



Answering
tomorrow's
challenges
today

Gevoeligheidsanalyses voor de Startanalyse aardgasvrije buurten 2026

Aanvullende modelresultaten

Planbureau voor de Leefomgeving (PBL)

Rotterdam, 30 september 2026

Gevoeligheidsanalyses voor de Startanalyse aardgasvrije buurten 2026

Aanvullende modelresultaten

Klant: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL)

Rotterdam, 30 september 2026

Maurice Thijsen
Joost Gubbels

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	4
1.1	Aanleiding van het onderzoek.....	4
1.2	Doel van het onderzoek	5
1.3	Leeswijzer.....	5
2	Methode.....	6
2.1	Maatschappelijke discontovoet	6
2.2	Prijs van klimaatneutraal gas	7
2.3	Prijs van klimaatneutrale elektriciteit.....	8
2.4	Thermische capaciteit van restwarmte-puntbronnen.....	9
2.5	Kosten voor toepassen isolatiemaatregelen.....	10
2.6	Kosten voor het verwijderen voor het gasnet	12
3	Resultaten	13
3.1	Hoofdberekening	14
3.2	Maatschappelijke discontovoet	16
3.3	Prijs van klimaatneutraal gas	19
3.4	Prijs van klimaatneutrale elektriciteit.....	24
3.5	Thermische capaciteit van restwarmte-puntbronnen.....	27
3.6	Kosten voor toepassen isolatiemaatregelen.....	31
3.7	Kosten voor het verwijderen van het gasnet.....	35
	Referentielijst	38
	Bijlage A - 0 bcm resultaten.....	39

1 Inleiding

1.1 Aanleiding van het onderzoek

Het kabinet is een interdepartementaal beleidsonderzoek (IBO) gestart¹. Dit onderzoek heeft als doel om beleid te analyseren en concrete beleidsopties uit te werken die kunnen bijdragen aan het tijdig verduurzamen van de woningvoorraad en het betaalbaar houden van de energierekening. Op basis van het huidige beleid lijkt het onzeker of deze doelen binnen de gestelde termijn worden gerealiseerd.

Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) heeft begin 2025 de Actualisatie Startanalyse aardgasvrije buurten (ASA2025) opgeleverd², op basis van het Vesta MAIS-model. De Startanalyse brengt voor buurten in Nederland de aardgasvrije strategie in beeld met de laagste nationale (meer)kosten. Daarmee vormt de analyse één van de inhoudelijke bouwstenen die worden toegepast binnen het IBO.

Sinds de publicatie van ASA2025 is een nieuwe modelversie (ASA2026) beschikbaar gekomen. De uitkomsten van de Startanalyse zijn afhankelijk van aannames en invoerdata ten aanzien van onder meer kosten, energieprijzen, technische prestaties en de beschikbaarheid van energiebronnen.

Om inzicht te krijgen in de invloed van onzekerheden, zijn voor het IBO aanvullende gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. Deze analyses laten zien hoe wijzigingen in aannames en invoerparameters doorwerken in de resultaten van het model. In dit onderzoek worden de volgende gevoeligheden onderzocht:

- Maatschappelijke discontovoet;
- Prijzen van klimaatneutrale elektriciteit;
- Kosten van klimaatneutraal gas;
- Kosten voor isolatiemaatregelen;
- Beschikbaarheid van restwarmtebronnen;
- Kosten voor het verwijderen van het lagedruk(LD)-gasnet

In dit rapport worden de resultaten gepresenteerd op basis van het 2 bcm-scenario voor de beschikbaarheid van klimaatneutraal gas. Hoewel in de hoofdberekening van de ASA2026 wordt uitgegaan van geen beschikbaarheid van klimaatneutraal gas voor individuele installaties, gaan we in dit onderzoek uit van 2 bcm in de hoofdberekening, om zo de impact van prijsveranderingen te kunnen analyseren en om de vergelijkbaarheid met de ASA2025 te waarborgen. In de ASA2026 is het uitgangspunt rond de beschikbaarheid van klimaatneutraal gas bijgesteld naar 0,5 bcm, welke is gereserveerd voor de bijstook bij huidige en toekomstige warmtenetten. Voor individuele installaties wordt in de hoofdberekeningen van de Startanalyse uitgegaan van 0 bcm klimaatneutraal gas waardoor strategie 4 niet terugkomt in deze resultaten. De resultaten op basis van het scenario waarin geen klimaatneutraal gas beschikbaar is voor individuele installaties zijn opgenomen in Bijlage A – 0 bcm resultaten.

¹ Rijksoverheid (2025). Taakopdracht IBO energietransitie van de woningvoorraad. [Link](#).

² PBL (2025). Actualisatie Startanalyse aardgasvrijebuurt 2025. [Link](#).

1.2 Doel van het onderzoek

Het doel van dit onderzoek is om inzicht te bieden in de gevoeligheid van de uitkomsten van de ASA2026 voor wijzigingen in aannames en invoerparameters. De analyses maken inzichtelijk welke aannames relatief veel invloed hebben op de kosten en de toewijzing van strategieën op basis van de laagste nationale meerkosten. Deze inzichten dienen ter ondersteuning van de conclusies en afwegingen in het IBO.

1.3 Leeswijzer

Het rapport is als volgt opgebouwd. Hoofdstuk 2 beschrijft de gehanteerde methode en de aanpassingen die zijn gedaan per gevoeligheid. In hoofdstuk 3 worden per gevoeligheid de resultaten gepresenteerd.

2 Methode

In dit hoofdstuk wordt de methodiek voor de uitvoering van de gevoeligheidsanalyses beschreven. De analyses zijn uitgevoerd met de ASA2026-versie van het Vesta MAIS-model. Er wordt uitgegaan van een beschikbaarheid van 2 bcm klimaatneutraal gas per jaar, conform de uitgangspunten van ASA2025. De resultaten voor het scenario waarin geen klimaatneutraal gas beschikbaar is voor individuele installaties staan in Bijlage A. Per gevoeligheid is een specifieke aanname of invoerparameter aangepast, terwijl overige aannames ongewijzigd blijven. Zo ontstaat er inzicht in de mate waarin modeluitkomsten veranderen door de individuele gevoeligheden.

In totaal zijn zes gevoeligheden doorgerekend. Deze gevoeligheden hebben betrekking op verschillende kosten-, prijs- en beschikbaarheidsaannames en worden in de volgende paragrafen afzonderlijk beschreven.

2.1 Maatschappelijke discontovoet

2.1.1 Beschrijving en achtergrond

In het Vesta MAIS-model wordt een maatschappelijke discontovoet gehanteerd om toekomstige kosten en baten van investeringen in de warmtetransitie te waarderen over de tijd. De discontovoet bepaalt daarmee, samen met de levensduur van investeringen, de weging van langetermijncosten en -baten en wordt in het model tevens gebruikt om initiële investeringen (CAPEX) om te rekenen naar jaarlijkse kapitaallasten.

