



VERDIEPING OP DE ACTUALISATIE VAN DE STARTANALYSE

Toelichting op de gehanteerde uitgangspunten in de 2025-versie van de Startanalyse

Boris van Beijnum, Steven van Polen, Wessel Poorthuis en Janneke Blok
27 februari 2025

Ten geleide

Dit document betreft een conceptrapport. Dit rapport is bedoeld om de lezers inzicht te geven in de opbouw van strategieën en varianten, de onderbouwing van kentallen inclusief de verschillen ten opzichte van de 2020-versie van de Startanalyse. Dit conceptrapport wordt al gedeeld om zo de lezers inzicht te geven in de onderbouwing van de uitgangspunten in de berekeningen van de 2025-versie van de Startanalyse. Dit kan de lezers helpen bij het verrijken van hun eigen analyses.

Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) werkt ondertussen verder aan de afronding van dit rapport. Dit betekent dat er nog uitbreidingen kunnen komen op de onderbouwing, definities worden aangescherpt en diverse andere wijzigingen opgenomen kunnen worden om te komen tot het definitieve rapport. De verwachting is niet dat er nog wijzigingen op zullen treden in de gerapporteerde invoerparameters, maar aanpassingen kunnen niet uitgesloten worden omdat het aantal wijzigingen groot is.

Het PBL werkt met de best beschikbare gegevens en methoden, maar aanvaardt desondanks geen enkele aansprakelijkheid uit welke hoofde dan ook voor het gebruik van de in deze publicatie vermelde onderzoeksresultaten en het toepassen van de daarin beschreven gegevens en methodieken.

Colofon

Verdieping op de Actualisatie van de Startanalyse; Toelichting op de gehanteerde uitgangspunten in de 2025-versie van de Startanalyse

© PBL Planbureau voor de Leefomgeving
Den Haag, 2025
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) en Casper Tigchelaar (TNO)

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, van B et al (2025), Verdieping op de actualisatie van de Startanalyse. Toelichting op de gehanteerde uitgangspunten in de 2025-versie van de Startanalyse, 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	4
2	Inleiding op de Startanalyse	6
2.1	Wat is de Startanalyse?	6
2.2	Wat levert de Startanalyse op?	7
3	Strategieën en varianten	11
3.1	Referentiebeelden: 2023 en 2030	11
3.2	Verschillen tussen de 2020-versie en de 2025-versie	11
3.3	Strategie techniek en infrastructuur	12
3.4	Variantinvulling per strategie	15
3.5	Overzicht strategieën en varianten	44
4	Actualisatie in beeld	46
4.1	Methode actualisatie & validatiesessies	48
4.2	Algemene aanpassingen	50
4.3	Gebouwinformatie	53
4.4	Warmtebronnen	56
4.5	Buurtinformatie	60
4.6	Netbeheerdersdata	62
4.7	Energieverbruik gebouwen	66
4.8	Investeringen energiebesparing woningen	69
4.9	Investeringen energiebesparing utiliteit	75
4.10	Kentallen individuele installaties	75
4.11	Kentallen warmtenetten	80
4.12	Overige kentallen	90
4.13	Kosten van energiedragers	95
5	Verschillen per strategie	104
6	Resultaten	105
	Referenties	106

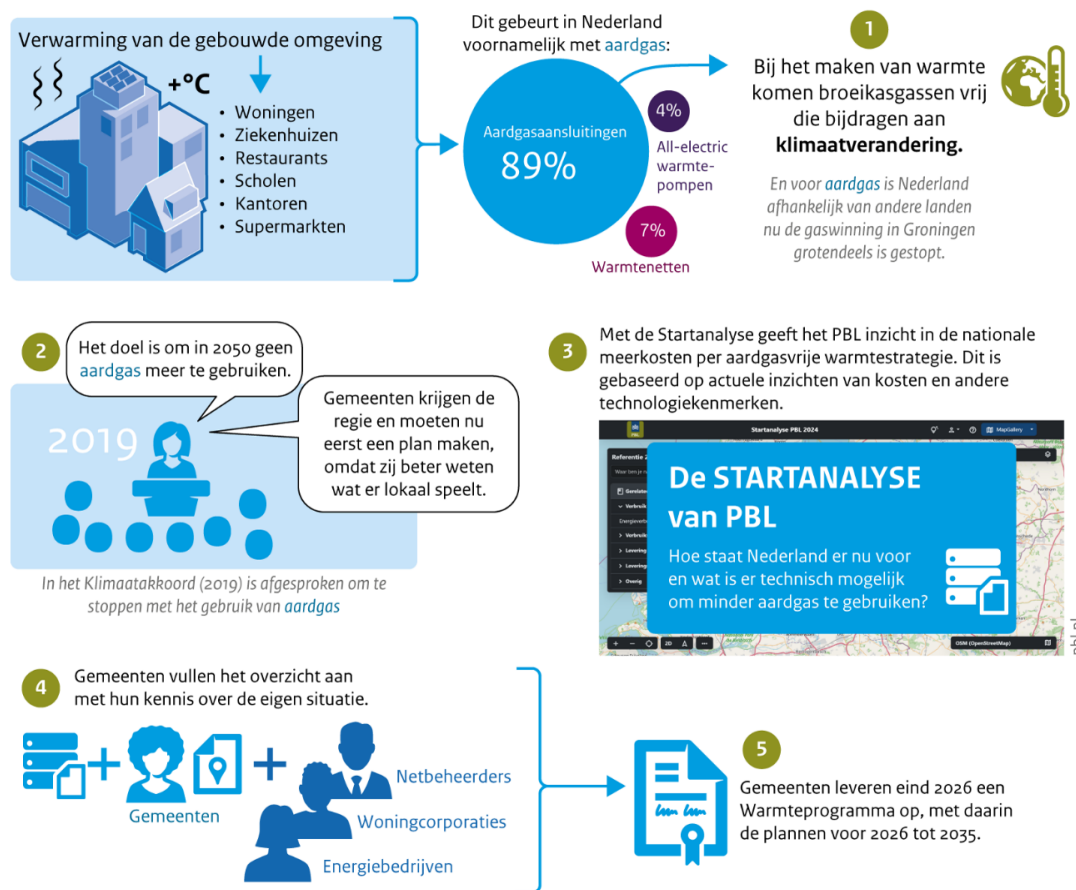
1 Inleiding

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 voor 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 2020-versie van de Startanalyse is uitgevoerd als voorbereiding op de transitievisies warmte die gemeenten eind 2021 hebben opgeleverd. De actualisatie van de Startanalyse (2025) richt zich nu op de ondersteuning van gemeenten bij het opleveren van hun warmteprogramma's in 2026.

Rol van het verdiepend rapport in de bundeling van producten

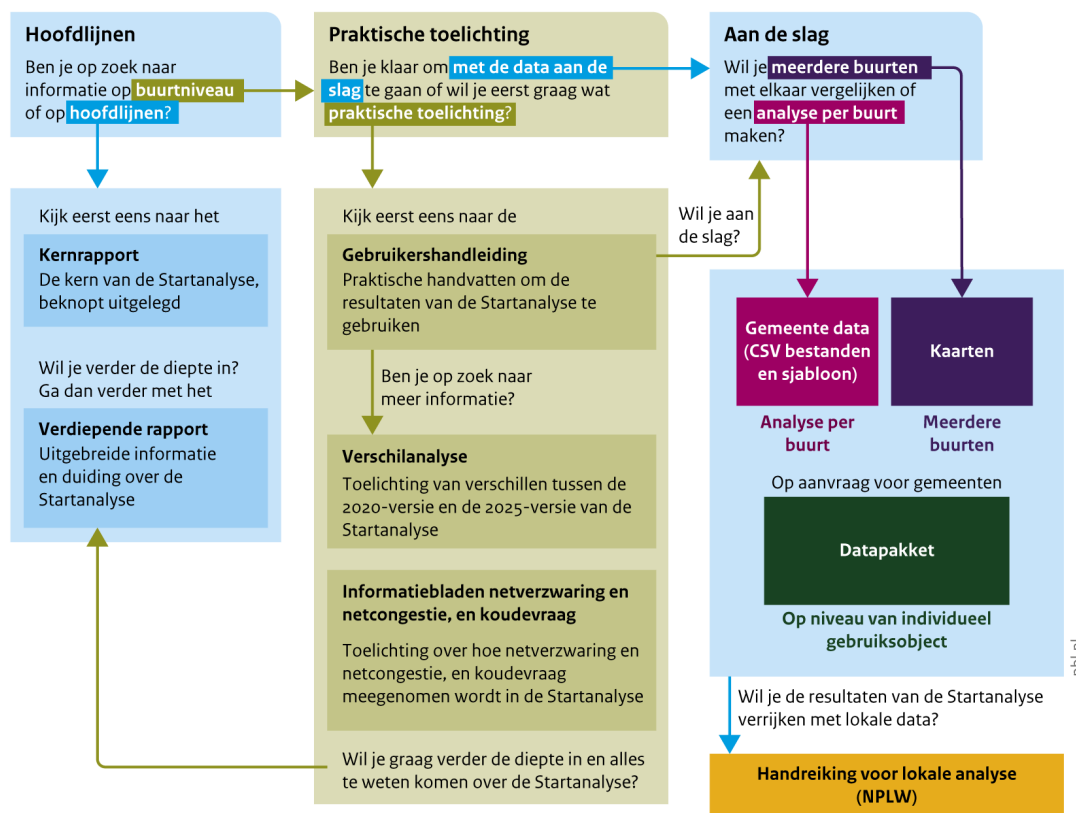
De Startanalyse is een verzamelnaam voor een bundeling van producten om gemeenten te ondersteunen bij de oplevering van een warmteprogramma. Deze bundeling van producten is te vinden via de [website van de Startanalyse](#), waarin ook een toelichting wordt gegeven op de bundeling van

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, 2020). Een ruimtelijk energiemodel waarin zowel woningen als utiliteitsgebouwen zijn opgenomen. Om het Vesta MAIS-model goed te laten rekenen wordt veel detailinformatie gevraagd over uitgangspunten van technologieën, de potentie van warmtebronnen en diverse andere factoren. Voor de Actualisatie van de Startanalyse is deze data allemaal geactualiseerd en het verdiepende rapport geeft de onderbouwing van deze keuzes. Het verdiepende rapport 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 delen gewijzigd en dit zal ook worden gepubliceerd, maar de methode komt grotendeels overeen met het Functioneel Ontwerp 5.0 (van der Molen, 2020).

Om de uitgangspunten toe te lichten wordt gestart met een korte toelichting gegeven op de Startanalyse als studie in hoofdstuk 2. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 ingegaan op de opbouw van de gehanteerde strategieën en varianten in de 2025-versie van de Startanalyse. Hoofdstuk 4 gaat in op de gehanteerde invoerbestanden, invoerwaarden en andere uitgangspunten rondom de Startanalyse. De hoofdstukken 5 en 6 zijn nog niet afgerond in de conceptversie, maar deze beogen een toelichting te geven op de verschillen per strategie (hoofdstuk 5) en inzicht te geven in de resultaten (hoofdstuk 6). Deze worden wel opgenomen in de definitieve versie van het rapport.

Figuur 2

Keuzehulp voor navigatie door de Startanalyse



Bron: PBL

2 Inleiding op de Startanalyse

De Startanalyse is een gedetailleerde studie naar verschillende aardgasvrije opties om gebouwen te verwarmen. Deze studie is een actualisatie van een eerdere versie, maar om deze resultaten goed te kunnen interpreteren wordt eerst de Startanalyse als studie ingeleid.

2.1 Wat is de Startanalyse?

Op grond van de Wet gemeentelijke instrumenten warmtetransitie (WGIW) moeten gemeenten uiterlijk 31 december 2026 een warmteprogramma opstellen (NPLW, g.d.). In een warmteprogramma wordt vastgelegd welke stappen een gemeente in de komende 10 jaar zal nemen om tot een aardgasvrije warmtevoorziening te komen. Als startpunt voor het opstellen van een warmteprogramma kunnen gemeenten de actualisatie van 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.

2.1.1 Aanleiding voor de 2020-versie

Nederland staat voor de uitdaging om in 2050 een volledig klimaatneutrale gebouwde omgeving te hebben, zoals uitgewerkt in het Klimaatakkoord, volgend op de afspraken in de Klimaatwet (2019). Dit betekent een verduurzamingsopgave van 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 (2019) 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 deze leidraad, wat heeft geresulteerd in de eerste versie van de Startanalyse in 2020.

2.1.2 Aanleiding voor de actualisatie

Ongeveer twee derde van de gemeenten heeft de 2020-versie van de Startanalyse gebruikt als bron bij het opstellen van hun transitievisie warmte (van der Molen et al., 2023). De transitievisie warmte is de voorloper van het warmteprogramma, welke met de invoering van de Wet gemeentelijke instrumenten warmtetransitie (Wgiw) vervangen wordt door het 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 deze actualisatie te maken.

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

2.1.3 Wat voor type studie is de Startanalyse?

In de Startanalyse wordt een beeld van de toekomst geschetst, maar er zijn verschillende vormen om de toekomst te verkennen. De Startanalyse is geen *toekomstverkenning*, zoals bijvoorbeeld de Klimaat- en energieverkenning, welke erop is gericht om de effecten van beleid te analyseren en te begrijpen. De Klimaat- en energieverkenning omvat bijvoorbeeld ook een inschatting van het effect van beleid op de uitstoot van CO₂-emissies. 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. Dit maakt het mogelijk om verschillende opties naast elkaar te zetten en te vergelijken, in dit geval onder andere op basis van de nationale meerkosten.

2.2 Wat levert de Startanalyse op?

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

2.2.1 Nationale meerkosten

Om een vergelijking tussen verschillende strategieën te kunnen maken gebruiken we de nationale meerkosten: we redeneren hierbij 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. De nationale kosten voor aardgasvrije warmtestrategieën zetten we af tegen de nationale kosten van het referentiebeeld 2030: we gebruiken daarom de term nationale meerkosten in plaats van nationale kosten. Met deze is het mogelijk om een vergelijking te maken tussen verschillende warmtestrategieën.

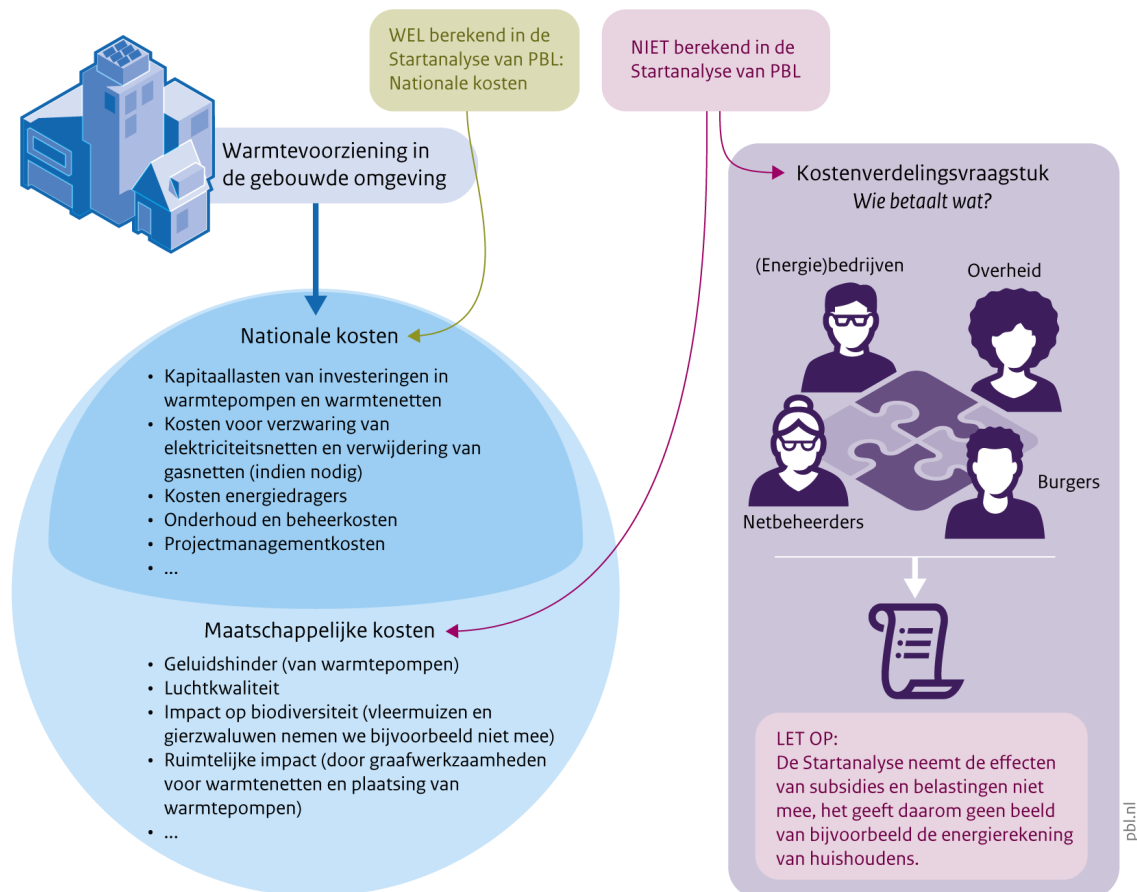
Onder de nationale kosten in de Startanalyse vallen onder andere kapitaallasten van investering, zoals vermeld in Figuur 3. Bij elektriciteitsnetten gaat het om de kosten van verzwaring die direct verband houden met de warmtetransitie.

In het Klimaatakkoord 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



Praktijkvoorbeeld: Kostenperspectieven bij het plaatsen van een individuele elektrische warmtepomp

We kunnen dit het beste verder toelichten aan de hand van een voorbeeld: het installeren van een individuele elektrische warmtepomp met bijbehorende isolatie voor eigenaar-bewoners zonder VVE. We onderscheiden hierbij 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.

Het plaatsen van een individuele elektrische warmtepomp heeft pas zin wanneer er voldoende geïsoleerd is: de woning moet eerst tot minstens label B geïsoleerd worden. Vervolgens moet een warmtepomp aangeschaft en geïnstalleerd worden en moeten de conventionele radiatoren door

lage temperatuur-afgiftesystemen² vervangen worden. Dit resulteert in allerlei kosten, zowel in het nationale kostenperspectief als in het eindgebruikersperspectief: de bewoner zal deze kosten dragen.

Wel kan de 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 het nationale kostensaldo. Echter zal het verschil in energiebelasting geen verandering in het nationale kostensaldo teweeg brengen: de bewoner zal door het hogere elektriciteitsverbruik meer belasting hierover aan de overheid betalen, maar zal tegelijk minder belasting betalen over gas omdat hiervan minder gebruikt wordt. Het gaat hierbij dus om een herverdeling van kosten in plaats van nieuw gemaakte kosten.

Tabel 1

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

Onderdeel	Eindgebruikersperspectief: bewoner	Overheidsperspectief	Nationale kosten
Isoleren naar label B+	-		-
LT-afgifte plaatsen	-		-
Aanschaf warmtepomp	-		-
Installatiekosten	-		-
ISDE-subsidie (warmtepomp + isolatie)	+	-	
Warmtefonds renteloze lening	+	-	
Onderhoudskosten	-		-
Energie rekening	+		+
Energiebelasting elektriciteit	-	+	
Energiebelasting gas	+	-	

2.2.2 Overzicht van producten

De Startanalyse omvat veel verschillende producten, een overzicht hiervan is te zien in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** Een interactieve versie van de figuur met een uitgebreidere toelichting per onderdeel is te vinden op de [website](#) en zoals weergegeven in figuur 1.2.

Zoals hiervoor benoemd zijn de belangrijkste resultaten de nationale meerkosten op buurtniveau. Daarnaast is er echter een hoop aanvullende data beschikbaar, welke bijvoorbeeld inzichtelijk

² In de Startanalyse nemen we alleen convectoren mee als lage temperatuur-afgiftesystemen. Vloerverwarming laten we buiten beschouwing.

gemaakt worden in de [Strategievergelijking](#), de [Kaarten](#) en de [Gemeentedata](#). Deze data kunnen gebruikt worden voor aanvullende analyses door gemeenten. Een praktische toelichting hierop vind je in de [Gebruikershandleiding](#). Dit rapport geeft uitgebreide informatie en duiding op deze resultaten en de onderliggende berekeningen.

CONCEPT

3 Strategieën en varianten

In dit hoofdstuk lichten we de gehanteerde strategieën en varianten binnen de 2025-versie van de Startanalyse toe. Eerst gaan we in op de referentiebeelden die gehanteerd worden voor de berekeningen (zie paragraaf 3.1). Vervolgens geven we een korte toelichting op de verschillen in varianten tussen de 2020-versie en de 2025-versie (zie paragraaf 3.2). Dan wordt dieper ingegaan op de vier strategieën, die zijn gebaseerd op een combinatie van techniek en infrastructuur, welke worden beschreven in paragraaf 3.3. De varianten binnen de strategieën worden vervolgens verder toegelicht in paragraaf 3.4. Als laatste wordt een beknopt overzicht 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 aardgasvrije verwarmen met elkaar worden vergeleken. Om deze vergelijking te kunnen maken wordt eerst het startjaar in beeld gebracht. Voor de 2025-versie van de Startanalyse is dit 2023 (referentiebeeld 2023). Het referentiebeeld 2023 geeft een beeld van de situatie op 1 januari 2024. 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 nog altijd uitgegaan van aardgas als basis voor de verwarming van gebouwen. Dit referentiebeeld wordt gebruikt als basis voor de berekening van de nationale meerkosten voor de aardgasvrije warmteopties. In de raming van het referentiebeeld 2030 wordt met name gekeken naar de effecten van de temperatuurontwikkelingen, 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.

3.2 Verschillen tussen de 2020-versie en de 2025-versie

Er zijn een aantal belangrijke verschillen in de varianten tussen de 2020-versie en de 2025-versie van de Startanalyse. Strategie 1 en 2 zijn ongewijzigd gebleven. In totaal bevat de 2025-versie van de Startanalyse 18 varianten.

Wijzigingen in Strategie 3

In Strategie 3 zijn aanpassingen doorgevoerd om beter de hoekpunten van warmtenetten met (Z)LT-bronnen te beschrijven. In de 2020-versie werd voor een aantal varianten uitgegaan van het aansluiten van een volledige buurt op een warmtenet met (Z)LT-bron. In de 2025-versie 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 2025-versie wordt verder toegelicht in paragraaf 3.4.4.

Wijzigingen in Strategie 4

In de 2020-versie van de Startanalyse werd uitgegaan van 2 strategieën met klimaatneutrale gasen, 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 ons doen besluiten om deze strategieën samen te voegen tot één strategie met klimaatneutraal gas.

