met warmtepomp	euro/ aansluiting	850	nvt
laagbouw met andere installatie	euro/ aansluiting	400	nvt
hoogbouw met andere installatie	euro/ aansluiting	300	nvt

5.12.4 Kosten voor elektrisch koken

In de SA2020 werd verondersteld dat in strategieën met klimaatneutraal gas, woningeigenaren geen aanpassingen zouden doen aan hun kookvoorziening: aardgas zou immers kunnen worden vervangen door klimaatneutraal gas en dan zijn er geen aanpassingen nodig. Uit de validatiesessie individuele installaties kwam echter het gedeelde beeld naar voren dat op termijn in alle woning elektrisch zal worden gekookt. Een vergelijkbaar beeld komt uit de gasmonitor 2022 (Natuur & Milieu 2022). Die laat zien dat van alle nieuw gekochte inbouw kookplaten al 85% elektrisch is ten opzichte van 15% gas. De verkoopcijfers overstijgen ruim het aantal nieuwbouwwoningen, waar elektrisch koken al de norm is. Als deze ontwikkeling doorzet is het aannemelijk dat op termijn alle woningen beschikken over een elektrische (inductie) kookvoorziening. In de ASA2025 wordt daarom in alle strategievarianten verondersteld dat wordt gekookt met een elektrische (inductie) kookvoorziening. Naast de aanschaf van de elektrische kookplaat zelf en eventuele aanpassing van de meterkast en de netaansluiting (zie vorige paragraaf) zijn er additionele aanpassingen nodig voor het aansluiten van een elektrische kookplaat. Bij installatie van een elektrische kookplaat moet een aparte stroomdraad worden getrokken van de meterkast naar de inductiekookplaat en er moet vaak een speciaal ‘perilex’ stopcontact worden geïnstalleerd om een inductiekookplaat op aan te sluiten. CE Delft stelt in haar eindadvies twee kostenniveaus voor elektrisch koken voor, afhankelijk van het type woning: grondgebonden of gestapeld. De kostenkengetallen zijn gebaseerd op een ongepubliceerde marktvalidatiestudie die CE Delft heeft uitgevoerd voor het PBL (Hesselink et al. 2025b). De kengetallen zijn overgenomen in de ASA2025 (zie Tabel 55).

Tabel 55
Investeringskosten elektrisch koken

	ASA2025		SA2020		SA2020	
	euro2023		euro2023		euro2018	
Beschrijving	min	max	min	max	min	max
Investeringskosten inductiekookplaat grondgebonden woning	600	2700	1240	1240	1000	1000
Investeringskosten inductiekookplaat gestapelde woning	600	2200	1240	1240	1000	1000

5.13 Kosten van energiedragers

De methoden voor het bepalen van de kosten van duurzame energiedragers in de ASA2025 wijken af van de methoden die zijn gehanteerd in de SA2020. Het belangrijkste verschil is dat in de ASA2025 wordt uitgegaan van inschattingen voor groothandelsprijzen van klimaatneutraal gas en klimaatneutrale elektriciteit, waar in de SA2020 werd uitgegaan van gemiddelde productiekosten conform de nationale kosten methodiek. Bovendien wordt in de ASA2025 geen aparte eenheidsprijs meer bepaald voor waterstof: in plaats daarvan wordt een gemiddelde eenheidsprijs bepaald voor een combinatie van groengas en groene waterstof welke ‘klimaatneutraal gas’ wordt genoemd (zie paragraaf 3.2). De achterliggende overwegingen voor de methodische keuzes met betrekking tot de energieprijzen worden in dit hoofdstuk beschreven.

In paragraaf 5.13.1 wordt uitgelegd waarom in de ASA2025 wordt uitgegaan van een geschatte groothandelsprijs in plaats van een schatting op basis van productiekosten. Paragraaf 5.13.2 beschrijft de kostenschatting voor het referentiebeeld in 2030. In de ASA2025 wordt uitgegaan van de

KEV2024 voor de kosten van aardgas en grijze elektriciteit in het referentiebeeld voor 2023: energieprijzen voor het referentiebeeld 2023 worden in dit hoofdstuk niet apart beschreven omdat ze niet worden gebruikt bij de berekening van de laagste nationale kosten. Paragraaf 5.13.3 beschrijft de kostenschatting voor klimaatneutraal gas. Paragraaf 5.13.4 beschrijft de kostenschatting voor klimaatneutrale elektriciteit. Paragraaf 5.13.5 beschrijft de gevoeligheidsanalyses voor de kosten en de beschikbaarheid van energiedragers. De uitgangspunten voor de kosten van energiedragers zijn niet gewijzigd tussen de ASA2025 en de ASA2026.

5.13.1 Groothandelsprijzen versus productiekosten

De Werkwijzer nationale kosten (Juijn et al. 2023) schrijft voor om bij berekeningen van nationale kosten van verduurzamingsstrategieën uit te gaan van ‘representatieve energieprijzen’: dit betekent dat voor de berekening van energiekosten groothandelsprijzen worden gebruikt, tenzij bekend is dat de afnemer direct inkoopt bij een producent en een andere leveringsprijs betaalt. Een andere leveringsprijs is bijvoorbeeld mogelijk indien klimaatneutrale gassen lokaal worden geproduceerd en tegen langere termijn productiecontracten worden afgenomen. In dat geval kan de feitelijke contractprijs worden gebruikt. Daarbij moet echter wel rekening worden gehouden met schaarste, wat het geval is bij klimaatneutraal gas: als het gas ook elders had kunnen worden ingezet, vertegenwoordigt dat alternatieve gebruik een opportuniteitswaarde. Omdat het sowieso niet aannemelijk lijkt dat er aparte prijsafspraken zullen worden gemaakt voor het gebruik van klimaatneutraal gas in de gebouwde omgeving, wordt voor de ASA2025 een groothandelsprijs vastgesteld.

Omdat er nog geen energiemarkt bestaat voor klimaatneutraal gas waarin groengas, waterstof of een combinatie van de twee op grote schaal worden verhandeld, kan een groothandelsprijs voor klimaatneutraal gas niet vanzelfsprekend worden afgeleid. Een indicatie van de groothandelsprijs voor klimaatneutraal gas moet daarom worden verkregen met een schatting, net als voor klimaatneutrale elektriciteit.

De methode om de groothandelsprijzen voor klimaatneutraal gas en klimaatneutrale elektriciteit te bepalen ten behoeve van de ASA2025 wordt uitgelegd in de volgende paragrafen. Voor deze methoden wordt gebruik gemaakt van informatie van de PBL-studie ‘Trajectverkenning klimaatneutraal 2050’ (TVKN) die is gepubliceerd in 2024 (Daniëls et al. 2024).

In de TVKN-studie zijn ruim 30 integrale trajecten naar een klimaatneutraal Nederland in 2050 doorgerekend en vergeleken. Op die manier kan inzicht worden verkregen in een klimaatneutraal energiesysteem voor een breed palet aan toekomstbeelden. In alle trajecten worden marktprijzen van energiedragers geraamd, zoals een prijs voor elektriciteit en een prijs voor groengas, die kunnen worden gebruikt als indicatie van een mogelijke groothandelsprijs in het toekomstbeeld dat door het traject wordt geschetst. Alleen voor de marktprijs van waterstof zijn in de TVKN-studie geen ramingen gemaakt.

5.13.2 Referentiekosten aardgas en elektriciteit in 2030

De Referentiekosten voor aardgas en elektriciteit worden, net als bij de SA2020, gebaseerd op de prijsprojecties van de KEV voor de groothandelsprijs van aardgas en elektriciteit onder vastgesteld en voorgenomen beleid. In deze paragraaf wordt de kostenschatting beschreven van respectievelijk aardgas en ‘grijze’ elektriciteit. Deze kosten spelen een belangrijke rol in het referentiebeeld voor 2030, waar de kosten van de verschillende verduurzamingsstrategieën in de ASA2025 tegen worden afgezet.

Aardgas

Zoals eerder aangegeven wordt voor de kostenschatting van aardgas in de basis uitgegaan van de projecties van de KEV voor de groothandelsprijs van aardgas in 2030. Daar wordt een schatting van de kosten voor overhead bij opgeteld. Overheadkosten worden vastgesteld op basis van CBS statistieken voor de leveringsprijs van aardgas van de afgelopen vijf jaar. Net als bij elektriciteit was 2022 een uitzonderlijk jaar: dat jaar is daarom buiten beschouwing gelaten bij het bepalen van de kosten voor overhead voor aardgas. De overheadkosten verschillen per gebruikersklasse: overheadkosten worden lager bij een hogere afname van aardgas.

Een toevoeging ten opzichte van de kostenschatting voor aardgas in de SA2020, is dat in de ASA2025 kosten voor uitstoot zijn toegevoegd binnen het ETS2 systeem. De kosten voor uitstoot zijn gebaseerd op projecties van de KEV2024 voor de ETS2 prijs in 2030. De toevoeging van de kosten onder ETS2 en de iets hogere kosten voor overhead maken dat de kosten voor aardgas in het referentiebeeld hoger komen te liggen dan in de SA2020 na inflatiecorrectie. Tabel 56 geeft de kosten voor aardgas voor kleingebruikers in 2030, inclusief de kosten voor overhead van kleingebruikers en de schatting voor de uitstootkosten onder ETS2.

Tabel 56

Kosten voor aardgas voor kleingebruikers in 2030

	ASA2025	SA2020	SA2020
	euro2023/m ³	euro2023/m ³	euro2018/m ³
Totaal incl. overhead en ETS2	0,53	0,46	0,37

‘Grijze’ elektriciteit

De elektriciteit die nu wordt gebruikt, wordt ‘grijze elektriciteit’ genoemd. Daarmee wordt bedoeld dat een deel van de elektriciteit wordt opgewekt met fossiele bronnen, bijvoorbeeld met het gebruik van aardgas in elektriciteitscentrales. De kosten van elektriciteit zijn voor het referentiebeeld 2030 gebaseerd op de elektriciteitsmix zoals weergegeven in de KEV 2024.

Deze benadering voor de kosten van grijze elektriciteit is dezelfde als die is gebruikt voor de SA2020, met enkele relevante aanpassingen:

- De Startanalyse vergelijkt strategieën voor verduurzaming van de gebouwde omgeving op basis van nationale meerkosten. Bij een raming van nationale kosten worden subsidies buiten beschouwing gelaten.
- Net als bij de kostenbepaling van klimaatneutrale elektriciteit (zie paragraaf 5.13.4) worden kosten voor extra overhead buiten beschouwing gelaten.
- Voor de onbalanskosten wordt de data van de SA2020 gebruikt, na correctie voor inflatie.
- De overheadkosten voor grijze elektriciteit zijn gelijkgesteld aan de overheadkosten voor klimaatneutrale elektriciteit: deze zijn opnieuw vastgesteld op basis van CBS statistieken van de afgelopen 5 jaar. De methode voor het bepalen van de overheadkosten van elektriciteit is beschreven in paragraaf 5.13.4.

De totale kosten voor grijze elektriciteit voor kleingebruikers in 2030 worden weergegeven in Tabel 57. De totale kosten voor grijze elektriciteit in het referentiebeeld in de ASA2025 zijn uiteindelijk gelijk aan de kosten voor grijze elektriciteit in de SA2020. Het is goed mogelijk dat bij normalisatie van de energieprijzen, SDE-subsidie voor hernieuwbare elektriciteitsproductie weer nodig zal zijn: de kosten voor elektriciteit in het referentiebeeld worden daardoor mogelijk onderschat.

Tabel 57
Kosten grijze elektriciteit voor kleinegebruikers in 2030

	ASA2025	SA2020	SA2020
	euro2023/ kWh	euro2023/ kWh	euro2018/ kWh
Kosten inclusief overhead	0,10	0,13	0,10

Naast de kosten van grijze elektriciteit is ook de verwachting voor de CO₂- emissiefactor in 2030 bijgesteld op basis van de KEV2024. De emissiefactor wordt hoger in de ASA2025 ten opzichte van de SA2020 en wordt weergegeven in Tabel 58.

Tabel 58
CO₂-emissiefactor in 2030

	ASA2025	SA2020
	kg CO ₂ / kWh	kg CO ₂ / kWh
CO₂-emissiefactor	0,1	0,088

5.13.3 Klimaatneutrale gassen

In de ASA2025 wordt een groothandelsprijs bepaald voor ‘klimaatneutraal gas’: een combinatie van groengas en waterstof. De ontwikkelingen rond klimaatneutrale gassen zijn echter erg onzeker, in het bijzonder bij waterstof (Elzenga et al. 2025). De ASA2025 richt zich daarom vooral op een kostenschatting op basis van groengas als proxy voor de kosten van klimaatneutraal gas. De gevoeligheidsanalyses geven een indicatie van de wijze waarop de gemiddelde kosten voor klimaatneutraal gas waarschijnlijk zullen veranderen, bijvoorbeeld als wordt uitgegaan van een groter aandeel waterstof in de brandstofmix.

In de SA2020 zijn ook kosten geschat voor groengas: het type kostenschatting van de SA2020 leent zich echter niet voor een schatting van groothandelsprijzen. In de SA2020 werden gemiddelde kosten bepaald voor de productie van groen gas, waarbij ook rekening werd gehouden met de kosten voor CCS, overhead en distributie. Om tot gemiddelde productiekosten te komen, zijn de productiekosten per aanbodtechniek gewogen naar het productiepotentieel van groen gas per techniek. Het is echter aannemelijk dat groengas zal worden ingevoerd in een landsdekkend gasnet en de gebouwde omgeving moet concurreren om het groengas met andere sectoren. Het is dan waarschijnlijk dat voor al het groengas dezelfde eenheidsprijs wordt betaald, de ‘groothandelsprijs’, ongeacht de gehanteerde productietechniek. Bij de verwachte grote vraag naar klimaatneutraal gas en de verwachte beperkte beschikbaarheid van klimaatneutraal gas, zal een producent minimaal de kosten van de duurste productietechniek vragen, ofwel de marginale productiekosten.

De SA2020 benadering voor de kosten van klimaatneutraal gas reflecteert dus onvoldoende de onzekerheid in de beschikbaarheid van biograndstoffen op de langere termijn. De analyse van TVKN laat namelijk zien dat in 2050 waterstof en biograndstoffen dermate schaars zijn dat ze waarschijnlijk voor andere toepassingen zullen worden gebruikt waarvoor geen alternatieven zijn, zoals voor de productie van vloeibare brandstoffen en feedstocks en voor industriële processen. Deze schaarste kan ertoe leiden dat de prijzen van klimaatneutrale gassen worden opgedreven tot (ver) boven de productiekosten, door opportuinitetskosten en schaarsterente. In de ASA2025 worden daarom bij benadering, ‘geraamde groothandelsprijzen’ voor groengas bepaald, gebaseerd op

schaduw prijzen uit de TVKN-studie. Wat de term ‘schaduw prijs’ betekent in de context van de TVKN-studie wordt uitgelegd in onderstaand tekstkader.

Betekenis van schaduw prijzen van energiedragers in de TVKN-studie

De geraamde marktprijs voor groengas in de ASA2025 publicatie is gebaseerd op de ‘schaduw prijs’ van groengas die voor de TVKN-studie is vastgesteld met het OPERA model.

OPERA is een optimalisatiemodel. In het vakgebied van de optimalisatiemodellen heeft de term ‘schaduw prijs’ een andere betekenis dan in de economische theorie, waar de term wordt gebruikt om de impliciete economische waarde van een goed of middel te beschrijven waarvoor (juist) geen marktprijs beschikbaar is. Denk daarbij bijvoorbeeld aan milieueffecten, tijd en wachtrijen, etc.

In de context van optimalisatiemodellen wordt de term ‘schaduw prijs’ gebruikt om de marginale waarde van schaarste te berekenen. Die marginale waarde geeft aan hoeveel de cumulatieve nationale kosten lager zouden worden als van de betreffende energiebron- of energiedrager één eenheid (meestal één petajoule) extra beschikbaar zou zijn. De schaduw prijs kan bij brandstoffen worden begrepen als het bedrag dat men extra – boven op de exogeen veronderstelde prijs – over zou hebben voor bijvoorbeeld biograndstoffen en waterstof (Daniëls et al. 2024).

OPERA levert dus geen echte marktprijzen op, omdat het geen marktmodel is. Wel geven de schaduw prijzen een ruwe indicatie van het niveau waarop marktprijzen zouden kunnen liggen, gegeven exogene prijsaannames, op basis van de schaarste in het systeem. Hoe informatie van de TVKN-studie is gebruikt om tot groothandelsprijzen te komen voor klimaatneutraal gas in de ASA2025 wordt uitgelegd in de volgende paragraaf.

Geraamde marktprijs groengas op basis van TVKN

Als benadering voor de geraamde marktprijs van klimaatneutraal gas in de ASA2025 wordt een gemiddelde genomen van de schaduw prijs op basis van twee trajecten binnen de TVKN-studie met relatief beperkte schaarste, waarin vooral de beschikbaarheid van biograndstoffen verschilt. In het PBB40 traject zijn biograndstoffen relatief schaars, in het PR40 traject zijn biograndstoffen ruimer beschikbaar. De PR40 en PBB40 trajecten zijn beide TVKN-trajecten waarin geen extreme schaarste van biograndstoffen en waterstof wordt verondersteld¹⁹, daarmee is de kans ook groter dat dit energiesystemen zijn waarin voldoende beschikbaarheid is van groen gas voor de gebouwde omgeving. De onderkant van de bandbreedte van de geraamde marktprijs wordt logischerwijs gebaseerd op de bovenkant van de bandbreedte van de beschikbaarheid van biograndstoffen (lees: het PR40 scenario). Als zichtjaar voor de geraamde marktprijzen wordt uitgegaan van 2050. Het zichtjaar 2050 reflecteert het beste de beschikbaarheid van biograndstoffen en de grote systeemvraag naar biograndstoffen en groengas in de situatie die de Startanalyse beoogt te beschrijven.