De hoogte van de maatschappelijke discontovoet is van invloed op de relatieve weging van investeringen met hoge initiële kosten en lagere structurele variabele en jaarlijkse kosten. Hierdoor heeft de discontovoet invloed op de berekende nationale kosten en de selectie van voorkeursstrategie op basis van de laagste nationale meerkosten.

2.1.2 Varianten

In de hoofdberekeningen van de ASA2026 wordt een maatschappelijke discontovoet van 2,25% gehanteerd, conform het advies van de Werkgroep Discontovoet 2020³. In deze gevoeligheidsanalyse wordt gevarieerd met deze aanname om inzicht te krijgen in de impact van alternatieve discontovoeten op de modeluitkomsten. Daartoe zijn twee aanvullende waarden doorgerekend: 2,8%, overeenkomstig het herziene advies over de maatschappelijke discontovoet vanuit de Werkgroep Discontovoet 2025⁴, en 6%, als representatieve waarde voor meer marktgeoriënteerde kapitaalkosten (WACC)⁵. De laatste variant geeft inzicht in de gevoeligheid van de resultaten wanneer investeringen sterker worden gewogen vanuit een private financieringslogica.

³ Rijksoverheid. (2020). *Rapport Werkgroep discontovoet 2020*. ([link](#))

⁴ Rijksoverheid. (2025). *Rapport Werkgroep discontovoet 2025*. ([link](#))

⁵ Een afgerond gemiddelde waarde gebaseerd op historische gehanteerde WACC's voor de rendementstoets van warmteleveranciers door de ACM over de periode 2018-2025. Zie ACM (2026). Besluit redelijk rendement warmteleveranciers 2018-2025. [Link](#).

2.1.3 Modelaanpassing

Voor deze gevoeligheid zijn drie afzonderlijke modelruns uitgevoerd, waarbij uitsluitend de maatschappelijke discontovoet is aangepast en alle overige aannames ongewijzigd zijn gelaten (*ceteris paribus*).

De discontovoet is gewijzigd in de modelparameter **mr**, opgenomen in de container **Discontovoet** in het bestand **Basis.dms**.

2.2 Prijs van klimaatneutraal gas

2.2.1 Beschrijving en achtergrond

De prijs van klimaatneutraal gas (bestaand uit groengas of groene waterstof) is een belangrijke invoerparameter in het Vesta MAIS-model en beïnvloedt direct de kosten van strategieën waarin gas wordt toegepast. Een stijging van deze gasprijs leidt tot hogere operationele kosten voor:

- het klimaatneutrale gasverbruik in hybride warmtepompen (S4), en
- de inzet van klimaatneutraal gas in piekkelers in MT/HT-warmtenetten (S2).

Dit resulteert in hogere totale systeemkosten en beïnvloedt daarmee direct de relatieve kostenpositie ten opzichte van de elektrische warmtepompen (S1) en LT-warmtenetten (S3) waarin geen gasgebruik plaatsvindt.

2.2.2 Varianten

In de hoofdberekening van de ASA2026 wordt uitgegaan van geen beschikbaarheid van klimaatneutraal gas (0 bcm) voor individuele installaties. Echter, in dit onderzoek gaan we ervan uit dat er 2 bcm beschikbaar is in de hoofdberekening om de impact van prijsveranderingen te kunnen analyseren en om vergelijkbaarheid met de ASA2025 te waarborgen (waar 2 bcm de hoofdberekening was). In deze gevoeligheidsanalyse wordt de onzekerheid in toekomstige prijzen verkend door een reeks alternatieve prijsniveaus door te rekenen. Hierbij is gekozen voor een stapsgewijze benadering, waarbij het prijsniveau van klimaatneutraal gas wordt verhoogd van 1,5 euro per m³ tot 3,5 euro per m³, in stappen van 0,25 euro per m³. Deze reeks maakt het mogelijk om het overgangspunt te analyseren waarbij gas gerelateerde strategieën in kostencompetitiviteit verschuiven ten opzichte van andere strategieën.

Tabel 1 Prijsparameters voor klimaatneutraal gas per afnemerscategorie en prijsvariant

Gevoeligheid	KG_PC_COM_EX CL CO2	KMG_PC_COM_E XCL CO2	MMG_PC_COM_E XCL CO2	GG_PC_COM_EX CL CO2
Basis ASA2026	1.19	1.06	0.99	0.99
KG 1.5	1.5	1.37	1.3	1.3
KG 1.75	1.75	1.62	1.55	1.55
KG 2	2	1.87	1.8	1.8
KG 2.25	2.25	2.12	2.05	2.05
KG 2.5	2.5	2.37	2.3	2.3
KG 2.75	2.75	2.62	2.55	2.55
KG 3	3	2.87	2.8	2.8
KG 3.25	3.25	3.12	3.05	3.05

KG 3.5	3.5	3.37	3.3	3.3
--------	-----	------	-----	-----

2.2.3 Modelaanpassing

De variatie in de prijs van klimaatneutraal gas is doorgevoerd in de prijsparameters voor de verschillende afnemerscategorieën in Vesta MAIS (KG_PC_COM_EXCL_CO₂, KMG_PC_COM_EXCL_CO₂, MMG_PC_COM_EXCL_CO₂ en GG_PC_COM_EXCL_CO₂). Hierbij verwijzen KG, KMG, MMG en GG respectievelijk naar kleinverbruikers, klein-middelgrootverbruikers, middel-middelgrootverbruikers en grootverbruikers van gas. Het onderdeel PC_COM_EXCL_CO₂ staat voor de commodityprijs van klimaatneutraal gas, exclusief CO₂-beprijzing.

De bijbehorende prijsniveaus zijn consistent aangepast in het bestand [20250908_Energieprijzen_KlimaatNeutraalGas.csv](#). Voor iedere prijsvariant is een afzonderlijke modelrun uitgevoerd, waarbij uitsluitend de gasprijsparameters zijn gewijzigd en overige aannames ongewijzigd zijn gelaten (ceteris paribus).

2.3 Prijs van klimaatneutrale elektriciteit

2.3.1 Beschrijving en achtergrond

De prijs van klimaatneutrale elektriciteit is ook een belangrijke invoerparameter in het Vesta MAIS-model en beïnvloedt direct de kosten van strategieën waarin elektriciteit wordt toegepast. Een stijging van de elektriciteitsprijs leidt tot hogere operationele kosten voor:

- het elektriciteitsverbruik van all-electric warmtepompen (S1, maar ook in S3⁶),
- het elektriciteitsverbruik van hybride warmtepompen (S4), maar ook,
- in mindere mate het elektriciteitsverbruik voor het opereren van MT/HT en LT-warmtenetten (S2 en S3).
- het elektriciteitsverbruik voor elektrische apparaten in alle strategieën.