Daarnaast werd in de 2020-versie onderscheid gemaakt tussen twee verschillende technologieën: Hr-ketels en hybride warmtepompen. We gaan ervanuit dat in de toekomst Hr-ketels grotendeels vervangen zullen worden door hybride warmtepompen en nemen daarom in de 2025-versie alleen hybride warmtepompen in combinatie met klimaatneutraal gas mee.

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

3.3 Strategie techniek en infrastructuur

De basis voor het onderscheid tussen strategieën is het verschil in infrastructuur en techniek die nodig zijn voor de verwarming van gebouwen. Hierbij is de derde strategie, de strategie van warmtenetten met (zeer)-lage temperatuurwarmtebronnen, een uitzondering. Deze strategie kijkt namelijk in de basis naar clusters van warmtenetten met deze warmtebronnen, maar de capaciteit van de warmtebronnen is vaak niet voldoende om een gehele buurt van warmte te kunnen voorzien. 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.

3.3.1 Toelichting begrippen bij onderscheid strategieën

Om het onderscheid tussen de strategieën te kunnen maken worden eerst de temperatuurniveaus van warmteproductie en -levering toegelicht. Dit zijn thema's die niet alleen worden gebruikt bij het onderscheid naar strategie, maar ook terugkomen in andere onderdelen van de Startanalyse.

Temperatuurniveaus warmteproductie en -levering

Het woord warmte lijkt een vrij simpel begrip, maar alleen het begrip warmte geeft in de context van de energietransitie nog niet voldoende informatie. De reden hiervoor is dat er een behoorlijk verschil zit tussen warmte van 100°C en 15°C. Om deze reden is het van belang om duidelijk te maken welke definities worden gehanteerd met betrekking tot warmte binnen de Startanalyse. Helemaal omdat het temperatuurniveau van groot belang is bij het onderscheid tussen de strategieën 2 (S2) en 3 (S3).

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

- Hogetemperatuurwarmte (HT): 80 tot 100°C
- Middentemperatuurwarmte (MT): 60 tot 80°C
- Lagetemperatuurwarmte (LT): 30 tot 60°C
- Zeer-lagetemperatuurwarmte (ZLT): 05 tot 30°C

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

3.3.2 Strategie 1 – Individuele elektrische warmtepomp

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

In de winter is het verschil tussen de buitentemperatuur en de binnentemperatuur groter, waarbij de warmtepomp harder moet 'werken' om het gewenste binnentemperatuurniveau te behouden. Intensief gebruik van de warmtepomp maakt dat het rendement van de warmtepomp daalt, doordat ook het elektrische element bij moet springen om de binnentemperatuurniveaus te halen. Hierdoor stijgt het elektriciteitsverbruik van de warmtepomp significant in de winterperiode. Om dit te kunnen leveren zal het veelal nodig zijn om het elektriciteitsnet te verzwaren zodat aan deze elektriciteitsvraag voldaan kan worden. Omdat de warmtevoorziening nu volledig ingevuld kan worden d.m.v. elektriciteit is het aardgasnet overbodig geworden. Binnen deze strategie zal daarom het aardgasnet verwijderd worden.

3.3.3 Strategie 2 – Warmtenet met midden- en hogetemperatuurwarmtebron

In strategie 2 wordt de warmtevraag van woningen en gebouwen ingevuld d.m.v. aansluiting op een warmtenet. Met een warmtenet is er sprake van een bron die (een overschot aan) warmte beschikbaar heeft die ingezet kan worden voor de warmtevoorziening van gebouwen. Deze bron wordt omschreven als de *primaire bron*. De mogelijkheden voor de warmtevoorziening d.m.v. een warmtenet zijn afhankelijk van het temperatuurniveau van deze bron. Binnen strategie 2 worden alleen bronnen ingezet waarvan we reden hebben om aan te nemen dat deze warmtebronnen een temperatuurniveau hebben van +/- 70°C (MT-warmte) of hoger. Warmte met deze temperatuurniveaus, aangevuld met de mogelijke aanvulling vanuit een hulpwarmte-installatie, kan in principe direct ingezet worden voor warm tapwater en de verwarming van gebouwen met de huidige radiatoren.

Een warmtenet bestaat natuurlijk niet alleen uit een primaire warmtebron; er zijn nog diverse andere componenten nodig om te zorgen dat de warmte op het goede temperatuurniveau wordt aangeleverd aan een gebouw. Ten eerste het leidingnet. De locatie van de primaire warmtebron is bekend, maar dan is het nog nodig dat de warmte vanaf deze locatie wordt getransporteerd naar de buurt met gebouwen die de warmte afneemt. De leiding voor dit transport van primaire bron naar de buurt wordt aangeduid met de term primair net. Vervolgens moet de warmte binnen de buurt gedistribueerd worden naar alle gebouwen. Het leidingnet dat zorgt voor de warmtedistributie binnen de buurt, is het secundaire net en wordt meestal aangeduid met de term distributienet.

In dit distributienet staat vaak ook een back-up ketel die ervoor zorgt dat er altijd warmte geleverd kan worden, de zogeheten hulpwarmte-installatie (HWI). Deze ketel zorgt ervoor dat de warmte het temperatuurniveau haalt waar de gebouwen om vragen. Deze ketel wordt voornamelijk ingezet op piekmomenten (koude dagen) en wanneer de primaire bron bijvoorbeeld in onderhoud is. De laatste component van een warmtenet betreft de aanpassingen in het gebouw zelf. Het gaat hierbij om de aansluiting van de warmtewisselaar en eventuele andere kosten binnen het gebouw om te zorgen dat het warmtenet alle woningen in bijvoorbeeld een appartementencomplex aan kan sluiten.

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

3.3.4 Strategie 3 – Warmtenet met (zeer-)lage temperatuurbron

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

Het collectief opwaarderen van de temperatuur van de aangeleverde warmte naar MT-niveau (70°C) kost veel elektriciteit, maar de aanpassingen in de woningen kunnen dan tot een minimum worden beperkt. Bij directe levering op LT-niveau (ca. 30°C) vanuit het warmtenet aan de afnemers zijn de distributieverliezen lager, maar dient er in elk aan te sluiten gebouw of woning een individuele warmtepomp geplaatst te worden. Wanneer de aflevertemperatuur aan gebouwen voldoende is voor de invulling van ruimteverwarming (ca. 50°C) is er alleen een boosterwarmtepomp nodig voor de warm tapwatervoorziening. De boosterwarmtepomp is een kleinere warmtepomp die in korte tijd hoge temperaturen kan bereiken door gebruik te maken van de aangeleverde warmte. Binnen dit systeem is het elektriciteitsverbruik lager, maar moeten binnen het gebouw de radiatoren wel aangepast worden naar een LT-afgiftesysteem. LT-afgiftesystemen zijn ook noodzakelijk bij andere systemen met een LT-warmtenet omdat het anders niet mogelijk is om de gebouwen te verwarmen.

Hiermee is er een grote variëteit in de opzet van warmtevoorzieningssystemen met een LT-warmtebron als basis. Om een eerste beeld te geven van de mogelijkheden van warmtenetten met deze bronnen binnen een buurt worden in de SA-2020 acht verschillende varianten onderscheiden. In deze varianten worden verschillende typen LT-warmtebronnen toegepast, uitgegaan van verschillende labelniveaus (waar mogelijk) en wordt de LT-warmte opgewaardeerd via verschillende (combinaties van) individuele en collectieve systemen. Deze worden verder toegelicht in paragraaf 3.4.4.

3.3.5 Strategie 4 – Klimaatneutraal gas

Strategie 4 is de strategie met de minste aanpassingen ten opzichte van de huidige situatie. In Strategie 4 wordt namelijk uitgegaan van invulling van de warmtevraag met behulp van klimaatneutraal gas 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 weinig te veranderen aan de huidige infrastructuur omdat het gewoon kan worden getransporteerd door het bestaande gasnet.

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 wordt uitgegaan van 2 miljard kubieke meter. Een deel hiervan wordt ingezet in hulpketels voor bestaande en nieuwe warmtenetten.

3.4 Variantinvulling per strategie

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

3.4.1 Toelichting begrippen voor onderscheid varianten

Schillabel

Het schillabel is een indicatie van de kwaliteit van de gebouwschil, oftewel de mate van isolatie van het gebouw. De gebouwschil bestaat uit de vloer op de begane grond, de buitenmuren, de deuren, de ramen en het dak. Het schillabel is gebaseerd op het energielabel van het gebouw (RVO, 2020a), waarbij wordt aangenomen dat de warmtevoorziening wordt ingevuld door een HR-ketel en er geen lokale opwek van hernieuwbare elektriciteit of warmte aanwezig is, zoals met zonnepanelen. In de berekeningen worden de volgende schillabelniveaus gehanteerd:

- Schillabel B: Gebouwen hebben een isolatieniveau overeenkomende met een gemiddelde RC-waarde van 2,5 voor woningen en een Rc-waarde van 3,5 voor utiliteitsgebouwen.
- Schillabel D: Gebouwen hebben een isolatieniveau overeenkomende met een gemiddelde Rc-waarde van 1-1,5 voor woningen. Voor utiliteitsgebouwen wordt dit schillabelniveau niet apart onderscheiden. Voor al deze besparingsniveaus geldt dat de besparing alleen effect heeft op de ruimteverwarmingsvraag en geen effect op de vraag naar warm tapwater. Verder hangt de mate van energiebesparing af van de uitgangssituatie (de huidige isolatiegraad). 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 afgiftesysteem plaats;
- LT-radiatoren: er zijn diverse mogelijkheden om een gebouw met een lage-temperatuursysteem (LT) te verwarmen, zoals vloerverwarming of LT-radiatoren. Vloerverwarming kan ook aangesloten worden op MT-systemen (zoals een HR-ketel) maar is ook geschikt voor LT-systemen. Voor de varianten die met LT-afgifte werken, is ervoor gekozen om uit te gaan van LT-radiatoren. Hoewel vloerverwarming over het algemeen een betere overdracht van LT-warmte heeft, is de toepassing van vloerverwarming niet altijd mogelijk of kostbaarder dan LT-radiatoren (Milieu Centraal, 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 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). 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 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 balancering van de bron wordt een regeneratievoorziening ingezet, hiermee wordt additionele warmte aan de WKO-bron aangeleverd. In de Startanalyse worden twee typen regeneratiebronnen toegepast:

- *Drogekoeler*: met buitenluchtcollectoren wordt gedurende de warmere seizoenen warmte uit de buitenlucht geogst en ondergronds opgeslagen in de WKO-bron voor gebruik in de winter. De drogekoeler wordt aangedreven door elektriciteit.

- *Oppervlaktewater*: gedurende de warmere seizoenen wordt warmte uit oppervlaktewater gewonnen en ondergronds opgeslagen in de WKO-bron voor gebruik in de winter (ook wel aangeduid als Aquathermie of Thermische Energie uit Oppervlaktewater (TEO)).

3.4.2 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 4.10.

Beide varianten

Isolatiemaatregelen

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

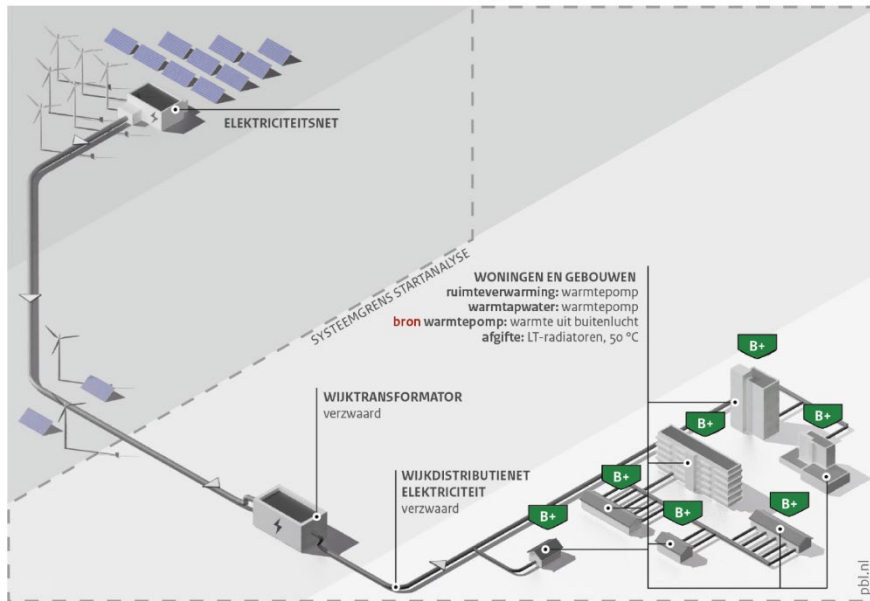
Afgiftesysteem in woningen en gebouwen

We gaan in beide varianten uit van het overstappen op een LT-afgiftesysteem (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 4.12.2.

Variant S1a – combiwarmtepomp met buitenluchtcollector

In variant S1a (zie Figuur 4) 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 4
Individuele elektrische luchtwarmtepomp



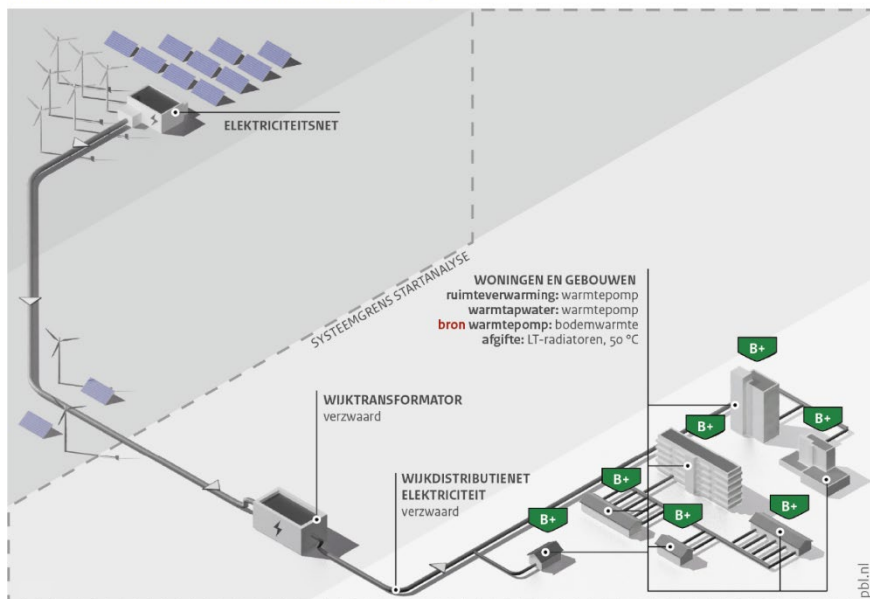
Bron: PBL

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

Variant S1b – combiwarmtepomp met bodemcollector

In variant S1b (zie Figuur 5) 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 5
Individuele elektrische bodemwarmtepomp



Bron: PBL

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

3.4.3 Strategie 2 – Warmtenet met midden- en hogetemperatuurwarmtebron

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

Naast het onderscheid naar isolatieniveau, wordt ook onderscheid gemaakt naar het type warmtebronnen waarmee de warmtenetten primair gevoed worden. Hierbij wordt onderscheid gemaakt naar rest- en aftapwarmte en geothermie. Bij geothermie wordt daarbij ook onderscheid gemaakt tussen een variant waarin wordt uitgegaan van kansrijke gebieden voor geothermie en een theoretische variant waarin geothermie overal in Nederland beschikbaar is. Zie ook paragraaf 4.4.2 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 gebruikmakende van kansrijke gebieden voor geothermie;
- S2c: Geothermie, met isolatieniveau schillabel B met in heel Nederland een geschikte ondergrond voor geothermie verondersteld;
- S2d: Rest- en aftapwarmte, met isolatieniveau schillabel D;
- S2e: Geothermie, met isolatieniveau schillabel D en alleen gebruik makende van kansrijke gebieden voor geothermie;
- S2f: Geothermie, met isolatieniveau schillabel D met in heel Nederland een geschikte ondergrond voor geothermie verondersteld

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

Aanwezigheid hulpwarmte-installatie

Een aandachtspunt bij alle bovenstaande varianten is dat in de berekeningen voor een warmtenet ook altijd een hulpwarmte-installatie is opgenomen. In het geval van de Startanalyse wordt ervan uitgegaan dat deze hulpwarmte-installatie is ingevuld door een hulpwarmteketel die wordt gestookt op klimaatneutraal gas. Het is ook mogelijk om deze hulpwarmte-installatie in te vullen door andere installaties zoals bijvoorbeeld een collectieve warmtepomp. Binnen de Startanalyse wordt hier niet vanuit gegaan omdat alle warmtenetten nu nog een gasgestookte hulpwarmteketel hebben en er daarom ook nog weinig/geen informatie is over andere vormen van hulpwarmte-installaties. 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 4.13.1.

Alle varianten

Individuele installatie en afgiftesysteem

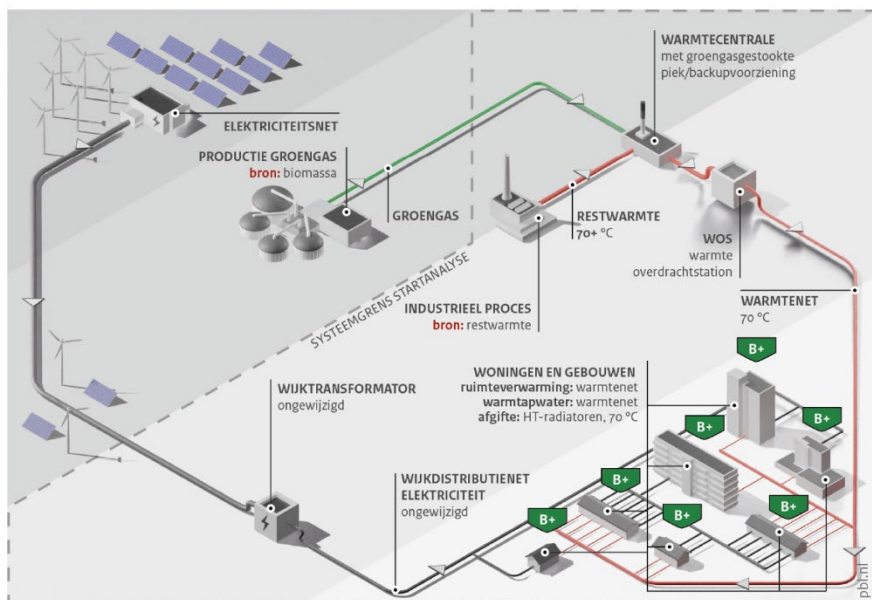
Voor alle varianten binnen S2 gaan we uit van aanvoer van MT-warmte op 70°C. Dankzij deze aanvoertemperatuur kunnen bestaande afgiftesystemen worden gehandhaafd. Daarbij is het temperatuurniveau van deze warmte ook voldoende om zowel de ruimteverwarmingvraag als de warm tapwatervraag in te vullen. Binnen 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 6 en Figuur 7) 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 6

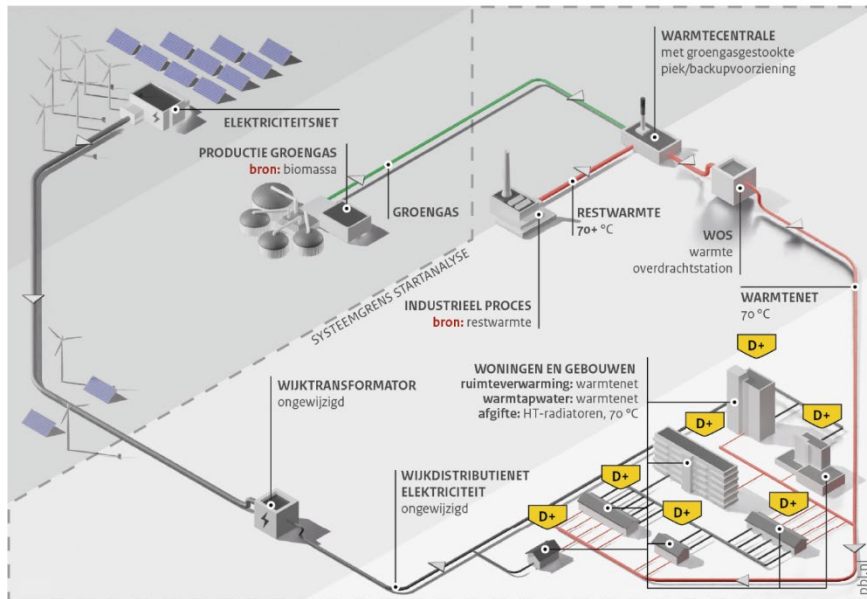
Warmtenet met MT-restwarmtebron



Bron: PBL

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

Figuur 7
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 label D.

Broncapaciteit

De broncapaciteit van restwarmtebronnen die beschikbaar zijn voor een buurt is gebaseerd op data dat aangeleverd is door gemeenten. 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 4.4 worden gebruikte warmtebronnen verder toegelicht.

Vaststelling puntbron per buurt

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

Schillabel

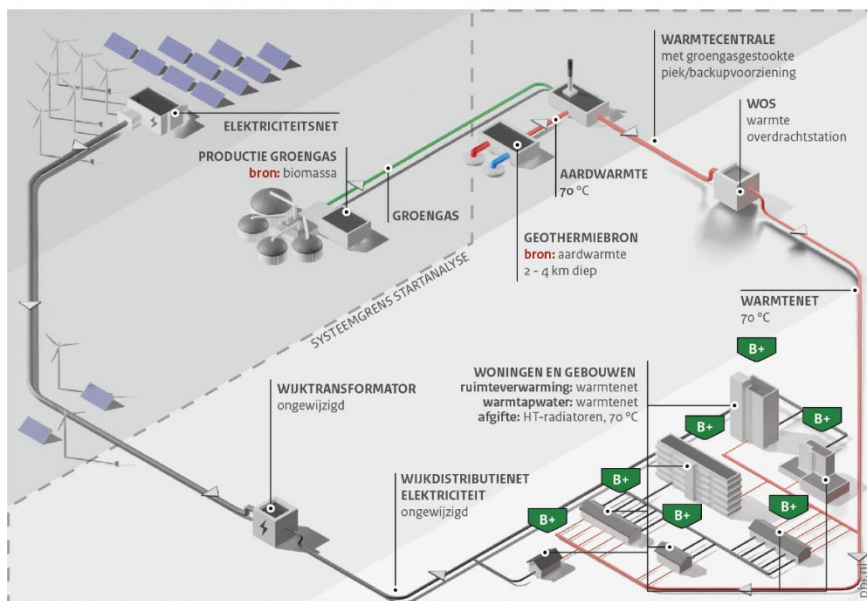
Er worden twee verschillende schillabelniveaus doorgerekend. Variant S2a gaat uit van schillabel B en variant S2d gaat uit van schillabel D.

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

In de varianten S2b en S2e (zie respectievelijk Figuur 8 en Figuur 9) 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 4.4.2.