¹⁹ De schaarste is ‘relatief’ beperkt. In het PR40 traject wordt de bovenkant van de gehanteerde bandbreedte voor biograndstoffen en waterstof opgezocht. Ook de beschikbaarheid van alternatieven zoals waterstof en CO₂-opslagcapaciteit zitten in dat traject aan de bovenkant van de gehanteerde bandbreedte. Het PBB40 traject zit boven de onderkant van de gehanteerde bandbreedte voor biograndstoffen. In het PBB40 traject is (ook) relatief veel ruimte voor CCS.

De geraamde marktprijzen voor groengas op basis van de schaduwrijzen in de TVKN scenario's worden weergegeven in Tabel 59. Gemiddeld komt de geraamde marktprijs op basis van de marginale kostenberekening uit de TVKN-studie in de buurt van de productiekosten van de duurste aanbodstechniek. Als kleinschalige monomestvergisting (tot 110kW) buiten beschouwing wordt gelaten, welke waarschijnlijk een geringe bijdrage zal leveren aan de productie van groengas, is de duurste aanbodstechniek middelgrote monomestvergisting (110-450 kW) met 1,08 euro per kubieke meter²⁰. De bovenkant van de bandbreedte van de geraamde marktprijs op basis van het PBB40 traject ligt hier boven. De onderkant van de bandbreedte van de geraamde marktprijs op basis van het PR40 traject komt in de buurt van de productiekosten van groengas middels de vergassing van houtige massa, allesvergisting en grootschalige monomestvergisting (>450 kW).

Tabel 59
Geraamde marktprijzen TVKN

Scenario	Kosten [euro per m ³]
TVKN hoog PBB40	1,30
TVKN laag PR40	0,67
TVKN gemiddelde	0,99

Onzekerheid geraamde marktprijs groengas

In de Startanalyse wordt een beeld geschetst van de situatie in 2050, maar met kostenniveaus uit 2030: in de kosten voor productietechnieken van groengas worden in het TVKN project geen grote ontwikkelingen verondersteld in de periode 2030 en daarna.

De geraamde marktprijs komt echter wel tot stand in een systeem waarin kostenreducties worden verondersteld voor andere technieken binnen het systeem. Voor veronderstelde kostenreducties in het systeem tussen 2030 en 2050 kan de geraamde marktprijs voor groengas niet worden gecorrigeerd. De geraamde marktprijs op basis van de TVKN-informatie moet daarom worden beschouwd als een optimistisch gemiddelde.

Figuur 32 laat zien hoe de schaduwprijs voor groengas verandert bij wisselend aanbod van bio-grondstoffen en onder uiteenlopende systeemrandvoorwaarden, vastgesteld op basis van de verschillende TVKN-scenario's. Doordat de voorwaarden van het energiesysteem veranderen, denk daarbij bijvoorbeeld aan de beschikbaarheid van CCS, worden andere technieken bepalend bij het bepalen van de schaduwprijs voor groengas via de marginale kostenmethodiek. De rechterkant van de figuur geeft de schaduwprijs voor de TVKN-scenario's met een hogere beschikbaarheid van bio-grondstoffen, waterstof en/of CCS, de linkerkant van de figuur geeft zeer hoge prijzen voor groengas die zijn gebaseerd op trajecten waarin meer sprake is van schaarste.

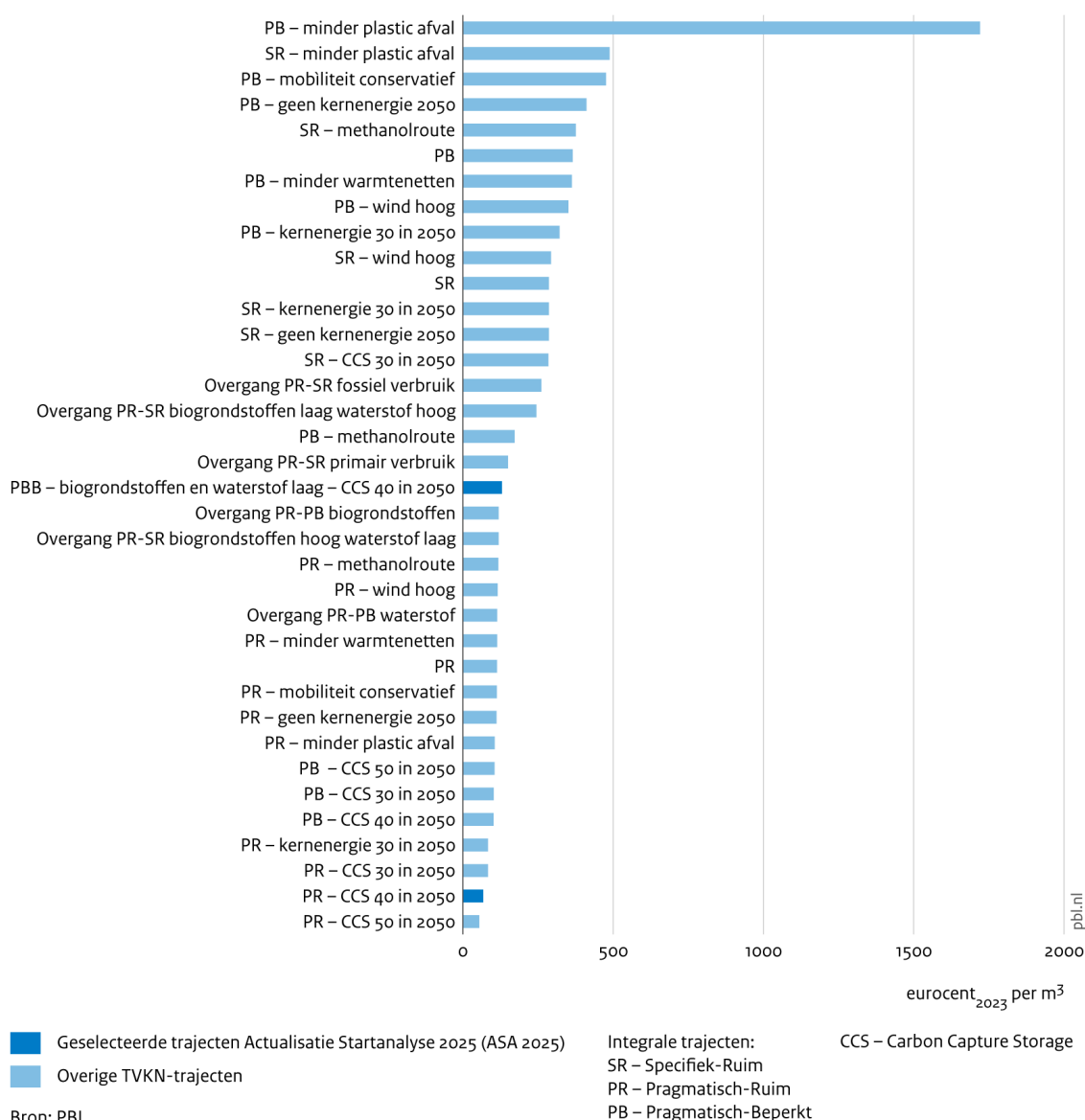
In de figuur komen ook extreme geraamde marktprijzen voor zoals 16 euro per kuub groengas in het 'PB_minder plastic afval' traject. In de praktijk zullen de marktprijzen waarschijnlijk niet zo extreem oplopen, omdat politiek en beleidsmakers handelingsmogelijkheden hebben om dergelijke hoge kosten te voorkomen. In TVKN zijn niet alle mogelijke combinaties van omstandigheden en keuzes doorgerekend, maar het zou bijvoorbeeld in theorie mogelijk zijn om met extra CO₂-opslag

²⁰ Berekend met SDE++ eindadvies 2023 OT model, conform nationale kosten uitgangspunten (geen subsidies, belastingen en met de maatschappelijke discontovoet voor de rendementen). De berekening kan zijn gewijzigd in de SDE++ eindadvies 2025 OT modelversie.

op lagere schaduw prijzen voor groengas uit te komen, ook in een situatie met minder recycling van plastic afval. Om een indruk te geven van de gevoeligheid van de Startanalyse resultaten voor de prijs van klimaatneutraal gas wordt in de Startanalyse gewerkt met gevoeligheidsanalyses, de gevoeligheidsanalyses voor de ASA2025 worden beschreven in paragraaf 5.13.5²¹.

Figuur 32

Marginale kosten groengas op basis van klimaatneutrale trajecten TVKN, 2050



Deze figuur geeft een indicatie van de prijs van groengas per TVKN scenario in eurocent₂₀₂₃ per kuub groengas. De PR₄₀ en PBB₄₀ trajecten vormen de grenzen van de trajecten in de(rechter)kant van de curve met relatief beperkte schaarste.

²¹ In de ASA2026 zijn aanvullende gevoeligheidsanalyses gedaan, deze worden beschreven in paragraaf 6.4.

Indicatie leveringsprijs klimaatneutraal gas ASA2025

De leveringsprijs van klimaatneutraal gas in de ASA2025 hoofdberekeningen wordt gebaseerd op de schaduw prijzen voor groengas in de TVKN-trajecten. Daar worden kosten voor overhead en distributie van klimaatneutraal gas aan toegevoegd om tot een leveringsprijs te komen. De kosten voor overhead en distributie van klimaatneutraal gas zijn apart bepaald en zijn gebaseerd op vergelijkbare kosten die worden gemaakt voor aardgas. Er wordt aangenomen dat deze kosten niet significant verschillen tussen een gasnet op aardgas en klimaatneutraal gas²². De indicatie voor de leveringsprijs, bestaande uit de geraamde marktprijs en de overheadskosten, zoals die in de ASA2025 wordt gehanteerd voor kleingebruikers wordt weer gegeven in Tabel 6o.

Tabel 6o
Indicatie leveringsprijs kleingebruikers groengas ASA2025

	ASA2025		SA2020		SA2020	
	euro2023		euro2023		euro2018	
	per m³		per m³		per m³	
	min	max	min	max	min	max
Indicatie leveringsprijs ASA2025	0,88	1,50				
Productiekosten + overhead SA2020			0,81	1,18	0,65	0,95
Kostenvergelijking ASA2025 en SA2020	0,88	1,50	0,81	1,18		

Beschikbaarheid klimaatneutraal gas

Het is belangrijk om te bedenken dat de toekomstige leveringsprijs van klimaatneutrale gasen erg onzeker is, dat heeft voornamelijk te maken met de beschikbaarheid. In het TVKN-achtergrondrapport wordt beschreven dat in alle doorgerekende trajecten een veelvoud nodig is van de huidige productie aan biograndstoffen en (groene) waterstof om aan de toekomstige vraag te kunnen voldoen. Ook zouden alle aangekondigde waterstofprojecten- die momenteel nog in de oriënterende fase zitten- doorgang moeten vinden (Daniëls et al. 2024).

Specifiek met betrekking tot de gebouwde omgeving kan er alleen voldoende groengas worden geproduceerd indien de productie en logistiek van biograndstoffen tijdig kan worden opgeschaald en de groeiende vraag naar biograndstoffen (bijvoorbeeld voor de productie van biobrandstoffen en -plastics) vanuit andere sectoren zoals mobiliteit en industrie beperkt blijft. Het is goed mogelijk dat richting 2050 de productie van groengas achterblijft bij de vraag door tegenvallende beschikbaarheid van biograndstoffen: in dat geval kan de prijs flink oplopen. Ook wanneer er- eveneens schaarse- groene waterstof moet worden toegevoegd aan de brandstofmix, zal de gemiddelde eenheidsprijs van klimaatneutraal gas toenemen.

Voor de aannames over de beschikbaarheid van klimaatneutraal gas in de ASA2025 wordt grotendeels aangesloten bij de uitgangspunten die zijn gehanteerd in de SA2020. In de SA2020 werd

²² Dit is een versimpeling van de werkelijkheid: in de praktijk is het aannemelijk dat volumes kleiner worden indien meer gebruik wordt gemaakt van hybride warmtepompen in plaats van HR-ketels. Het is dan waarschijnlijk dat overheadskosten (omgeslagen naar een bedrag per kuub) toenemen.

uitgegaan van een beschikbaarheid van 2 miljard kubieke meter groen gas voor de gebouwde omgeving. In de ASA2025 is dit 2 bcm klimaatneutraal gas, een combinatie van groen gas en groene waterstof. De 2 miljard kubieke meter is gebaseerd op de beleidsambitie voor 2030 die is uitgesproken in het Klimaatakkoord.

Deze uitgangspunten zijn in 2024 voorgelegd aan de ministeries, die toen hebben aangegeven dat deze ambitie nog steeds geldig is. In de ASA2025 wordt dit geoperationaliseerd door ervan uit te gaan dat al het duurzame gas middels een landsdekkende gasinfrastructuur beschikbaar wordt gesteld en dat de gebouwde omgeving erin slaagt om circa 2 bcm van het klimaatneutrale gas af te nemen tegen de indicatieve groothandelsprijs. Een half bcm (0,5 bcm) daarvan wordt gereserveerd voor de piekvoorziening in warmtenetten met midden- of hoge temperatuur bron. In theorie zijn in de TVKN-trajecten voldoende duurzame gassen beschikbaar uit binnenlandse biomassa om in deze toegezegde hoeveelheid te voorzien. Het is daarbij wel relevant om te bedenken dat er voor biomassa (en waterstof) allerlei alternatieve toepassingen zijn die met elkaar concurreren. Denk daarbij bijvoorbeeld aan vloeibare brandstoffen voor scheepvaart en luchtvaart en als feedstock voor de chemie en plasticproductie. Het is daarom onzeker of er ook voldoende groengas beschikbaar zal zijn voor de gebouwde omgeving.

Hoewel het mogelijk is om extra biograndstoffen te importeren uit het buitenland is het echter waarschijnlijk dat die extra biograndstoffen (ook) nodig zullen zijn voor andere toepassingen dan de productie van groengas voor de gebouwde omgeving. In de TVKN-studie wordt verder beschreven dat mogelijkheden om extra waterstof te importeren beperkt zijn omdat ook andere landen in Azië en de EU fors inzetten op de grootschalige inzet van waterstof zoals Duitsland, België, Japan en Zuid-Korea.

Bovenstaande beschrijving geeft een indicatie van de verschillende onzekerheden rond de beschikbaarheid van klimaatneutraal gas. In de ASA2026 is besloten om het uitgangspunt rondom de beschikbaarheid van klimaatneutraal gas aan te passen, wat verder wordt toegelicht in paragraaf 6.3.

5.13.4 Klimaatneutrale elektriciteit

In de Startanalyse worden kosten in beeld gebracht voor het verwarmen van gebouwen zonder uitstoot van broeikasgassen. Dat betekent dat de kosten die in beeld worden gebracht voor elektriciteit ook moeten zijn gebaseerd op een klimaatneutraal elektriciteitssysteem. Omdat er nog geen elektriciteitssysteem is dat continu uitsluitend klimaatneutrale elektriciteit beschikbaar stelt, kunnen kostenschattingen niet ontleend worden aan de praktijk of afgeleid worden van huidige groothandelsprijzen. In de actualisatie van de Startanalyse wordt de groothandelsprijs van klimaatneutrale elektriciteit— net als bij groengas (zie paragraaf 5.13.3)— gebaseerd op de schaduw-prijzen voor elektriciteit van TVKN (zie tekstkader ‘Betekenis van schaduw prijzen van energiedragers in de TVKN-studie’ in voorgaande paragraaf). Daarbij wordt uitgegaan van jaargemiddelde geraamde marktprijzen voor elektriciteit in 2050²³.

²³ In dat jaar is het systeem als geheel klimaatneutraal: sectoren met netto emissies worden gecompenseerd door sectoren met netto negatieve emissies. In de meeste trajecten heeft de elektriciteitssector netto emissies.

Net als bij de kostenschatting voor klimaatneutraal gas moet bij de kostenschatting van klimaatneutrale elektriciteit rekening worden gehouden met het feit dat in de Startanalyse kosten worden uitgedrukt in niveaus voor 2030.

De geraamde marktprijs voor klimaatneutrale elektriciteit komt tot stand in een systeem waarin kostenontwikkelingen zijn verondersteld voor andere technieken binnen het systeem. De techniek ‘in de marge’, waar de geraamde marktprijs voor klimaatneutrale elektriciteit op is gebaseerd, is door veronderstelde kostenreducties daarom mogelijk lager in het zichtjaar 2050 dan in 2030.

De geraamde marktprijzen voor klimaatneutrale elektriciteit in 2050 worden terug gecorrigeerd naar prijzen in 2030 met een eenvoudige correctie, gebaseerd op de kostenontwikkeling van zon-pv, wind-op-land (WOL) en wind-op-zee (WOZ). Eerst wordt per TVKN-traject de relatieve bijdrage berekend van zon-pv, WOL en WOZ in de volume-input van elektriciteit. Vervolgens wordt voor alle drie die techniekvormen de kostenreductie bepaald tussen 2030 en 2050. Die kostenreductie wordt vervolgens gewogen over de relatieve bijdragen van de technieken aan de elektriciteitsinput. De resulterende gewogen gemiddelde correctiefactor wordt toegepast op de geraamde marktprijs van klimaatneutrale elektriciteit. De correctiefactor komt voor beide TVKN-trajecten neer op een verhoging van circa 17% op de oorspronkelijk geraamde marktprijs voor klimaatneutrale elektriciteit. Dit is een grove correctie, omdat de vaste techniekkosten niet per se terugkomen in de prijs van klimaatneutrale elektriciteit.