Dit resulteert in hogere totale systeemkosten en beïnvloedt daarmee direct de relatieve kostenpositie, zowel ten opzichte van strategieën waarin het elektriciteitsgebruik beperkter is (zoals S2), als tussen de strategieën onderling (S1, S3 en S4).

2.3.2 Varianten

In de hoofdberekening van de ASA2026 wordt uitgegaan van de centrale prijsschatting voor klimaatneutrale elektriciteit. In deze gevoeligheidsanalyse wordt de onzekerheid rond toekomstige elektriciteitsprijzen verkend door vier alternatieve prijsniveaus door te rekenen. Deze varianten zijn:

- de ondergrens van de bandbreedte voor de elektriciteitsprijs indicatief gebaseerd op de groothandelsprijs 2040 middenwaarde uit de Klimaat- en Energieverkenning 2024 (KEV2024);
- de bovengrens van de bandbreedte voor de elektriciteitsprijs, bepaald op basis van het procentuele verschil tussen de rekenwaarde en de ondergrens uit de KEV 2024, toegepast in opwaartse richting;

⁶ Strategie S3 bestaat uit een LT-warmtenet-cluster in een buurt, aangevuld met individuele elektrische warmtepomp-aansluitingen voor de panden die niet zijn aangesloten op dit cluster.

- de elektriciteitsprijs van een scenario om de grenzen van het elektriciteitssysteem op te zoeken met hogere kosten, zoals gehanteerd in de Trajectverkenning klimaatneutraal 2050 (TVKN2050);
- de elektriciteitsprijs uit de Startanalyse 2020 op basis van een kostengebaseerde methode, inflatie gecorrigeerd naar prijsniveau 2023.

Tabel 2 Prijsparameters voor klimaatneutrale elektriciteit per afnemerscategorie en prijsvariant

Gevoeligheid	KG_PC_COM_EX CL_CO2	KMG_PC_COM_E XCL_CO2	MMG_PC_COM_E XCL_CO2	GG_PC_COM_EX CL_CO2
Basis ASA 2026	0.088	0.088	0.070	0.070
KNE onderkant bandbreedte	0.063	0.063	0.045	0.045
KNE bovenkant bandbreedte	0.113	0.113	0.095	0.095
KNE SA 2020	0.151	0.151	0.133	0.133
KNE TVKN	0.134	0.134	0.115	0.115

2.3.3 Modelaanpassing

Voor deze gevoeligheid zijn meerdere modelruns uitgevoerd waarin uitsluitend de prijs van klimaatneutrale elektriciteit is aangepast, terwijl alle overige aannames ongewijzigd zijn gehouden (ceteris paribus). De variatie is doorgevoerd in de elektriciteitsprijsparameters voor de verschillende afnemerscategorieën in Vesta MAIS (KG_PC_COM_EXCL_CO₂, KMG_PC_COM_EXCL_CO₂, MMG_PC_COM_EXCL_CO₂ en GG_PC_COM_EXCL_CO₂). Hierbij verwijzen KG, KMG, MMG en GG respectievelijk naar kleinverbruikers, klein-middelgrootverbruikers, middel-middelgrootverbruikers en grootverbruikers. Het onderdeel PC_COM_EXCL_CO₂ representeert de commodityprijs van klimaatneutrale elektriciteit exclusief een eventuele CO₂-prijscomponent.

De aanpassingen zijn doorgevoerd in de relevante elektriciteitsprijsparameters in het bestand [20250908_Energieprijzen_GroenElek.csv](#).

2.4 Thermische capaciteit van restwarmte-puntbronnen

2.4.1 Beschrijving en achtergrond

Restwarmte vormt een potentiële warmtebron voor collectieve warmtevoorziening, met name voor warmtenetten. In het Vesta MAIS-model is voor verschillende typen restwarmtebronnen een maximale thermische beschikbaarheid opgenomen, die de bovengrens bepaalt voor de inzet van deze bronnen in de optimalisatie.

De thermische beschikbaarheid van restwarmtebronnen kent grote onzekerheid, onder meer door variatie in technisch potentieel, benutbaarheid en toekomstige bronontwikkeling. Dit werkt direct door in de mate waarin restwarmte kan worden ingezet voor collectieve warmtevoorziening.

In deze gevoeligheidsanalyse wordt verkend hoe variaties in de thermische beschikbaarheid van restwarmtebronnen doorwerken in de uitkomsten van de Startanalyse. De analyse betreft zowel midden- en hogetemperatuurbronnen (MT/HT-puntbronnen zoals industrie en energiecentrales; strategie S2) als lagetemperatuurbronnen (LT-puntbronnen zoals RWZI's en datacenters; strategie S3). De beschikbaarheid ten aanzien van de thermische capaciteit van restwarmtebronnen beïnvloedt de mogelijkheid die buurten hebben om aanspraak te kunnen maken op strategieën S2 en S3 als voorkeursstrategieën.

2.4.2 Varianten

In de hoofdberekening van de ASA2026 wordt uitgegaan van de centrale aannames voor de thermische beschikbaarheid van restwarmte.

De variatie in thermische beschikbaarheid is doorgevoerd door de capaciteit van alle restwarmtebronnen proportioneel aan te passen met $\pm 50\%$. Dit geldt zowel voor:

- standaard (default) capaciteitswaarden, als
- expliciet gespecificeerde thermische capaciteiten van puntbronnen.

Voor zowel MT/HT- als LT-puntbronnen zijn twee gevoeligheden doorgerekend:

- een lage beschikbaarheidsvariant (-50%);
- een hoge beschikbaarheidsvariant ($+50\%$).

De aanpassingen zijn gelijktijdig toegepast op alle bronnen binnen dezelfde modelrun; er zijn geen afzonderlijke varianten per brontype doorgerekend.

2.4.3 Modelaanpassing

Voor deze gevoeligheid zijn de thermische capaciteiten van alle MT/HT- en LT-restwarmtebronnen met $\pm 50\%$ aangepast, terwijl overige aannames ongewijzigd zijn gebleven (*ceteris paribus*). De aanpassingen zijn doorgevoerd in de expliciet gespecificeerde broncapaciteiten ([20250501_punbronnen_MT_met_RWZI_update.csv](#) en [20250501_punbronnen_LT_met_RWZI_update.csv](#)) en in de standaardcapaciteiten voor bronnen zonder bekende thermische capaciteit (voor MT-bronnen in [model/Kengetallen/WarmteBronnen.dms](#) en voor LT-bronnen in [model/RuimtelijkeData/WarmteBronnen.dms](#)).