Figuur 8

Warmtenet met MT-geothermiebron, potentiecontour

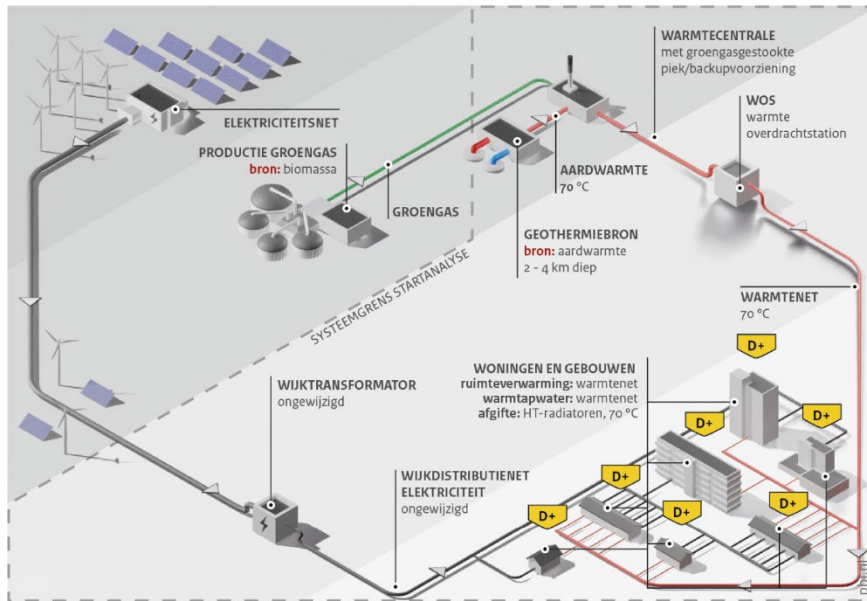


Bron: PBL

Schematische weergave van variant S2b – Warmtenet met middentemperatuur geothermiebron, rekening houdende met beschikbare informatie over bodemgeschiktheid. Alle woningen en gebouwen worden in deze variant geïsoleerd tot label B.

Figuur 9

Warmtenet met MT-geothermiebron, potentiecontour



Bron: PBL

Schematische weergave van variant S2e – Warmtenet met middentemperatuur geothermiebron, rekening houdende met beschikbare informatie over bodemgeschiktheid. Alle woningen en gebouwen worden in deze variant geïsoleerd tot label D.

Broncapaciteit

Afhankelijk van locatie en het type installatie van afnemers bedraagt de capaciteit van een geothermie-installatie in de praktijk 15 – 25 MW thermische energie. Om een dergelijk vermogen te benutten is een minimale warmtebehoefte ook noodzakelijk. Voor installaties van 15 – 25 MW thermische energie kan worden gedacht aan in totaal circa 2.500-5.000 woningequivalenten (weq). 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.

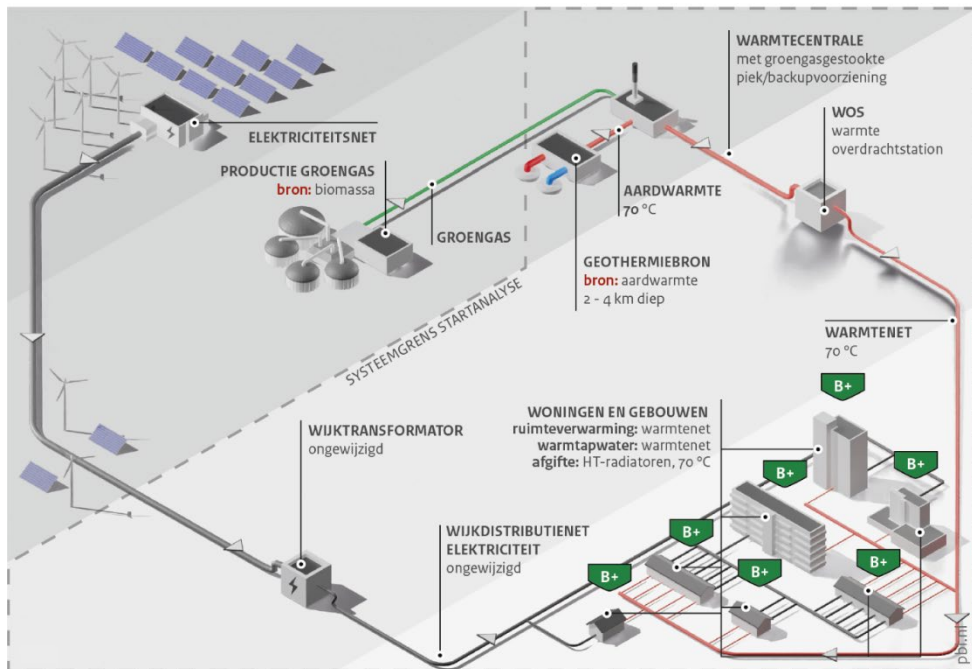
Varianten S2c en S2f – Warmtenet met middentemperatuur geothermiebron, uitgaande van bodemgeschiktheid voor geothermie in heel Nederland

Deze varianten (zie respectievelijk Figuur 10 en Figuur 11) 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.

Dit zien wij als theoretische varianten, deze worden uitgesloten van de laagste nationale kostenberekening en zullen dus niet als laagste nationale kostenvariant geselecteerd worden.

Figuur 10

Warmtenet met MT-geothermiebron, overal

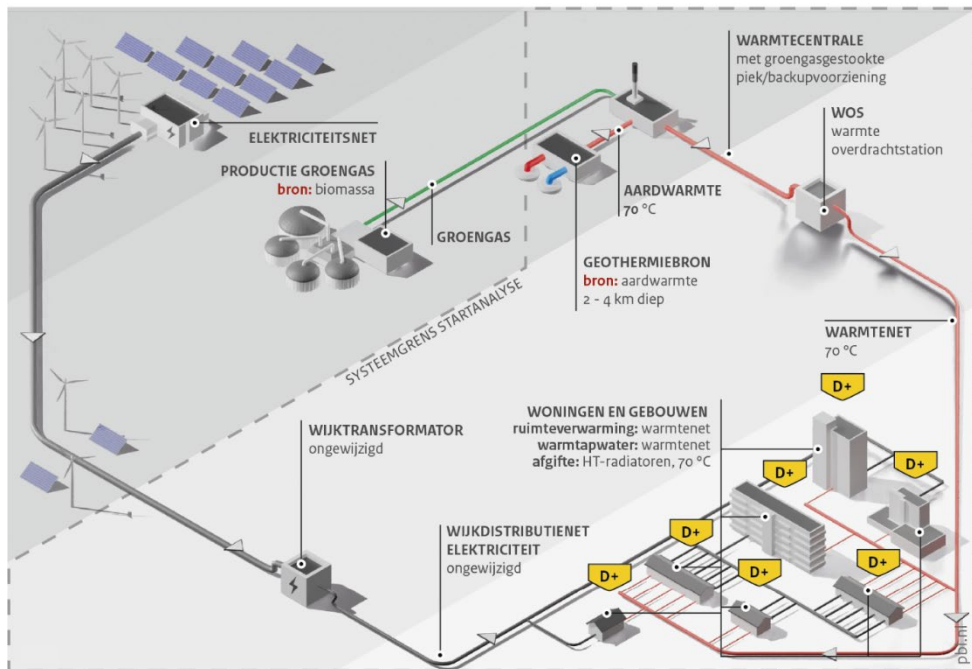


Bron: PBL

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

Figuur 11

Warmtenet met MT-geothermiebron, overal



Bron: PBL

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

3.4.4 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 LT-warmtebron als basis. In de varianten wordt onderscheid gemaakt naar individuele en collectieve systemen voor de opwaardering van LT-warmte, verschillende labelniveaus, verschillende afgiftesystemen en verschillende typen warmtebronnen (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.

Varianten uitgaande van schillabel B:

- S3a: Inzet van laagtemperatuur restwarmte, bijvoorbeeld van datacenters. De warmte wordt bij woningen en gebouwen afgeleverd op 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 woningen en 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 drogekoe-ler).

- 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 woningen.
- 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 woningen en 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.
- 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.

Clusteringsmethode

Een belangrijk verschil tussen S2 en S3 is het schaalniveau van de warmtenetten. Binnen strategie 2 wordt in de berekeningen ervan uitgegaan dat alle gebouwen binnen een buurt worden aangesloten op het warmtenet. Gemiddeld gaat het dan om 1000 -1500 gebouwen. Dit is ook het schaalniveau dat nodig is om dergelijke grootschalige warmtenetten uit te leggen. Het schaalniveau voor warmtenetten binnen S3 kan een stuk kleiner zijn. Het gaat hier vaak om het aansluiten van 100-150 woningen, of enkele utiliteitsgebouwen. De reden hiervoor is dat het beschikbare vermogen voor uitlevering van warmte vaak een stuk kleiner is voor de bestaande LT-warmtebronnen. Met dit kleinere vermogen (dat ook opgewaardeerd moet worden) worden daarom clusters van gebouwen aangesloten in plaats van altijd hele buurten. De methode waarop deze clusters tot stand komen wordt verder toegelicht in het functioneel ontwerp 5.0 (Van der Molen et al, 2021). Deze berekeningen zijn toegevoegd zodat een kostenvergelijking gemaakt kan worden tussen de overgang van buurten naar een HT/MT-warmtenet met buurten die volledig overgaan op een LT-warmtenet.

Individuele elektrische warmtepompen binnen S3

In de Startanalyse worden alleen strategieën verkend van een 100% aardgasloze warmtevoorziening. In de weergave van de resultaten voor S3 is echter te zien dat meestal niet de gehele buurt

wordt aangesloten op een warmtenet met een (Z)LT-warmtebron. Het resterende gedeelte stapt in dat geval over op een individuele elektrische warmtepomp (S1). Hiervoor zijn twee verschillende redenen. De eerste betreft het beperkte vermogen van warmtebronnen, zoals hierboven besproken. Doordat het niet mogelijk is om alle gebouwen in een buurt van warmte uit de (Z)LT-warmtebron te voorzien is het noodzakelijk om voor de andere gebouwen van een andere warmtevoorziening uit te gaan. Binnen de Startanalyse wordt er dan vanuit gegaan dat de andere gebouwen overgaan op S1.

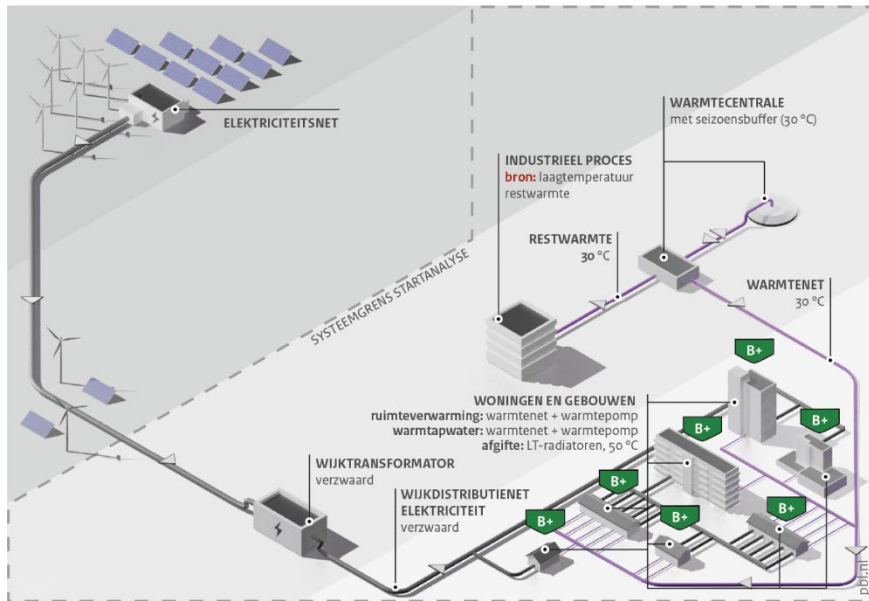
De tweede reden is wat complexer en heeft betrekking op de aantrekkelijkheid van een warmtevoorziening met een (Z)LT-bron t.o.v. een individuele warmtepomp. Als schaarse warmte van een (Z)LT-bron moet worden verdeeld gebeurt dat door te zoeken naar gebouwen waar die zo kosten-effectief mogelijk kan worden ingezet. Om dat te doen worden de kosten (per gebouw) van de overstap naar een aansluiting op die bron vergeleken met de kosten van een individuele warmtepomp zonder warmtenet. Als die laatste optie voordeliger is wordt dan wordt het gebouw overgeslagen en wordt de warmte van de (Z)LT-bron elders ingezet. In dat geval wordt de overgeslagen woning of gebouw van een individuele warmtepomp (S1) voorzien, hierbij wordt uitgegaan van de variant met de laagste nationale kosten voor deze buurt binnen S1. Bij de interpretatie van de resultaten voor S3 kan dit een belangrijke invloed hebben doordat 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 – Combinatie van (Z)LT-warmtenet met individuele elektrische warmtepomp – aanlevering op 15-30°C

Het startpunt voor deze variant is de beschikbare warmte uit LT-warmtebronnen (zie Figuur 12). Hierbij gaat het om (industriële) restwarmtebronnen bronnen die LT-warmte over hebben van +/- 30°C. Vervolgens wordt een LT-warmtenet aangelegd zodat de warmte verdeeld kan worden over de gebouwen in de nabije omgeving. In deze variant vindt geen collectieve opwaardering van de warmte plaats, maar wordt de LT-warmte direct aangeleverd aan de individuele gebouwen. Vervolgens wordt de warmte per gebouw met een individuele warmtepomp opgewaardeerd tot het gewenste temperaturniveau voor ruimteverwarming en warm tapwater. Plaatsing van individuele warmtepompen in alle gebouwen vereist mogelijk een verzwaring van het elektriciteitsnet in de buurt.

Figuur 12

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 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 label B.

LT-warmtebron

De warmtebronnen binnen deze variant bestaan uit de LT-warmtebronnen met een specifieke locatie. Voorbeelden van dergelijke warmtebronnen zijn datacenters, supermarkten en Rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's). In paragraaf 4.4.1 worden deze bronnen verder toegelicht.

Collectieve installaties

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

Schillabel

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

Individuele installatie en afgiftesysteem

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

Infrastructuur

Doordat de warmtevoorziening niet langer wordt ingevuld door aardgas moet het gasnet worden verwijderd uit de buurt. In de buurt moet wel een warmtenet worden aangelegd die de gebouwen

voorziet van warmte. Daarnaast moet het elektriciteitsnet in de hele buurt waarschijnlijk verzwaid worden. Zowel de gebouwen op het warmtenet als de gebouwen zonder een warmtenet krijgen individuele warmtepompen wat resulteert in een significant hogere elektriciteitsvraag per gebouw.

Buffer

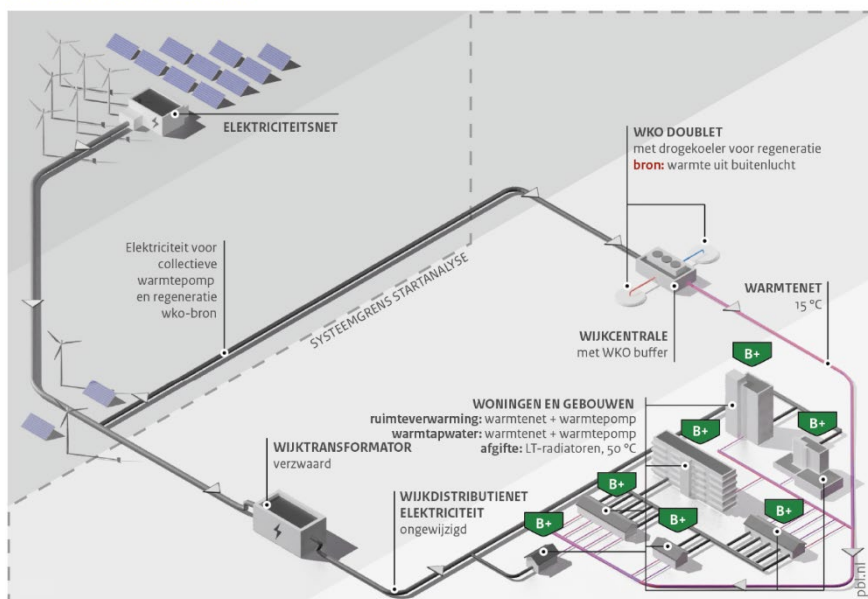
Om gedurende de koudere winterdagen voldoende warmte te kunnen leveren en ook op momenten te kunnen leveren waarop er vanuit de restwarmtebron tijdelijk geen warmte beschikbaar is wordt het warmtenet gecombineerd met een collectief buffervat met seizoensopslag.

Variant S3b – Combinatie van (Z)LT-warmtenet met WKO met individuele elektrische warmtepomp – aanlevering op 15°C

Bij deze variant wordt het gebouw verwarmd met een zeerlagetemperatuur (ZLT)-warmtenet dat wordt gevoed met een warmte-koudeopslag (WKO)-systeem (zie Figuur 13). De gebouwen worden tot schillabel B geïsoleerd. De warmte wordt bij woningen en gebouwen geleverd op een temperatuurniveau van 15 °C. In deze variant vindt geen collectieve opwaardering van de warmte plaats, maar wordt de LT-warmte direct aangeleverd aan de individuele gebouwen. Vervolgens wordt de warmte per gebouw met een individuele warmtepomp opgevaardeerd tot het gewenste temperatuurniveau voor ruimteverwarming en warm tapwater. Plaatsing van individuele warmtepompen in alle gebouwen vereist mogelijk een verzwaring van het elektriciteitsnet in de buurt.

Figuur 13

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 label B.

(Z)LT-warmtebron

De primaire bron in deze variant is een Warmte-Koude Opslag (WKO)-systeem. WKO is een systeem waarmee warmte en koude op ZLT-niveau in aquifers (watervoerende lagen in de ondergrond) in de bodem wordt opgeslagen. Deze warmte en koude worden vervolgens m.b.v. een warmtepomp naar een gebouw geleid om hiermee het gebouw op te warmen of af te koelen

(afhankelijk van het seizoen). Het gemiddelde temperatuurniveau van een WKO-systeem ligt lager dan bij een LT-restwarmtebron, daarom wordt bij een WKO-systeem uitgegaan van een ZLT-temperatuurniveau (+/- 15°C).

Collectieve installaties

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

Schillabel

In deze variant wordt alleen schillabel B meegenomen.

Individuele installatie en afgiftesysteem

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

Infrastructuur

Doordat de warmtevoorziening niet langer wordt ingevuld door aardgas moet het gasnet worden verwijderd uit de buurt. In de buurt moet wel een warmtenet worden aangelegd die de gebouwen voorziet van warmte. Daarnaast moet het elektriciteitsnet in de hele buurt waarschijnlijk verzaamd worden. Zowel de gebouwen op het warmtenet als de gebouwen zonder een warmtenet krijgen individuele warmtepompen wat resulteert in een significant hogere elektriciteitsvraag per gebouw.

Buffer

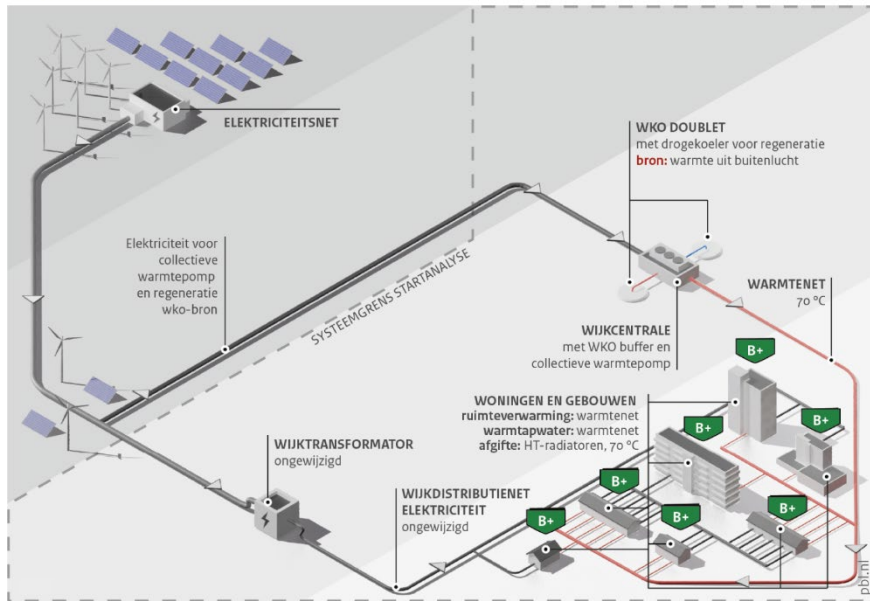
Om gedurende de koudere winterdagen voldoende warmte te kunnen leveren en ook op momenten te kunnen leveren waarop er vanuit de restwarmtebron tijdelijk geen warmte beschikbaar is wordt het warmtenet gecombineerd met een collectief buffervat met seizoensopslag.

Variant S3c – Combinatie van (Z)LT-warmtenet met WKO met collectieve warmtepomp – aanlevering op 70°C

Bij deze variant wordt het gebouw verwarmd met een zeerlagetemperatuur (ZLT)-warmtenet dat wordt gevoed met een warmte-koudeopslag (WKO)-systeem (zie Figuur 14). De gebouwen worden tot schillabel B geïsoleerd. In deze variant vindt collectieve opwaardering van de warmte plaats tot 70°C. Vervolgens wordt deze warmte gedistribueerd over de gebouwen waarmee deze warmte direct geschikt is voor ruimteverwarming en warm tapwater.

Figuur 14

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 label B.

(Z)LT-warmtebron

De primaire bron in deze variant is een Warmte-Koude Opslag (WKO)-systeem. WKO is een systeem waarmee warmte en koude op ZLT-niveau in aquifers (watervoerende lagen in de ondergrond) in de bodem wordt opgeslagen. Deze warmte en koude worden vervolgens m.b.v. een warmtepomp naar een gebouw geleid om hiermee het gebouw op te warmen of af te koelen (afhankelijk van het seizoen). Het gemiddelde temperatuurniveau van een WKO-systeem ligt lager dan bij een LT-restwarmtebron, daarom wordt bij een WKO-systeem uitgegaan van een ZLT-temperatuurniveau (+/- 15°C).

Collectieve installaties

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

Schillabel

In deze variant wordt alleen schillabel B meegenomen.

Individuele installatie en afgiftesysteem

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

Infrastructuur

Doordat de warmtevoorziening niet langer wordt ingevuld door aardgas moet het gasnet worden verwijderd uit de buurt. In de buurt moet wel een warmtenet worden aangelegd die de gebouwen voorziet van warmte. Daarnaast moet het elektriciteitsnet in de hele buurt waarschijnlijk verzwaid worden. Zowel de gebouwen op het warmtenet als de gebouwen zonder een warmtenet krijgen individuele warmtepompen wat resulteert in een significant hogere elektriciteitsvraag per gebouw.