De kosten voor overhead en distributie van klimaatneutrale elektriciteit zijn apart bepaald. De berekening van de overheadkosten bij elektriciteit zijn gebaseerd op de methode die is gebruikt in de SA2020 (van Polen et al. 2022), met enkele aanpassingen:

- De overheadkosten voor elektriciteit zijn gebaseerd op CBS statistieken over de leveringsprijs van elektriciteit van de afgelopen vijf jaar. Daarin was vooral 2022 een uitzonderlijk jaar door de energiecrisis. Het jaar 2022 is daarom buiten beschouwing gelaten bij het bepalen van de kosten voor overhead.
- Door het jaar 2022 buiten beschouwing te laten zijn de belangrijkste afwijkingen door de energiecrisis ondervangen. In het jaar 2023 komen echter ook nog opvallende afwijkingen voor, die maken dat de berekening geen bruikbare resultaten oplevert voor de overheadskosten bij midden-grote gebruikers van elektriciteit. Toch heeft het de voorkeur dit statistiekjaar in de berekening te behouden: de energiemarkt is in 2023 al in zekere mate genormaliseerd. Bovendien hebben er wel degelijk grote ontwikkelingen plaatsgevonden op de energiemarkten voor gas en elektriciteit in de afgelopen drie jaar. Daarom wordt het statistiekjaar 2023 in de berekening meegenomen. Gegeven de beperking in de data met betrekking tot de overheadkosten van midden-grote gebruikers, zijn de overheadskosten in deze groep gelijkgesteld aan de overheadskosten bij grootgebruikers
- In de SA2020 werden kosten in beeld gebracht voor extra overhead, vanuit de gedachte dat een systeem met veel variabele hernieuwbare elektriciteitsproductie (VHE) meer monitoring en fijnregeling nodig heeft dan het huidige systeem. De extra overheadskosten kwamen in de SA2020 neer op circa 12% van de totale kosten voor klimaatneutrale elektriciteit. In de afgelopen vijf jaar heeft echter veel technologische ontwikkeling plaatsgevonden, bijvoorbeeld met betrekking tot AI, wat nieuwe en mogelijk efficiëntere monitoring en fijnregeling mogelijk maakt. Het is daarom moeilijk om voor de ASA2025 een betrouwbare nieuwe schatting te doen voor extra overheadskosten: extra overheadskosten worden daarom buiten beschouwing gelaten.

De schaduw prijzen voor klimaatneutrale elektriciteit in de TVKN-trajecten liggen een stuk lager dan de productiekosten die zijn berekend voor de SA2020. Samen met het gegeven dat de extra overheadskosten in de ASA2025 buiten beschouwing worden gelaten, maakt dit dat de gemiddelde leveringsprijs voor klimaatneutrale elektriciteit in de ASA2025 circa 42% lager uitvallen dan de kosten die voor de SA2020 zijn berekend, na correctie voor inflatie (zie Tabel 61).

Tabel 61

Overzicht kosten klimaatneutrale elektriciteit, uitgedrukt in euro2023 per kWh

	ASA2025		SA2020	SA2020
	euro2023 per kWh		euro2023 per kWh	euro2018 per Kwh
	min	max	middenwaarde	middenwaarde
Indicatie leveringsprijs ASA2025	0,085	0,091		
Productiekosten + overhead SA2020			0,151	0,122
Kostenvergelijking ASA2025 en SA2020	0,085	0,091	0,151	0,122

Onzekerheid geraamde marktprijs klimaatneutrale elektriciteit

De TVKN-studie biedt nuttige aanknopingspunten voor een nieuwe raming van een groothandelsprijs van klimaatneutrale elektriciteit, waarbij rekening kan worden gehouden met nieuwe componenten die waarschijnlijk nodig zullen zijn in een klimaatneutraal elektriciteit systeem zoals back-up vermogen, balancering en verzwaarde netinfrastructuur en waarbij rekening kan worden gehouden met het energiesysteem als geheel. Desondanks past de TVKN-informatie slechts gedeeltelijk bij het doel van deze analyse, aangezien de Startanalyse beoogt de kosten van klimaatneutrale systemen te vergelijken in 2030. Om tot werkbare kostenschattingen te komen voor klimaatneutrale elektriciteit waren grove correcties nodig voor de verwachte kostenreducties tussen 2030 en 2050. Ondanks de methodeverbetering geeft ook een marginale kostenbenadering daarom slechts een grove indicatie van de groothandelsprijs van klimaatneutrale elektriciteit in een theoretische situatie in 2030 die zich in de praktijk niet zal voordoen, maar die nodig is voor een correcte vergelijking van kosten van verschillende strategieën voor aardgasvrije verwarming van gebouwen.

De beperkte bandbreedte die volgt uit de selectie van TVKN-trajecten voor de kostenschatting, reflecteert slechts ten dele de zeer grote onzekerheid met betrekking tot de ontwikkeling van elektriciteitsinfrastructuur en de ontwikkeling van een mogelijke groothandelsprijs voor klimaatneutrale elektriciteit²⁴.

5.13.5 Gevoeligheidsanalyses energieprijzen

Toekomstige energieprijzen in een klimaatneutraal energiesysteem zijn zeer onzeker.

Om de gevoeligheid van de ASA2025 resultaten voor de onzekerheid in energieprijzen te laten zien wordt gebruik gemaakt van gevoeligheidsanalyses.

Met betrekking tot de energieprijzen zijn twee gevoeligheidsanalyses uitgevoerd: één gevoeligheidsanalyse met hoge prijzen voor klimaatneutrale elektriciteit en klimaatneutraal gas en één

²⁴ In de ASA2026 zijn daarom nog aanvullende gevoeligheidsanalyses opgenomen voor de prijs van klimaatneutrale elektriciteit (zie paragraaf 6.4)

gevoeligheidsanalyse met relatief lage prijzen voor deze twee energiedragers. De aannamen met betrekking tot de energieprijzen in de gevoeligheidsanalyses worden in deze subparagraaf besproken.

Hoge kosten energiedragers

De gevoeligheidsanalyse met hogere energieprijzen geeft een beeld hoe de gemiddelde groothandelsprijs voor klimaatneutraal gas verandert bij een zeer beperkte beschikbaarheid van biograndstoffen. Ook geeft het een indruk van de mogelijke prijsontwikkeling, bij een hoger aandeel groene waterstof in de brandstofmix. Waterstof kan niet vanzelfsprekend worden gebruikt voor het verwarmen van gebouwen: daarvoor moeten eerst aanpassingen worden gedaan aan de gasinfrastructuur. Naast hogere kosten voor productie van waterstof dan voor groengas, moet ook met deze kosten voor de infrastructuur rekening worden gehouden bij de interpretatie van de gemiddelde eenheidsprijs van klimaatneutraal gas.

Aangezien er geen schaduwprijs voor waterstof beschikbaar is in TVKN wordt voor de eenheidsprijs van klimaatneutraal gas in de gevoeligheidsanalyse uitgegaan van de schaduwprijs van groengas in een TVKN-traject, waarin sprake is van grote schaarste van biograndstoffen: het 'SR_minder plastic afval' traject. In dit traject is de beschikbaarheid van biograndstoffen weliswaar relatief hoog, maar is er veel vraag naar niet-fossiele koolwaterstoffen, omdat fossiele brandstoffen worden uitgefaseerd en omdat er minder plastic wordt gerecycled. Mede door die schaarste is de schaduwprijs voor groengas in dat traject erg hoog. Hoewel er geen nieuwe schattingen zijn gemaakt voor de prijs van groene waterstof, komt de prijs voor groengas in het SR_minder plastic afval traject in de buurt van de productiekosten voor groene waterstof, zoals ze zijn bepaald in de SA2020, na correctie voor inflatie (circa 4,8 euro₂₀₂₃ per kuub groene waterstof gemiddeld). In Tabel 62 wordt de gemiddelde eenheidsprijs gegeven voor klimaatneutraal gas zoals die in de gevoeligheidsanalyse voor de ASA2025 wordt gehanteerd. Ter vergelijking worden in deze tabel ook de productiekosten voor groene waterstof gegeven zoals ze in de SA2020 zijn vastgesteld.

De schaduwprijs in het 'SR_minder_plastic afval' traject van de TVKN studie resulteert in een zeer hoge geraamde marktprijs voor klimaatneutraal gas in de ASA2025. Uit de analyses blijkt dat de strategie met klimaatneutraal gas ook al bij lagere prijzen uit beeld begint te raken, omdat het klimaatneutraal gas dan al te duur wordt om nog te kunnen concurreren met andere verduurzamingsstrategieën. Daarom is een extra gevoeligheidsanalyse (hoge energieprijzen) opgenomen met een prijs van 3 euro per kubieke meter klimaatneutraal gas. Voor de kosten van klimaatneutrale elektriciteit in de gevoeligheidsanalyses met hoge energieprijzen wordt uitgegaan van de schaduwprijs in het PBB40 traject van TVKN (zie paragraaf 5.13.4).

Tabel 62

Gevoeligheidsanalyse hoge gemiddelde prijs klimaatneutraal gas, vergeleken met de kosten van waterstof in SA2020 [Euro/ m³]

	ASA2025	SA2020	SA2020		
	Gemiddelde eenheidsprijs KN gas	Kosten groene waterstof			
	euro2023	euro2023	euro2018		
	GA_HE	min	max	Min	max
Schaduwprijs TVKN	4,89				
Overhead kleingebruik	0,20				
Indicatie leveringsprijs	5,09				
Productiekosten + overhead H₂ SA2020		2,98	6,53	2,40	5,27
Kostenvergelijking ASA2025 en SA2020	5,09	2,98	6,53	2,40	5,27

Lage kosten energiedragers

Het is waarschijnlijk dat energieprijzen voor klimaatneutrale elektriciteit en klimaatneutraal gas eerder aan de bovenkant van de bandbreedte zullen liggen dan aan de onderkant. Toch valt niet uit te sluiten dat door een samenspel van gunstige ontwikkelingen, prijzen voor klimaatneutrale energiedragers lager uitvallen dan verwacht. Daarom is in de ASA2025 ook een gevoeligheidsanalyse toegevoegd met relatief lage prijzen voor klimaatneutrale elektriciteit en klimaatneutraal gas. Voor zowel klimaatneutrale elektriciteit als voor klimaatneutraal gas wordt uitgegaan van de geraamde marktprijzen van het TVKN PR40 scenario voor respectievelijk elektriciteit (zie paragraaf 5.13.4) en groengas (zie paragraaf 5.13.3).

Gevoeligheidsanalyse beschikbaarheid klimaatneutraal gas

Zoals in de voorgaande paragrafen is beschreven is naast de prijs, ook de beschikbaarheid van klimaatneutraal gas onzeker. In de gevoeligheidsanalyse met hoge energieprijzen wordt al een indicatie gegeven wat er met de prijs van klimaatneutraal gas kan gebeuren bij een zeer beperkte beschikbaarheid van biograndstoffen. Daarnaast worden in de ASA2025 diverse scenario's doorerekend, waarbij de beschikbare hoeveelheid klimaatneutraal gas voor de gebouwde omgeving wordt beperkt tot 1,5 en 1 bcm.

6 Wijzigingen ASA2026 ten opzichte van ASA2025

In maart 2025 is de ASA2025 gepubliceerd. De ASA2025 wordt door gemeenten en andere organisaties veel gebruikt, wat waardevolle respons heeft opgeleverd. Mede op basis van deze respons en aanvullende controles door het PBL zijn er correcties van invoerwaarden en modelwijzigingen noodzakelijk gebleken. Ook zijn op onderdelen betere en actuelere gegevens beschikbaar gekomen. De correcties en aanpassingen op basis van actuelere en betere gegevens in het kader van de ASA2026 worden in dit hoofdstuk beschreven in paragraaf 6.1 en 6.2. Daarnaast is het uitgangspunt met betrekking tot de beschikbaarheid van klimaatneutraal gas in de ASA2026 aangepast ten opzichte van de ASA2025 (zie paragraaf 6.3) en zijn extra gevoeligheidsanalyses toegevoegd (zie paragraaf 6.4). De ASA2026 is geen compleet geactualiseerde versie. Dit betekent bijvoorbeeld dat er geen nieuwe validatiesessies zijn georganiseerd waarin (kosten)kengetallen zijn voorgelegd aan marktpartijen en experts.

6.1 Correcties

In deze paragraaf worden de correcties in de ASA2026 ten opzichte van de ASA2025 individueel beschreven. De correcties zijn het product van uitgebreide controles van de resultaten door het PBL of reacties van gebruikers van de Startanalyse producten.

6.1.1 Aardgasprijs in 2023

De kosten van de referentiebeelden hangen af van de totale prijs van aardgas (inclusief overheadkosten). In de ASA2025 werden voor het referentiebeeld 2023 dezelfde overheadkosten aangenomen als voor het referentiebeeld 2030. In de ASA2026 is dit aangepast en wordt voor de overheadkosten van aardgas voor 2023 aangesloten bij de Klimaat- en Energieverkenning 2024. Deze bijstelling heeft alleen invloed op de kosten van het referentiebeeld 2023 en heeft geen invloed op de berekening van de nationale meerkosten van strategieën.

6.1.2 Allocatieprocedure klimaatneutraal gas

In de hoofdberekeningen van de ASA2026 wordt er niet meer van uitgegaan dat er klimaatneutraal gas beschikbaar is voor gebruik in individuele installaties. Er worden echter nog steeds gevoeligheidsanalyses gedaan met een beperkte beschikbaarheid van klimaatneutraal gas voor individuele installaties (0,5 en 1 bcm). Voor die gevoeligheidsanalyses wordt gebruik gemaakt van de allocatieprocedure van klimaatneutraal gas over buurten.

In paragraaf 4.4 is uitleg gegeven over de allocatieprocedure voor klimaatneutraal gas die in de ASA2025 wordt gehanteerd. Die allocatie vindt plaats op basis van de uitgespaarde kosten ten opzichte van een duurdere strategie per kubieke meter klimaatneutraal gasbehoefte per buurt. De allocatieprocedure wordt alleen gebruikt voor buurten waar een strategievariant met klimaatneutraal gas de laagste nationale kosten heeft.

De uitgespaarde kosten worden bepaald door het kostenverschil te nemen tussen de strategievariant met klimaatneutraal gas en de eerstvolgende strategievariant (op basis van nationale kosten) zonder klimaatneutraal gas. Het kostenverschil wordt vervolgens gedeeld door de vraag naar klimaatneutraal gas (zie paragraaf 4.4). Deze berekening ging in de SA2020 en de ASA2025 echter niet goed voor buurten met een bestaand warmtenet. Bij het berekenen van de uitgespaarde kosten in buurten met een bestaand warmtenet werd uitgegaan van de kostenbesparing over de gehele buurt, inclusief bijvoorbeeld de (variabele) kosten van het bestaande warmtenet, terwijl voor de vraag naar klimaatneutraal gas alleen werd uitgegaan van aansluitingen die niet op het bestaande warmtenet zijn aangesloten. Voor buurten met een groot aandeel aansluitingen op een bestaand warmtenet leidde dit tot relatief hoge kostenbesparingen per eenheid klimaatneutraal gas.

Dit is gecorrigeerd door bij de berekening van de uitgespaarde kosten te vermenigvuldigen met het aandeel van de aansluitingen dat *niet* op stadsverwarming zit. In de ASA2026 krijgen buurten met een relatief groot aandeel aansluitingen op een bestaand warmtenet daardoor vaker een strategie zonder klimaatneutraal gas toegewezen.

6.1.3 Extra outputindicatoren

In de ASA2025 zijn extra indicatoren opgenomen voor de energievraag per woningequivalent. Deze indicatoren (H22-H40), werden echter niet correct uitgevoerd uit het model. Deze indicatoren staan buiten de hoofdberekeningen en hebben geen invloed op de resultaten voor de strategie met de laagste nationale kosten per buurt. In de ASA2026 zijn deze indicatoren gecorrigeerd.

6.1.4 Kostenkengetallen

In de ASA2025 werd een inflatiecorrectie toegepast op de onderhoudskosten van diverse typen installaties. Dit is in de ASA2026 bijgesteld. De onderhoudskosten als percentage van de investeringskosten zijn nu weer gelijk aan de uitgangspunten van de SA2020 tenzij anders aangegeven (e.g. onderhoudskosten geothermie, zie paragraaf 5.11.1). Voor de kosten voor seizoensbuffering is geen nieuwe informatie binnengekomen in de validatiesessies. Daarom wordt uitgegaan van de kosten voor seizoensbuffering zoals aangenomen in de SA2020 met een correctie voor inflatie. In de ASA2025 zijn de kosten voor seizoensbuffering hoger vastgesteld dan het inflatiegecorrigeerde kengetal voor de SA2020. Daarom zijn de kosten in de ASA2026 bijgesteld. Het kostenkengetal voor de minimale investeringskosten (drempelwaarde) is gelijk gebleven.

Tabel 63
Kosten seizoensbuffer

	ASA2026	ASA2025	SA2020	SA2020
	euro2023	euro2023	euro2023	euro2018
Vaste kosten seizoensbuffer	124.002	124.002	124.002	100.000
Extra kosten seizoensbuffer per aansluiting	1.240	1.860	1.240	1.000

6.1.5 Rendementen collectieve warmtepompen

In paragraaf 5.11.12 staan de rendementen van collectieve warmtepompen die zijn vastgesteld op basis van de informatie die is opgehaald bij de validatiesessie warmtenetten in 2024.

De aanpassingen van de rendementen ten opzichte van de SA2020 zijn niet meegenomen in de berekeningen voor de ASA2025. In de ASA2026 zijn de rendementen van collectieve warmtepompen bijgesteld, zodat ze overeenkomen met de rendementen in paragraaf 5.11.12.