2.5 Kosten voor toepassen isolatiemaatregelen

2.5.1 Beschrijving en achtergrond

Kosten voor het toepassen van isolatiemaatregelen dragen bij aan energiebesparing. Deze energiebesparing wordt in het model gemodelleerd via zogenoemde schilsprongen, waarbij een gebouw van het huidige schillabel naar een beter schillabel overgaat.

Een schilsprong leidt tot een reductie van de warmtevraag voor ruimteverwarming, afhankelijk van de uitgangssituatie en het doelniveau van de gebouwschil in de strategie. De bijbehorende kosten bepalen in welke mate deze maatregelen vanuit aantrekkelijk zijn.

In alle strategieën worden isolatiemaatregelen toegepast; minimaal schillabel D voor strategieën die gebruikmaken van MT/HT-warmtetechnieken (strategieën S2 en 3f t/m h en S4) en minimaal schillabel B voor strategieën die gebruikmaken van LT-warmtetechnieken (strategieën S1 en S3a t/m e). Wanneer de kosten voor het toepassen van isolatiemaatregelen worden verhoogd, zullen de kosten van alle strategieën toenemen. Echter, de kostenverhoudingen tussen isolatiekosten en overige kosten (bijvoorbeeld energieverbruikskosten) kunnen wijzigen, waardoor de toewijzing van de voorkeursstrategie op basis van de laagste nationale kosten kan veranderen.

2.5.2 Varianten

In de hoofdberekening van de ASA2026 wordt uitgegaan van de standaardaannames voor de kosten en toepassing van energiebesparende maatregelen.

In deze gevoeligheidsanalyse wordt de onzekerheid in de kosten voor toepassing van isolatiemaatregelen verkend via twee uiterste gevoeligheden over het moment van investeren in schilsprongen:

- een variant met uitsluitend natuurlijke vervangingsmomenten, waarbij het toepassen van isolatiemaatregelen uitsluitend plaatsvinden op momenten waarop vervanging sowieso nodig is. Het toepassen van isolatiemaatregelen resulteert in lagere kosten;
- een variant met uitsluitend zelfstandige vervangingsmomenten, waarbij maatregelen onafhankelijk van natuurlijke momenten worden uitgevoerd. Het toepassen van isolatiemaatregelen resulteert in hogere kosten.

Deze varianten representeren de bandbreedte tussen lage en hoge variant voor isolatiemaatregelen.

Ter illustratie van de bandbreedte die deze twee varianten opleveren, is in Tabel 3 een voorbeeld weergegeven van de investeringskosten voor energiebesparende maatregelen bij een rijwoning van 100 m², gebouwd tussen 1965 en 1974. De tabel toont de kosten bij het bereiken van energielabel B vanaf energielabel D, voor zowel de variant met natuurlijke vervangingsmomenten (laag) als de variant met zelfstandige vervangingsmomenten (hoog).

Tabel 3 Voorbeeld investeringskosten isolatiekosten, rijwoning tussen, 1965-1974, 100m²

	Label D naar label B – Natuurlijk vervangingsmoment	Label D naar label B – Default	Label D naar label B – Zelfstandig vervangingsmoment
Investeringskosten schillabelsprong	€18.160	€21.213	€24.266

2.5.3 Modelaanpassing

Voor deze gevoeligheid zijn de kosten voor schillabelsprongen aangepast, terwijl alle overige aannames ongewijzigd zijn gehouden (ceteris paribus). De aanpassingen zijn doorgevoerd in de minimale en maximale kosten voor energiebesparende maatregelen in de bestanden [20251030_Woningen_BAG.csv](#) en [20250501_Utiliteiten_BAG.csv](#). Het volledig natuurlijk vervangingsmoment gebruikt de minimale kosten uit de bandbreedte, terwijl het volledig zelfstandig vervangingsmoment uitgaat van de maximale kosten uit de bandbreedte.

2.6 Kosten voor het verwijderen voor het gasnet

2.6.1 Beschrijving en achtergrond

In de Startanalyse worden kosten meegenomen voor het verwijderen van de huidige gasinfrastructuur wanneer woningen volledig van het gas afgaan, conform de afspraken tussen netbeheerders en de overheid⁷. Deze kosten betreffen zowel werkzaamheden aan het lagedruk (LD) gasnet als aan de bijbehorende aansluitingen. De kosten zijn opgenomen als eenmalige investeringskosten en maken onderdeel uit van de totale nationale kosten van gasloze strategieën.

De kosten voor het verwijderen voor het gasnet wordt enkel gedragen door de strategieën die geen gebruikmaken van het gasnet; de elektrische warmtepomp (S1), MT/HT-warmtenetten (S2) en LT-warmtenetten (S3). Wanneer de kosten voor het verwijderen van het gasnet lager worden, resulteert dit in lagere systeemkosten voor strategieën S1, S2 en S3.

2.6.2 Varianten

In deze gevoeligheidsanalyse wordt verkend wat het effect is wanneer wordt verondersteld dat het bestaande gasnet niet actief hoeft te worden verwijderd. Anders gezegd, sluit deze gevoeligheid ook aan bij de situatie waarin kosten voor het verwijderen van het gasnet niet worden toegerekend aan de warmtetransitie. In deze variant worden de kosten voor het verwijderen van het (LD-)gasnet daarom op nul gezet.

Tabel 4 Kostenparameters voor het verwijderen van het gasnet in de hoofdberekening en gevoeligheid

Parameter	Basis ASA 2026	Geen kosten verwijderen LD-gasnet
Ki_verw_g_laagb_min	1090.8	0
Ki_verw_g_laagb_max	1333.2	0
Ki_verw_g_hoogb_min	431.1	0
Ki_verw_g_hoogb_max	526.9	0
Ki_verw_g_util_min	1125	0
Ki_verw_g_util_max	1375	0
Ki_verw_LD_min	93.6	0
Ki_verw_LD_max	114.4	0

2.6.3 Modelaanpassing

Concreet zijn voor deze gevoeligheid alle relevante kostenparameters voor het verwijderen van het gasnet aangepast naar 0 euro, terwijl in de referentiesituatie van de ASA2026 nog kosten worden gehanteerd. Dit betreft de minimale en maximale kosten voor laagbouw, hoogbouw en utiliteitsgebouwen, evenals de kosten voor het verwijderen van het (LD-)gasnet zelf. De aangepaste parameters zijn opgenomen in het bestand [20250120_Netbeheer.csv](#)

⁷ Netbeheer Nederland. (2021). *Minister EZK geeft opheldering over regeling verwijdering aardgasaansluiting*. ([link](#))

3 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de modelruns gepresenteerd. Hierbij wordt eerst de hoofdberekening besproken, waarin wordt uitgegaan van de standaardaannames uit de ASA2026. In deze hoofdberekening wordt uitgegaan van een beschikbaarheid van 2 bcm klimaatneutraal gas per jaar, conform het uitgangspunt van ASA2025. De hoofdberekening van ASA2026 zelf gaat uit van 0 bcm klimaatneutraal gas voor individuele installaties; de vergelijking tussen beide scenario's is opgenomen in Bijlage A. Vervolgens worden de resultaten van de gevoeligheidsanalyses gepresenteerd en vergeleken met de hoofdberekening. Zo wordt verkend hoe veranderingen in belangrijke invoerparameters doorwerken in de uitkomsten.