Buffer

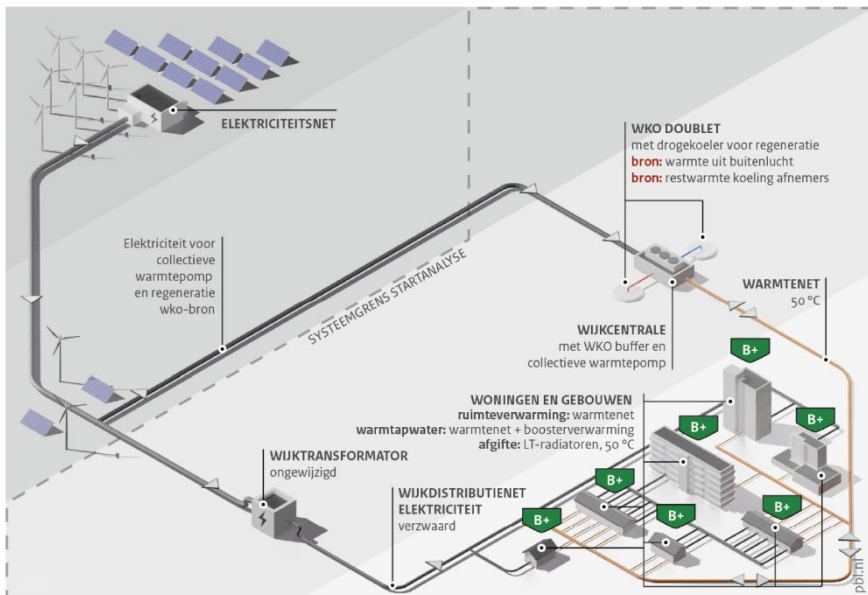
De WKO-bron zelf fungeert als buffer. We gaan hierbij uit van algemene regeneratie van de bron, bijvoorbeeld met een drogekoeler.

Variant S3d - Combinatie van (Z)LT-warmtenet met WKO met collectieve warmtepomp – aanlevering op 50°C

Bij deze variant wordt het gebouw verwarmd met een zeerlagetemperatuur (ZLT)-warmtenet dat wordt gevoed met een warmte-koudeopslag (WKO)-systeem (zie Figuur 15). De gebouwen worden tot schillabel B geïsoleerd. In deze variant vindt collectieve opwaardering van de warmte plaats tot 50°C. Vervolgens wordt deze warmte gedistribueerd over de gebouwen, en is deze direct geschikt voor ruimteverwarming. Hiervoor moeten bestaande radiatoren wel worden vervangen door een LT-afgiftesysteem. Verder is het temperatuurniveau van 50°C nog niet voldoende voor de invulling van warm tapwater, deze wordt daarom nog verder opgehoogd door middel van een booster-warmtepomp.

Figuur 15

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 label B.

(Z)LT-warmtebron

De primaire bron in deze variant is een Warmte-Koude Opslag (WKO)-systeem. WKO is een systeem waarmee warmte en koude op ZLT-niveau in aquifers (watervoerende lagen in de ondergrond) in de bodem wordt opgeslagen. Deze warmte en koude worden vervolgens m.b.v. een warmtepomp naar een gebouw geleid om hiermee het gebouw op te warmen of af te koelen (afhankelijk van het seizoen). Het gemiddelde temperatuurniveau van een WKO-systeem ligt lager dan bij een LT-restwarmtebron, daarom wordt bij een WKO-systeem uitgegaan van een ZLT-temperatuurniveau (+/- 15°C).

Collectieve installaties

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

Schillabel

In deze variant wordt alleen schillabel B meegenomen.

Individuele installatie en afgiftesysteem

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

Infrastructuur

Doordat de warmtevoorziening niet langer wordt ingevuld door aardgas, moet het gasnet worden verwijderd uit de buurt. In de buurt moet wel een warmtenet worden aangelegd die de gebouwen voorziet van warmte. De gebouwen die zijn aangesloten op het warmtenet kennen een lichte stijging in de elektriciteitsvraag door de inzet van boosters voor warm tapwater. De stijging van de elektriciteitsvraag is wel beperkt en om deze reden is er geen verzwaring van het elektriciteitsnet nodig voor de gebouwen die op het warmtenet zijn aangesloten. De gebouwen die niet op het warmtenet zitten, worden voorzien van een individuele elektrische warmtepomp, hier is wel een additionele elektriciteitsvraag en het elektriciteitsnet wordt wel verzwaard voor deze gebouwen.

Buffer

De WKO-bron zelf fungeert als buffer. We gaan hierbij uit van algemene regeneratie van de bron, bijvoorbeeld met een drogekoeler.

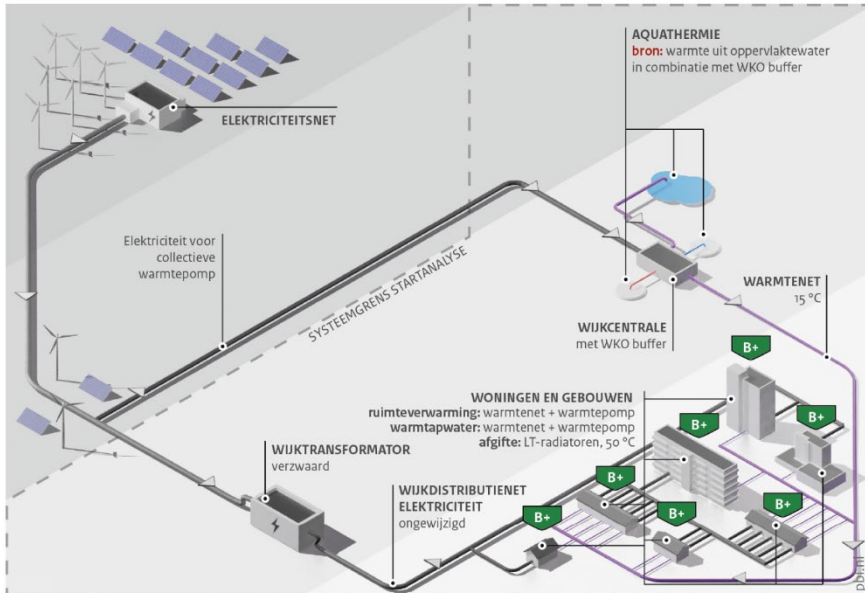
Variant S3e - Combinatie van (Z)LT-warmtenet met WKO en TEO met individuele combiwarmtepomp – aanlevering op 15°C

Bij deze variant wordt het gebouw verwarmd met een zeerlagetemperatuur (ZLT)-warmtenet dat wordt gevoed met een warmte-koudeopslag (WKO)-systeem (zie Figuur 16). Hierbij gaan we uit van regeneratie van het WKO-systeem door middel van Thermische Energie uit Oppervlaktewater (TEO). De gebouwen worden tot schillabel B geïsoleerd. De warmte wordt bij woningen en gebouwen geleverd op een temperatuurniveau van 15 °C. In deze variant vindt geen collectieve opwaardering van de warmte plaats, maar wordt de LT-warmte direct aangeleverd aan de individuele gebouwen. Vervolgens wordt de warmte per gebouw met een individuele warmtepomp opgewaardeerd tot

het gewenste temperatuurniveau voor ruimteverwarming en warm tapwater. De afgiftesystemen worden hierbij vervangen door laagtemperatuur afgiftesystemen. Plaatsing van individuele warmtepompen in alle gebouwen vereist mogelijk een verzwaring van het elektriciteitsnet in de buurt.

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 label B.

(Z)LT-warmtebron

De primaire bron in deze variant is een Warmte-Koude Opslag (WKO)-systeem. WKO is een systeem waarmee warmte en koude op ZLT-niveau in aquifers (watervoerende lagen in de ondergrond) in de bodem wordt opgeslagen. Deze warmte en koude worden vervolgens m.b.v. een warmtepomp naar een gebouw geleid om hiermee het gebouw op te warmen of af te koelen (afhankelijk van het seizoen). Het gemiddelde temperatuurniveau van een WKO-systeem ligt lager dan bij een LT-restwarmtebron, daarom wordt bij een WKO-systeem uitgegaan van een ZLT-temperatuurniveau (+/- 15°C).

Collectieve installaties

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

Schillabel

In deze variant wordt alleen schillabel B meegenomen.

Individuele installatie en afgiftesysteem

Op gebouwniveau wordt een boosterwarmtepomp geplaatst die de aangeleverde LT-warmte opwaardeert naar het gewenste temperatuurniveau voor warm tapwater. Het temperatuurniveau van

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

Infrastructuur

Doordat de warmtevoorziening niet langer wordt ingevuld door aardgas, moet het gasnet worden verwijderd uit de buurt. In de buurt moet wel een warmtenet worden aangelegd die de gebouwen voorziet van warmte. De gebouwen die zijn aangesloten op het warmtenet kennen een lichte stijging in de elektriciteitsvraag door de inzet van boosters voor warm tapwater. De stijging van de elektriciteitsvraag is wel beperkt en om deze reden is er geen verzwaring van het elektriciteitsnet nodig voor de gebouwen die op het warmtenet zijn aangesloten. De gebouwen die niet op het warmtenet zitten, worden voorzien van een individuele elektrische warmtepomp, hier is wel een additionele elektriciteitsvraag en het elektriciteitsnet wordt wel verzaamd voor deze gebouwen.

Buffer

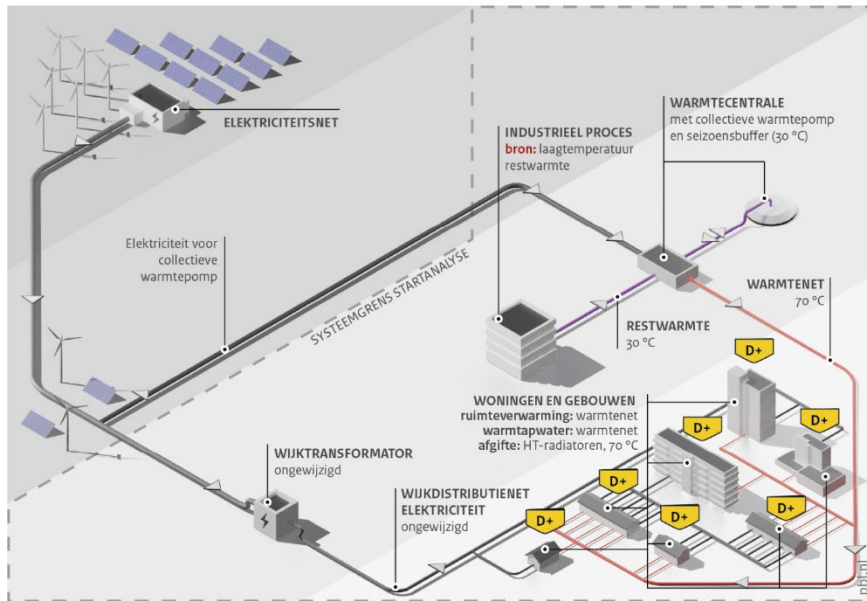
De WKO-bron zelf fungeert als buffer. In deze variant wordt gebruik gemaakt van thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) als regeneratie.

Variant S3f – Combinatie van (Z)LT-warmtenet met restwarmtebron met collectieve warmtepomp – aanlevering op 70°C

Het startpunt voor deze variant is de beschikbare warmte uit LT-warmtebronnen (zie Figuur 17). Hierbij gaat het om (industriële) restwarmtebronnen die LT-warmte over hebben van +/- 30°C. Vervolgens wordt een LT-warmtenet aangelegd zodat de warmte verdeeld kan worden over de gebouwen in de nabije omgeving. Gebouwen worden geïsoleerd tot label D. In deze variant vindt collectieve opwaardering van de warmte plaats naar een temperatuurniveau van 70°C. Vervolgens wordt deze warmte gedistribueerd over de gebouwen waarmee deze warmte direct geschikt is voor ruimteverwarming en warm tapwater.

Figuur 17

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 label D.

LT-warmtebron

De warmtebronnen binnen deze variant bestaan uit de LT-warmtebronnen met een specifieke locatie. Voorbeelden van dergelijke warmtebronnen zijn datacenters, supermarkten en Rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's). In paragraaf 4.4.1 worden deze bronnen verder toegelicht.

Collectieve installaties

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

Schillabel

In deze variant gaan we uit van label D.

Individuele installatie en afgiftesysteem

Door de aanlevertemperatuur van 70°C zijn geen aanpassingen nodig aan de afgiftesystemen.

Infrastructuur

Doordat de warmtevoorziening niet langer wordt ingevuld door aardgas, moet het gasnet worden verwijderd uit de buurt. In de buurt moet wel een warmtenet worden aangelegd die de gebouwen voorziet van warmte. De gebouwen die niet op het warmtenet zitten, worden voorzien van een individuele elektrische warmtepomp, hier is een additionele elektriciteitsvraag en het elektriciteitsnet wordt wel verzwakt voor deze gebouwen.

Buffer

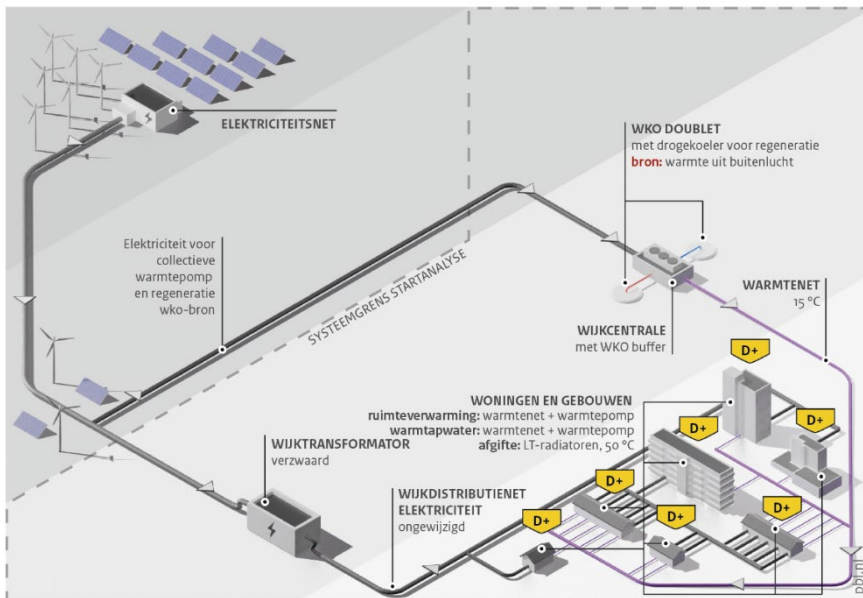
Om gedurende de koudere winterdagen voldoende warmte te kunnen leveren en ook op momenten te kunnen leveren waarop er vanuit de restwarmtebron tijdelijk geen warmte beschikbaar is wordt het warmtenet gecombineerd met een collectief buffervat met seizoensopslag.

Variant S3g - Combinatie van (Z)LT-warmtenet met WKO met collectieve warmtepomp – aanlevering op 50°C

Bij deze variant wordt het gebouw verwarmd met een zeerlagetemperatuur (ZLT)-warmtenet dat wordt gevoed met een warmte-koudeopslag (WKO)-systeem (zie Figuur 18). De gebouwen worden tot schillabel D geïsoleerd. De warmte wordt bij woningen en gebouwen geleverd op een temperatuurniveau van 15 °C. In deze variant vindt geen collectieve opwaardering van de warmte plaats, maar wordt de LT-warmte direct aangeleverd aan de individuele gebouwen. Vervolgens wordt de warmte per gebouw met een individuele warmtepomp opgevaardeerd tot het gewenste temperatuurniveau voor ruimteverwarming en warm tapwater. De afgiftesystemen worden hierbij vervangen door lagetemperatuur afgiftesystemen. Plaatsing van individuele warmtepompen in alle gebouwen vereist mogelijk een verzwaring van het elektriciteitsnet in de buurt.

Figuur 18

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 opgevaardeerd naar 50°C. De bestaande afgiftesystemen worden vervangen door LT-afgiftesystemen. Alle woningen en gebouwen worden in deze variant geïsoleerd tot label D.

(Z)LT-warmtebron

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

dan bij een LT-restwarmtebron, daarom wordt bij een WKO-systeem uitgegaan van een ZLT-temperatuurniveau (+/- 15°C).

Collectieve installaties

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

Schillabel

In deze variant gaan we uit van label D.

Individuele installatie en afgiftesysteem

Op gebouwniveau wordt een boosterwarmtepomp geplaatst die de aangeleverde LT-warmte opwaardeert naar het gewenste temperatuurniveau voor warm tapwater. Het afgiftesysteem wordt aangepast naar een LT-afgiftesysteem.

Infrastructuur

Doordat de warmtevoorziening niet langer wordt ingevuld door aardgas, moet het gasnet worden verwijderd uit de buurt. In de buurt moet wel een warmtenet worden aangelegd die de gebouwen voorziet van warmte. De gebouwen die niet op het warmtenet zitten, worden voorzien van een individuele elektrische warmtepomp, hier is een additionele elektriciteitsvraag en het elektriciteitsnet wordt wel verzwaid voor deze gebouwen.

Buffer

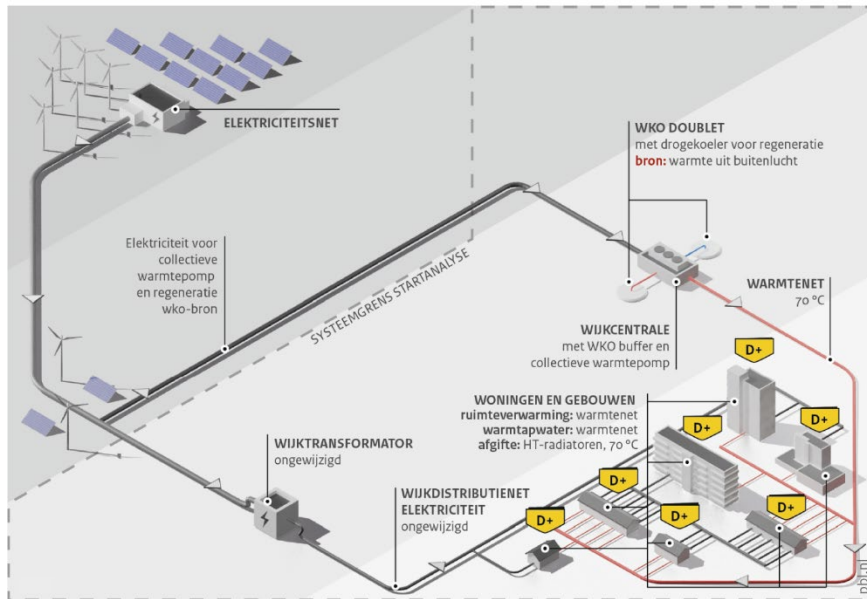
De WKO-bron zelf fungeert als buffer. In deze variant wordt gebruik gemaakt van algemene regeneratie, bijvoorbeeld met een drogekoeler.

Variant S3h - Combinatie van (Z)LT-warmtenet met WKO met collectieve warmtepomp – aanlevering op 70°C

Bij deze variant wordt het gebouw verwarmd met een zeerlagetemperatuur (ZLT)-warmtenet dat wordt gevoed met een warmte-koudeopslag (WKO)-systeem (zie Figuur 19). De gebouwen worden tot schillabel D geïsoleerd. In deze variant vindt collectieve opwaardering van de warmte plaats naar een temperatuurniveau van 70°C. Vervolgens wordt deze warmte gedistribueerd over de gebouwen waarmee deze warmte direct geschikt is voor ruimteverwarming en warm tapwater.

Figuur 19

ZLT-warmtenet met WKO



Bron: PBL

Schematische weergave van variant S_{3h} – 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 label D.

(Z)LT-warmtebron

De primaire bron in deze variant is een Warmte-Koude Opslag (WKO)-systeem. WKO is een systeem waarmee warmte en koude op ZLT-niveau in aquifers (watervoerende lagen in de ondergrond) in de bodem wordt opgeslagen. Deze warmte en koude worden vervolgens m.b.v. een warmtepomp naar een gebouw geleid om hiermee het gebouw op te warmen of af te koelen (afhankelijk van het seizoen). Het gemiddelde temperatuurniveau van een WKO-systeem ligt lager dan bij een LT-restwarmtebron, daarom wordt bij een WKO-systeem uitgegaan van een ZLT-temperatuurniveau (+/- 15°C).

Collectieve installaties

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

Schillabel

In deze variant gaan we uit van label D.

Individuele installatie en afgiftesysteem

Door de aanlevertemperatuur van 70°C zijn geen aanpassingen nodig aan de afgiftesystemen.

Infrastructuur

Doordat de warmtevoorziening niet langer wordt ingevuld door aardgas, moet het gasnet worden verwijderd uit de buurt. In de buurt moet wel een warmtenet worden aangelegd die de gebouwen voorziet van warmte. De gebouwen die niet op het warmtenet zitten, worden voorzien van een

individuele elektrische warmtepomp, hier is een additionele elektriciteitsvraag en het elektriciteitsnet wordt wel verzwaard voor deze gebouwen.

Buffer

De WKO-bron zelf fungeert als buffer. In deze variant wordt gebruik gemaakt van thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) als regeneratie.

3.4.5 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 label B (Figuur 20) en S4b uitgaat van label D (Figuur 21).