6.1.6 STEG op klimaatneutraal gas in plaats van waterstof

In de ASA2025 werd aangenomen dat een stoom- en gasturbine (STEG) gebruik maakt van waterstof tegen de prijs van (groene) waterstof die is bepaald voor de SA2020. In de update is dit bijgesteld. De STEG maakt in de ASA2026 gebruik van klimaatneutraal gas tegen de prijs die is bepaald voor de ASA2025. Dit betekent dat de prijs voor het gebruik van gas in een STEG is afgenomen (zie paragraaf 5.13.3).

Tabel 64
Kosten brandstof STEG

	ASA2026	ASA2025	SA2020	SA2020
Eenheid	euro2023 per m ³	euro2023 per m ³	euro2023 per m ³	euro2018 per m ³
Prijs	1,19	2,10	2,10	1,69
	klimaatneutraal			
Energiedrager	gas	waterstof	waterstof	waterstof

6.1.7 Strategievariant S3g

In de ASA2026 is ervoor gekozen om strategievariant S3g (ZLT-warmtenet met WKO) aan te passen. In de ASA2025 werd bij S3g uitgegaan van een lagetemperatuur restwarmtebron, die warmte op 15 graden bij gebouwen aanlevert. Vervolgens werd deze warmte in het gebouw met een individuele warmtepomp opgewaardeerd tot 50 graden en gebruikt voor verwarming van de woning. In de doelsituatie wordt uitgegaan van schillabel D. Bij deze isolatiegraad is echter de verwachting dat een temperatuur van 50 graden niet toereikend is om een woning effectief te verwarmen. Daarom is er in de ASA2026 voor gekozen strategievariant S3g aan te passen naar een variant waarbij opgewaardeerd wordt tot 70 graden, wat voldoende is om een huis met schillabel D te verwarmen. De hogere aflevertemperatuur gaat ten koste van het rendement van de warmtepomp. Het rendement is namelijk afhankelijk van het vereiste temperatuurverschil. Hierdoor zullen het elektriciteitsverbruik en de bijbehorende kosten stijgen. Bij een aflevertemperatuur van 70 graden is het echter niet nodig om de bestaande radiatoren te vervangen door lagetemperatuur-afgiftesystemen, zoals vaak het geval is bij een aflevertemperatuur van 50 graden. Dit zorgt voor een daling van de kosten. De stijging van de elektriciteitskosten en de daling van de kosten voor lagetemperatuur-afgiftesystemen compenseren elkaar deels. Mede daarom heeft de wijziging beperkte invloed op de resultaten voor de laagste nationale kosten.

6.1.8 Warmtebronnen

In de ASA2025 zijn warmtebronnen meegenomen (zie paragraaf 5.4.1) waarvan de gemeente opgegeven had dat er geen beschikbare capaciteit is. Dit komt doordat een standaardwaarde voor het thermisch vermogen werd toegekend aan uitgesloten warmtebronnen. Dit had vooral invloed op de categorieën 'Dienstverlening Informatie' en 'Voedingsmiddelen drank en tabak' waar te veel thermisch vermogen aan werd toegekend.

In de ASA2026 is hiervoor gecorrigeerd door het thermisch vermogen van deze bronnen op nul te zetten (zie Tabel 66 in paragraaf 6.2.2) voor een overzicht van de aangepaste LT-bronnen en bijbehorend cumulatief vermogen). Ondanks het ontbreken van hoge thermische potentieel aan lage-temperatuur warmte, hebben andere strategieën in de meeste gevallen lagere nationale kosten. De aanpassing heeft daarom relatief weinig invloed op de resultaten voor de laagste nationale kosten.

Daarnaast is er een aanpassing gedaan aan de toekenning van warmtebronnen aan bestaande warmtenetten. In de ASA2025 werden de bestaande warmtenetten gekoppeld aan warmtebronnen in het databestand van warmtebronnen, maar hierin zitten ook bronnen die nog in ontwikkeling zijn (zoals geothermiebronnen). Deze werden als mogelijke warmtebron meegenomen voor bestaande warmtenetten waardoor de kosten voor bestaande warmtenetten niet goed uitkwamen. Dit is aangepast in de ASA2026 zodat voor bestaande warmtenetten alleen bestaande warmtebronnen kunnen worden gebruikt. Daarnaast is er ook een aanpassing gedaan voor Warmteling, welke aan de ASA2025 was toegevoegd als lijnbron die in 2030 beschikbaar was. Deze werd niet goed uitgekoppeld in de berekeningen. Dit is voor de ASA2026 verholpen.

6.1.9 Warmtevraag en investeringskosten isolatie

In de Startanalyse is de warmtevraag voor ruimteverwarming van woningen onder andere afhankelijk van de oppervlakte van de woning. In de ASA2026 is een fout in de modelcode verwijderd waardoor er in de SA2020 afkappingen voor het woningoppervlak van minimaal 50 en maximaal 200 vierkante meter werden toegepast. Door de correctie daalt de warmtevraag van woningen met kleine oppervlakte (kleiner dan 50 vierkante meter). De warmtevraag van woningen met een grote oppervlakte (groter dan 200 vierkante meter) neemt toe. Netto stijgt de totale warmtevraag door deze aanpassingen met circa 7 petajoule (ongeveer 1% van de totale warmtevraag). Deze correctie heeft ook invloed op de investeringskosten voor isolatie van woningen met een oppervlakte kleiner dan 50 of groter dan 200 vierkante meter, omdat die kosten oppervlakte-afhankelijk zijn. De investeringskosten voor isolatie van woningen met een oppervlakte kleiner dan 50 vierkante meter nemen daarom af, bij woningen groter dan 200 vierkante meter nemen de kosten toe. Hoewel de effecten bij grote en kleine woningen elkaar deels compenseren, nemen de kosten van isolatie over het geheel beschouwd toe.

De berekening van de warmtevraag voor warm tapwater is ook gecorrigeerd. In de ASA2025 publicatie zijn de kengetallen voor de *metervraag* (inclusief verliezen in installaties) uit de Referentieverbruik II studie (van Beijnum et al. 2025) gehanteerd, waar in het Vesta MAIS model de *functionele vraag* (exclusief verliezen in installaties) gehanteerd zou moeten worden. Dit betekent dat de gebruikte kengetallen te hoog waren. De correctie leidt tot een lagere (functionele) warmtapwater-vraag in de update.

Het totale energieverbruik daalt door de correctie op warm tapwater met circa 18 petajoule (ongeveer 3% van de totale warmtevraag). Netto leiden de correcties in de warmtevraagberekeningen voor ruimteverwarming en warm tapwater bij woningen tot een daling van circa 11 petajoule (ongeveer 2% van de totale warmtevraag).

6.2 Aanpassingen op basis van actuelere en betere gegevens

Zoals eerder in dit hoofdstuk beschreven zijn er aanpassingen gedaan op basis van actuelere en betere gegevens, waarbij het met name gaat om nieuwe inzichten rondom de beschikbaarheid en capaciteit van warmtebronnen. De aanpassingen die zijn doorgevoerd in de ASA2026 ten opzichte van de ASA2025 worden in deze paragraaf individueel beschreven.

6.2.1 Prijs warmte in bestaande warmtenetten

Het is niet altijd bekend welke prijs voor warmte moet worden betaald in (bestaande) warmtenetten. Indien de prijs van warmte voor een specifieke bron of warmtenet niet beschikbaar is, wordt in de modellering de prijs van aardgas aangenomen op basis van het Niet-Meer-Dan-Anders (NMDA) principe. Bij nieuwe warmtenetten op restwarmte wordt uitgegaan van de geschatte prijs van aardgas in 2030. Bij bestaande warmtenetten werd in de ASA2025 uitgegaan van de beschikbare informatie voor dat warmtenet in 2023. In de update is de prijs van warmte in bestaande warmtenetten bijgesteld, zodat deze aansluit bij de prijs van nieuwe warmtenetten.

6.2.2 Warmtebronnen

Gemeenten hebben in 2024 circa vier maanden de tijd gehad om te reageren op de lijst met warmtebronnen. Circa 10% van de gemeenten heeft van die mogelijkheid gebruik gemaakt. Het PBL heeft sinds de publicatie van de ASA2025 veel reacties gekregen van gemeenten in relatie tot de warmtebronnen. Bij de meeste van deze reacties wordt benoemd dat het thermisch vermogen van een bron niet strookt met de praktijk. Verder komt het voor dat een bron niet meer bestaat of is samengevoegd met een andere bron. Het PBL streeft met de Startanalyse naar een product dat zo bruikbaar mogelijk is en dat— binnen de mogelijkheden van een gegeneraliseerde nationale studie— zoveel mogelijk aansluit bij de actuele praktijk. Het verbeteren van de informatie over de warmtebronnen is daarom een belangrijke aanleiding geweest voor de update. In paragraaf 6.2.1 en 6.1.8) wordt een beschrijving gegeven van bijstellingen in relatie tot de warmtebronnen en prijs van warmte, in deze paragraaf is ook een overzicht opgenomen van aantallen en capaciteit gegeven deze wijzigingen.

Update beschikbaarheid en thermische capaciteit (punt)- warmtebronnen

PBL maakt voor de warmtebronnen gebruik van de Warmteatlas, die wordt beheerd door RVO. Ten behoeve van de ontwikkeling van de Warmteatlas hebben de Nederlandse waterschappen informatie over beschikbare warmtebronnen van bijvoorbeeld rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI-installaties) en (kleinere) rioolgemaal en de bijbehorende thermische capaciteit van die bronnen geactualiseerd. Deze informatie kwam te laat om mee te nemen in de ASA2025. Sinds de publicatie heeft het PBL echter diverse reacties van gemeenten ontvangen, waarin werd aangegeven dat de informatie over de RWZI-installaties verouderd is.

Daarom is er alsnog voor gekozen om in de update de nieuwe informatie van de waterschappen mee te nemen²⁵. De nieuwe informatie van de waterschappen heeft invloed op de beschikbaarheid van bronnen en op de beschikbare thermische capaciteit. Daarnaast is het aantal draaiuren van RWZI installaties en rioolgemaal omlaag bijgesteld: daardoor is het berekende thermisch vermogen van die installaties circa 8% lager geworden. De aanpassingen met betrekking tot de beschikbaarheid en thermische capaciteit van (punt)warmtebronnen kunnen (lokaal) veel invloed hebben. Zo is de cumulatieve thermische capaciteit van rioolwaterzuiveringsinstallaties bijgesteld van circa 3486 MW thermisch vermogen in de ASA2025 naar 1133 MW in de ASA2026. Aan het einde van deze paragraaf wordt een overzicht gegeven van de veranderingen met betrekking tot de beschikbaarheid en thermisch vermogen van de warmtebronnen.

²⁵ Data is door de waterschappen geleverd aan RVO, ten behoeve van een update van de WarmteAtlas (RVO2024b) voor de Startanalyse

Nieuwe informatie over bestaande warmtenetten

Om te bepalen waar in Nederland bestaande warmtenetten liggen wordt gebruik gemaakt van de CBS kerncijfers wijken- en buurten (CBS 2015-2023)). In de CBS kerncijfers wordt het percentage woningen met stadsverwarming per buurt gegeven. Voor de buurtindeling wordt in de ASA2025 de CBS2023 buurtindeling aangehouden. Sinds 2023 hebben diverse gemeenten echter nieuwe informatie aangeleverd aan het CBS met betrekking tot het percentage bestaande warmtenetten. Die aanpassingen zijn aangeleverd in een recentere CBS buurtindeling en zijn niet meegenomen in de ASA2025 analyses. In de update is daarvoor gecorrigeerd.

Overzicht wijzigingen warmtebronnen

In de voorgaande paragrafen zijn diverse wijzigingen beschreven met betrekking tot de beschikbaarheid en het thermisch vermogen van puntwarmtebronnen. In paragraaf 6.1.8 zijn ook correcties beschreven in relatie tot de warmtebronnen, waarvan de belangrijkste is dat in de update bronnen zijn uitgesloten waarvan gemeenten hebben aangegeven dat er geen thermische capaciteit beschikbaar is. Dit heeft vooral invloed op de beschikbare (Z)LT capaciteit. Verder zijn correcties gedaan met betrekking tot de toekenning van bronnen aan bestaande warmtenetten en in de uitkoppeling van WarmteLinq als lijnbron. Tabel 65 en Tabel 66 laten zien wat de gevolgen zijn van die wijzigingen ten opzichte van de beschikbaarheid van thermisch bronvermogen in de ASA2025 publicatie (zie paragraaf 5.4.1).

Tabel 65

Overzicht van puntbronnen met hoge-of middentemperatuur warmte ASA2026

Categorie	Aantal ASA2025	Maximaal thermisch vermogen ASA2025	Aantal ASA2026	Maximaal thermisch vermogen ASA2026
		Megawatt		Megawatt
Stoom- en gasturbine	36	6169	36	6089
Gasturbine	16	1899	15	782
Gasmotor	8	200	8	200
Industrie	509	4195	213	3054
Raffinaderij	9	848	9	845
Kerncentrale	1	350	1	350
Geothermie	29	443	29	443
Afvalverbrandings- installatie	22	1078	21	1057
Biomassacentrale	23	323	22	278
Biomasse warmte- krachtkoppeling	5	42	5	42

Tabel 66

Overzicht puntbronnen met (zeer) laagtemperatuur warmte ASA2026

Categorie	Aantal ASA2025	Maximaal thermisch ver- mogen ASA2025	Aantal ASA2026	Maximaal thermisch vermogen ASA2026
		Megawatt		Megawatt
Supermarkt	2914	519	2935	522
Rioolwaterzuiver- ingsinstallatie	347	3486	347	1133
Koel- en vrieshuizen	159	296	159	204
Bakkerij	589	9	589	9
Wasserij	38	76	38	76
Dienstverlening in- formatie	153	722	153	112
Voedingsmiddelen drank tabak	719	14757	719	83
Slachthuis	285	849	285	804
Datacenter	153	3227	153	2745
IJsbaan	24	0	24	0
Gemaal	1598	816	1598	825
Zwembad	8	0	8	0
Glastuinbouw	292	0	292	0
Bestaande warmte- koude-opslag	2	0	2	37

6.3 Beschikbaarheid klimaatneutraal gas

Een wijziging die zeer veel impact heeft op de resultaten voor de laagste nationale kosten- namelijk de beschikbaarheid van klimaatneutraal gas voor individuele installaties- wordt in deze paragraaf afzonderlijk genoemd. In vorige versies van de Startanalyse was klimaatneutraal gas voor circa 30% van de aansluitingen de optie met de laagste nationale kosten. Daarbij werd uitgegaan van een beschikbaarheid van 2 bcm groengas in 2030 conform de ambitie die werd beschreven in het Klimaatakkoord.

De ambitie voor de groengas productie in 2030 uit het Klimaatakkoord wordt naar verwachting niet gerealiseerd. In de raming van de Klimaat-en Energieverkenning 2026 blijft de productie van groengas beperkt. De verwachte groei in groengasproductie zou voldoende kunnen zijn om het doel van de bijmengverplichting groengas te halen, wat neerkomt op het bijmengen van zo'n 0,5 miljard kubieke meter in 2030 (PBL, TNO, CBS & RIVM, 2026). Verder zijn er voor de productie van groene waterstof veel knelpunten en uitdagingen voor de markt geïdentificeerd, die onvoldoende van de grond komt (Elzenga, 2025). Daarnaast is het volgens de Trajectverkenning Klimaatneutraal Nederland 2050 (PBL, 2024) aannemelijk dat duurzame gassen zullen worden ingezet in andere sectoren met minder alternatieven voor verduurzaming dan de gebouwde omgeving.

De productie van klimaatneutraal gas in Nederland, de kosten van klimaatneutrale gassen en de toewijzing ervan aan de gebouwde omgeving zijn dus omgeven met onzekerheden. Dat maakt de toekomstige beschikbaarheid en kosten van klimaatneutraal gas voor de gebouwde omgeving te onzeker om nu als optie mee te nemen in de warmteprogramma's die eind 2027 opgeleverd moeten worden. Na overleg met experts en in afstemming met de adviesgroep van de ASA2026 is daarom besloten om er in de ASA2026 in beginsel van uit te gaan dat er geen klimaatneutraal gas beschikbaar is voor individuele verwarmingsinstallaties in de gebouwde omgeving. Wel wordt er van uitgegaan dat er klimaatneutraal gas beschikbaar is voor de bijstook van warmtenetten.

Dit betekent niet dat klimaatneutraal gas en hybride warmtepompen in 2050 niet zullen worden toegepast in de gebouwde omgeving. Voor een deel van de gebouwen kan klimaatneutraal gas nog steeds een oplossing zijn op de lange termijn. Dit hangt af van de toekomstige ontwikkeling van de beschikbaarheid en de kosten van klimaatneutraal gas. Denk hierbij aan factoren als de totale productie van klimaatneutraal gas in Nederland, importmogelijkheden, de toepassing in andere sectoren, het kostenverschil ten opzichte van alternatieve warmteopties en de beschikbaarheid van infrastructuur. Met die reden zijn er gevoeligheidsanalyses uitgevoerd, waarbij is uitgegaan van een grotere beschikbaarheid van klimaatneutraal gas.

6.4 Extra gevoeligheidsanalyses

Voor de ASA2026 zijn aanvullende gevoeligheidsanalyses uitgevoerd om de invloed van specifieke onzekerheden te kwantificeren en inzichtelijk te maken. Deze aanvullende gevoeligheidsanalyses zijn deels voortgekomen uit gesprekken met gemeenten en beleidsmakers over de resultaten. Daarnaast zijn enkele analyses op eigen initiatief uitgevoerd om aanvullende onzekerheden nader te onderzoeken.