De resultaten worden beschreven vanuit het laagste nationale kosten perspectief. Voor elke buurt wordt de strategievariant bepaald met de laagste nationale meerkosten. Een belangrijk gevolg van dit perspectief is dat verschuivingen in de nationale kosten per hoofdstrategie niet alleen ontstaan doordat de kosten van een strategie zelf veranderen, maar vaak vooral doordat buurten van de ene naar de andere hoofdstrategie verschuiven. Zo kunnen bijvoorbeeld bij een gevoeligheidsanalyse de nationale kosten van S1 afnemen, terwijl er in de onderliggende aannames van S1 zelf niets is gewijzigd: het effect ontstaat doordat een deel van de buurten overstapt van S1 naar S2, waardoor de resterende buurten binnen S1 een groter of kleiner aandeel van de kosten bepalen. Dit mechanisme speelt bij alle gevoeligheden en wordt waar relevant per paragraaf verder toegelicht

Voor de twee standaarduitkomsten die in dit hoofdstuk worden gepresenteerd, wordt een verschillend detailniveau gehanteerd. De verdeling per type aansluiting (zie hieronder) wordt bepaald op aansluitingsniveau: per gebouw wordt vastgesteld welke warmteoptie wordt toegepast. De nationale kosten worden daarentegen bepaald op buurtniveau: per hoofdstrategie worden de kosten opgeteld van alle woningequivalenten (WEQ) in de buurten waaraan die hoofdstrategie als laagste nationale kosten voorkeursstrategie is toegewezen. Deze twee niveaus zijn niet één-op-één vergelijkbaar en worden daarom afzonderlijk geïnterpreteerd. Dit onderscheid geldt voor zowel de hoofdberekening als alle gevoeligheidsanalyses.

Per variant wordt eerst een toelichting gegeven op hoe de resultaten geïnterpreteerd dienen te worden. Aansluitend worden twee standaarduitkomsten gepresenteerd waaraan deze toelichting is opgehangen:

- de verdeling per type aansluiting, waarin wordt weergegeven welke warmteopties (individuele elektrische warmtepomp (eWP), warmtenet met midden- en hogetemperatuurbron (MT- of HT-warmtenet), warmtenet met (zeer)-lagetemperatuurbron ((Z)LT-warmtenet) of hybride warmtepomp met klimaatneutraal gas (hWP)) worden gekozen;
- de nationale kosten, inclusief een uitsplitsing naar CAPEX en OPEX;

In de hoofdberekening (sectie 3.1) wordt nader toegelicht hoe deze standaarduitkomsten geïnterpreteerd dienen te worden. Daarnaast worden er per gevoeligheid aanvullende uitkomsten gepresenteerd. Deze geven specifieke en relevante inzichten uit de gevoeligheden.

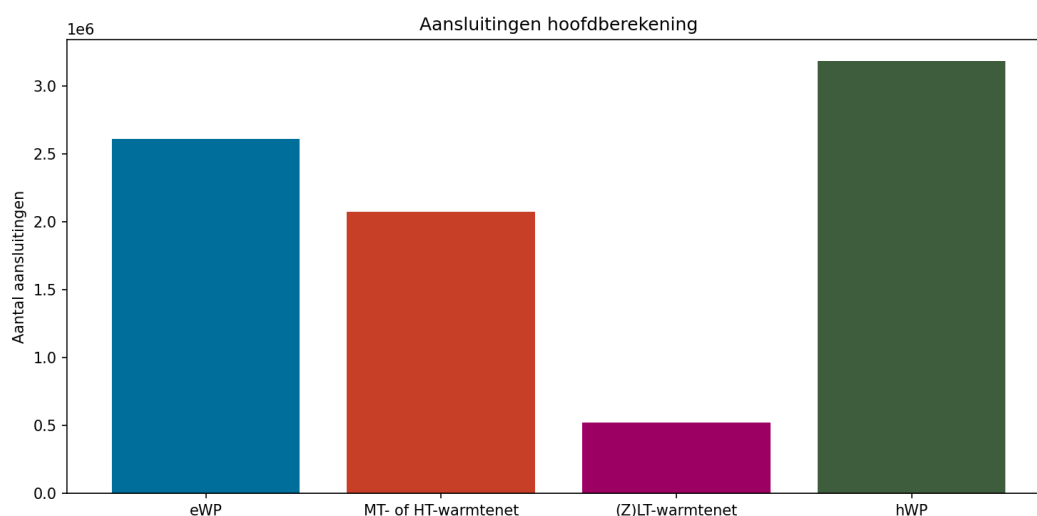
3.1 Hoofdberekening

3.1.1 Verdeling van aansluitingen

De figuur toont het aantal aansluitingen per type dat in de hoofdberekening wordt geselecteerd als de voorkeursstrategie. Belangrijk om te weten is dat deze verdeling gebaseerd is op de aansluitingen die individuele gebouwen krijgen binnen de toegewezen strategie op buurniveau. In het geval van strategie S3 kunnen individuele gebouwen twee verschillende typen aansluitingen krijgen; een gebouw kan een LT-warmtenetaansluiting krijgen of een elektrische warmtepomp aansluiting⁸. De verdeling van het aantal aansluitingen per type (gebouwniveau) wijkt daarmee af van de verdeling in strategieën (buurniveau). Hierdoor ligt het totale aantal individuele elektrische warmtepompen hoger dan het aantal gebouwen dat aan strategie S1 wordt toegewezen.

Het grootste aantal aansluitingen betreft hybride warmtepompen met klimaatneutraal gas (S4) met circa 3,18 miljoen aansluitingen (38% van het totaal). Daarna volgen individuele elektrische warmtepompen (S1 en S3) met circa 2,61 miljoen aansluitingen (31%) en MT/HT-warmtenetten (S2) met circa 2,07 miljoen aansluitingen (25%)⁹. (Z)LT-warmtenetten (S3) omvatten circa 0,52 miljoen aansluitingen (6%).