Voor beide varianten

Afgiftesysteem in woningen en gebouwen

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

Technologie

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

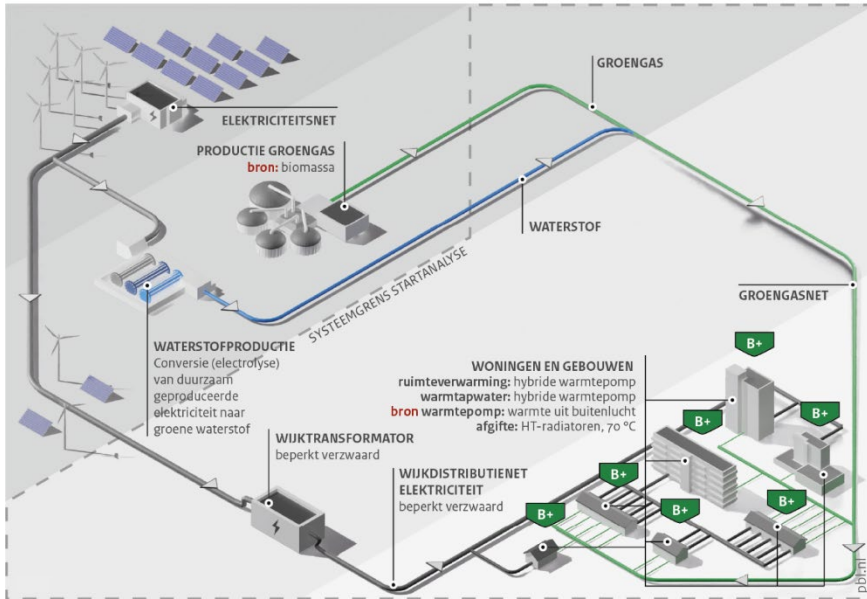
Individuele installatie

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 verzwaard worden. Deze verzwaring zal in een kleinere mate zijn dan bij S1, de kosten voor verzwaring zullen hiermee ook lager zijn dan binnen

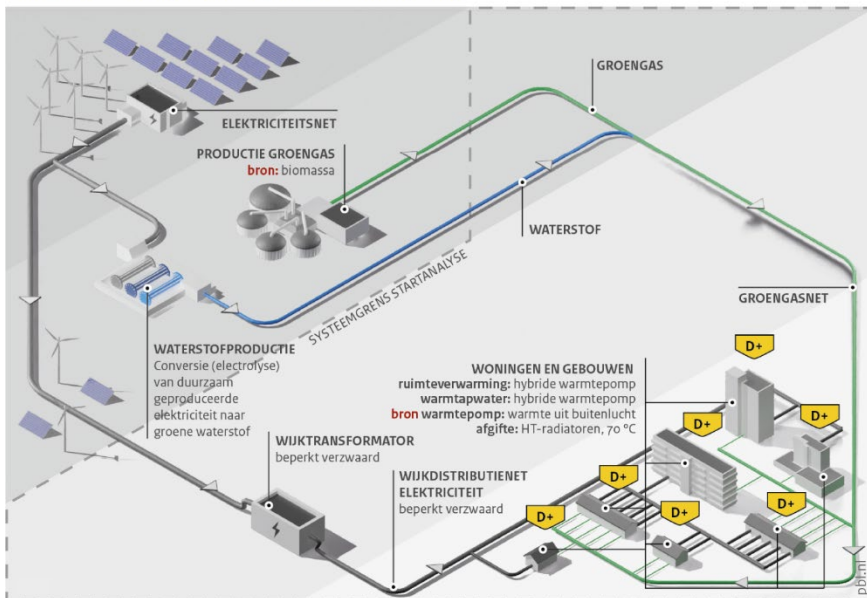
Figuur 20
Klimaatneutraal gas met hybride warmtepomp



Bron: PBL

Schematische weergave van variant S4a – Hybride warmtepomp met klimaatneutraal gas. Alle woningen en gebouwen worden in deze variant geïsoleerd tot label B.

Figuur 21
Klimaatneutraal gas met hybride warmtepomp



Bron: PBL

Schematische weergave van variant S4b – Hybride warmtepomp met klimaatneutraal gas. Alle woningen en gebouwen worden in deze variant geïsoleerd tot label D.

3.5 Overzicht strategieën en varianten

In Tabel 2 op de volgende pagina wordt een overzicht gegeven van de strategieën en varianten op basis van verschillende kenmerken.

CONCEPT

Tabel 2

Overzicht van varianten in de Startanalyse

Technologie	Isolatie-niveau	Energiedragers	Aanlevering	Afgifte ruimteverwarming	Gasnet verwijderen	Modellering gebouwniveau	Modellering clusterniveau	Modellering buurniveau	Individuele warmtepomp	Collectieve warmtepomp	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 Actualisatie in beeld

Een belangrijke reden voor de Actualisatie van de Startanalyse is het actualiseren van de verschillende vormen van informatie. Het gaat hierbij om informatie zoals de prestaties van technieken, kostendata, (ruimtelijke) databronnen en kleine aanpassingen aan de modellering. In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de verschillen tussen de beschikbare informatie in de 2020-versie van de Startanalyse (SA2020) en de Actualisatie van de Startanalyse (ASA2025). Onderstaande tabel geeft daarbij een overzicht van de onderwerpen die behandeld worden en deze tabel geeft ook gelijk een leeswijzer voor dit hoofdstuk.

Het doel van elke beschrijving in dit hoofdstuk is om inzicht te geven in de wijzigingen die zijn gedaan 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 houden we in grote lijnen de volgende indeling aan:

- Voor kostendata maken we onderscheid 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 benoemen we hier ook onzekerheden.
- Voor andere aanpassingen beschrijven we:
 - Korte beschrijving van informatie
 - Informatie in SA2020
 - Informatie in 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. Dit functioneel ontwerp bevat een uitgebreide beschrijving van de rekenregels en van relevante begrippen, welke niet in dit rapport worden herhaald. Het functioneel ontwerp zal in de loop van 2025 worden geactualiseerd met de nieuwe data en rekenregels die in dit verdiepend rapport worden beschreven. Dit zal worden gepubliceerd als het Functioneel Ontwerp 5.1. De rekenregels zijn hierbij grotendeels hetzelfde als in de SA2020. Het achtergrondrapport bij de SA2020 geeft een verantwoording van de uitgangspunten en kengetallen zoals ze eerder zijn gehanteerd. 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 ASA2025 en SA2020 wordt in paragraaf 4.1 eerst kort ingegaan op de methode waarmee de kengetallen zijn geactualiseerd. Zogeheten 'validatiesessies' waarbij de kengetallen zijn voorgelegd aan een scala aan relevante

experts en marktpartijen zijn een belangrijk onderdeel geweest van de actualisatie. Onderstaande Tabel 3 geeft een overzicht van de onderwerpen die in dit verdiepend rapport aan bod komen.

Tabel 3
Behandelde aanpassingen in dit hoofdstuk

Hoofdonderwerp	Deelonderwerp	Paragraafnr.
Algemene aanpassingen	Maatschappelijke discontovoet	4.2.1
	Inflatiecorrectie	4.2.2
	Leerfactoren	4.2.3
Gebouwinformatie	Gebouwoorraad	4.3.1
	Energielabels Woningen	4.3.2
	Energielabels Utiliteit	4.3.3
Warmtebronnen	Puntbronnen	4.4.1
	Geothermie	4.4.2
	WKO-contour	4.4.3
	TEO-contour	4.4.4
Buurtinformatie	CBS-buurtindeling	4.5.1
	Lengte warmteleidingen	4.5.2
	Aandeel bestaande warmtenetten	4.5.3
	Uitgesloten buurten	4.5.4
Netbeheerdersdata	Informatie per buurt	4.6.1
	Kostenkengetallen	4.6.2
	Onderhoudskosten gasnet	4.6.3
Energieverbruik gebouwen	Energieverbruik woningen	4.7.1
	Energieverbruik utiliteit	4.7.2
	Klimaateffect	4.7.3
	Ventilatie	4.7.4
	Koude	4.7.5
Investerings- en onderhoudskosten energiebesparing	Gevoeligheidsanalyse energiebesparing	4.7.6
	Woningen	4.8
Investeringen energiebesparing	Utiliteit	4.9
	Investeringskosten warmtepompen	4.10.1
	Onderhoudskosten warmtepompen	4.10.2
	Rendementen warmtepompen	4.10.3
Kentallen individuele installaties	Inzet hybride warmtepompen	4.10.4
	Investeringskosten geothermie-installatie	4.11.1
	Uitkoppelkosten MT-restwarmtebronnen	4.11.2
	Investerings- en onderhoudskosten TEO	4.11.3
	Modelwaarden WKO	4.11.4
Kentallen warmtenetten	Regeneratiekosten WKO	4.11.5

	Dimensionering basis- en pieklast bij warmtenetten	4.11.6
	Vermogensvraag warmtenetten	4.11.7
	Kosten warmte-overdrachtsstation en piekkel	4.11.8
	Kosten en rendementen collectieve warmtepomp	4.11.9
	Leidingverliezen warmtenetten	4.11.10
	Investeringskosten warmteleidingen	4.11.11
	Leercurve ZLT leidingen	4.11.12
	Kosten aansluitleidingen en wijknet	4.11.13
	Inpandige distributiekosten	4.11.14
	Kosten afleverset	4.11.15
	Ongeriefvergoeding bij collectieve oplossingen	4.11.16
Overige kentallen	Projectmanagementkosten	4.12.1
	Aanpassing LT warme afgifte	4.12.2
	Kosten aanpassingen meterkast en aansluiting	4.12.3
	Kosten voor elektrisch koken	4.12.4
Kosten energiedragers	Klimaatneutrale gassen	4.13.1
	Klimaatneutrale elektriciteit	4.13.2
	Referentiekosten aardgas en elektriciteit in 2030	4.13.3
	Gevoeligheidsanalyses energieprijzen	4.13.4

4.1 Methode actualisatie & validatiesessies

Uitgangspunt voor 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 actualisatie en oorspronkelijke Startanalyse. Beschikbare capaciteit speelde ook een rol: herziening van rekenprincipes zou vergaande modelaanpassingen vergen, waar- gezien de beoogde doorlooptijd van de actualisatie en de planning van gemeente met betrekking tot de warmteprogramma's- geen tijd voor was. In ASA2025 lag daarom de primaire focus op het actualiseren van de kengetallen die zijn gebruikt in de berekeningen voor SA2020. Deze kengetallen zijn ten behoeve van ASA2025 voor zover mogelijk met een iteratief proces geactualiseerd. 'Geactualiseerd' wil zeggen: aangepast op basis van de meest actuele kennis en onderzoeksinzichten. Omdat de kengetallen wezenlijk van elkaar verschillen met betrekking tot aard en functie, 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 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, waarin al suggesties zijn gedaan voor aanpassing van de kengetallen die voor 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 ASA2025, is er uiteindelijk toch gekozen voor een alternatieve benadering die raakvlak heeft met de methode die voor 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 wordt beschreven in paragraaf 4.8.
 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. Omdat met betrekking tot de kosten voor energiebesparing weer gebruik wordt gemaakt van de methode die in SA2020 is vastgesteld (zie voorgaande punt), beperkt TNO zich tot een notitie met een verantwoording van de geleverde data uit de Variatool en de RVO/Arcadis kosten-database.

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 met vergelijkbaar resultaat. De manier waarop de ASA2025 kengetallen zijn veranderd ten opzichte van SA2020 wordt in de volgende paragrafen beschreven.

4.2 Algemene aanpassingen

In deze paragraaf worden meer algemene aanpassingen aan de modellering beschreven. In deze paragraaf wordt respectievelijk de maatschappelijke discontovoet beschreven 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.

4.2.1 Maatschappelijke discontovoet

In de Startanalyse worden investeringen vertaald naar jaarlijkse kapitaallasten door middel van een levensduur van maatregelen en een maatschappelijke discontovoet. “De maatschappelijke discontovoet wordt gebruikt om de in de toekomst verwachte kosten en baten van een publiek investeringsproject of overheidsbeleid terug te rekenen (disconteren) naar het heden” (pagina 13, Rijksoverheid (2020)). Deze discontovoet kan worden opgevat als het minimaal vereiste rendement vanuit het maatschappelijk perspectief. De maatschappelijke discontovoet wijkt hiermee af van de gemiddelde rentevoet op kapitaalmarkten.

In de SA2020 werd gerekend met een maatschappelijke discontovoet van 3%, in overeenstemming met 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 wordt een nieuw besluit genomen over de te hanteren maatschappelijke discontovoet, maar deze komt te laat om mee te nemen in de berekeningen van de ASA2025.

Levensduur maatregelen

Om de kapitaallasten te berekenen worden verschillende levensduren aangenomen per type maatregel. De aangenomen levensduur van de maatregelen is niet veranderd tussen de SA2020 en de ASA2025, maar om te zorgen dat de berekeningen transparant zijn worden hier de aangenomen levensduren per maatregel weergegeven in een tabel, daarbij 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. Vesta houdt voor

de tijd tussen het doen van de investering en de start van de ontvangst van inkomsten twee jaar aan. Tabel 4 geeft een overzicht van de levensduur per maatregel.

Tabel 4
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		15
Gasnet verwijderen	50	50

4.2.2 Inflatiecorrectie

In de afgelopen jaren is er een forse stijging in de algemene prijzen van goederen en diensten. Inflatie beschrijft de algemene stijging van goederen en diensten, niet van individuele producten. Concreet betekent dit dat één euro in de loop der tijd minder waard wordt omdat er minder gekocht kan worden voor deze ene euro. Dit komt ook terug in de ASA2025, kosten worden hier namelijk uitgedrukt in euro2023. 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. In deze periode is de waarde van een euro namelijk afgenomen met circa 24%. Dit is gebaseerd op de Harmonized Index for Consumer Prices (HICP), welke voor Nederland wordt bijgehouden door het CBS (CBS 2025). Hieronder wordt in Tabel 5 een overzicht gegeven van de HICP en de correctiefactoren naar euro2023 voor verschillende jaren.

Tabel 5
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

4.2.3 Leerfactoren

In de SA2020 is aangesloten op de leerfactoren conform het Klimaatakkoord. Deze leerfactoren zijn echter verouderd en voor de modelontwikkeling van Hestia 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, 2023) voor een uitgebreide beschrijving van de totstandkoming van de leerfactoren. De leerfactoren zoals ze worden gehanteerd in ASA2025 worden weergegeven in Tabel 6. De leerfactoren zoals ze werden gebruikt in SA2020 worden weergegeven in Tabel 7.

Tabel 6
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]	Default
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]
Middentemperatuur warmtenetten	Mtnet	[100, 100, 79]	Default
Inpandige systemen	Inpand	[100, 100, 75]	Default
Aansluitleidingen	Aansl	[100, 100, 80]	Default
Efficiencyverbetering warmteverlies	Verl	[100, 100, 72]	Default
Onderhoud en administratie	OenM	[100, 100, 83]	Default
Laagtemperatuur warmtenetten	Ltnet	[100, 100, 55]	Default
Elektriciteit- en gasinfrastructuur	Infra	[100, 100, 100]	Default
Geothermiebronnen	Geothermie	[100, 100, 74]	Default
Hr-ketels	Hr	[100, 100, 81]	Default

Tabel 7
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]
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]

4.3 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.

4.3.1 Gebouwvoorraad

Binnen de Startanalyse worden strategieën/varianten geschetst om de bestaande gebouwvoorraad aardgasvrij te maken. Dit betekent onder andere dat er in de Startanalyse geen projecties voor de toekomstige bouw van woningen en utiliteitsgebouwen worden meegenomen. Binnen de SA2020 werd uitgegaan van de gebouwvoorraad 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 zitten.

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 in beeld gebracht. 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. Deze filter is per gebruiksfunctie gedifferentieerd. De filter is opgesteld op basis van (BZK, 2018), (van Schie et al., 2014) en (CBS, 2014). De waarden per gebruiksfunctie zijn te vinden in Tabel 8. Deze 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, leiden deze kleine verblijfsobjecten tot een overschatting van de totale kosten. De filter verwijdert 47% van het aantal utiliteitsgebouwen, voornamelijk in de gebruiksfunctie 'Overig'. De totale hoeveelheid gebruiksoppervlak daalt door de filter met 3%.

Tabel 8
Minimum oppervlaktefilters utiliteitsbouw

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

4.3.2 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 nemen we in de Startanalyse een actualisatie op 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 01-02-2024 (RVO, 2024a).

De geaggregeerde verschillen tussen deze datasets zijn te zien in Tabel 9. Een van de voornaamste verschillen is dat er in de meer recente dataset ongeveer 800.000 meer 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. Er is voor de ASA2025 niet bepaald welke afnames tot welke toenames hebben geleid.

De energielabels worden onder andere gebruikt om de vraag ruimteverwarming te bepalen. Hierbij wordt als aanname gehanteerd dat het schillabel van de woning gelijkgesteld aan het energielabel. 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 4.7.

Tabel 9
Verdeling energielabels bij woningen

Energielabel	SA2020	ASA2025	Vershil
	Miljoen woningen	Miljoen woningen	Aantal woningen
A(+)	0.85	1.74	885121
B	0.63	0.80	176361
C	1.05	1.19	135643
D	0.55	0.48	-74190
E	0.31	0.29	-24215
F	0.19	0.19	1615
G	0.16	0.19	32498
N	4.13	3.31	-816504

4.3.3 Energielabels utiliteit

Bij utiliteit werd in de SA2020 nog uitgegaan van default labels in plaats van de afgemelde energielabels 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 10 voor de verdeling van energielabels bij utiliteit.

Tabel 10
Verdeling energielabels bij utiliteit

Energielabel	Afgemeld	Afgemeld	Inclusief defaultlabels	Inclusief defaultlabels
	Aantal verblijfsobjecten	Miljoen vierkante meter gebruiksoppervlak	Aantal verblijfsobjecten	Miljoen vierkante meter gebruiksoppervlak
A(+)	85.012	89.2	85.012	89.2
B	17.869	12.4	167.181	103.0
C	24.002	14.9	78.108	46.3

D	9.725	5.9	9.726	5.9
E	6.628	3.9	103.209	51.4
F	1.356	2.3	4.356	2.3
G	10.715	6.6	56.601	22.7
N	345.886	185.6	0	0

4.4 Warmtebronnen

De Startanalyse maakt gebruik van verschillende typen warmtebronnen als bron voor warmtenetten. In deze paragraaf wordt een beschrijving gegeven van de verschillende type bronnen die worden gehanteerd, met ook een duiding van de verschillen tussen de twee versies van de Startanalyse.

4.4.1 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 hiermee bronnen bedoeld die op een specifieke locatie (punt) in Nederland staan, 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 bestaande bestand 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 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 11 en Tabel 12.

Tabel 11
Overzicht van puntbronnen met hoge-of middentemperatuur warmte

Categorie	Aantal SA2020	Maximaal thermisch vermogen SA2020 Megawatt	Aantal ASA2025	Maximaal thermisch vermogen ASA2025 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 12
Overzicht puntbronnen met (zeer)lage temperatuur warmte

Categorie	Aantal SA2020	Maximaal thermisch vermogen SA2020 Megawatt	Aantal ASA2025	Maximaal thermisch vermogen ASA2025 Megawatt
Supermarkt	2962	652	2914	519
Rioolwaterzuiveringsinstallatie	356	1528	347	3486
Koel- en vrieshuizen	159	291	159	296
Bakkerij	599	12	589	9
Wasserij	38	76	38	76
Dienstverlening informatie	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

4.4.2 Geothermie

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

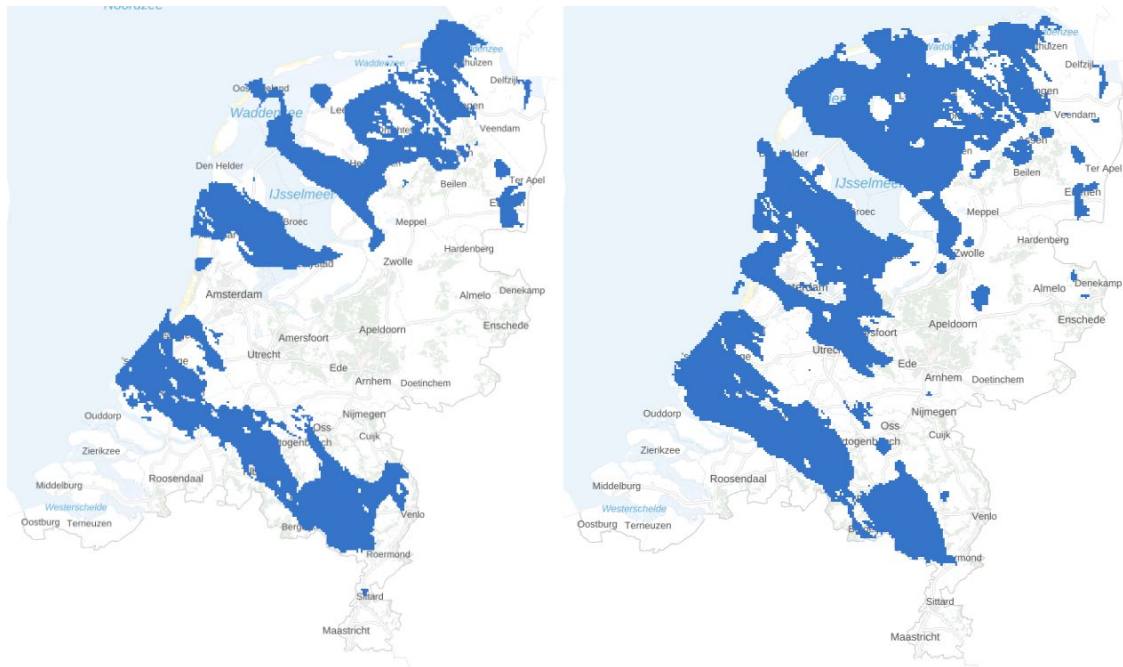
Voor de beschikbaarheid van geothermie wordt binnen het Vesta MAIS-model gewerkt met een contour, een ruimtelijk vlak dat aangeeft waar geothermie mogelijk is. Deze contour is voor de ASA2025 geüpdatet. De nieuwe contour is gebaseerd op ThermoGIS v2.3 (TNO, 2024). Hierbij is uitgegaan van de technische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

In Figuur 22 zijn de geothermiecontouren gebruikt in de Startanalyse 2020 en de Actualisatie van de Startanalyse 2025 te zien. De contour gebruikt in de actualiteit 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 22

Vergelijking van geothermiecontour SA2020 (links) en ASA2025 (rechts)



4.4.3 WKO-contour

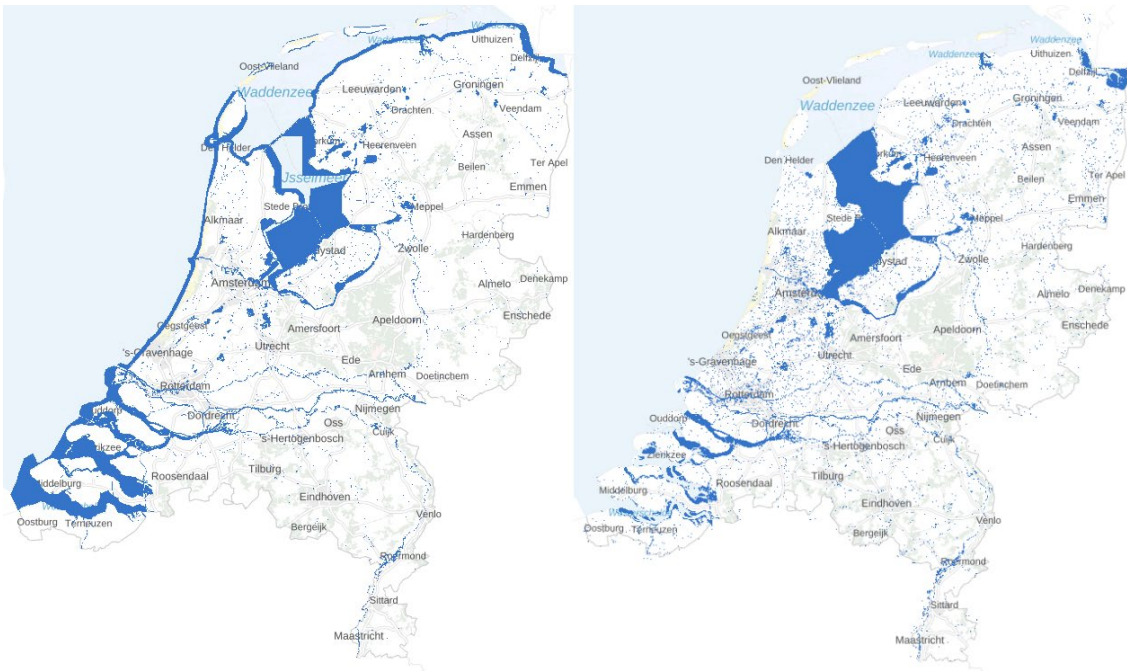
WKO staat voor Warmte-en Koude Opslag, een technologie waarbij met behulp van twee putten (één voor warm water en één voor koud water) en een warmtepomp de verwarming en koeling van een gebouw kan worden gerealiseerd. Overtollige warmte en koude wordt opgeslagen in een watervererende laag in de ondergrond,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