De aanvullende gevoeligheidsanalyses zijn uitgevoerd door Ecorys, in opdracht van het PBL, en de resultaten van de gevoeligheidsanalyses worden in een bijgaande publicatie beschreven (Thijssen &

Gubbels 2026). De extra gevoeligheidsanalyses geven extra (kwantitatief) inzicht in het effect van de uitgangspunten voor:

- de beschikbaarheid van klimaatneutraal gas
- de maatschappelijke discontovoet;
- de geraamde marktprijs van klimaatneutraal gas;
- de geraamde marktprijs van klimaatneutrale elektriciteit;
- de kosten voor isolatie van woningen;
- de thermische capaciteit van warmtebronnen;
- de kosten voor het verwijderen van het gasnet.

7 Vergelijking resultaten

Startanalyse-publicaties op hoofdlijnen

In het kernrapport van de ASA2026 (van Polen et al. 2026) wordt uitvoerig ingegaan op de resultaten van de laagste nationale kostenberekeningen en worden de resultaten voorzien van duiding. In dit hoofdstuk een vergelijking gemaakt van de resultaten voor de kosten in de verschillende versies van de Startanalyse. Voor deze vergelijking is een extra gevoeligheidsanalyse uitgevoerd met de ASA2026 modelversie, om beter de vergelijking te kunnen maken met de voorgaande Startanalyse publicaties. De nadruk in de tekst ligt op de verschillen tussen de ASA2026 met 2 bcm klimaatneutraal gas en de SA2020, maar in de tabellen worden ook resultaten weergegeven voor de ASA2025 en voor de nieuwe ASA2026 hoofdberekening met 0 bcm klimaatneutraal gas voor individuele installaties (er blijft 0,5 bcm klimaatneutraal gas beschikbaar voor bijstook in warmtenetten).

De ASA2026 met 0 bcm klimaatneutraal gas voor individuele installaties is de nieuwe hoofdberekening (zie paragraaf 6.3). De hoofdberekening ligt aan de basis van de nieuwe laagste nationale kostenberekeningen voor gemeenten en wordt uitgebreid beschreven in het kernrapport bij de ASA2026 publicatie. In het kernrapport worden de nieuwe resultaten voor de laagste nationale kosten ook voorzien van duiding. Om in dit hoofdstuk echter beter de vergelijking te kunnen maken tussen de verschillende Startanalyse-publicaties wordt meer aandacht besteed aan de resultaten bij eenzelfde uitgangspunt voor klimaatneutraal gas. De resultaten worden vergeleken na correctie voor inflatie, aan de hand van de ontwikkeling van de gemiddelde geannualiseerde kapitaal- en variabele lasten (in euro2023) per woningequivalent (weq).

Alle wijzigingen die zijn doorgevoerd in de ASA2025 (zie hoofdstuk 5) zijn meegenomen naar de ASA2026. Als in de tekst in dit hoofdstuk een wijziging wordt genoemd, dan wordt niet apart aangegeven of die afkomstig is van de ASA2025 of de ASA2026 publicatie.

Over de interpretatie van de gemiddelde kosten per woningequivalent (weq)

De gemiddelde geannualiseerde kosten worden bepaald per strategie door voor alle doorgerekende buurten in Nederland de kosten aan te nemen van de variant met de laagste nationale kosten (bijvoorbeeld S1a of S1b) binnen de hoofdstrategie (strategie 1). Vervolgens worden de jaarlijkse kapitaal- en variabele lasten gedeeld door het totaal aantal weq woningen én utiliteit per strategie. Het aantal woningequivalenten verschilt per strategie, zo worden buurten die in hun geheel zijn aangesloten op een bestaand warmtenet meegenomen in de berekening bij strategie 2, maar worden die buurten uitgesloten bij de andere strategieën.

De gemiddelde kosten per weq— waarbij de gehele Nederlandse bouwvoorraad wordt overgezet op één hoofdstrategie— zijn theoretisch en daarom niet afhankelijk van de beschikbare hoeveelheid klimaatneutraal gas. De gemiddelde kosten per weq per hoofdstrategie zijn daarom gelijk in de ASA2026 berekening bij 0 en 2 bcm klimaatneutraal gas. De gemiddelde kosten per weq verschillen wel indien voor iedere buurt wordt uitgegaan van de strategie met de laagste nationale kosten, in dat geval heeft de beschikbaarheid van klimaatneutraal gas veel invloed.

De ontwikkelingen in de gemiddelde kosten per weq die in dit hoofdstuk zijn beschreven zijn niet alleen het gevolg van wijzigingen in kostenkengetallen en methodeverbetering: zo zijn CBS buurt-codes en de samenstelling van buurten veranderd in de afgelopen vijf jaar. Veranderingen in buurt-codes en de samenstelling van buurten kunnen niet één op één worden vergeleken tussen de ASA2026 en de SA2020.

Ontwikkelingen in de gemiddelde kosten per weq worden ook beïnvloed door de samenstelling van strategievarianten binnen een hoofdstrategie. Zo is binnen hoofdstrategie 2 (warmtenetten met een midden- of hogetemperatuur-bron) het aandeel buurten op een strategievariant met geothermie toegenomen in de ASA2026 publicatie ten opzichte van de ASA2025 en de SA2020 publicaties. Geothermie als bron heeft een ander kostenplaatje dan restwarmte en dit beïnvloedt de gemiddelde kosten per weq in strategie 2.

De gemiddelde kosten per weq geven een indruk van de ontwikkeling van de relatieve financiële aantrekkelijkheid van de hoofdstrategieën tussen de verschillende Startanalyse-versies. De gemiddelde kosten per weq zijn minder geschikt voor een kostenvergelijking van strategie 3, omdat in die strategie de gemiddelde kosten per weq afhankelijk zijn van het aandeel en het type aansluitingen dat op een warmtenet met (Z)LT bron wordt aangesloten en het aandeel woningen dat een warmtepomp krijgt. Het totale aandeel (Z)LT aansluitingen in strategie 3 is afgenomen van 17% in de SA2020 naar 16% in de ASA2026. De overige aansluitingen in buurten waar strategie 3 de laagste nationale kosten heeft zijn verbonden aan bestaande warmtenetten of krijgen een all-electric warmtepomp.

Duiding: kostenontwikkelingen worden beïnvloed door de optelling van meerdere factoren

Per strategie lichten we enkele belangrijke aanpassingen van kengetallen toe die helpen om de kostenontwikkeling te begrijpen. De aanpassingen die in dit hoofdstuk worden beschreven zijn niet uitputtend. De kostenontwikkelingen in de strategieën zijn uiteindelijk het gevolg van alle aanpassingen die in de voorgaande hoofdstukken zijn beschreven. Zo hangt een daling in de variabele lasten niet alleen samen met de kosten van energiedragers, maar kan deze ook (deels) worden verklaard door een lagere warmtevraag voor woningen (zie paragraaf 5.7), waardoor in alle strategieën de kosten voor inkoop van energie is gedaald.

Een ander voorbeeld is de daling van de gemiddelde kosten voor verbetering van de gebouwschil in strategieën (eigenlijk de achterliggende strategievarianten) met schillabel D in de eindsituatie in de ASA2026 ten opzichte van de SA2020. Ondanks dat isolatiekosten voor de meeste woningen zijn gestegen, komt deze daling goeddeels door een methodeverbetering bij utiliteit. In de SA2020 werden utiliteitsgebouwen altijd naar doellabel B geïsoleerd, óók in strategievarianten met doellabel D (voor woningen), omdat er nog te weinig kosteninformatie voor utiliteitsbouw beschikbaar was om plausibele kostenschattingen te maken voor andere doellabelniveaus. Omdat er voor de ASA2026 meer en betere data beschikbaar is, is het mogelijk om voor utiliteiten een kostenpakket te bepalen voor doellabel D. Het verlaagde doellabelniveau voor utiliteit maakt aanzienlijk lagere gemiddelde kosten voor de gebouwschil bij strategievarianten met doellabel D.

Verder zijn de kostenresultaten gedaald voor het verwijderen van het gasnet (Ko2) in strategie 1, 2 en 3, ondanks dat netbeheerders hebben aangegeven dat alle kosten voor het verwijderen van het gasnet- en aansluitingen zijn gestegen. De totale lengte gasnet is echter afgenomen in de ASA2026 ten opzichte van de SA2020 door andere filtermethoden van de netbeheerders (zie paragraaf 5.6), waardoor de totale kosten lager uitvallen. Bovendien is het aantal woningequivalenten waar het

kostentotaal in de vergelijking in dit hoofdstuk door wordt gedeeld toegenomen in de ASA2026 ten opzichte van de SA2020. De gemiddelde kosten per weq in de ASA2026 zijn daarom gedaald in de vergelijking met de SA2020.

Ontwikkeling op buurniveau, in de referentie en per hoofdstrategie

In dit hoofdstuk worden kostengemiddelden gegeven op landelijk niveau. Hoe de ontwikkeling van kosten zal uitpakken op het niveau van individuele buurten kan sterk verschillen. Veranderingen in isolatiekosten zijn van wisselende invloed omdat dit afhankelijk is van de huidige labelniveaus in een buurt. Het is niet mogelijk om een vergelijking te maken tussen de resultaten van de SA2020 en de ASA2026 op buurniveau, omdat buurtgrenzen, buurtcodes en de gebouwsamenstelling van buurten—denk aan sloop- en nieuwbouw, maar ook transformaties—zijn veranderd in de afgelopen vijf jaar.

In paragraaf 7.1 wordt een overzicht gegeven van de veranderingen in resultaten in de ASA2026: daarbij wordt aandacht besteed aan de veranderingen in het aantal aansluitingen per installatietype en verschuivingen in hoofdstrategie per buurt. In paragraaf 7.2 wordt de ontwikkeling in de kosten gegeven in het referentiebeeld 2030 tussen de SA2020 en de ASA2026. De ontwikkelingen in kosten worden vervolgens per hoofdstrategie besproken in de daaropvolgende paragrafen. De verschuivingen in het aandeel aansluitingen per strategie zijn het uiteindelijke product van alle ontwikkelingen in kosten en methode in de ASA2026 en worden beschreven in het kernrapport bij de ASA2026 publicatie.

7.1 Veranderingen in resultaten ASA2026

Door de verbeterde informatie en de correcties in de update zijn de resultaten veranderd in de ASA2026 ten opzichte van de ASA2025. Zowel op nationaal als op lokaal niveau zijn er veranderingen. Dat komt vooral omdat in de ASA2026 wordt uitgegaan van een lagere beschikbaarheid van klimaatneutraal gas. Dit leidt tot een grote verschuiving in de verdeling van strategieën. De nieuwe resultaten van de ASA2026 worden beschreven en van duiding voorzien in het de ASA2026 kernrapport.

In deze paragraaf wordt inzicht gegeven in de veranderingen in resultaten als gevolg van de bijstellingen, correcties en modelwijzigingen die eerder in dit hoofdstuk zijn beschreven, waarbij we de aannamen met betrekking tot klimaatneutraal gas gelijk houden met de ASA2025 (lees: 2 bcm klimaatneutraal gas) om een bruikbare vergelijking te kunnen maken.

7.1.1 Aandelen installaties op het totaal aantal aansluitingen

Tabel 67 geeft een overzicht van de aandelen van installaties over alle aansluitingen in de ASA2026 en de ASA2025 indien voor alle buurten wordt uitgegaan van de strategievarianten met de laagste nationale kosten.

Tabel 67

Aandelen installaties op het totaal aantal gebouwaansluitingen in ASA2025 en ASA2026

	ASA2026 met 0 bcm	ASA2026 met 2 bcm	ASA2025	SA2020
Type aansluiting		[%]	[%]	
Aardgas	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Individuele elektrische warmtepomp	65,0%	31,1%	34,7%	38,0%
Warmtenetten met midden- of hogetemperatuurwarmtebron	26,9%	24,7%	29,8%	34,0%
Warmtenetten met (zeer)lage temperatuurwarmtebron	8,1%	6,2%	5,6%	2,0%
Hybride warmtepompen met klimaatneutraal gas	0,0%	37,9%	30,0%	23,0%
Hoogrendement ketel met klimaatneutraal gas	0,0%	0,0%	0,0%	3,0%

7.1.2 Verschuivingen strategie per buurt

De actualisatie heeft ook invloed op de strategie met de laagste nationale kosten per buurt. Het is niet mogelijk om de verschuivingen in hoofdstrategie per buurt te laten zien van de SA2020 naar de ASA2025 omdat buurtcodes en de samenstelling van buurten zijn veranderd (zie paragraaf 5.5.1). Het is wel mogelijk om verschuivingen in hoofdstrategie te laten zien in de overgang van de ASA2025 naar de ASA2026 met 2 bcm klimaatneutraal gas en de overgang van de ASA2026 met 2 bcm naar 0 bcm klimaatneutraal gas.

In de overgang van de ASA2025 naar de ASA2026 met 2 bcm klimaatneutraal gas behouden bijna twaalfduizend buurten dezelfde hoofdstrategie. Ruim tweeduizend buurten veranderen van hoofdstrategie in de overgang van de ASA2025 naar de ASA2026. Op lokaal niveau zijn verder verschuivingen mogelijk tussen strategievarianten: bijvoorbeeld verschuivingen in buurten met een warmtenet op MT- of HT bron die verschuiven van een restwarmtebron (uit de industrie) naar geothermie of andersom. De grootste verschuiving zit in buurten die overgaan van een warmtenet op lage- of zeer lage temperatuurbron (S3) naar all-electric warmtepompen (S1). Verder verschuiven diverse buurten van een warmtenet op MT- of HT- bron (S2) naar een warmtenet op (Z)LT bron.

Tabel 68

Overgangsmatrix hoofdstrategie buurten van de ASA2025 naar de ASA2026 met 2 bcm klimaatneutraal gas

	S1	S2	S3	S4	← ASA2026 met 2 bcm
S1	1060	5	214	383	
S2	39	1488	315	216	
S3	271	63	3088	451	
S4	90	142	275	6149	
↑ ASA2025					

Bij de overgang van de ASA2026 met 2 bcm klimaatneutraal gas naar 0 bcm klimaatneutraal gas behouden ruim zeventienduizend buurten dezelfde hoofdstrategie (zie Tabel 69). De belangrijkste verschuivingen vinden logischerwijs plaats van strategie 4 (hybride warmtepompen met klimaatneutraal gas) naar een andere hoofdstrategie, voornamelijk strategie 1 (volledig elektrische warmtepompen).

Tabel 69

Overgangsmatrix hoofdstrategie buurten van de ASA2026 met 2 naar 0 bcm klimaatneutraal gas

	s1	s2	s3	s4	← ASA2026 met 0 bcm
s1	1461	0	0	0	
s2	0	1700	0	0	
s3	0	0	3892	0	
s4	4971	262	1966	0	
↑ ASA2026 met 2 bcm					

7.2 Kostenontwikkeling referentiebeeld 2030

De kostenontwikkeling van het Referentiebeeld (zie paragraaf 3.1) is van invloed op de meerkosten van verduurzaming, immers: als de kosten van het Referentiebeeld stijgen, worden de meerkosten lager en andersom. Daarom worden in deze paragraaf resultaten gegeven voor de kostenontwikkeling in het referentiebeeld.

Ontwikkeling jaarlijkse kapitaallasten referentie

In het referentiebeeld 2030 worden geen investeringen in verduurzaming van de gebouwde omgeving verondersteld. Er worden ook geen andere vormen van kapitaalinvesteringen verondersteld zoals vervanging- of aanpassingskosten van het elektriciteitsnet of gasnet (zoals eerder is uitgelegd in paragraaf 5.6.3). Er worden daarom geen kapitaallasten verondersteld in het referentiebeeld.

Ontwikkeling jaarlijkse variabele lasten referentie

De totale variabele lasten in het Referentiebeeld 2030 zijn gedaald van 1734 euro₂₀₂₃/weq in de SA2020 naar 1325 euro₂₀₂₃/weq in de ASA2026. Dat is een daling van circa 24% (zie Tabel 70). De daling in de totale variabele kosten is vooral het gevolg van lagere kosten voor de inkoop van elektriciteit (K13) en lagere kosten voor beheer- en onderhoud van gas- en elektriciteitsinfrastructuur. Enkele belangrijke ontwikkelingen in relatie tot de variabele lasten in het referentiescenario worden onder de tabel beschreven.

Tabel 70

Ontwikkeling gemiddelde jaarlijkse variabele lasten per weq in referentiebeeld 2030

	ASA2026 o en 2bcm	ASA2025	SA2020	SA2020	ASA2026 versus SA2020
	[euro2023 per jaar per weq]	[euro2023 per jaar per weq]	[euro2023 per jaar per weq]	[euro2018 per jaar per weq]	[%]
Inkoop warmte (K11)	9	9	8	6	25%
Inkoop gas (K12)	511	541	514	415	-1%
Inkoop elektriciteit (K13)	487	487	874	705	-44%
Gebouwonderhoud en -beheer (K14)	102	111	104	84	-2%
Warmtenetonderhoud en -beheer (K15)	21	17	17	13	25%
Onderhoud en beheer van elektriciteits- en gasnet (K16)	194	194	218	176	-11%
Totaal variabele kos- ten (K17)	1325	1361	1734	1399	-24%

Lagere energielasten door daling warmtevraag [K12, K13]

Als gevolg van de hoge energieprijzen na de Russische inval in de Oekraïne zijn huishoudens hun huis minder gaan verwarmen. In de Startanalyse is een structurele daling van de warmtevraag ten opzichte van 2020 met 10% verondersteld (de bepaling van de warmtevraag van gebouwen wordt uitgebreider toegelicht in paragraaf 5.7). Dit heeft invloed op de variabele kosten in het referentiebeeld: ondanks dat de eenheidsprijs van warmte en gas in de actualisatie zijn gestegen hoeven er minder eenheden te worden afgenomen. Mede daarom dalen de kosten voor de inkoop van energiedragers in de ASA2026 ten opzichte van de SA2020.