Figuur 1 Verdeling van aansluitingen naar installatietype in de hoofdberekening



3.1.2 Nationale meerkosten

De nationale meerkosten worden weergegeven per hoofdstrategie (S1 t/m S4). Hierbij wordt uitgegaan van de strategievariant die per buurt als voorkeursstrategie met de laagste nationale kosten wordt toegewezen. Voor elke hoofdstrategie worden de nationale meerkosten van alle buurten met die voorkeursstrategie opgeteld tot een cumulatief bedrag. Dit is een ander uitgangspunt dan in paragraaf 3.1.1: waar de verdeling van aansluitingen wordt weergegeven per individuele installatie. In deze paragraaf gaat de indeling in nationale meerkosten uit van

⁸ Zie de gebruikershandleiding voor meer informatie over de samenstelling van de strategie S3; PBL (2025). Gebruikshandleiding. [Link](#).

⁹ Bestaande warmtenetaansluitingen maken hier ook deel van uit, zie gebruikershandleiding voor meer informatie over hoe er in de analyse omgegaan wordt met bestaande warmtenetten; PBL (2025). Gebruikshandleiding. [Link](#).

buurten waaraan een hoofdstrategie is toegewezen, waarbij WEQs met strategie S3 binnen een buurt onderling nog verschillende individuele installaties kunnen hebben. Dit is hetzelfde bij de overige gevoeligheden.

De nationale meerkosten zijn de jaarlijkse kosten voor een strategie voor 2030 ten opzichte van de referentie in 2030, waarbij de huidige aardgasinfrastructuur in stand wordt gehouden. De CAPEX- en OPEX-bedragen in diezelfde tabel betreffen geen meerkosten, maar de absolute jaarlijkse kosten per strategie (dus niet ten opzichte van de referentiesituatie).

Er zijn hier duidelijke verschillen te zien. In absolute termen zijn de meerkosten het hoogst voor S3 met circa €3,8 miljard per jaar, gevolgd door S4 met circa €3,0 miljard per jaar, S2 met circa €2,4 miljard per jaar en S1 met circa €1,0 miljard per jaar. Deze totale bedragen worden mede bepaald door het aantal aansluitingen binnen iedere strategie, en de lokaal specifieke context waar de aansluiting wordt toegepast en zijn daarom niet één-op-één vergelijkbaar als kostenmaatstaf per aansluiting.

Tabel 5 Totale nationale meerkosten en absolute CAPEX en OPEX per hoofdstrategie in de hoofdberekening

Strategie	Meerkosten totaal (M€ / jaar)	CAPEX absoluut totaal (M€ / jaar)	OPEX absoluut totaal (M€ / jaar)
S1	950	1201	731
S2	2359	2190	3138
S3 ¹⁰	3829	4482	4228
S4	2971	2390	5465

De meerkosten per woningequivalent hebben eveneens betrekking op de WEQ's binnen de buurten waaraan de betreffende hoofdstrategie is toegewezen, niet op WEQ's per individuele aansluiting.

Op basis van de meerkosten per woningequivalent (WEQ) ontstaat een ander beeld. De laagste gemiddelde meerkosten liggen bij S4 met circa €856 per WEQ per jaar, gevolgd door S2 met circa €947 per WEQ per jaar. S3 komt uit op circa €1.067 per WEQ per jaar en S1 op circa €1.185 per WEQ per jaar. Dit betekent dat S4 en S2 in de hoofdberekening gemiddeld de laagste meerkosten per woningequivalent kennen in buurten waar deze strategieën de laagste nationale meerkosten hebben, terwijl S1 hogere gemiddelde meerkosten heeft.

De kostenopbouw verschilt bovendien sterk per strategie. S1 kent relatief hoge CAPEX per WEQ, wat past bij de investeringen in individuele elektrische warmtepompen en isolatiemaatregelen voor energiebesparing. S4 heeft juist relatief lage CAPEX per WEQ, maar de hoogste OPEX per WEQ door het gebruik van klimaatneutraal gas in hybride systemen. S2 en S3 liggen hier tussenin, waarbij S3 zowel relatief hoge CAPEX als OPEX laat zien.

¹⁰ In buurten waar S3 als voorkeursstrategie is toegewezen, bestaat een deel van de aansluitingen uit individuele warmtepompen (eWP), naast (Z)LT-warmtenetaansluitingen. De nationale meerkosten die in deze paragraaf voor S3 worden weergegeven, omvatten daardoor zowel de kosten van de collectieve als van de individuele installaties binnen die buurten. Dit wijkt af van paragraaf 3.1.1, waar de individuele warmtepompen die onderdeel zijn van een S3-buurt, apart worden weergegeven bij de individuele-installatiebalk.

Tabel 6 Nationale meerkosten en absolute CAPEX en OPEX per WEQ en hoofdstrategie in de hoofdberekening

Hoofdstrategie	Meerkosten per WEQ (€ / jaar)	CAPEX absoluut per WEQ (€ / jaar)	OPEX absoluut per WEQ (€ / jaar)
S1	1185	1498	911
S2	947	879	1260
S3	1067	1249	1178
S4	856	689	1575

3.2 Maatschappelijke discontovoet

3.2.1 Toelichting

De nationale kosten van een strategie bestaan uit de combinatie van de CAPEX en OPEX. De hoogte van de maatschappelijke discontovoet bepaalt hoe de CAPEX wordt vertaald naar jaarlijkse kapitaallasten (via annuïteiten). Dit betekent dat de verhouding tussen de CAPEX en OPEX van een strategie bepaalt in welke mate een strategie gevoelig is voor wijzigingen in de maatschappelijke discontovoet. Daarnaast speelt ook de economische levensduur van de onderliggende investeringen een rol: bij een langere levensduur wordt de CAPEX over meer jaren uitgesmeerd, waardoor de jaarlijkse kapitaallasten sterker worden beïnvloed door de hoogte van de discontovoet. Verschillen in levensduur tussen én binnen strategieën beïnvloeden daarmee, naast de CAPEX/OPEX-verhouding, ook de mate waarin een strategie gevoelig is voor wijzigingen in de maatschappelijke discontovoet.

De onderstaande tabel laat de verhouding CAPEX zien ten opzichte van de totale nationale kosten per strategie in de hoofdberekening. Deze verhouding is gebaseerd op de nationale meerkosten gepresenteerd in sectie 3.2.3. De strategieën met een hoog aandeel CAPEX (en een laag aandeel OPEX) zijn gevoeliger voor wijzigingen in de maatschappelijke discontovoet dan de strategieën met een laag aandeel CAPEX (en een hoog aandeel OPEX).