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

In Figuur 23 is een vergelijking van de contour zoals gebruikt in de Startanalyse 2020 en de contour zoals gebruikt in de Actualisatie van de Startanalyse 2025 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 23

Vergelijking van WKO-contour SA2020 (links) en ASA2025 (rechts)



4.5 Buurtinformatie

4.5.1 CBS-buurtindeling

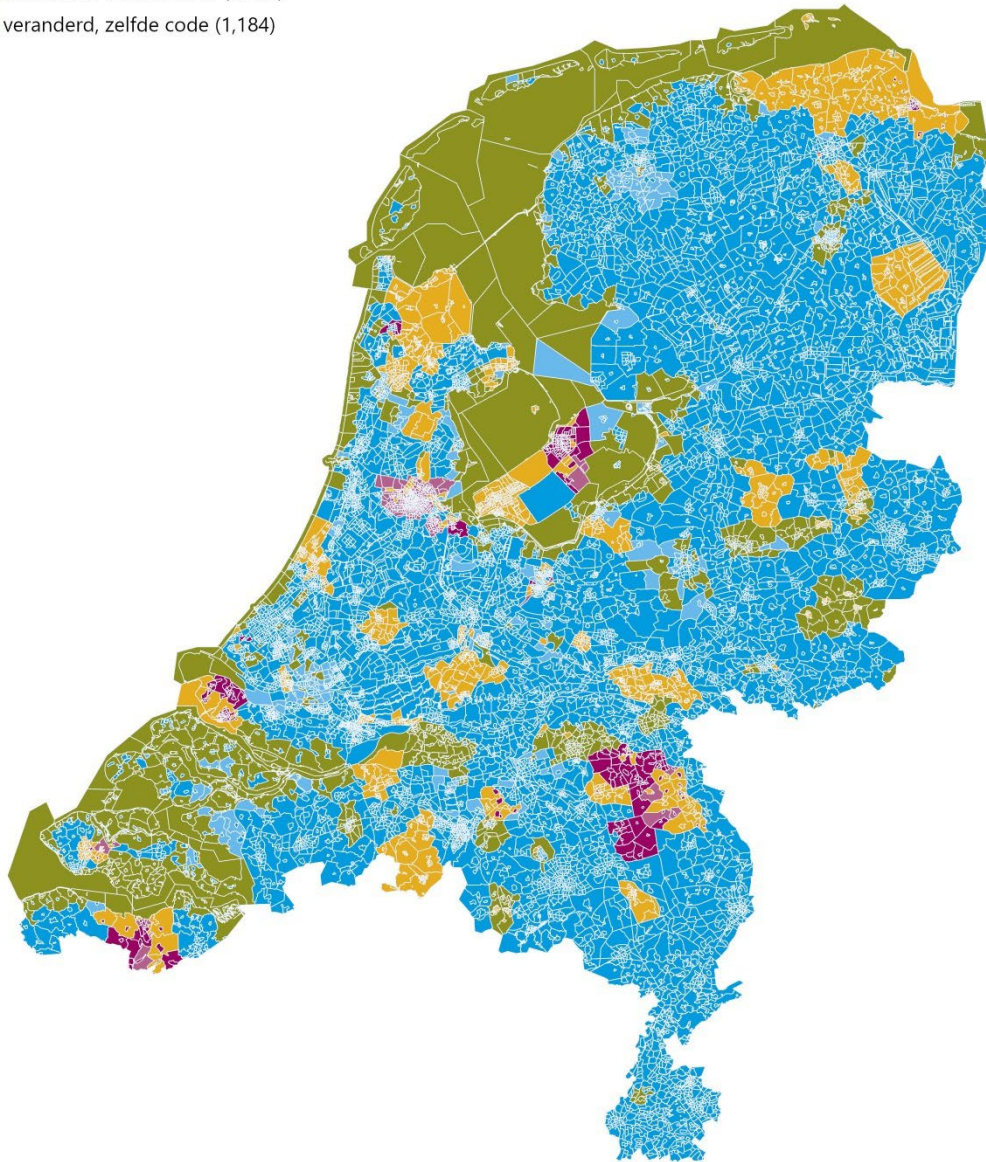
Er worden regelmatig aanpassingen gedaan aan de buurtgrenzen van gemeenten. De meest recente indeling hiervan is de CBS-buurtindeling 2023, deze wordt aangehouden in de ASA2025. Dit is een wijziging ten opzichte van de SA2020, waar werd uitgegaan van de buurtindeling conform CBS-buurtindeling 2020. Dit 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. In Figuur 25 is ruimtelijk weergegeven hoe de buurten in de CBS2023-indeling zich verhouden tot de CBS-2020 indeling.

Figuur 25
Verschillen CBS-buurtindeling 2023 ten opzichte van 2020

Buurten 2023

vergelijking t.o.v. 2020

- 1 m² nauwkeurig, zelfde code (10,075)
- 1000 m² nauwkeurig, zelfde code (574)
- 1 m² nauwkeurig, andere code (407)
- 1000 m² nauwkeurig, andere code (449)
- veranderd, andere code (1,826)
- veranderd, zelfde code (1,184)



4.5.2 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 (CE Delft, 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.

4.5.3 Aandeel bestaande warmtenetten per buurt

In 2023 was bijna 7 procent van de woningen aangesloten op een warmtenet (CBS StatLine, 2024). Het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS) heeft dit in kaart, maar dit is geen openbare informatie die gebruikt kan worden in het Vesta MAIS-model. Wel is op buurtniveau 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.

4.5.4 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 bepaald verduurzamingsop- tie en de (nieuwe) resultaten deze lopende plannen mogelijk verstoren. In totaal zijn er voor de ASA2025 24 buurten uitgesloten van analyse.

4.6 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-buurtniveau 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 buurtniveau 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 forse 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 elektriciteits- net nu hoger uit zouden kunnen vallen.

4.6.1 Netbeheerderinformatie per buurt

Voor 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]

Alle 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 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 ASA2025 ten opzichte van de informatie in SA2020 is in Tabel 13 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 ASA2025 ten opzichte van SA2020: dit komt waarschijnlijk door een andere filtering van de data door de netbeheerders³. 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 ASA2025 ten opzichte van 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 ASA2025 ten opzichte van SA2020 in buurten die vallen in het aflevergebied van Enexis. Enexis geeft aan dat dit komt omdat zij voor 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 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 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 ASA2025 ten opzichte van 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.

³ Netbeheerders hebben eigen data-afdelingen, met eigen filter-opties en methoden om hun data te selecteren en analyseren.

Tabel 13

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

		ASA2025	SA2020	Procentuele afname
LS totaal	km	177405	180349	-2%
LD totaal	km	105549	113876	-7%

4.6.2 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 15 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 14 valt op dat de meeste kostencomponenten toenemen: vooral het verzwaren van netaansluitingen is met een factor drie stijging ten opzichte van 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 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 ASA2025 deze kosten- in ieder geval op de korte termijn- nog worden onderschat.

Tabel 14

Kostenkengetallen netbeheerdersactiviteiten

	Eenheid	Gewogen naar	ASA2025	ASA2025	SA2020
--	---------	--------------	---------	---------	--------

			euro2023	euro2023	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

4.6.3 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 1^e generatie PVC of nodulair gietijzer. Grondroeringsgevoelige gasleidingen zijn sowieso beoogd om te worden vervangen, ongeacht verduurzamingsplannen voor de gebouwde omgeving: kosten voor het vervangen van dit type leidingen werden in 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 aangegeven 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 referentiescenario of mee te wegen in de kostenvergelijking tussen strategieën.

Een aandachtspunt is wel dat eventuele grondwerken in relatie tot de warmtetransitie (bijvoorbeeld voor het aanleggen of verzwaren van elektriciteitskabels) een risico vormen voor de bestaande gasinfrastructuur door groundbewegingen en graafschades. Netbeheerders zetten daarom in op diverse beheersmaatregelen. Eventuele kosten voor graafschades en dergelijke worden buiten beschouwing gelaten in ASA2025.

4.7 Energieverbruik gebouwen

Het energieverbruik van gebouwen is informatie die valt onder de Algemene verordening gegevensbescherming (AVG): dit betekent dat het energieverbruik van gebouwen niet vanzelfsprekend kan worden gebruikt, maar met een rekenmethode moet worden geschat. Ook de energiebesparing na isolatiemaatregelen (en daarmee het energieverbruik in de doelsituatie na isolatiemaatregelen) 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 verschillen tussen methoden (van Beijnum et al. 2024). In deze paragraaf wordt beschreven welke methoden worden gebruikt in ASA2025 om tot het energieverbruik van gebouwen te komen en tot een schatting van de energiebesparing bij gebouwverbetering.

4.7.1 Energieverbruik woningen

In 2023 heeft het PBL de ‘Referentieverbruikmethode’ gepubliceerd: een methode om het energieverbruik van woningen mee te schatten, gebaseerd op statistische energieverbruiksgegevens van het CBS. De Referentieverbruikmethode is uitvoerig beschreven in (van Beijnum & van den Wijngaart 2023). Ook wordt in het achtergrondrapport bij het Referentieverbruik ingegaan op de verschillen tussen het Referentieverbruik en de methode die is gebruikt voor SA2020 (CBS2018). In de vorige Startanalyse is voor het energieverbruik van woningen gerekend met een voorloper van het Referentieverbruik, waarbij ook gebruik werd gemaakt van statistische data, zij het geaggregeerd. De statistische data die werd gebruikt voor SA2020 kwam uit 2018. De Referentieverbruikmethode maakt gebruik van microdata van het CBS uit 2020.

In 2024 is de Referentieverbruikmethode nog verbeterd, we maken daarom onderscheid tussen Referentieverbruik I en Referentieverbruik II. Hoewel Referentieverbruik II en I op dezelfde onderzoekspopulatie zijn gebaseerd (beide statistische data uit 2020, met dezelfde selectie van de data) zijn er desalniettemin enkele belangrijke aanpassingen van Referentieverbruik II ten opzichte van Referentieverbruik I:

- In Referentieverbruik I werden verouderde labels 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 werden altijd vier woningkenmerken met elkaar gecombineerd voor het bepalen van het verband tussen het energieverbruik en de woningoppervlakte (O), namelijk het woningtype (W), de bouwperiode (B), het schillabel (S) en het eigendomstype (E). In Referentieverbruik II worden steeds maximaal 3 kenmerken gecombineerd: woningtype, bouwperiode en schillabel of woningtype, bouwperiode en oppervlakte, zodat elke woning in twee overlappende cellen zit.
- In Referentieverbruik I werd altijd onderscheid gemaakt naar type eigendom. In Referentieverbruik II zijn enkel twee losse termen met eigendom meegenomen.
- In het oude model was er een aparte categorie >A voor A+, A++, A+++ en A++++. In het nieuwe model nemen we A-labels samen met A+ labels.

Hoewel de resultaten tussen de beide methoden weinig verschillen, biedt Referentieverbruik II een sterk vereenvoudigde methode ten opzichte van Referentieverbruik I. Zoals hierboven beschreven bestond Referentieverbruik I uit een volledige interactie van woningtype, bouwperiode, eigendom, label en labeltype en trends voor de oppervlakte (ofwel: $W*B*E*(S*type)^*(1+O)$) gaf maximaal

6.731 vrijheidsgraden (ofwel: $6 \cdot 11 \cdot 3 \cdot (8+8+1) \cdot 2 - 1$). Al zullen het er in de praktijk minder zijn geweest doordat bepaalde combinaties niet voorkomen. Een volledig model zonder eigendom E, labeltype en met labels zonder aparte categorie voor A+ en beter (ofwel: $W \cdot B \cdot L \cdot (1+O)$) heeft 1.055 vrijheidsgraden (ofwel: $6 \cdot 11 \cdot 8 \cdot 2 - 1$), waarvan er in de praktijk 943 overblijven (zie **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**). De methode achter Referentieverbruik II zal worden beschreven in een aparte notitie naast deze publicatie (Geijtenbeek et al. 2025). Voor de ASA2025 wordt uitgegaan van de verbruiksdata conform de Referentieverbruik II-methode.

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 ASA2025 nemen we vanaf 2023 een structurele daling van 10% van het energieverbruik voor ruimteverwarming aan van huishoudens ten opzichte van 2020, conform de uitgangspunten van de KEV2024 (Hammingh et al., 2024).

Lokale praktijkfactor

Zoals eerder in deze paragraaf beschreven geeft de Referentieverbruik-methode een schatting voor het energieverbruik van woningen, gebaseerd op landelijke gemiddelden van energieverbruiksstatistieken, gedifferentieerd naar woningkenmerken. 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 gemiddelde⁴. Denk bijvoorbeeld aan het gedrag van de bewoners in een bepaalde buurt. De Referentieverbruik I-methode voorzag 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 nemen we als voorbeeld de buurt Appingedam-Centrum. 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 15).

⁴ Hierbij wordt al rekening gehouden bij regionale (ruimtelijke) verschillen in klimaat

Tabel 15
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 16 ter illustratie).

Tabel 16
Voorbeeld correctie schatting energieverbruik met lokale praktijkfactor

	Ref II	Ref II na fit	CBS
	[m3 aardgas]	[m3 aardgas]	[m3 aardgas]
Vrijstaand 1	1528	1546	?
Vrijstaand 2	1746	1767	?
Vrijstaand 3	2838	2871	?
Vrijstaand 4	2620	2650	?
...			
Gemiddelde buurt woningtype	2183	2209	2209

4.7.2 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 Vesta bijgesteld met een 10% reductie ten opzichte van die kentallen, in overeenstemming met de uitgangspunten van de KEV2024.

4.7.3 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 dan in het

referentiejaar 2023. Het opwarmende klimaat heeft ook effect op de koudevraag. Gemiddeld wordt deze 17% groter.

4.7.4 Ventilatievraag

In ASA2025 zijn geen aanpassingen gedaan met betrekking tot de ventilatievraag van gebouwen ten opzichte van 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 4.8.1 'Ventilatiekosten'.

4.7.5 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%.

Uitgebreide documentatie van de nieuwe koudekentallen is te lezen in de releasenotes van Hestia 1.2.

4.7.6 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).

4.8 Investeringskosten energiebesparing woningen

Voor woningen wordt een actualisatie gemaakt van de investeringskosten voor energiebesparing. De investeringskosten zijn begin juli 2024 voorgelegd tijdens een validatiesessie en hier komt nog een officieel verslag van, met ook een advies aan het PBL en nieuwe kentallen. Uit de validatie kwam naar voren dat de investeringen te laag werden ingeschat.

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. 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. Het schillabel wordt gebruikt als indicatie van de isolatiegraad van een woning. In Vesta-MAIS worden de kosten voor isolatie van woningen bepaald in de vorm van 'schillabelstappen'. Dit betekent dat isolatiemaatregelen die in een woning zijn genomen worden in kaart worden gebracht en daarbij een energielabel wordt bepaald, dit noemen we de 'uitgangssituatie' voorafgaand aan isolatie. 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 ASA2025 nieuwe isolatiepakketten vast te stellen op basis van de NTA8800⁵ 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 bepalingsmethode van het energielabel: hierdoor komt het geregeld voor dat vergelijkbare woningen een ander energielabel hebben, zonder een duidelijk verschil in isolatiekwaliteit.
- 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 ASA2025 voor gekozen om gebruik te maken van een alternatieve benadering die raakvlak heeft met de methode die is gehanteerd bij 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 SA2020 isolatiepakketten bepaald voor deze woningen en heeft voor deze (theoretisch geïsoleerde) woningen nieuwe energielabels vastgesteld. In 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 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:

⁵ NTA8800 is het standaard normeringsmodel dat sinds januari 2021 wordt gebruikt voor het bepalen van het energielabel.

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 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 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 zien we ook terug 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 SA2020 en ASA2025 worden weergegeven in Tabel 18.

Tabel 17
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 bouwvoorschriften 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 SA2020 en ASA2025 worden weergegeven in Tabel 19.

Tabel 18
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

Effect op (gemiddelde) kosten energiebesparing

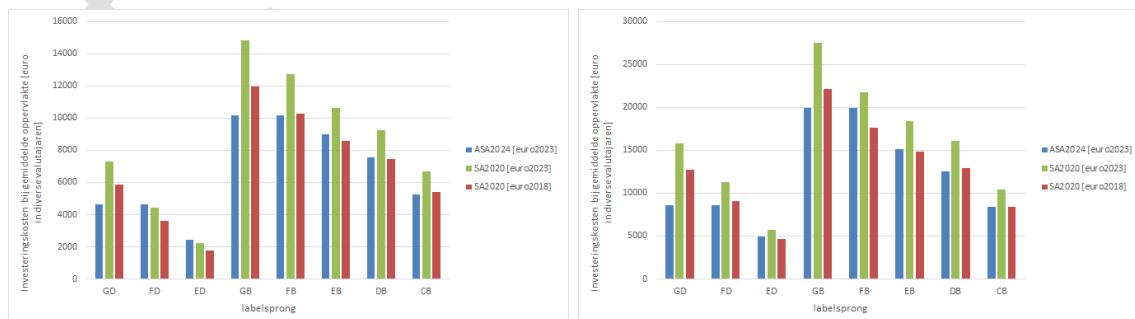
Over het algemeen zien we dat de kosten voor isolatiemaatregelen gemiddeld 7% sneller zijn gestegen dan de algemene inflatie (Tigchelaar et al. 2025). Doordat de kostenontwikkeling niet gelijk is voor alle specifieke isolatiemaatregelen (bij maatregelen voor meergezinswoningen is zelfs sprake van een daling van de kosten) en doordat ook de methode voor het berekenen van de energiebesparing zoals die in 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 gebouwverbetering invloed heeft op de woningtypen zoals ze in SA2020 werden gehanteerd, geven we een overzicht van de kosten voor labelsprongen 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 27 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 en een zelfstandig moment, waarbij de kosten op een natuurlijk moment lager zijn. Kosten voor gebouwverbetering van meergezinswoningen zijn over het algemeen lager dan in SA2020 na correctie voor inflatie. Dit komt vooral omdat de kosten van maatregelen voor meergezinswoningen zijn gedaald.

Figuur 26

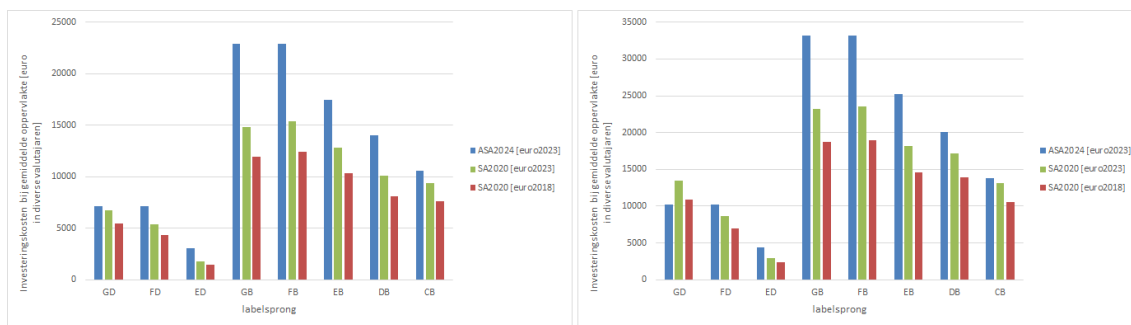
Meergezins: laag en midden 1965-1974, natuurlijk (links) en zelfstandig (rechts)



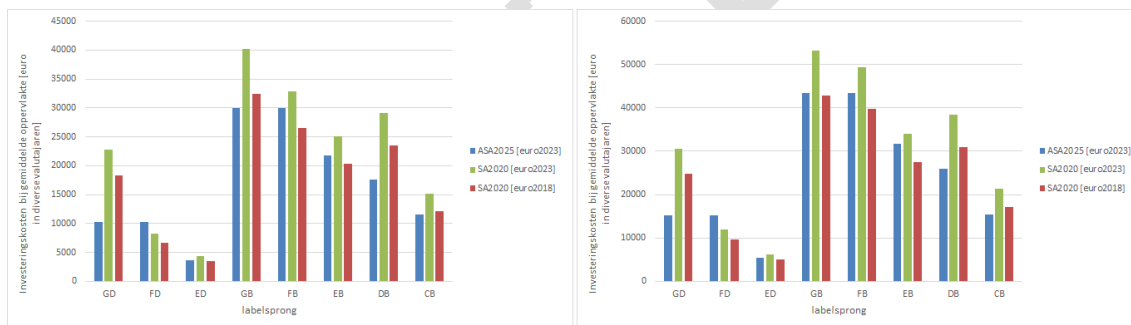
Over het algemeen zijn de kosten van maatregelen voor eensgezinswoningen gestegen. Figuur 27 en Figuur 28 geven een indruk van de kosten voor gebouwverbetering bij rijwoningen en vrijstaande woningen. Echter: doordat deze woningtypen, samen met twee-onder-een-kap woningen en hoekwoningen zijn samengevoegd tot het type 'eengezinswoning' in 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 27 waarin de kosten voor gebouwverbetering van rijwoningen zijn gestegen in ASA2025 ten opzichte van SA2020 na inflatiecorrectie. Figuur 28 laat zien dat de kosten voor gebouwverbetering voor vrijstaande woningen over het algemeen zijn gedaald in ASA2025 ten opzichte van SA2020 na inflatiecorrectie.