Daling kosten klimaatneutrale elektriciteit [K13]

Verder zijn de kosten van klimaatneutrale elektriciteit gedaald in de ASA2026 ten opzichte van de SA2020. De kosten voor inkoop van elektriciteit (K13) zijn daardoor lager geworden.

Lagere kosten beheer- en onderhoud gas- en elektriciteitsnet door toename woningequivalenten [K16]

Kosten voor onderhoud en beheer van het elektriciteitsnet zijn niet gewijzigd in de ASA2026 ten opzichte van de SA2020. In Tabel 70 wordt gedeeld door het totaal aantal woningequivalenten en het aantal woningequivalenten is toegenomen in de ASA2026 ten opzichte van de SA2020. Mede daarom dalen de gemiddelde beheer- en onderhoudskosten per weq van gas- en elektriciteitsnet met circa 11%.

7.3 Kostenontwikkeling strategie 1

In strategie 1 wordt gebruik gemaakt van individuele elektrische warmtepompen (zie paragraaf 3.3.2). In deze paragraaf worden aanpassingen van kosten beschreven die de nationale kosten van strategie 1 hoger of lager maken ten opzichte van de alternatieven.

Ontwikkeling jaarlijkse kapitaallasten strategie 1

De totale jaarlijkse kapitaallasten in strategie 1 zijn gestegen van 1481 euro₂₀₂₃/weq in de SA2020 naar 1617 euro₂₀₂₃/weq in de ASA2026. Dat is een stijging van circa 9% (zie Tabel 71). De stijging in de totale kapitaallasten is vooral het gevolg van hogere kosten voor isolatie van de gebouwschil (Ko8) en hogere kosten voor de gebouwinstallaties (Kog). Enkele belangrijke ontwikkelingen in relatie tot de kapitaallasten in strategie 1 worden onder de tabel beschreven.

Tabel 71

Ontwikkeling gemiddelde jaarlijkse kapitaallasten per weq in strategie 1

	ASA2026 o en zbcm	ASA2025	SA2020	SA2020	ASA2026 versus SA2020
	[euro2023 per jaar per weq]	[euro2023 per jaar per weq]	[euro2023 per jaar per weq]	[euro2018 per jaar per weq]	[%]
Elektriciteitsnet ver- zwaren (Ko1)	39	39	43	35	-10%
Gasnet verwijderen (Ko2)	60	60	79	64	-24%
Gasnet aanpassen (Ko3)	0	0	0	0	
Warmtenet buurt (Ko4)	0	0	0	0	
Warmtenet pand (Ko5)	0	0	0	0	
Warmtenet transport (Ko6)	0	0	0	0	
Warmtenet opwek- king (Ko7)	0	0	0	0	
Isolatie gebouwschil (Ko8)	744	731	681	549	9%
Gebouw installatie (Kog)	773	767	678	547	14%
Totaal kapitaalslas- ten (K10)	1617	1597	1481	1195	9%

Relatief hoge stijging kosten gebouwschil voor strategie met doellabel B [Ko8]

De kosten voor isolatie zijn in de ASA2026 in het algemeen toegenomen ten opzichte van de SA2020 (zie paragraaf 5.8 en paragraaf 5.9).

De toename in isolatiekosten komt nog extra naar voren in strategievarianten met doellabel B, omdat er meer en vaak duurdere isolatiemaatregelen moeten worden genomen. Daarnaast wordt verondersteld dat woningen met doellabel B ook voldoende moeten worden geventileerd. Omdat de kosten voor ventilatie zijn gestegen in de ASA2026 (zie paragraaf 5.8.2), heeft dit een extra kostenopdrijvend effect. Omdat strategie 1 alleen varianten kent met doellabel B zijn de gemiddelde jaarlijkse kosten voor de gebouwschil per weq (Ko8) relatief meer toegenomen ten opzichte van de alternatieven. Daar staat tegenover dat meer gebouwen sinds de SA2020 zijn geïsoleerd en een beter energielabel hebben in de uitgangssituatie. Dit heeft een dempend effect op de isolatiekosten omdat de labelsprongen voor die gebouwen kleiner zijn en sommige van die woningen al over het beoogde isolatieniveau in strategie 1 beschikken. Over het geheel beschouwd zijn de isolatiekosten (Ko8) met circa 10% toegenomen in strategie 1. De kosten voor de gebouwschil zijn gewijzigd tussen de ASA2026 en de ASA2025 door het verwijderen van een onbedoelde modelmatige beperking van de gebouwoppervlakte bij woningen (zie paragraaf 6.1.9).

Hogere investeringskosten voor installaties, onder andere door toevoeging van kostenkengetal voor het verzwaren van de meterkast [Kog]

In de ASA2026 zijn de kosten voor bodemwarmtepompen hoger geworden. Kosten voor LT-afgiftesystemen bij woningen zijn ook toegenomen. De kosten voor LT-afgifte in utiliteitsgebouwen zijn afgenomen. Over het geheel beschouwd zijn de kosten voor gebouwinstallaties toegenomen ten opzichte van de kosten in de SA2020. In de ASA2026 is naar aanleiding van de validatiesessies en het eindadvies van CE Delft verder een nieuwe kostenpost geïntroduceerd voor aanpassingen aan de meterkast. Deze kosten zijn hoger bij het plaatsen van een warmtepomp dan bij andere installaties. Deze nieuwe kostenpost maakt strategieën met warmtepompen, in het bijzonder strategie 1, duurder ten opzichte van de alternatieven. Dit maakt dat de kosten voor de gebouwinstallaties (Kog) relatief meer toenemen in strategie 1 ten opzichte van de alternatieven. Over het geheel beschouwd nemen de kosten voor de gebouwinstallatie met circa 14% toe in strategie 1.

Ontwikkeling jaarlijkse variabele lasten strategie 1

De totale variabele lasten in strategie 1 zijn gedaald van 1639 euro₂₀₂₃/weq in de SA2020 naar 1076 euro₂₀₂₃/weq in de ASA2026. Dat is een daling van circa 34% (zie Tabel 72). De daling in de totale variabele kosten is vooral het gevolg van lagere kosten voor de inkoop van elektriciteit (K13) en lagere kosten voor beheer- en onderhoud van gas- en elektriciteitsinfrastructuur (K16). Enkele belangrijke ontwikkelingen in relatie tot de variabele lasten in strategie 1 worden onder de tabel beschreven. De stijging in kosten voor de inkoop van klimaatneutraal gas (K12) en onderhoud van het gasnet (K15) zijn alleen relevant voor buurten met een bestaand warmtenet en worden niet individueel besproken.

Tabel 72

Ontwikkeling gemiddelde jaarlijkse variabele lasten per weq in strategie 1

	ASA2026 o en 2bcm	ASA2025	SA2020	SA2020	ASA2026 versus SA2020
	[euro2023 per jaar per weq]	[euro2023 per jaar per weq]	[euro2023 per jaar per weq]	[euro2018 per jaar per weq]	[%]
Inkoop warmte (K11)	22	16	16	13	35%
Inkoop gas (K12)	9	9	8	7	3%
Inkoop elektriciteit (K13)	749	769	1311	1057	-43%
Gebouwonderhoud en -beheer (K14)	129	157	127	103	1%
Warmtenetonderhoud en -beheer (K15)	20	16	14	11	45%
Onderhoud en beheer van elektriciteits- en gasnet (K16)	148	148	163	132	-9%
Totaal variabele kos- ten (K17)	1076	1115	1639	1322	-34%

Lagere kosten voor inkoop elektriciteit door methodeverandering [K13]

In de SA2020 maakte de inkoop van (klimaatneutrale) elektriciteit circa 40% uit van het totaal aan jaarlijkse kapitaallasten en variabele kosten in de strategievariant met elektrische lucht-water warmtepompen (S1a). De ontwikkeling van de kosten voor klimaatneutrale elektriciteit heeft veel invloed op strategieën met elektrische warmtepompen, met name strategie 1. De kosten voor de inkoop van elektriciteit zijn verminderd door de veronderstelde structurele daling van de warmtevraag met 10%. De schatting voor de kosten van klimaatneutrale elektriciteit is door een methodeverandering in de ASA2026 gedaald ten opzichte van de SA2020 (zie paragraaf 5.13.4). Die kostendaling heeft vooral invloed op strategieën waarin meer klimaatneutrale elektriciteit wordt gebruikt, zoals strategie 1. Over het geheel beschouwd nemen de kosten voor de inkoop van klimaatneutrale elektriciteit (K13) in strategie 1 af met circa 43%. De kosten voor inkoop van elektriciteit zijn in de ASA2026 gedaald ten opzichte van de ASA2025 door correcties op de warmtevraagberekening voor ruimteverwarming en warm tapwater in woningen (zie paragraaf 6.1.9). Hoewel de correcties elkaar deels compenseren leidt dit tot een netto daling van de totale warmtevraag voor woningen en daarom tot iets lagere kosten voor de inkoop van elektriciteit.

7.4 Kostenontwikkeling strategie 2

Strategie 2 is een strategie waarbij gebouwen worden aangesloten op een warmtenet dat wordt voorzien van warmte met een midden- of hoge temperatuur bron (zie paragraaf 3.3.1). Warmtenetten zijn kapitaalintensief omdat er veel infrastructuur moet worden aangelegd: van alle strategieën zijn de jaarlijkse kapitaallasten het hoogste bij strategie 2.

Warmtenetten worden kostenefficiënter als de warmtevraagdichtheid in een gebied hoog is, als gebouwen een grote warmtevraag hebben en er een warmtebron in de buurt ligt, omdat er dan

minder warmteleidingen hoeven te worden gelegd. In deze paragraaf worden aanpassingen van kosten beschreven die strategie 2 duurder of juist goedkoper maken ten opzichte van de alternatieven.

Ontwikkeling jaarlijkse kapitaallasten strategie 2

De totale jaarlijkse kapitaallasten in strategie 2 zijn gedaald van 2320 euro₂₀₂₃/weq in de SA2020 naar 1950 euro₂₀₂₃/weq in de ASA2026. Dat is een daling van circa 16% (zie Tabel 73). De daling in de totale kapitaallasten is vooral het gevolg van een daling in de gemiddelde kosten voor warmtenetten (Ko4-Ko6). Verder zijn de kosten voor verbetering van de gebouwschil gedaald (Ko8). De gemiddelde kosten per weq voor de gebouwinstallaties (Ko9) zijn in de ASA2026 toegenomen ten opzichte van de SA2020. Enkele belangrijke ontwikkelingen in relatie tot de kapitaallasten in strategie 2 worden onder de tabel beschreven.

Tabel 73

Ontwikkeling gemiddelde jaarlijkse kapitaallasten per weq in strategie 2

	ASA2026 o en 2 bcm	ASA2025	SA2020	SA2020	ASA2026 versus SA2020
	[euro2023 per jaar per weq]	[euro2023 per jaar per weq]	[euro2023 per jaar per weq]	[euro2018 per jaar per weq]	[%]
Elektriciteitsnet ver- zwaren (Ko1)	0	0	0	0	
Gasnet verwijderen (Ko2)	60	60	79	63	-24%
Gasnet aanpassen (Ko3)	0	0	0	0	
Warmtenet buurt (Ko4)	861	855	954	770	-10%
Warmtenet pand (Ko5)	158	158	200	161	-21%
Warmtenet transport (Ko6)	409	365	700	564	-42%
Warmtenet opwek- king (Ko7)	109	98	106	85	3%
Isolatie gebouwschil (Ko8)	154	156	322	260	-52%
Gebouw installatie (Ko9)	199	199	-40	-33	-593%
Totaal kapitaalslas- ten (K10)	1950	1890	2320	1871	-16%

Lagere kapitaallasten door lagere maatschappelijke discontovoet en aanpassing vermogensvraag-berekening [Ko4-Ko6]

Zoals hierboven aangegeven zijn de gemiddelde kapitaallasten per woningequivalent het hoogste in deze strategie. In combinatie met de lange levensduur van warmtenetten, maakt dit de strategie gevoelig voor aannames met betrekking tot de kapitaallasten. Omdat de maatschappelijke discontovoet is gedaald in de ASA2026 ten opzichte van de SA2020 maakt dit strategie 2 relatief gezien goedkoper ten opzichte van de andere strategieën.

Ondanks dat kosten voor warmtenetten zoals leidingkosten en uitkoppelkosten van de bron in de ASA2026 zijn toegenomen ten opzichte van de SA2020, zijn de gemiddelde kapitaallasten per weg voor leidingwerk (Ko4 tot en met Ko6) gedaald. Dit komt onder andere door een andere berekening van de vermogensvraag (zie paragraaf 5.11.8). De grootste daling zit in de transportkosten (Ko6). Die kosten nemen af met circa 42%.

Lagere kosten voor verbetering gebouwschil door methodeverbetering utiliteit en door bouwverbetering in de periode 2019 tot en met 2023 [Ko8]

Voor de ASA2026 was het mogelijk om kostenkengetallen vast te stellen voor isolatie van utiliteitsgebouwen naar schillabel D. In de SA2020 werd door een gebrek aan beschikbare data voor doellabel D altijd een doellabel B verondersteld voor utiliteit, ongeacht de strategie. De nieuwe kostenkengetallen voor schillabel D bij utiliteit verlagen de kosten voor verbetering van de gebouwschil [Ko8] in strategievarianten met doellabel D. Daarvan profiteren met name strategieën waarin het mogelijk is de gebouwen te verwarmen in combinatie met schillabel D in de doelsituatie. Verder zijn veel gebouwen sinds de publicatie van de vorige Startanalyse geïsoleerd tot minimaal schillabel D. Voor die gebouwen hoeven geen kosten meer te worden gemaakt in strategievarianten met doellabel D. De kosten in strategie 2 voor verbetering van de gebouwschil [Ko8] liggen ongeveer de helft lager dan in de SA2020.

Projectmanagementkosten & geschrapte vergoeding HR-ketel leiden tot hogere kosten voor installaties [Ko9]

In de SA2020 werd aangenomen dat woningeigenaren een vergoeding krijgen indien zij de HR-ketel vervullen voor een afleverset. Deze vergoeding maakte negatieve kosten voor de bouwinstallaties mogelijk in de SA2020. Het is echter aannemelijk dat een woningeigenaar deze vergoeding ook krijgt bij een overstap op een (hybride) warmtepomp. In plaats van een vergoeding te bepalen per strategie, is er in de ASA2026 voor gekozen om de vergoeding in S2 te schrappen.

Verder is in de ASA2026 naar aanleiding van de validatiesessies een nieuwe kostenpost geïntroduceerd voor projectmanagement. Deze kosten liggen aanzienlijk hoger voor grootschalige warmtenetten dan voor individuele oplossingen met all-electric warmtepompen (het verschil is circa 1500 euro per aansluiting). Het verschil is nog groter ten opzichte van oplossingen met hybride warmtepompen (circa 3000 euro verschil). Het toevoegen van projectmanagementkosten maakt strategie 2 verhoudingsgewijs duurder dan de andere strategieën. De relatief hoge kosten voor projectmanagement en het schrappen van de vergoeding voor de HR-ketel leiden tot hogere kosten voor bouwinstallaties (Ko9), bovenop de toegenomen kosten voor de afleverset.

Ontwikkeling jaarlijkse variabele lasten strategie 2

De totale variabele lasten in strategie 2 zijn gedaald van 1899 euro₂₀₂₃/weq in de SA2020 naar 1581 euro₂₀₂₃/weq in de ASA2026. Dat is een daling van circa 17% (zie Tabel 74). De daling van de totale variabele kosten is vooral het gevolg van lagere kosten voor de inkoop van elektriciteit (K13). De kosten voor de inkoop van warmte (K11) en klimaatneutraal gas voor bijstook op piekmomenten (K12) zijn toegenomen. Een belangrijke ontwikkeling in relatie tot de variabele lasten in strategie 2 wordt onder de tabel beschreven.

Tabel 74

Ontwikkeling gemiddelde jaarlijkse variabele lasten per weq in strategie 2

	ASA2026 o en 2 bcm	ASA2025	SA2020	SA2020	ASA2026 versus SA2020
	[euro2023 per jaar per weq]	[euro2023 per jaar per weq]	[euro2023 per jaar per weq]	[euro2018 per jaar per weq]	[%]
Inkoop warmte (K11)	207	198	141	113	47%
Inkoop gas (K12)	271	280	237	191	14%
Inkoop elektriciteit (K13)	486	486	865	698	-44%
Gebouwonderhoud en -beheer (K14)	0	0	0	0	
Warmtenetonderhoud en -beheer (K15)	470	442	493	397	-5%
Onderhoud en beheer van elektriciteits- en gasnet (K16)	148	148	163	131	-9%
Totaal variabele kos- ten (K17)	1581	1554	1899	1531	-17%

Toename inkoop warmte door toevoeging winst warmtebedrijven [K11]

In de ASA2026 is een nieuwe kostenpost geïntroduceerd voor de winst die warmtebedrijven rekenen richting de eindgebruiker. Deze kostenpost is toegevoegd omdat winstmarges ook (impliciet) in de kosten verwerkt zitten van installaties bij andere strategievarianten (zie paragraaf 5.11.20). Er is een aparte kostenindicator opgenomen om de resultaten van deze berekening inzichtelijk te maken (Winst warmtebedrijven (K23)). De nieuwe kostenindicator valt echter buiten de reguliere berekening van de totale variabele kosten. De winst warmtebedrijven is daarom ook toegevoegd aan de kostenindicator 'Inkoop warmte' (K11). Over het geheel beschouwd nemen de kosten voor de inkoop van warmte (K11) toe met circa 47%.