Strategie	Aandeel CAPEX (%)
S1	62%
S2	41%
S3	51%
S4	30%

MT/HT-warmtenetten (S2) wordt doorgaans gekenmerkt als een kapitaalintensieve investering doordat er nieuwe energie-infrastructuur moet worden gerealiseerd. Deze investeringen in de energie-infrastructuur worden voor bijv. individuele elektrische warmtepompen (S1) beperkter ervaren, omdat er gebruikgemaakt kan worden van de bestaande elektriciteitsinfrastructuur. Echter, de CAPEX van een strategie in de Startanalyse bestaat niet enkel uit de investeringen in de energie-infrastructuur, maar ook uit de investeringen in de gebouwschil voor energiebesparing. Voor S2 (isoleren naar minimaal doel schillabel D) zijn deze kosten weer lager dan voor S1 (isoleren naar minimaal doel schillabel B) omdat de minimale benodigde isolatiegraad voor de betreffende warmtetechniek lager is. In de bovenstaande tabel zie je dan ook dat wanneer je integraal naar de totale CAPEX van een strategie kijkt, het aandeel CAPEX in de totale nationale kosten voor S1 hoger is dan voor strategie S2 in de situatie waarbij elke buurt

de strategie krijgt met de laagste nationale kosten. De kosten voor gebouwverbeteringen wegen dus veel in de kostenverhouding.

De kostenverhouding heeft ook een directe relatie tot de toewijzing van een voorkeursstrategie met de laagste nationale kosten. Dit zien we dan ook terug in de verdeling van de typen aansluitingen in sectie 3.2.2. Wanneer de maatschappelijke discontovoet van 2,25% toeneemt naar 2,8% of 6%, worden S1 en S3 (met een hoger aandeel CAPEX) relatief duurder dan strategie S2 (met een lager aandeel CAPEX). Dit resulteert erin dat S1 en S3 met een hogere maatschappelijke discontovoet minder aantrekkelijk worden en dat minder buurten deze strategieën als voorkeursoptie krijgen toegewezen. S2 vangt deze lagere aantrekkelijkheid vervolgens op. Strategie S4 kent ook een lager aandeel CAPEX, maar in verband met de beperkte beschikbaarheid van klimaatneutraalgas kan deze strategie de verminderde aantrekkelijkheid van S1 en S3 niet opvangen. Er vindt slechts een kleine wijziging plaats in de toewijzing van S4 als voorkeursstrategie in verband met de herverdeling van klimaatneutraal gas over buurten.

Tabel 7 Nationale meerkosten en absolute CAPEX en OPEX per hoofdstrategie per WEQ bij alternatieve maatschappelijke discontovoeten

Gevoeligheid	Hoofdstrategie	Meerkosten per WEQ (€ / jaar)	Meerkosten per WEQ verschil t.o.v. basis (%)	CAPEX absoluut per WEQ (€ / jaar)	CAPEX absoluut per WEQ verschil t.o.v. basis (%)	OPEX absoluut per WEQ (€ / jaar)	OPEX absoluut per WEQ verschil t.o.v. basis (%)
Maatschappelijke discontovoet 2.8%	S1	1284	+8%	1597	+7%	911	+0%
	S2	1019	+8%	951	+8%	1265	+0%
	S3	1147	+7%	1321	+6%	1188	+1%
	S4	891	+4%	723	+5%	1578	+0%
Maatschappelijke discontovoet 6%	S1	1930	+63%	2231	+49%	919	+1%
	S2	1480	+56%	1404	+60%	1277	+1%
	S3	1637	+53%	1759	+41%	1276	+8%
	S4	1114	+30%	947	+37%	1586	+1%

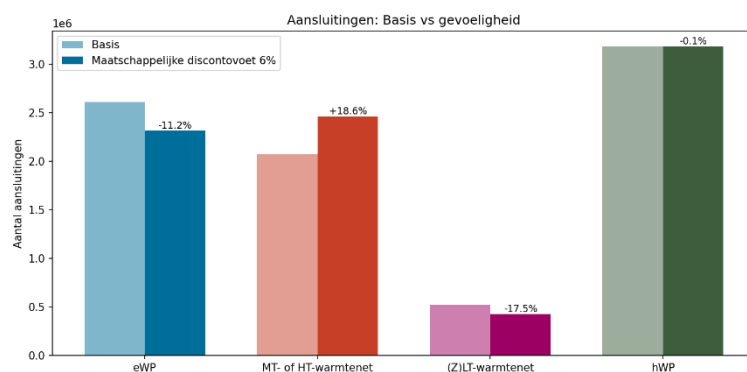
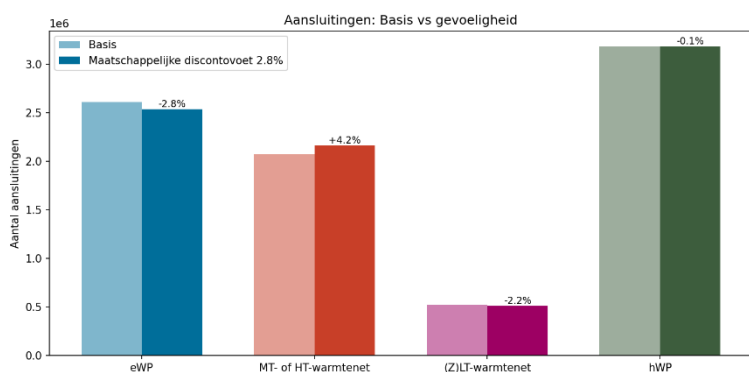
3.2.2 Verdeling van aansluitingen

De verdeling van aansluitingen verschuift zichtbaar wanneer de maatschappelijke discontovoet wordt verhoogd. Het effect is beperkt bij een discontovoet van 2,8%, maar wordt duidelijker bij een discontovoet van 6%. Bij een maatschappelijke discontovoet van 2,8% neemt het aantal aansluitingen met individuele elektrische warmtepompen licht af (-3%). Ook het aantal aansluitingen op LT-warmtenetten daalt beperkt (-2%). Daartegenover staat een toename van het aantal aansluitingen op MT/HT-warmtenetten (+4%). Het aantal aansluitingen op hybride warmtepompen blijft vrijwel gelijk (<1%).

Bij een maatschappelijke discontovoet van 6% worden deze verschuivingen duidelijker. Het aantal aansluitingen met individuele elektrische warmtepompen neemt af (-11%) en ook het aantal LT-warmtenetaansluitingen daalt zichtbaar (-18%). Het aantal aansluitingen op MT/HT-

warmtenetten neemt juist sterk toe (+19%). Het aantal aansluitingen op hybride warmtepompen blijft opnieuw vrijwel constant (<1%).