Figuur 27
Rijwoning tussen 1946-1964, natuurlijk (links) en zelfstandig (rechts)



Figuur 28
Vrijstaand 1964-1964, natuurlijk (links) en zelfstandig (rechts)



4.8.1 Ventilatiekosten

In ASA2025 wordt, net als in 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 20 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 19

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

Woningtype	Type ventilatie	Aantal	Aandeel ventilatiesysteem in woningtype
meergezins	Balans	2192	1%
meergezins	Mechanisch	86097	51%
meergezins	Natuurlijk	81785	48%
eengezins	Balans	668	0%
eengezins	Mechanisch	41899	19%
eengezins	Natuurlijk	179863	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 woningvoorraad (zie Tabel 20) 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 doen we de volgende aannamen:

- We nemen aan dat de verdeling van ventilatiesystemen in de NTA8800 labeldatabase representatief is voor de gehele voorraad.
- Woningen met natuurlijke ventilatie die worden geïsoleerd tot label B investeren in mechanische ventilatie met vraagsturing⁶. 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 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 nemen we aan 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. We laten de kosten voor projectmatige aanschaf buiten beschouwing en we houden alleen rekening 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 21. Wat

⁶ 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.

hierin opvalt is dat de kosten voor ventilatiesystemen lager uitvallen voor zowel eengezins- als meergezinswoningen in de ASA2025.

Tabel 20
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

4.9 Investeringskosten energiebesparing utiliteit

Voor utiliteit is samen met de actualisatie van het energieverbruik in 2023 een actualisatie gemaakt door TNO (TNO, 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 label D) geïsoleerd naar label B omdat er te beperkte informatie beschikbaar was om label D goed vast te stellen. Nu is deze data wel beschikbaar, daarom wordt voor label D nu uitgegaan van het 'kleine pakket'. Verder wordt in de ASA2025 niet uitgegaan van label B, maar van label A voor het 'grote pakket' omdat dit het label is dat overeenkomt met de maatregelen die zijn opgenomen in dit pakket.

4.10 Kentallen individuele installaties

Zoals al eerder beschreven in paragraaf 4.1 ('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 soort 'advies aan PBL' geschreven in de vorm van een notitie met daarin aanbevelingen voor aanpassing van de kengetallen in 2024. De notitie van CE Delft wordt als aparte bijlage aangeboden. De wijzigingen van de kengetallen voor individuele installaties zoals ze in deze paragraaf worden beschreven zijn grotendeels gebaseerd op het eindadvies van CE Delft.

4.10.1 Investeringskosten warmtepompen

Eén van de belangrijke technologieën om woningen aardgasvrij te verwarmen zijn individuele warmtepompen, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen bodem-warmtepompen en lucht-warmtepompen. Voor de ASA2025 zijn de kosten en andere uitgangspunten daarom expliciet

voorgelegd 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.

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 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 22.

Tabel 21
Investeringskosten warmtepompen

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

Woning label C/D/E	Inpandig water-water	€/ aansluiting	9000	11000	8680	8680	7000	7000
Utiliteit	Inpandig water-water	€/kW	868	868	868	868	700	700
Woning	Hybride	€/ aansluiting	3520	3520	2871	2871	2315	2315
		€/kW	380	380	310	310	250	250
Utiliteit	Hybride	€/ aansluiting	3000	6500	4673	7789	3769	6281
		€/kW	750	1250	688	1147	555	925
Woning	Booster	€/ aansluiting	3000	3000	2170	4030	1750	3250

4.10.2 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 23)- vastgesteld als percentage van de investeringskosten- aan te passen. Er werden in de SA2020 geen onderhoudskosten gerekend voor de inpandige (water-water) warmtepomp en booster (water-water) warmtepomp, terwijl deze kosten in de praktijk wel worden gemaakt: deze kosten zijn gelijkgesteld aan die van de bodemwarmtepomp.

Tabel 22
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)		0.9	0
Hybride (lucht-water)	R_OH (Hybride WP)	3.45	3.45
Booster (water-water)		0.9	0

4.10.3 Rendementen warmtepompen

Het rendement van een warmtepomp is afhankelijk van de afgiftetemperatuur. In de SA2020 werd de afgiftetemperatuur niet gespecificeerd. In 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 (label 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 24 wordt de veronderstelde afgiftetemperatuur per schillabel weergegeven voor ASA2025.

Tabel 23

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 24 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 25. De rendementen zoals die in SA2020 werden gehanteerd worden tussen haakjes getoond achter het rendement zoals die in ASA2025 wordt gehanteerd.

Tabel 24

Rendementen warmtepompen voor ruimteverwarming [%]

	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 (420)	500 (320)	(320)	(320)		
Inpandige warmtepomp (water-water), ZLT-afgifte	600 (800)	550 (800)	(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 ASA2025 komt echter een (Z)LT-variant voor met een inpandige warmtepomp waarbij de temperatuur wordt opgevaardeerd naar 50 graden, bij een doellabelniveau D. 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 26.

Tabel 25

Rendementen bij specifieke techniekconfiguraties en doellabelniveaus

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

4.10.4 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 27.

Tabel 26
Inzet hybride warmtepompen [%]

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

4.11 Kentallen warmtenetten

De methode van de actualisatie en de functie van de validatiesessies daarin wordt beschreven in paragraaf 4.1. 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 goed deels gebaseerd op dit eindadvies van CE Delft. De wijzigingen worden per kengetal beschreven. In de opbouw van dit hoofdstuk wordt in grote lijnen de opbouw van een warmtenet gevolgd:

- In de paragrafen 4.11.1 tot en met 4.11.5 worden wijzigingen in kengetallen beschreven die relatie hebben met warmtebronnen.
- Paragrafen 4.11.6 tot en met 4.11.9 beschrijven wijzigingen in kengetallen in relatie tot de dimensionering van basislast, pieklast en vermogensvraag bij warmtenetten, alsook kengetallen in de relatie tot het warmte overdracht station (WOS) en de collectieve warmtepomp.
- Paragrafen 4.11.10 tot en met 4.11.13 beschrijven wijzigingen in kengetallen in relatie tot de warmteleidingen buiten het pand.
- Paragrafen 4.11.14 tot en met 4.11.16 beschrijven wijzigingen in kengetallen in relatie tot het pand bij aansluiting op een warmtenet.

4.11.1 Investeringskosten 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 valt⁷. Voor geothermieprojecten is dit, bij dit advies, het jaar 2028. De (concept) investeringskosten die voor de SDE++ 2025 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 worden gecorrigeerd, omdat deze apart binnen het model worden bepaald. Dit levert de investeringskosten voor geothermie in Tabel 28.

⁷ Dit heet de 'Financial investment decision' (FID).

Tabel 27
Investeringskosten geothermie

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

4.11.2 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 updatestudie van CE Delft over de kengetallen voor warmtenetten in Vesta-MAIS zijn al aanbevelingen gedaan voor de actualisatie van deze uitkoppelkosten. In ASA2025 wordt aangesloten bij de aanbevelingen van de updatestudie. De uitkoppelkosten per bron worden weergegeven in Tabel 28. Vooral de kosten voor hulpketels zijn fors gedaald in ASA2025 ten opzichte van SA2020. In haar eindadvies naar aanleiding van de validatiesessies beschrijft CE Delft dat de kosten die in 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 ASA2025 zijn de kosten voor een hulpketel daarom lager ingeschat.

Tabel 28
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

4.11.3 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 4.11.9), alsook de kosten voor het leidingwerk dat de TEO bron verbindt met de collectieve warmtepomp en het WKO systeem (zie paragraaf 4.11.12).

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 29.

Tabel 29
Investeringskosten TEO

parameter	eenheid	ASA2025	SA2020	SA2020
		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

4.11.4 Modelwaarden WKO

CE Delft heeft nieuwe investeringskosten voor WKO-systemen aangeleverd voor 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 Vesta modellering 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 140000 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 30.

ASA2025 is een wat-als studie (zie paragraaf 2.1): we willen weten wat de kosten zijn als we een buurt met een lage-temperatuur strategie verduurzamen en we clusters van gebouwen aansluiten 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 30
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 watervoevende 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. We noemen een dergelijk systeem met aquifers ook wel een ‘open bodemenergiesysteem’ (OBES). 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 lagere kosten voor de boring naar een aquifer (NPLW, g.d.).

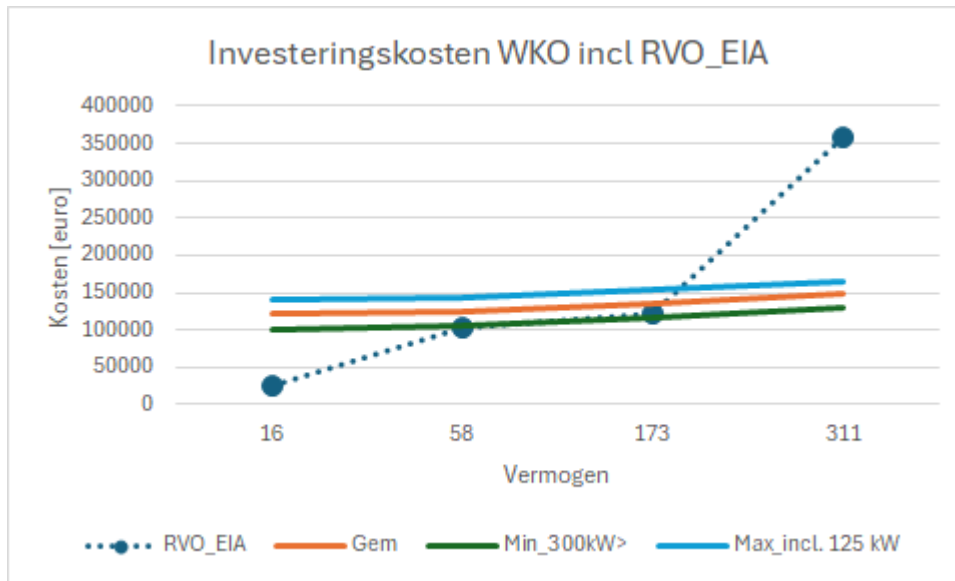
Bij de beide WKO-systemen (OBES en GBES) hoort een ander kostenplaatje. In Vesta-MAIS wordt echter alleen rekening gehouden met open WKO-systemen. Het is daarom mogelijk dat WKO-systemen met laag vermogen goedkoper kunnen worden vormgegeven met een gesloten bodemenergiesysteem dan in de huidige modellering 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 ASA2025 is bepaald lijkt in ieder geval projecten tussen de 58 en 173 kW vermogen goed te beschrijven⁸ (zie Figuur 29). 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 ASA2025 besloten om geen onderscheid te maken in de kostenbenadering voor WKO-systemen met laag en middelgroot vermogen.

⁸ 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 orde grootte 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.

Figuur 29

Investeringskosten WKO-systemen afgezet tegen kostendata van de EIA



Deze figuur geeft de (gemiddelde) investeringskosten voor WKO-systemen op basis van de kengetallen die voor 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.

4.11.5 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.

In 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 SA2020 werd uitgegaan van circa 10% regeneratiekosten bovenop de kosten voor het WKO systeem. Op basis van informatie van de gemeente Utrecht is in ASA2025 dit percentage voor de regeneratiekosten verhoogd naar 25%.

4.11.6 Dimensionering basis- en pieklast bij warmtenetten

In het functioneel ontwerp van Vesta Maïs 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 ASA2025 aangenomen dat er

bij LT-warmtenetten 10% bijstook nodig is (zie Tabel 31). Ook de volume-aandelen voor MT-warmtenetten zijn gewijzigd op basis van het eindadvies van CE Delft (Hesselink et al. 2025a).

Tabel 31

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.

4.11.7 Vermogensvraag warmtenetten

In 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 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 32).

Tabel 32

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/m2	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/m2	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		

4.11.8 Kosten warmte-overdrachtsstation en piekkel

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 'piekkel' 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 piekkel. In ASA2025 wordt de kostenparameter niet modelmatig gescheiden. De kostenopbouw van het kengetal wordt wel gespecificeerd, waarbij onderscheid wordt gemaakt in kosten voor de piekkel en de kosten voor het gebouw met hulpinstallaties. Gezamenlijk vormen deze onderdelen de investeringskosten voor de WOS (zie Tabel 33).

Tabel 33
Investeringskosten warmte-overdrachtstation (WOS)

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

4.11.9 Kosten en rendementen collectieve warmtepomp

CE Delft heeft op basis van het rekenmodel kosten aquathermie van WarmingUP (eerder besproken in paragraaf 4.11.3), een nieuw kostenkengetal voorgesteld voor collectieve warmtepompen. De kengetallen die CE Delft voorstelt zijn vergelijkbaar met de kengetallen die in SA2020 werden gehanteerd na inflatiecorrectie. De administratie- en onderhoudskosten van collectieve warmtepompen worden uitgedrukt als percentage van de investeringskosten: deze blijven gelijk tussen SA2020 en ASA2025 met respectievelijk 2,5 en 3,5%. Zie Tabel 34 voor de investeringskosten van een collectieve warmtepomp.

Tabel 34
Investeringskosten collectieve warmtepomp

Parameter	Eenheid	ASA2025		SA2020		SA2020	
		euro 2023		euro2023		euro2018	
		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. Het rendement van collectieve warmtepompen is afhankelijk van de temperatuur van de bron en de temperatuur waarnaar moet worden opgewaardeerd. Over het algemeen zijn de rendementen van collectieve warmtepompen verbeterd ten opzichte van de aannamen in SA2020. Verder is er een rendement toegevoegd voor het opwaarderen van water met een brontemperatuur van 50 graden naar 70 graden aanlevertemperatuur. Zie Tabel 35 voor een overzicht van de rendementen voor collectieve warmtepompen.

Tabel 35

Rendementen collectieve warmtepompen bij verschillende bron en afgiftetemperatuur

	ASA2025	SA2020
	%	%
15 naar 30 °C	760	790
15 naar 50 °C	420	320
15 naar 70 °C	300	300
30 naar 50 °C	590	420
30 naar 70 °C	380	320
50 naar 70 °C	540	0

4.11.10 Leidingverliezen warmtenetten

Leidingverliezen in warmtenetten ontstaan onder andere door warmte uitwisseling tussen de warmteleidingen en de bodem. In 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 36 geeft de leidingverliezen per type warmtenet zoals ze voor ASA2025 zijn vastgesteld.

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 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 36

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

4.11.11 Investeringskosten warmteleidingen

Investeringskosten voor warmteleidingen in Vesta MAIS 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 4.11.11). 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, eenvoudigere 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 ASA2025 wordt gebruik gemaakt van de eenvoudige benadering en zijn de investeringskosten voor warmteleidingen met 30% verhoogd.

4.11.12 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 het 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 veronderstellen we geen kostendaling 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.

4.11.13 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 4.5.2 staat beschreven. Daarbij wordt 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 vermenigvuldigd 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 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 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 ASA2025 gaan we daarom uit 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 37).

Tabel 37
Kosten wijknet

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

4.11.14 Inpandige distributiekosten

Op basis van de input die is opgehaald bij de validatiesessie warmtenetten en informatie uit het 'Keuzemodel warmtenet aansluiten bestaande bouw' van Atrienis uit 2023, heeft CE Delft nieuwe kostenschattingen gemaakt voor de inpandige distributiekosten. De kostenschattingen van CE Delft voor inpandige distributie zijn in ASA2025 overgenomen. De kengetallen voor de inpandige distributiekosten, uitgedrukt in een investeringsbedrag per aansluiting, worden weergegeven in Tabel 38.

Tabel 38
Inpandige distributiekosten gedifferentieerd naar type woning

			ASA2025	SA2020	SA2020
Beschrijving	Parameter	Eenheid	euro2023	euro2023	euro2018
grondgebonden woningen	Ki_in-pand_laag	€/aansluiting	2700	3100	2500
gestapelde woningen zonder blokverwarming	Ki_in-pand_hoog_g_g een-blok	€/aansluiting	3000	1860	1500
gestapelde woningen met blokverwarming	Ki_in-pand_hoog_g_m et-blok	€/aansluiting	1444	895	722

4.11.15 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 4.10.1). 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 39). Kosten voor de afleverset bij utiliteitsgebouwen zijn (alleen) gecorrigeerd voor inflatie.

Tabel 39
Investeringskosten afleverset

	ASA2025	SA2020	SA2020
	euro2023	euro2023	euro2018
Ki_afleverset	1800	1612	1300

4.11.16 Ongeriefvergoeding bij collectieve oplossingen

In 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 aanmerkelijk 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 ASA2025 voor gekozen om de ongeriefvergoeding buiten beschouwing te laten.

4.12 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 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.

4.12.1 Projectmanagementkosten

In de SA2020 werden projectmanagementkosten in rekening gebracht voor collectieve verduurzamingsstrategieën. De projectmanagementkosten in 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 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 voorkeurstechiek 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 SA2020 werden gehanteerd⁹ 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 ASA2025 worden gehanteerd worden weergegeven in Tabel 40.

⁹ Na inflatiecorrectie

Tabel 40

Projectmanagementkosten voor collectieve warmtevoorzieningen

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

4.12.2 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 noemen we 'lage temperatuur' (LT) en 15-35 °C noemen we 'zeer lage temperatuur' (ZLT). 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/Arcadis2024 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 meergezinswoningen, 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 ASA2025 grofweg drie keer hoger komen te liggen ten opzichte van 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 krijgen¹⁰ (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 label 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 temperaturniveaus. 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 ASA2025 gaan we daarom uit van de volgende aannamen:

- In lijn met de observaties van het standaard- en streefwaarden onderzoek door Nieman gaan we er in ASA2025 vanuit dat in 20-50% (gemiddeld 35%) van de woningen met label B in het eindbeeld en afgifte op 50 graden LT afgiftesystemen nodig zijn (in de vorm van LT convectoren).
- In 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

¹⁰ 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.

haar marktonderzoek zien dat de kosten voor LT-radiatoren circa drie keer hoger ligt dan wat in SA2020 werd aangenomen. Als in de weging van de kosten rekening wordt gehouden met de noodzaak voor LT-afgifte komen we uit op de kosten in Tabel 41. Deze kosten zijn vergelijkbaar met de kosten die in SA2020 zijn aangenomen.

Tabel 41
Investeringskosten lage temperatuur afgifte systemen (LTAS) naar gebouwtype

		ASA2025		SA2020		SA2020	
		euro2023		euro2023		euro2018	
		min	max	min	max	min	max
woningen eengezins	euro/aansluiting	1288	3199	1187	3995	957.2	3222
woningen meergezins	euro/aansluiting	1117	1855	5.1	2498	4.1	2015
utiliteit	euro/m ²	4.2	6.3	11.3	11.3	9.1	9.1

4.12.3 Kosten aanpassingen meterkast en aansluiting

In 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 full-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 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 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 42 wordt een overzicht gegeven van de kostenkengetallen voor meterkastverzwaring.

Tabel 42
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

4.12.4 Kosten voor elektrisch koken

In 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 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 te verschijnen marktvalidatiestudie die CE Delft heeft uitgevoerd voor het PBL (Hesselink et al. 2025b). De kengetallen zijn overgenomen in ASA2025 (zie Tabel 43).

Tabel 43
Investeringskosten elektrisch koken

Beschrijving	ASA2025		SA2020		SA2020	
	euro2023		euro2023		euro2018	
	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

4.13 Kosten van energiedragers

Methoden voor het bepalen van de kosten van duurzame energiedragers wijken significant af in ASA2025 ten opzichte van de methoden die zijn gehanteerd voor de SA2020. De nieuwe methode voor het bepalen van de kosten van energiedragers wordt uitgebreid beschreven in een notitie die met de definitieve versie van dit rapport wordt gepubliceerd (van Beijnum, 2025). In deze paragraaf wordt een beknopte samenvatting gegeven van de methode hoe voor ASA2025 de kosten van energiedragers bij benadering zijn vastgesteld.

4.13.1 Klimaatneutrale gassen

In SA2020 werden aparte strategieën onderscheiden voor groengas en waterstof. In ASA2025 zijn deze strategieën samengevoegd tot één strategie met ‘klimaatneutraal gas’. In deze

combinatiestrategie wordt gerekend met een gemiddelde eenheidsprijs voor 'klimaatneutraal gas', bestaande uit een mix van groengas en waterstof.

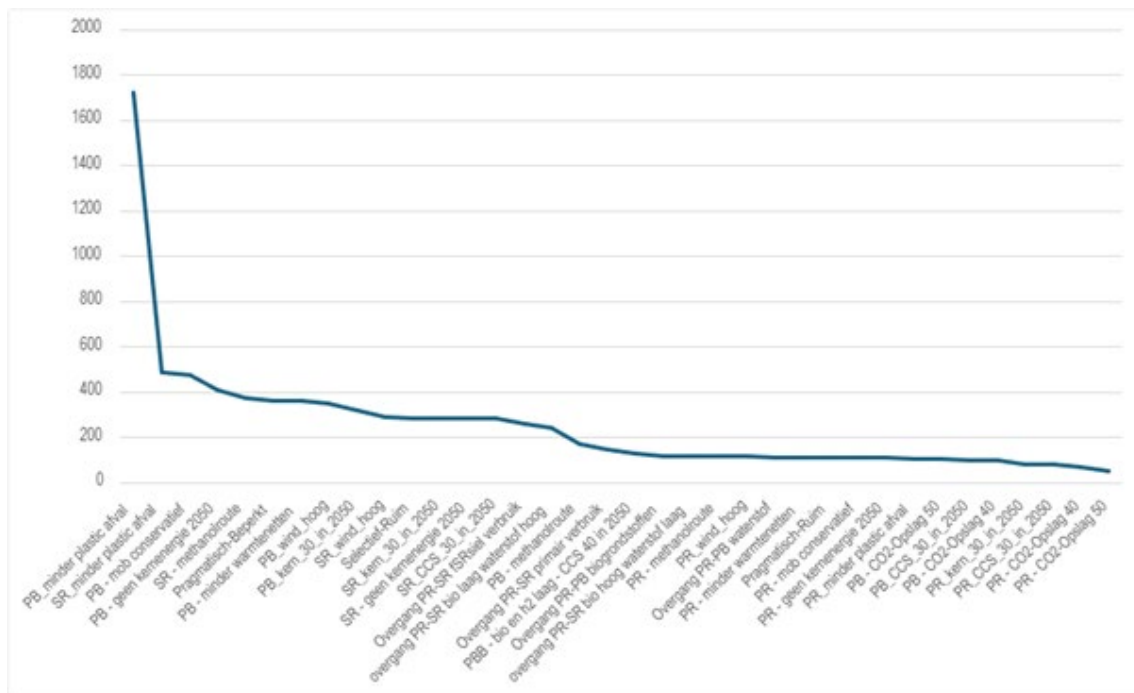
Een ander belangrijk verschil is dat in ASA2025 wordt uitgegaan van groothandelsprijzen, waar in de SA2020 werd uitgegaan van productiekosten conform de nationale kosten methodiek. De keuze voor een benadering met groothandelsprijzen heeft te maken met de wijze waarop klimaatneutrale gassen in de toekomst door de gebouwde omgeving zullen worden afgenomen. Alleen wanneer klimaatneutrale gassen lokaal worden geproduceerd tegen langere termijn productiecontracten, waarbij kosten voor langere termijn worden vastgesteld en het gas wordt gereserveerd voor gebruik in de gebouwde omgeving, kan voor een analyse worden uitgegaan van productiekosten. Er bestaan meerdere technieken om groen gas of waterstof te produceren en de productiekosten van het gas zijn dan afhankelijk van de gehanteerde techniek.