7.5 Kostenontwikkeling strategie 3

Strategie 3 laat zich niet één op één vergelijken tussen de ASA2026 en de SA2020, omdat in de ASA2026 nieuwe en wezenlijk verschillende strategievarianten zijn vormgegeven. In strategie 3 worden clusters van gebouwen gevormd die worden aangesloten op een (zeer)lage temperatuur warmtenet (zie paragraaf 3.3.4). Gebouwen die niet worden aangesloten op een (zeer)lage temperatuur warmtenet—circa 80% van de gebouwen in strategie 3—krijgen een elektrische warmtepomp. Strategie 3 is daarmee nauw verwant aan strategie 1. Diverse kostenontwikkelingen die al zijn beschreven bij strategie 1 zijn ook relevant voor strategie 3, zoals de toename in kosten voor verbetering van de gebouwschil en de daling in de kosten van klimaatneutrale elektriciteit. Er zijn echter andere kostenverschillen tussen strategie 1 en 3, die veelal kunnen worden begrepen vanuit de dominante varianten binnen strategie 3. Zo is in de ASA2026 strategievariant S3g geïntroduceerd, een ZLT warmtenet met WKO, individuele opwaardering en doellabel D. In de SA2020 waren alleen strategievarianten mogelijk met doellabel B in de eindsituatie. Variant S3g is de dominante variant binnen strategie 3, waarschijnlijk omdat kosten voor verbetering van de gebouwschil kunnen worden uitgespaard voor gebouwen die worden aangesloten op het (Z)LT warmtenet. De gemiddelde kosten voor verbetering van de gebouwschil nemen in deze strategie daarom iets af ten opzichte van de SA2020, terwijl de kosten voor de gebouwschil in strategie 1 juist stijgen.

De gemiddelde kosten per weq worden bepaald door het somtotaal van de kosten per buurt die worden doorgerekend in strategie 3, te delen door het somtotaal van de woningequivalenten in die buurten. Er wordt dus geen onderscheid gemaakt in woningequivalenten die binnen deze strategie worden aangesloten op een warmtenet met (Z)LT bron of woningequivalenten die een warmtepomp krijgen.

Ontwikkeling jaarlijkse kapitaallasten strategie 3

De totale jaarlijkse kapitaallasten in strategie 3 zijn gestegen van 1451 euro₂₀₂₃/weq in de SA2020 naar 1483 euro₂₀₂₃/weq in de ASA2026. Dat is een stijging van circa 2% (zie Tabel 75). Deze stijging is vooral het gevolg van hogere in pandige kosten (K05). Een belangrijke ontwikkeling in relatie tot de kapitaallasten in strategie 3 wordt onder de tabel beschreven. Verder zijn de gemiddelde kosten per weq gedaald in Wnet_buurt (K04). Deze kostenindicator laat zich echter moeilijk vergelijken tussen de ASA2026 en de SA2020 omdat deze afhankelijk is van de aandelen aansluitingen binnen strategie 3 buurten die een warmtepomp krijgen of worden aangesloten op een warmtenet met (Z)LT bron. Die kostenontwikkeling, evenals de kostenontwikkeling in Wnet_opwekking (K07) worden daarom niet verder besproken.

Tabel 75

Ontwikkeling gemiddelde jaarlijkse kapitaallasten per weq in strategie 3

	ASA2026 o en 2 bcm	ASA2025	SA2020	SA2020	ASA2026 versus SA2020
	[euro2023 per jaar per weq]	[euro2023 per jaar per weq]	[euro2023 per jaar per weq]	[euro2018 per jaar per weq]	[%]
Elektriciteitsnet ver- zwaren (K01)	37	37	38	30	-1%
Gasnet verwijderen (K02)	60	60	78	63	-23%
Gasnet aanpassen (K03)	0	0	0	0	
Warmtenet buurt (K04)	58	61	77	62	-25%
Warmtenet pand (K05)	70	76	35	28	102%
Warmtenet transport (K06)	0	0	0	0	
Warmtenet opwek- king (K07)	34	34	26	21	31%
Isolatie gebouwschil (K08)	624	610	624	503	0%
Gebouw installatie (K09)	599	592	574	463	4%
Totaal kapitaalslas- ten (K10)	1483	1470	1451	1170	2%

Toename in kosten warmte-infrastructuur in het pand [K05]

De inpandige kosten voor warmte-infrastructuur (K05) zijn in de ASA2026 fors toegenomen ten opzichte van de SA2020. Zoals eerder beschreven zijn warmtenetten aantrekkelijk in gebieden met een hoge warmtevraagdichtheid. Gestapelde woningen lenen zich mede daarom goed voor warmtenetten. De inpandige kosten voor gestapelde bouw zijn in de ASA2026 toegenomen ten opzichte van de SA2020 (zie paragraaf 5.11.17), wat leidt tot hogere kosten.

Ontwikkeling jaarlijkse variabele lasten strategie 3

De totale variabele lasten in strategie 3 zijn gedaald van 1683 euro₂₀₂₃/weq in de SA2020 naar 1117 euro₂₀₂₃/weq in de ASA2026. Dat is een daling van circa 34% (zie Tabel 76). De ontwikkelingen in variabele lasten die relevant zijn voor strategie 3 zijn beschreven in de voorgaande paragrafen. De stijging bij inkoop warmte (K11) is al beschreven bij strategie 2 en de daling bij inkoop elektriciteit (K13) is al beschreven onder strategie 1.

Tabel 76

Ontwikkeling gemiddelde jaarlijkse variabele lasten per weq in strategie 3

	ASA2026 o en 2 bcm	ASA2025	SA2020	SA2020	ASA2026 versus SA2020
	[euro2023 per jaar per weq]	[euro2023 per jaar per weq]	[euro2023 per jaar per weq]	[euro2018 per jaar per weq]	[%]
Inkoop warmte (K11)	34	28	17	14	97%
Inkoop gas (K12)	9	9	9	7	1%
Inkoop elektriciteit (K13)	752	765	1313	1059	-43%
Gebouwonderhoud en -beheer (K14)	91	116	109	88	-16%
Warmtenetonderhoud en -beheer (K15)	83	84	75	60	11%
Onderhoud en beheer van elektriciteits- en gasnet (K16)	148	147	160	129	-8%
Totaal variabele kos- ten (K17)	1117	1149	1683	1357	-34%

7.6 Kostenontwikkeling strategie 4

In de ASA2026 zijn strategie 4 (groengas) en strategie 5 (waterstof) van de SA2020 samengevoegd tot één strategie met een mix van klimaatneutrale gassen (groengas en/of waterstof). Bovendien was het in de SA2020 nog mogelijk om gebruik te maken van klimaatneutraal gas met een HR-ketel, waar dat in de ASA2026 alleen mogelijk is met een hybride warmtepomp. Dit heeft belangrijke implicaties voor de kosten. In deze paragraaf worden de kosten van strategie 4 in de ASA2026 (klimaatneutraal gas) vergeleken met de kosten van strategie 4 in de SA2020 (groengas).

Ontwikkeling jaarlijkse kapitaallasten strategie 4

De totale jaarlijkse kapitaallasten in strategie 4 zijn gestegen van 386 euro₂₀₂₃/weq in de SA2020 (toen nog een strategie met groengas) naar 632 euro₂₀₂₃/weq in de ASA2026 (strategie met klimaatneutraal gas en hybride warmtepompen). Dat is een stijging van circa 63% (zie Tabel 77).

De stijging in de totale kapitaallasten is vooral het gevolg van hogere kosten voor de gebouwinstallaties (K09). Die ontwikkeling wordt onder de tabel beschreven. De daling in kosten voor isolatie van de gebouwschil (K08) hangt samen met het nieuwe isolatiepakket voor utiliteit naar doellabel D, waar dit eerst altijd doellabel B was in de SA2020. Dit effect is eerder beschreven onder strategie 2 en is ook terug te zien in andere strategievarianten met doellabel D.

Strategie 4 is de enige strategie waarbij de bestaande gasaansluiting niet verwijderd wordt, aangezien deze gebruikt wordt voor de distributie van klimaatneutraal gas.

De stijging van de kosten voor het verwijderen van de gasaansluiting zorgt hiermee voor een stijging van de kosten van S1, S2 en S3 ten opzichte van S4, wat strategie 4 financieel aantrekkelijker maakt ten opzichte van de andere strategieën. Dit effect komt echter niet naar voren in Tabel 77.

Tabel 77

Ontwikkeling gemiddelde jaarlijkse kapitaallasten per weq in strategie 4

	ASA2026 o en 2 bcm	ASA2025	SA2020	SA2020	ASA2026 versus SA2020
	[euro2023 per jaar per weq]	[euro2023 per jaar per weq]	[euro2023 per jaar per weq]	[euro2018 per jaar per weq]	[%]
Elektriciteitsnet ver- zwaren (K01)	18	18	4	3	400%
Gasnet verwijderen (K02)	0	0	0	0	
Gasnet aanpassen (K03)	0	0	0	0	
Warmtenet buurt (K04)	0	0	0	0	
Warmtenet pand (K05)	0	0	0	0	
Warmtenet transport (K06)	0	0	0	0	
Warmtenet opwek- king (K07)	0	0	0	0	
Isolatie gebouwschil (K08)	151	147	320	258	-53%
Gebouw installatie (K09)	463	462	63	51	637%
Totaal kapitaalslas- ten (K10)	632	627	386	312	63%

Hogere kosten gebouwinstallatie door vervallen van varianten met Hr-ketel [K09]

Wat meteen opvalt in Tabel 77 is de grote toename in kosten voor de gebouw installatie (K09) met meer dan 600%. In de SA2020 werden strategievarianten meegenomen die uitgaan van het gebruik van een HR-ketel. In deze varianten waren weinig aanpassingen vereist aan bestaande infrastructuur en in pandige installaties. Bij het gebruik van hybride warmtepompen met klimaatneutraal gas zijn meer aanpassingen vereist en daarmee meer kosten verbonden voor onder andere in pandige installaties. Bovendien zijn de kosten van hybride warmtepompen in de ASA2026 gestegen ten opzichte van de SA2020.

Ontwikkeling jaarlijkse variabele lasten strategie 4

De totale variabele lasten in strategie 4 zijn gedaald van 2135 euro₂₀₂₃/weq in de SA2020 naar 1517 euro₂₀₂₃/weq in de ASA2026.

Dat is een daling van circa 29% (zie Tabel 78). De daling in de totale variabele kosten is vooral het gevolg van lagere kosten voor de inkoop van gas (K12) en inkoop van elektriciteit (K13). De daling in de kosten voor de inkoop van klimaatneutraal gas wordt uitgelegd onder de tabel. De daling in kosten voor de inkoop van elektriciteit is al uitgelegd bij strategie 1.

Tabel 78

Ontwikkeling gemiddelde jaarlijkse variabele lasten per weq in strategie 4

	ASA2026 o en 2 bcm	ASA2025	SA2020	SA2020	ASA2026 versus SA2020
	[euro2023 per jaar per weq]	[euro2023 per jaar per weq]	[euro2023 per jaar per weq]	[euro2018 per jaar per weq]	[%]
Inkoop warmte (K11)	23	17	17	14	32%
Inkoop gas (K12)	454	539	808	651	-44%
Inkoop elektriciteit (K13)	637	634	959	774	-34%
Gebouwonderhoud en -beheer (K14)	189	213	119	96	60%
Warmtenetonderhoud en -beheer (K15)	20	16	14	11	45%
Onderhoud en beheer van elektriciteits- en gasnet (K16)	195	195	219	176	-11%
Totaal variabele kos- ten (K17)	1517	1613	2135	1722	-29%

Daling in inkoop gas door lagere warmtevraag en overgang van HR-ketel naar hybride warmtepomp [K12]

In de ASA2026 is een nieuwe methode gebruikt om de kosten voor klimaatneutraal gas te bepalen. De kosten voor klimaatneutraal gas liggen circa 20% hoger dan de kosten van groengas. Desondanks dalen de kosten voor de inkoop van klimaatneutraal gas (K12). Dit heeft ten dele te maken met de daling in de totale warmtevraag. Verder wordt de daling veroorzaakt door de overgang van HR-ketels in de SA2020 naar hybride warmtepompen in de ASA2026. Daardoor hoeft per woningequivalent minder gas te worden ingekocht, omdat een deel van de warmtebehoefte via de hybride warmtepomp kan worden ingevuld met elektriciteit en omgevingswarmte. Dit leidt wel tot een toename in de behoefte aan elektriciteit. De toename in kosten voor elektriciteit door de toegenomen vraag wordt gecompenseerd door de daling in de eenheidsprijs van klimaatneutrale elektriciteit ten opzichte van de SA2020 (die ontwikkeling is al beschreven onder strategie 1).

7.7 Kostenontwikkeling bij de strategie met laagste nationale kosten

In deze paragraaf geven we een indruk van de verschillen tussen de resultaten voor de gemiddelde nationale kosten per woningequivalent tussen de SA2020 en de ASA2026. Hierbij wordt bij elke buurt de strategie met de laagste nationale kgaosten toegepast.

Ontwikkeling jaarlijkse kapitaallasten bij de strategie met de laagste nationale kosten

De totale jaarlijkse kapitaallasten zijn met circa 8% gedaald tussen de SA2020 en de ASA2026 berekening bij 2 bcm klimaatneutraal gas voor individuele installaties (zie Tabel 79). Kosten voor

verbetering van de gebouwschil en voor investeringen in installaties vormen de belangrijkste kapitaallasten. De meeste ontwikkelingen in de kosten van kapitaallasten zijn al beschreven in de voorgaande paragrafen. Met het uitsluiten van klimaatneutraal gas voor individuele installaties is strategie 4 als verduurzamingsstrategie verdwenen uit de resultaten voor de laagste nationale kosten. Met het verdwijnen van strategie 4, komen meer elektrische warmtepompen en warmtenetten in beeld met hogere gemiddelde kapitaalkosten tot gevolg in ASA2026 (0 bcm) ten opzichte van de ASA2025.

Tabel 79

Ontwikkeling gemiddelde jaarlijkse kapitaallasten per weq bij strategie met laagste nationale kosten

	ASA2026 0 bcm	ASA2026 2 bcm	ASA2025	SA2020	SA2020	ASA2026 2 bcm versus SA2020
	[euro2023 per jaar per weq]	[euro2023 per jaar per weq]	[euro2023 per jaar per weq]	[euro2023 per jaar per weq]	[euro2018 per jaar per weq]	[%]
Elektriciteitsnet verzwaren (K01)	31	21	21	19	15	11%
Gasnet verwij- deren (K02)	60	30	35	45	36	-33%
Gasnet aanpas- sen (K03)	0	0	0	0	0	
Warmtenet buurt (K04)	116	94	115	146	118	-36%
Warmtenet pand (K05)	76	64	72	59	48	8%
Warmtenet transport (K06)	8	7	11	16	13	-56%
Warmtenet op- wekking (K07)	36	30	30	18	15	67%
Isolatie ge- bouwschil (K08)	535	307	316	434	350	-29%
Gebouw instal- latie (K09)	542	438	441	336	271	30%
Totaal kapi- taalslasten (K10)	1403	991	1041	1073	865	-8%

Ontwikkeling jaarlijkse variabele lasten strategie met laagste nationale kosten

De totale variabele lasten zijn gedaald van 1762 euro₂₀₂₃/weq in de SA2020 naar 1310 euro₂₀₂₃/weq in de ASA2026 berekening bij 2 bcm klimaatneutraal gas voor individuele installaties. Dat is een daling van circa 26% (zie Tabel 80). De kosten voor inkoop van klimaatneutrale elektriciteit en klimaatneutraal gas vormen de belangrijkste variabele lasten. De ontwikkelingen in variabele kosten zijn al beschreven in de voorgaande paragrafen. Omdat in de ASA2026 (0 bcm resultaten) geen klimaatneutraal gas meer beschikbaar is, dalen de totale gemiddelde variabele kosten per weq in de ASA2026 ten opzichte van de ASA2025. De daling in variabele kosten is kleiner dan de stijging in

kapitaallasten. Over het geheel beschouwd nemen de gemiddelde kosten per weq daarom toe in de ASA2026 (o bcm) berekening van de laagste nationale kosten.

Tabel 8o

Ontwikkeling gemiddelde jaarlijkse variabele lasten per weq bij strategie met laagste nationale kosten

	ASA2026 o bcm	ASA2026 z bcm	ASA2025	SA2020	SA2020	ASA2026 z bcm versus SA2020
	[euro2023 per jaar per weq]	[euro2023 per jaar per weq]	[euro2023 per jaar per weq]	[euro2023 per jaar per weq]	[euro2018 per jaar per weq]	[%]
Inkoop warmte (K11)	55	50	52	40	32	25%
Inkoop gas (K12)	63	229	244	210	169	9%
Inkoop elektriciteit (K13)	694	658	657	1140	919	-42%
Gebouwonderhoud en -beheer (K14)	77	106	114	94	76	13%
Warmtenetonderhoud en -beheer (K15)	108	94	100	89	72	6%
Onderhoud en beheer van elektriciteits- en gasnet (K16)	148	173	169	189	153	-8%
Totaal variabele kosten (K17)	1144	1310	1337	1762	1421	-26%

Referenties

- ACM, (g.d.), Aansluiting gas en elektriciteit opzeggen, www.consument.acm.nl, geraadpleegd op 28-06-2026 via https://consument.acm.nl/elektriciteit-en-gas/mijn-energie-aansluiting/opzeggen?utm_source=chatgpt.com
- Alliander, (2020), Ruim 9 procent nieuwbouw nog steeds op aardgas, www.alliander.com, geraadpleegd op 2-12-2024 via <https://www.alliander.com/nl/nieuws/ruim-9-procent-nieuwbouw-nog-steeds-op-aardgas/>
- Arnoldussen, J., T. Endhoven, E. Kragt, N. Spijker (2021), *Proeftuinen aardgasvrije wijken; Een maatschappelijk-economische analyse van de proeftuinen*, Amsterdam: EIB, opgehaald van: https://www.eib.nl/pdf/EIB_rapport_proeftuinen_aardgasvrije_wijken_5_maart_2021.pdf
- Beijnum, B. van, R. van den Wijngaart (2023), *Referentieverbruik warmte woningen; Achtergrondrapport*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving, opgehaald van: https://www.pbl.nl/uploads/default/downloads/pbl-2023-referentieverbruik-warmte-woningen-achtergrondrapport_5168.pdf
- Beijnum, B. van, S. van Polen, R. van den Wijngaart (2024) *Consequenties van modelkeuzes voor het berekenen van energiebesparing door woningisolatie*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving, opgehaald van: https://www.pbl.nl/system/files/document/2024-09/pbl-2024-consequenties-van-modelkeuzes-voor-het-berekenen-van-energiebesparing-door-woningisolatie_5441.pdf
- Beijnum, B. van, W. Poorthuis, L. Geijtenbeek, R. van den Wijngaart (2025) *Referentieverbruik warmte woningen II; Ontwikkeling van de methode voor het schatten van de warmtevraag van woningen*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving, opgehaald van: <https://www.pbl.nl/system/files/document/2025-10/pbl-2025-referentieverbruik-warmte-woningen-II-5629.pdf>
- BZK (g.d.) *Wet gemeentelijke instrumenten warmtetransitie*, www.volkshuisvestingnederland.nl, geraadpleegd op 03-09-2026 via <https://www.volkshuisvestingnederland.nl/onderwerpen/verduurzamen-en-verbeteren/lokale-warmtetransitie/wet-gemeentelijke-instrumenten-warmtetransitie>
- BZK (2023) *Reikwijdte normering verwarmingsinstallaties [Kamerbrief]*, Den Haag: Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, opgehaald van: <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-2e8b8f651341e7057425c15dd41b5461f65a299/pdf>
- CBS (2015 - 2023). *Kerncijfers wijken en buurten 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 & 2023* [Bewerking: PBL], www.cbs.nl, geraadpleegd op 16-5-2024 via: <https://www.cbs.nl/nl-nl/reeksen/publicatie/kerncijfers-wijken-en-buurten>
- CBS (2014), *Energiekentallen utiliteitsbouw*, www.cbs.nl, geraadpleegd op 12-12-2024 via: <https://www.cbs.nl/nl-nl/onze-diensten/methoden/onderzoeksomschrijvingen/korte-onderzoeksomschrijvingen/energiekentallen-utiliteitsbouw>
- CBS (2024), *Wijk- en buurtkaart 2024*, www.cbs.nl, geraadpleegd op 12-12-2024 via: <https://www.cbs.nl/nl-nl/dossier/nederland-regionaal/geografische-data/wijk-en-buurtkaart-2024>
- CBS (2025), *Consumer prices; European harmonised price index 2015=100 (HICP)*, www.cbs.nl, geraadpleegd op 26 februari 2025 via: <https://www.cbs.nl/en-gb/figures/detail/83133ENG>

- CBS Statline (2024). Energieverbruik woningen; woningtype, oppervlakte, bouwjaar en bewoning, [www.data.cbs.nl](https://open-data.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/85140NED/table?dl=AB172), geraadpleegd op 16-05-2024 via: <https://open-data.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/85140NED/table?dl=AB172>
- Kruit, K., E. Koster (2019). *Overzicht aanpassingen Vesta MAIS*. Delft: CE Delft, opgehaald van: <https://www.expertisecentrumwarmte.nl/themas/bibliotheek/1428415.aspx>
- Cornelisse, M., A. Kruithof, H. Valk (2021), *Rapport Standaard en streefwaardes bestaande woningbouw*. Utrecht: Nieman, opgehaald van <https://www.nieman.nl/wpcontent/uploads/2021/03/rapport-standaard-en-streefwaarden-bestaande-woningbouwnieman-raadgevend-in.pdf>
- Daniels, B., B. Strengers, D. van Dam, H. Elzenga, G. Geilenkirchen, N. Hoogervost, P. Koutstaal, J. van Minnen, Ö. Özge, A. Plomp, M. Schouten, J. Stremmer, R. van der Veen, H. Westhoek, W. Wetzels (2024), *Trajectverkenning Klimaatneutraal 2050; Trajecten naar een klimaatneutrale samenleving voor Nederland in 2050*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving, opgehaald van: <https://www.pbl.nl/system/files/document/2024-04/pbl-2024-trajectverkenning-klimaat-neutraal-2050-5093.pdf>
- Energiea (2021), *In 2020 kreeg 86% van de nieuwbouw geen gasaansluiting meer*, www.energiea.nl, geraadpleegd op 2-12-2024 via <https://energiea.nl/in-2020-kreeg-86-van-de-nieuwbouw-geen-gasaansluiting-meer/>
- Enexis (2022), *Cijfers - Aardgasloze nieuwbouw*, www.enexisgroep.nl, geraadpleegd op 2-12-2024 via: <https://www.enexisgroep.nl/actuele-themas/feiten-en-cijfers/cijfers-aardgasloze-nieuwbouw/>
- Elzenga, H., E. Eggink, J. de Joode (2025) *Groene waterstof: de praktische uitdagingen tussen droom en werkelijkheid. Een verkenning naar de knelpunten en mogelijke oplossingsrichtingen in de ontwikkeling van een groene waterstofmarkt*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving, opgehaald van: <https://www.pbl.nl/publicaties/groene-waterstof-de-praktische-uitdagingen-tussen-droom-en-werkelijkheid>
- PBL, TNO, CBS en RIVM (2024), *Klimaat- en Energieverkenning 2024*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving. Geraadpleegd via: <https://www.pbl.nl/publicaties/klimaat-en-energieverkenning-2024>
- PBL, TNO, CBS en RIVM (2026), *Klimaat-en Energieverkenning 2026*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving. Geraadpleegd via: <https://www.pbl.nl/publicaties/klimaat-en-energieverkenning-2026>
- Hesselink, F., B. Schepers, S. Tanis (2025a), *Advies validatiesessies individuele installaties en warmtenetten*, Delft: CE Delft, opgehaald van: <https://www.pbl.nl/system/files/document/2025-03/pbl-2025-cedelft-advies-validatiesessies-individuele-installaties-en-warmtenetten-5864.pdf>
- Hesselink, F., J. Dehens, M. Meyer, B. Schepers (2025b) [onpubliceerd] *Marktvalidatie kengetallen investeringskosten verduurzaming woningen*, Delft: CE Delft
- Hoogervorst, N., M. Menkveld, C. Tigchelaar (2019), *Achtergronddocument Effecten ontwerp klimaatakkoord: gebouwde omgeving*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving, opgehaald van: https://www.pbl.nl/uploads/default/downloads/pbl-2019-achtergronddocument-effecten-ontwerp-klimaatakkoord-gebouwde-omgeving_3711.pdf
- Lensink, S., E. Eggink (2025), *Eindadvies basisbedragen SDE++ 2025*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving, opgehaald van: <https://www.pbl.nl/system/files/document/2025-02/pbl-2025-eindadvies-sde-plus-plus-2025-5472.pdf>
- Jonker, H.W., J.M. Sipma (2023), *Kengetallen voor na-isolatie utiliteitsbouw Vesta MAIS model*, Amsterdam: Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek, opgehaald van: <https://publications.tno.nl/publication/34641772/9K8qHi/TNO-2023-P11550.pdf>

- Juijn, D., M. Blom, J. de Vries (2023) *Werkwijzer nationale kosten; Uitgangspunten bij berekeningen van het PBL*, Delft: CE Delft, opgehaald van: https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2023/09/CE_Delft_210369_Werkwijzer_nationale_kosten_PBL_2023.pdf
- Kadaster (2024), *Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG)*, www.kadaster.nl, geraadpleegd op 24-04-2024 via <https://www.kadaster.nl/-/kosteloze-download-bag-2.0-extract>
- KNMI (2014), *Klimaatscenario's voor Nederland. Herziene uitgave 2015*, www.klimaatscenario's.nl, geraadpleegd via: www.klimaatscenario's.nl/correctie
- Koster, E., F. Hesselink, M. Teng (2022), *Warmtenetten in Vesta MAIS; Update berekeningsmethoden*, Delft: CE Delft, opgehaald van: https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2022/11/CE_Delft_210347_Warmtenetten-in-Vesta-MAIS_DEF.pdf
- Milieu Centraal, 2025a. *Lage temperatuur verwarming (ltv)*, www.milieucentraal.nl, geraadpleegd via: <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/energiezuinig-huis/energiezuinig-verwarmen-en-warm-water/lage-temperatuur-verwarming-ltv/>
- Milieu Centraal, 2025b. *Cv-ketel onderhoud en instelling*, www.milieucentraal.nl, geraadpleegd via: <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/verwarmen-met-gas/cv-ketel-onderhoud-en-instelling/>
- Molen, F. van der, S. van Polen, R. van den Wijngaart, J. Tavares, B. van Bommel, J. Langeveld, N. Hoogervorst (2021), *Functioneel Ontwerp Vesta MAIS 5.0*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving, opgehaald van: <https://www.pbl.nl/uploads/default/downloads/pbl-2021-functioneel-ontwerp-vesta-mais-5.0-4583.pdf>
- Molen, F., W. Poorthuis, A. Zwamborn, C. Tigchelaar, R. Niessink, V. Rovers (2023). *Functioneel Ontwerp Hestia 1.0*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving, opgehaald van: <https://www.pbl.nl/uploads/default/downloads/pbl-2023-functioneel-ontwerp-hestia-1.0-5196.pdf>
- Natuur & Milieu (2022). *Gasmonitor 2022; marktcijfers warmtetechnieken*. Utrecht: Natuur & Milieu, opgehaald van: <https://natuurenmilieu.nl/app/uploads/Gasmonitor-2022.pdf>
- Naber, N., J. Dehens (2022) *Update kentallen installaties Vesta MAIS*, Delft: CE Delft, opgehaald van: https://ce.nl/wp-content/uploads/2023/03/CE_Delft_210348_Update_kentallen_installaties_Vesta_MAIS_Def.pdf
- NPLW. (g.d.) *Warmteopslag en koudeopslag*, www.nplw.nl, geraadpleegd via: <https://www.nplw.nl/warmtenet/warmtetechnieken/warmteopslag>
- NPLW (g.d), *Handreiking warmteprogramma*, www.nplw.nl, geraadpleegd via: <https://www.nplw.nl/warmteprogramma/handreiking>
- NPLW (2025), *Handreiking voor lokale analyse 2025; Verrijking Startanalyse ten behoeve van het warmteprogramma*, Den Haag: Nationaal Programma Lokale Warmtetransitie, opgehaald van: https://www.nplw.nl/uploads/files/Warmteprogramma/2025_NPLW-Handreiking-Lokale-Analyse.pdf
- Polen, S. van, R. van den Wijngaart, B. van Bommel, N. Hoogervorst, G. Luteijn, F. van der Molen, J. Latino Tavares (2024), *Startanalyse aardgasvrije buurten 2020; Achtergrondrapport*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving, opgehaald van: https://www.pbl.nl/uploads/default/downloads/pbl-2022-achtergrondrapport-startanalyse-aardgasvrije-buurten-2020-achtergrondrapport_4917.pdf
- Polen, S. van, W. Wetzels, B. van Beijnum, W. Poorthuis, J. Blok (2025), *Actualisatie Startanalyse aardgasvrije buurten 2025: Kernrapport met de nationale resultaten op hoofdlijnen*, Den Haag: Planbureau

- voor de Leefomgeving, opgehaald via: <https://www.pbl.nl/system/files/document/2025-03/pbl-2025-Actualisatie-Startanalyse-aardgasvrije-buurtten-2025-5632.pdf>
- Polen, S. van, J. Blok (2025a) Koudevraag in de gebouwde omgeving, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving, opgehaald via: <https://www.pbl.nl/system/files/document/2025-03/pbl-2025-informatieblad-koudevraag-in-de-gebouwde-omgeving-5840.pdf>
- Polen, S. van, J. Blok (2025b) Informatieblad netverzwaring en netcongestie, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving, opgehaald via: <https://www.pbl.nl/system/files/document/2025-03/pbl-2025-informatieblad-netverzwaring-en-netcongestie-5667.pdf>
- Polen, S. van, B. van Beijnum, W. Wetzels (2026) *Actualisatie Startanalyse Aardgasvrije Buurtten 2026; Kernrapport met de nationale resultaten op hoofdlijnen*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving, opgehaald van: <https://www.pbl.nl/system/files/document/2026-10/pbl-2026-actualisatie-startanalyse-aardgasvrije-buurtten-2026-5802.pdf>
- Pothof, I., T. Vreeken, & T. van Meerkerk (2022), *Field measurements on lower radiator temperatures in existing buildings; Manuscript for Energy and Buildings*, Utrecht: WarmingUP, opgehaald van: https://www.warmingup.info/documenten/11205149-hye-001_field-measurements-on-lower-radiator-temperatures-in-existing-buildings_def.pdf
- Rijksoverheid (2015), *Rapport Werkgroep discontovoet 2015*, www.zoek.officielebekendmakingen.nl, geraadpleegd op 04-12-2024 via: <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/blg-619458.pdf>
- Rijksoverheid (2019), *Klimaatakkoord*, <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/2019/06/28/klimaatakkoord>
- Rijksoverheid (2020), *Rapport Werkgroep discontovoet 2020; versie 1.0*, www.rijksfinancien.nl, geraadpleegd op 04-12-2024 via <https://www.rijksfinancien.nl/sites/default/files/hafir/bestuurlijke-regels/Rapport-werkgroep-discontovoet-2020.pdf>
- Rijksoverheid (2025a), *Taakopdracht IBO energietransitie van de woningvoorraad*, www.rijksoverheid.nl, geraadpleegd op 09-06-2026 via: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/2025/11/14/taakopdracht-ibo-energietransitie-van-de-woningvoorraad>
- Rijksoverheid (2025b), *Rapport werkgroep discontovoet 2025*, www.rijksoverheid.nl, geraadpleegd op 10-06-2026 via: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/2025/09/19/rapport-werkgroep-discontovoet-2025>
- Rijksoverheid (2026), *Aan de slag; Bouwen aan een beter Nederland [Regeerakkoord 2026-2030]*, Den Haag: Rijksoverheid, opgehaald van: <https://open.overheid.nl/documenten/ae784c79-5e0a-4866-85f5-1b80c5dc614e/file>
- RVO (2022), *Kostenkentallen energiebesparende maatregelen*, www.rvo.nl, geraadpleegd via: [rvo.nl/onderwerpen/technieken-beheer-en-innovatie-gebouwen/kostenkengetallen](http://www.rvo.nl/onderwerpen/technieken-beheer-en-innovatie-gebouwen/kostenkengetallen)
- RVO (2024a), *EP-online database energielabels* [Bewerking: PBL], www.ep-online.nl, geraadpleegd op 25-4-2024 via <https://www.ep-online.nl/PublicData>
- RVO (2024b), *Catalogus Warmteatlas* [Bewerking: PBL], www.rvo-nl.github.io, geraadpleegd op 28-5-2024 via: <https://rvo-nl.github.io/EnergieCatalogus/>
- RVO (2025), *Feiten en cijfers SDE(+)(+)*, www.rvo.nl, geraadpleegd op 25 februari 2025: <https://www.rvo.nl/subsidies-financiering/sde/aanvragen/feiten-en-cijfers>
- Schepers, B., K. Kruit, G.J. Otten, A. de Graaf, M. Karthaus (2019), *Hybride warmtenetten. Kansen voor Den Haag*, Delft: CE Delft, opgehaald van: <https://ce.nl/publicaties/hybride-warmtenetten-kansen-voor-den-haag/>

- Schie, M. van, H. Jonker, J. Bakker, R. Niessink, J. van Diemen (2024), *Achtergronddocument Dataset Utiliteitsbouw in de Wijk aanpak voor de warmtetransitie*, Amsterdam: TNO, opgehaald van: <https://publications.tno.nl/publication/34642507/2NeRhr/TNO-2024-P10571.pdf>
- Stedin (2021), *87 procent van de nieuwbouwwoningen in 2020 aardgasvrij opgeleverd*, www.stedin.net, geraadpleegd op 2-12-2024 via: <https://www.stedin.net/over-stedin/pers-en-media/persberichten/87-procent-van-de-nieuwbouwwoningen-in-2020-aardgasvrij-opgeleverd>
- Thijssen, M., J. Gubbels (2026) *Gevoeligheidsanalyses voor de Startanalyse aardgasvrije buurten 2026*, Rotterdam: Ecorys, opgehaald van: <https://www.pbl.nl/system/files/document/2026-10/pbl-2026-ecorys-gevoeligheidsanalyses-voor-de-startanalyse-aardgasvrije-buurten-2026-6250.pdf>
- Tigchelaar, C., K. Fernández Gómez, I.H. Magan (2025) *Bepaling isolatiekosten woningen Startanalyse 2025*, Amsterdam: Nederlandse Organisatie voor toegepast natuurwetenschappelijk onderzoek, opgehaald van: <https://www.pbl.nl/system/files/document/2025-03/pbl-2025-tno-bepaling-isolatiekosten-woningen-startanalyse-2025-5865.pdf>
- TNO (2024), *ThermoGIS 2.3*, www.thermogis.nl, geraadpleegd op 9-8-2024: <https://www.thermogis.nl/>
- TNO & EBN (2018). *Play-based portfolio benadering, eerste inzicht in zes voordelen voor veilig en verantwoord, kosteneffectief versnellen van geothermie*, geraadpleegd via: <https://kennisbank.ebn.nl/play-based-portfolio-benadering-geothermie/>