Aannemelijker is echter dat duurzame gassen zullen worden ingevoerd in een landsdekkend (waterstof)gasnet en de gebouwde omgeving moet concurreren om de duurzame gassen met andere sectoren, denk daarbij aan de industrie of mobiliteit. In deze configuratie wordt het gas geproduceerd met een mix van technieken en wordt voor al het duurzame gas dezelfde eenheidsprijs betaald, de 'groothandelsprijs', ongeacht de gehanteerde productietechniek. Momenteel bestaat er nog geen energiemarkt voor groengas en waterstof, maar de verwachting is dat deze op termijn ontstaat met de toename in aanbod van en vraag naar duurzame gassen. Omdat er nog geen energiemarkt voor duurzame gassen bestaat, moet een groothandelsprijs bij benadering worden geschat.

Om voor ASA2025 een indruk te krijgen van wat de groothandelsprijs van klimaatneutrale gassen in de toekomst kan worden, wordt gebruik gemaakt van informatie van de studie 'Trajectverkenning klimaatneutraal 2050' (TVKN) die door het PBL in 2024 is gepubliceerd (Daniels 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 in 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 geen ramingen gemaakt. Figuur 30 geeft een overzicht van de geraamde marktprijzen voor groengas per TVKN traject. De rechterkant van de figuur geeft de geraamde marktprijzen voor de meer gematigde scenario's, de linkerkant van de figuur geeft zeer hogere prijzen voor groengas die zijn gebaseerd op trajecten waarin vooral de beschikbaarheid van biograndstoffen heel beperkt is.

Figuur 30

Kostencurve groothandelsprijs groengas in verschillende TVKN scenario's [euro 2023/ kuub groengas]



Deze figuur geeft de kostencurve voor de geraamde marktprijs van groengas per TVKN scenario in euro2023 per kuub groengas. De PR40 en PBB40 trajecten vormen de grenzen van de meer 'gematigde' (rechter) kant van de curve.

De geraamde marktprijzen uit TVKN (als indicatie voor de groothandelsprijs) vormen samen met overheadskosten de 'leveringsprijs': dat is de prijs die uiteindelijk door de afnemer wordt betaald. De leveringsprijs kan verschillen, afhankelijk van het type gebruiker. De trajecten variëren in plausibiliteit, dat wil zeggen: sommige trajecten schetsen een toekomst die waarschijnlijker wordt geacht dan andere trajecten met meer extreme uitgangspunten.

Het is belangrijk om te bedenken dat de toekomstige leveringsprijs van klimaatneutrale gas 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 (Daniels 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 mixbrandstof, zal de gemiddelde eenheidsprijs van klimaatneutraal gas toenemen.

De leveringsprijs van klimaatneutraal gas in de ASA2025 hoofdberekeningen wordt direct gebaseerd op de geraamde marktprijzen voor groengas in de TVKN-trajecten. Daartoe wordt een

bandbreedte bepaald voor de geraamde marktprijs van groengas op basis van twee trajecten binnen de TVKN-studie met relatief gematigde uitgangspunten, waarin vooral de beschikbaarheid van biograndstoffen verschilt. In het PBB40 traject zijn biograndstoffen schaars, in het PR40 traject zijn biograndstoffen ruimer beschikbaar. De PR40 en PBB40 trajecten vormen samen de grenzen van de meer ‘gematigde’¹¹ TVKN-trajecten. 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 poot te beschrijven.

De kosten voor overhead en distributie van klimaatneutraal gas zijn apart bepaald en zijn gebaseerd op vergelijkbare kosten die worden gemaakt voor aardgas. De berekening van de kosten van overhead voor een gasnet worden beschreven in paragraaf 4.13.3). Er wordt aangenomen dat deze kosten niet significant verschillen tussen een gasnet op aardgas, groengas of waterstof. De indicatie voor de leveringsprijs, bestaande uit de geraamde marktprijs en de overheadskosten, zoals die in ASA2025 wordt gehanteerd wordt weergegeven in Tabel 44.

Tabel 44
Indicatie groothandelsprijs groengas ASA2025

	ASA2025		SA2020		SA2020	
	euro2023		euro2023		euro2018	
	min	max	min	max	min	max
Productiekosten			0.66	1.03	0.53	0.83
Geraamde marktprijs TVKN	0.68	1.30				
Overhead kleingebruik	0.20	0.20	0.15	0.15	0.12	0.12
Indicatie leveringsprijs ASA2025	0.88	1.50				
Productiekosten + overhead			0.81	1.18	0.65	0.95
SA2020						
Kostenvergelijking ASA2025 en SA2020	0.88	1.50	0.81	1.18		

4.13.2 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 elektriciteitsnetten zijn die continu uitsluitend klimaatneutrale elektriciteit beschikbaar stellen, kunnen kostenschattingen niet ontleend worden aan de praktijk of afgeleid worden van huidige groothandelsprijzen. In de vorige Startanalyse is een eenvoudige kostenberekening gemaakt van klimaatneutrale elektriciteit met behulp van kostenramingen van losse onderdelen van een productieketen (voor een windpark op zee bestaan die onderdelen bijvoorbeeld uit turbines, zeeakbels, extra back-up, netuitbreiding, etc.).

¹¹ Dat wil zeggen: waarbij geen extreme aannamen worden gedaan met betrekking tot de beschikbaarheid van biograndstoffen.

In de actualisatie van de Startanalyse baseren we de groothandelsprijs van klimaatneutrale elektriciteit- net als bij groengas (zie paragraaf 4.13.1) op geraamde marktprijzen voor elektriciteit van TVKN. We gaan daarbij uit van jaargemiddelde geraamde marktprijzen voor elektriciteit in 2050, omdat het elektriciteitssysteem in dat jaar volledig klimaatneutraal is.

We corrigeren de prijzen in 2050 terug 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 geraamde marktprijs.

De kosten voor overhead en distributie van klimaatneutrale elektriciteit zijn net als in SA2020 apart bepaald. De berekening van de overheadkosten bij elektriciteit is gebaseerd op de methode die is gebruikt in SA2020, met enkele belangrijke aanpassingen (deze worden uitgebreider besproken in de notitie energieprijzen):

- 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. In plaats van het statistiekjaar 2023 buiten beschouwing te laten in de berekening is er daarom voor gekozen om de overheadskosten in deze groep gelijk te stellen aan de overheadskosten bij grootgebruikers.
- In 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 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 mogelijke efficiëntere monitoring en fijnregeling mogelijk maakt. Het is daarom moeilijk om voor ASA2025 een betrouwbare nieuwe schatting te doen voor extra overheadkosten: extra overheadkosten worden daarom buiten beschouwing gelaten.

De geraamde marktprijzen voor klimaatneutrale elektriciteit in de TVKN trajecten liggen een stuk lager dan de productiekosten die zijn berekend voor SA2020. Samen met het gegeven dat de extra overheadskosten in ASA2025 buiten beschouwing worden gelaten, maakt dit dat de gemiddelde leveringsprijs voor klimaatneutrale elektriciteit in ASA2025 circa 42% lager uitvallen dan de kosten die voor SA2020 zijn berekend, na correctie voor inflatie. Tabel 45 geeft de uiteindelijke indicatieve kosten voor klimaatneutrale elektriciteit zoals die in ASA2025 worden gehanteerd.

Tabel 45
Overzicht kosten klimaatneutrale elektriciteit

	ASA2025		SA2020	SA2020
	euro2023		euro2023	euro2018
	min	max	middenwaarde	middenwaarde
Productiekosten			0.131	0.106
Geraamde groothandelsprijs TVKN	0.062	0.068		
Overhead kleingebruik	0.023	0.023	0.020	0.016
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

4.13.3 Referentiekosten aardgas en elektriciteit in 2030

De Referentiekosten voor aardgas en elektriciteit worden, net als bij SA2020, gebaseerd op de prijsprojecties van de KEV voor de groothandelsprijs van aardgas en elektriciteit onder vastgesteld en voorgenomen beleid. In deze subparagraaf 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 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 worden 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 SA2020, is dat in 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. 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 SA2020 na inflatiecorrectie. Tabel 46 geeft de kosten voor aardgas voor klein gebruikers in 2030 voor ASA2025, inclusief de kosten voor overhead voor kleingebruikers en de schatting voor de uitstoot kosten onder ETS₂.

Tabel 46

Kosten voor aardgas voor kleingebruikers in 2030

	ASA2025	SA2020	SA2020
	euro2023/ m3	euro2023/ m3	euro2018/ m3
Productiekosten	0.23	0.31	0.25
Basis overhead_KG	0.20	0.15	0.12
ETS2	0.10	0.00	0.00
Totaal incl overhead en ETS2	0.53	0.46	0.37

‘Grijze’ Elektriciteit

De elektriciteit die nu wordt gebruikt, noemen we ‘grijze elektriciteit’. 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 referentiescenario gebaseerd op deze 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 kosten. Bij een raming van nationale kosten worden subsidies buiten beschouwing gelaten. In SA2020 werd de prijs van grijze elektriciteit nog gecorrigeerd voor SDE subsidies: die correctie betrof circa 10% van de totaalprijs voor grijze elektriciteit. Door de hoge energieprijzen in 2023 was er echter geen SDE subsidie voor hernieuwbare elektriciteit nodig (RVO 2025). Deze correctie is in ASA2025 buiten beschouwing gelaten.
- Net als bij de kostenbepaling van klimaatneutrale elektriciteit (zie paragraaf 4.13.2) 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 gelijk aan de overheadkosten voor groene elektriciteit: deze zijn opnieuw vastgesteld op basis van CBS statistieken van de afgelopen 5 jaar. De methode voor het bepalen van de overheadkosten van de elektriciteit wordt beschreven in paragraaf 4.13.2.

De totale kosten voor grijze elektriciteit voor klein gebruikers in 2030 worden weergegeven in Tabel 47. De totale kosten voor grijze elektriciteit in het referentiebeeld in ASA2025 zijn gelijk aan de kosten voor grijze elektriciteit in 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 licht onderschat.

Tabel 47

Kosten grijze elektriciteit voor kleingebruikers in 2030

Kosten aardgas voor kleingebruikers [euro2023/ m3]	ASA2025	SA2020	SA2020
	euro2023/ kWh	euro2023/ kWh	euro2018/ kWh
Kosten	0.08	0.11	0.09
Kosten inclusief overhead	0.10	0.13	0.10

4.13.4 Gevoeligheidsanalyses energieprijzen

Toekomstige energieprijzen in een klimaatneutraal energiesysteem zijn sowieso zeer onzeker. Bovendien sluiten de TVKN-berekeningen niet altijd goed aan op de uitgangspunten voor de Startanalyse. De Startanalyse schetst een compleet verduurzamingsbeeld voor de gebouwde omgeving dat waarschijnlijk niet kan worden gerealiseerd voor 2050, maar met kosten voor 2030. De TVKN-trajecten schetsen allemaal een integraal verduurzamingsbeeld voor 2050, waarbij ook nog kostenontwikkelingen worden verondersteld na 2030. Om die reden zijn er nabewerkingen gedaan op de TVKN-resultaten bij het schatten van de marktprijs van klimaatneutrale elektriciteit. Die nabewerkingen worden beschreven in paragraaf 4.13.2. Bij het schatten van de leveringsprijs van groen gas kan het verschil tussen de kostenregimes niet vanzelfsprekend worden overbrugd: daarom moet er rekening mee worden gehouden dat de geschatte marktprijzen waar in de hoofdberekening gebruik van wordt gemaakt mogelijk optimistisch zijn.

Om de gevoeligheid van de ASA2025 resultaten voor de onzekerheid in energieprijzen te laten zien maken we gebruik van gevoeligheidsanalyses. Met betrekking tot de energieprijzen beschikken we over twee gevoeligheidsanalyses: één gevoeligheidsanalyse met hoge prijzen voor klimaatneutrale elektriciteit en klimaatneutraal gas en één gevoeligheidsanalyse met relatief lage prijzen. De aannamen met betrekking tot de energieprijzen in de gevoeligheidsanalyses worden in deze subparagraaf besproken.

Gevoeligheidsanalyse hoge energieprijzen

Het feit dat de gemiddelde groothandelsprijs van klimaatneutraal gas in de hoofdberekeningen is gebaseerd op de geraamde marktprijzen voor groengas uit de TVKN studie, betekent dat in de hoofdberekeningen impliciet wordt uitgegaan van een hoog aandeel groengas in de brandstofmix. De gevoeligheidsanalyse met hogere energieprijzen geeft een beeld hoe deze 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 geraamde marktprijs voor waterstof beschikbaar is in TVKN wordt voor de eenheidsprijs van klimaatneutraal gas in de gevoeligheidsanalyse uitgegaan van de geraamde marktprijs van groengas in een TVKN traject met een extreem beperkte beschikbaarheid van biograndstoffen: het 'SR_minder plastic afval' traject. Mede door die beperkte beschikbaarheid van biograndstoffen is de geraamde marktprijs 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 SA2020, na correctie voor inflatie (circa 4.8 euro2023 per kuub groene waterstof gemiddeld). In Tabel 48 wordt de gemiddelde eenheidsprijs gegeven voor klimaatneutraal gas zoals die in de gevoeligheidsanalyse voor ASA2025 wordt gehanteerd. Ter vergelijking worden in deze tabel ook de productiekosten voor groene waterstof gegeven zoals ze in SA2020 zijn vastgesteld.

Tabel 48

Gevoeligheidsanalyse hoge gemiddelde eenheidsprijs klimaatneutraal gas, vergeleken met de kosten van waterstof in SA2020

	ASA2025	SA2020	SA2020		
	Gemiddelde eenheidsprijs KN gas	Kosten groene waterstof			
	euro2023	euro2023	euro2018		
	GA_HE	min	max	Min	max
Geraamde marktprijs 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

Voor de kosten van klimaatneutrale elektriciteit In de gevoeligheidsanalyse met hoge energieprijzen gaan we uit van de geraamde marktprijs in het PBB40 traject van TVKN (zie paragraaf 5.13.2).

Gevoeligheidsanalyse lage energieprijzen

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 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 5.13.2) en groengas (zie paragraaf 5.13.1).

5 Verschillen per strategie

Dit hoofdstuk zal later toegevoegd worden en zal een samenvatting van de verschillen per strategie en hoe de wijzigingen zoals beschreven in hoofdstuk 4 staan doorwerken per strategie.

CONCEPT

6 Resultaten

Dit hoofdstuk zal later toegevoegd worden en zal dieper ingaan op de resultaten van de Startanalyse 2025.

CONCEPT

Referenties

- Alliander, (2020), *Ruim 9 procent nieuwbouw nog steeds op aardgas*. Geraadpleegd op 2-12-2024 via <https://www.alliander.com/nl/nieuws/ruim-9-procent-nieuwbouw-nog-steeds-op-aardgas/>
- Arnoldussen, J., Endhoven, T., Kragt, E., Spijker, N. (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, van den Wijngaart, R. (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, van Polen, S., van den Wijngaart, R. (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 (2025) [te verschijnen] *Prijzen van energiedragers in de Startanalyse 2025*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- BZK (2018) *Catalogus Basisregistratie Adressen en Gebouwen*, Den Haag, Opgehaald via <file:///H:/Documents/Downloads/Catalogus-BAG-2018.pdf>
- CBS (2015 - 2023). *Kerncijfers wijken en buurten 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022 & 2023*. Geraadpleegd op 16-5-2024 via <https://www.cbs.nl/nl-nl/reeksen/publicatie/kerncijfers-wijken-en-buurten> . Bewerking: PBL.
- CBS (2014), *Energiekentallen utiliteitsbouw*. Geraadpleegd op 12-12-2024 via: <https://www.cbs.nl/nl-nl/onze-diensten/methoden/onderzoeksomschrijvingen/korte-onderzoeksomschrijvingen/energiekentallen-utiliteitsbouw>
- CBS (2025), *cbs.nl, Consumer prices; European harmonised price index 2015=100 (HICP)*, Centraal Bureau voor de Statistiek, 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*, Geraadpleegd op 16-05-2024 via: <https://open-data.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/85140NED/table?dl=AB172>
- CE Delft, 2019. *Overzicht aanpassingen Vesta MAIS*. Delft, juli 2019. Publicatienummer 198.190141.105. Opgehaald van: <https://www.expertisecentrumwarmte.nl/themas/bibliotheek/1428415.aspx>
- Cornelisse, M., Kruithof, A., & Valk, H. (2021), *Rapport Standaard en streefwaardes bestaande woningbouw*. Utrecht: Nieman, opgehaald van <https://www.nieman.nl/wp-content/uploads/2021/03/rapport-standaard-en-streefwaarden-bestaande-woningbouwnieman-raadgevend-in.pdf>
- Daniels, B., Strengers, B., van Dam, D., Elzenga, H., Geilenkirchen, G., Hoogervost, N., Koutstaal, P., van Minnen, J., Özge, Ö., Plomp, A., Schouten, M., Stremmer, J., van der Veen, R., Westhoek, H., Wetzels, W. (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-klimaatneutraal-2050-5093.pdf>

Energiea (2021), *In 2020 kreeg 86% van de nieuwbouw geen gasaansluiting meer*. Geraadpleegd op 2-12-2024 via <https://energiea.nl/in-2020-kreeg-86-van-de-nieuwbouw-geen-gasaansluiting-meer/>

Enexis (2022), *Cijfers - Aardgasloze nieuwbouw*. Geraadpleegd op 2-12-2024 via: <https://www.enexis-groep.nl/actuele-themas/feiten-en-cijfers/cijfers-aardgasloze-nieuwbouw/>

Elzenga, H., Eggink, E., de Joode, J. (2025) *Groene waterstof: de praktische uitdagingen tussen droom en werkelijkheid. Een verkenning naar de knelpunten en mogelijke oplossingsrichtingen in de ontwikkeling van een groenewaterstofmarkt*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving, opgehaald van: <https://www.pbl.nl/publicaties/groene-waterstof-de-praktische-uitdagingen-tussen-droom-en-werkelijkheid>

Geijtenbeek, L., Poorthuis, W., van Beijnum, B., van den Wijngaart, R. (2025) [te verschijnen] *Herziening Referentieverbruik warmte woningen*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

Hammingh, P., van Sebille, M., Hoff, M., Volkers, C., Koutstaal, P. (2024) *Klimaat- en Energieverkenning 2024*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving, opgehaald van: <https://www.pbl.nl/publicaties/klimaat-en-energieverkenning-2024>

Hesselink, F., Schepers, B., Tanis, S. (2025a), [te verschijnen] *Advies validatiesessies individuele installaties en warmtenetten*, Delft: CE Delft.

Hesselink, F., Dehens, J., Meyer, M., Schepers, B. (2025b) [te verschijnen] *Marktvalidatie kengetallen investeringskosten verduurzaming woningen*, Delft: CE Delft

Lensink, S., E. Eggink (red.) (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>

Juijn, D., Blom, M., de Vries, J. (2023), *Werkwijzer Nationale Kosten; Uitgangspunten bij berekeningen van het PBL*, Delft: CE Delft

Kadaster (2024), *Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG)*. 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. Via www.klimaatsscenarios.nl/correctie

Koster, E., Hesselink, F., Teng, M. (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)*.

Website: <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*.

Website: <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/verwarmen-met-gas/cv-ketel-onderhoud-en-instelling/>

van der Molen, F., van Polen, S., van den Wijngaart, R., Tavares, J., van Bommel, B., Langeveld, J., Hoogervorst, N. (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>

- van der Molen, F. et al. (2023). Functioneel Ontwerp Hestia 1.0, Den Haag: Planbureau voor de Leef-omgeving, opgehaald van: <https://www.pbl.nl/uploads/default/downloads/pbl-2023-functi-oneel-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>
- NPLW. (g.d.) Warmteopslag en koudeopslag, opgehaald van: <https://www.nplw.nl/warmte-net/warmtetechnieken/warmteopslag>
- NPLW (g.d.), *Handreiking warmteprogramma*, opgehaald van: <https://www.nplw.nl/warmtepro-gramma/handreiking>
- PBL
- Pothof, I., Vreeken, T., & van Meerkerk, T. (2022), *Field measurements on lower radiator temperatures in existing buildings; Manuscript for Energy and Buildings*, Utrecht: WarmingUP.
- Rijksoverheid (2015), *Rapport Werkgroep discontovoet 2015*
Website: <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/blg-619458.pdf>
Laatst bezocht op 04-12-2024
- Rijksoverheid (2020), *Rapport Werkgroep discontovoet 2020; versie 1.0*
Website: <https://www.rijksfinancien.nl/sites/default/files/hafir/bestuurlijke-regels/Rapport-werkgroep-discontovoet-2020.pdf>
Laatst bezocht op: 04-12-2024
- RVO (2022), Kostenkentalen energiebesparende maatregelen. Geraadpleegd via: rvo.nl/onderwerpen/technieken-beheer-en-innovatie-gebouwen/kostenkengetallen
- RVO (2024a), EP-online database energielabels. Geraadpleegd op 25-4-2024 via <https://www.ep-online.nl/PublicData> . Bewerking: PBL
- RVO (2024b), Catalogus Warmteatlas. Geraadpleegd op 28-5-2024 via: <https://rvo-nl.github.io/EnergieCatalogus/> Bewerking: PBL
- RVO (2025), *rvo.nl, Feiten en cijfers SDE(+)(+)*, Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, geraadpleegd op 25 februari 2025: <https://www.rvo.nl/subsidies-financiering/sde/aanvragen/feiten-en-cijfers>
- Schepers, B., Kruit, K. , Otten, G.J., de Graaf, A., Karthaus, M. (2019), *Hybride warmtenetten. Kansen voor Den Haag*, Delft: CE Delft, opgehaald van: <https://ce.nl/publicaties/hybride-warmtenetten-kansen-voor-den-haag/>
- Van Schie, M et al. (2024) , *Achtergronddocument Dataset Utiliteitsbouw in de Wijkaanpak voor de warmte-transitie*, Amsterdam, opgehaald van: <https://publications.tno.nl/publication/34642507/2NeRhr/TNO-2024-P10571.pdf>
- Stedin (2021), *87 procent van de nieuwbouwwoningen in 2020 aardgasvrij opgeleverd*. 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>
- TNO (2023), kengetallen voor na-isolatie utiliteitsbouw Vesta MAIS model. Geraadpleegd op: <https://publications.tno.nl/publication/34641772/9K8qHi/TNO-2023-P11550.pdf>
- TNO (2024), ThermoGIS 2.3, geraadpleegd op 9-8-2024: <https://www.thermogis.nl/>