Daarmee verschuift de verdeling van aansluitingen vooral van individuele elektrische warmtepompen en LT-warmtenetten richting MT/HT-warmtenetten. De hybride warmtepomp blijft in beide varianten vrijwel stabiel.



3.2.3 Nationale Kosten

De verhoging van de maatschappelijke discontovoet leidt tot hogere nationale kosten voor alle strategieën, waarbij het effect duidelijk sterker wordt naarmate de discontovoet verder stijgt.

Bij een maatschappelijke discontovoet van 2,8% nemen de totale meerkosten toe voor alle strategieën. De stijging is het grootst voor S1 (+18% tot €1.125 mln/jaar) en S2 (+13% tot €2.660 mln/jaar). Voor S3 en S4 blijft de stijging beperkter, met respectievelijk +2% en +4%. De toename is vooral zichtbaar in de CAPEX, met stijgingen van +17% voor S1, +13% voor S2 en +5% voor S4. S3 blijft op totaal CAPEX-niveau vrijwel gelijk.

Bij een maatschappelijke discontovoet van 6% worden de verschillen groter. De totale meerkosten nemen sterk toe voor S1 (+175% tot €2.611 mln/jaar) en S2 (+88% tot €4.435 mln/jaar). Ook S4 stijgt duidelijk (+31% tot €3.886 mln/jaar), terwijl de toename bij S3 beperkter blijft (+7% tot €4.115 mln/jaar). De stijging wordt vooral gedreven door hogere jaarlijkse kapitaallasten: de CAPEX neemt toe met +151% voor S1, +92% voor S2 en +38% voor S4.

Tabel 8 Nationale meerkosten en absolute CAPEX en OPEX per hoofdstrategie bij alternatieve maatschappelijke discontovoeten

Gevoeligheid	Hoofdstrategie	Meerkosten totaal (M€ / jaar)	Meerkosten totaal verschil t.o.v. basis (%)	CAPEX absoluut totaal (M€ / jaar)	CAPEX absoluut totaal verschil t.o.v. basis (%)	OPEX absoluut totaal (M€ / jaar)	OPEX absoluut totaal verschil t.o.v. basis (%)
Maatschappelijke discontovoet 2.8%	S1	1125	+18%	1400	+17%	798	+9%
	S2	2660	+13%	2481	+13%	3300	+5%
	S3	3891	+2%	4480	-0%	4032	-5%

	S4	3094	+4%	2512	+5%	5481	+0%
Maatschappelijke discontovoet 6%	S1	2611	+175%	3018	+151%	1544	+70%
	S2	4435	+88%	4207	+92%	3828	+22%
	S3	4115	+7%	4420	-1%	3208	-24%
	S4	3886	+31%	3304	+38%	5533	+1%

Op basis van de meerkosten per WEQ ontstaat hetzelfde beeld, maar minder sterk dan bij de totale kosten. Bij 2,8% stijgen de meerkosten per WEQ met +8% voor S1 en S2, +7% voor S3 en +4% voor S4. Bij 6% nemen de meerkosten per WEQ veel sterker toe, met +63% voor S1, +56% voor S2, +53% voor S3 en +30% voor S4.

3.3 Prijs van klimaatneutraal gas

3.3.1 Toelichting

De prijs van klimaatneutraal gas heeft impact op de OPEX van MT/HT-warmtenetten (S2) en de hybride warmtepomp (S4). Klimaatneutraal gas wordt in S2 gebruikt voor de bijstook van hulp- en back-upketels van warmtenetten. In de Startanalyse wordt standaard aangenomen dat 20% van het volume van de geleverde warmte uit warmtenetten wordt geleverd middels deze bijstook. Klimaatneutraal gas wordt in S4 gebruikt voor het leveren van warmte tijdens pieklast voor ruimteverwarming, zo'n 22% van het volume voor warmtelevering van ruimteverwarming en voor het verwarmen van tapwater. Een hogere klimaatneutrale gasprijs zorgt voor een hogere OPEX voor S2 en S4, wat te zien is in nationale kosten gepresenteerd in sectie 0)

De hogere klimaatneutrale gasprijs heeft een directe relatie tot de toewijzing van een voorkeursstrategie (met de laagste nationale kosten). Wanneer de klimaatneutrale gasprijs stijgt, worden S2 en S4 duurder. Dit resulteert erin dat S2 en S4 minder aantrekkelijk worden en dat minder buurten deze strategieën als de voorkeursstrategie krijgen toegewezen. De elektrische warmtepompen (S1) en LT-warmtenet (S3) vangen deze lagere aantrekkelijkheid vervolgens op. Deze trends zijn weergegeven in de verdeling van de typen aansluitingen in sectie 3.3.2.

Wanneer we de verschillende stijgingen in de prijs van klimaatneutraal gas met elkaar vergelijken, valt op dat een stijging tot een klimaatneutrale gasprijs van 2,50 EUR/m³ enkel de toewijzing van S2 wordt aangetast. De toewijzing van S4 verandert nauwelijks, slechts enkele kleine verschillen als gevolg van de uitwisseling van het beschikbare klimaatneutrale gas tussen buurten. Dat komt omdat tot en met deze prijs, S4 nog aantrekkelijk is ten opzichte van de andere strategieën. De maximale beschikbaarheid van het gas wordt tot deze prijs gebruikt. Vanaf de klimaatneutrale gasprijs van 2,75 euro/m³ zien we dan het aantal buurten dat de strategie S4 krijgt toegewezen daalt. Vanaf deze prijs is het gebruik van klimaatneutraal gas in S4 niet altijd aantrekkelijker dan de andere strategieën, en wordt de maximale totale beschikbaarheid van klimaatneutraal gas niet meer benut.

Bij deze gevoeligheid is het relevant om te zien welke buurten ook bij de hoogste gasprijs nog S4 blijven. De onderstaande tabel laat voor de hoogste gasprijsvariant (3,5 euro/m³) zien hoe buurten verschuiven tussen de strategieën ten opzichte van de hoofdberekening. Het laat zien dat de hogere prijs van klimaatneutraal gas vooral leidt tot verschuivingen vanuit S4 en S2 naar S1 en S3. S1 en S3 blijken weinig te veranderen, terwijl S4 juist het grootste deel van de

toegewezen buurten verliest. Dit sluit aan bij de waargenomen afname van de aantrekkelijkheid van strategieën die gebruikmaken van klimaatneutraal gas.

Tabel 9 Verschuivingen van het aantal buurten bij hoge kosten voor klimaatneutraal gas

Gevoeligheid klimaatneutraal gas 3.5 → Basis ↓	S1	S2	S3	S4
S1	1302	0	158	0
S2	233	135	1188	144
S3	220	0	3671	1
S4	4523	0	1961	716

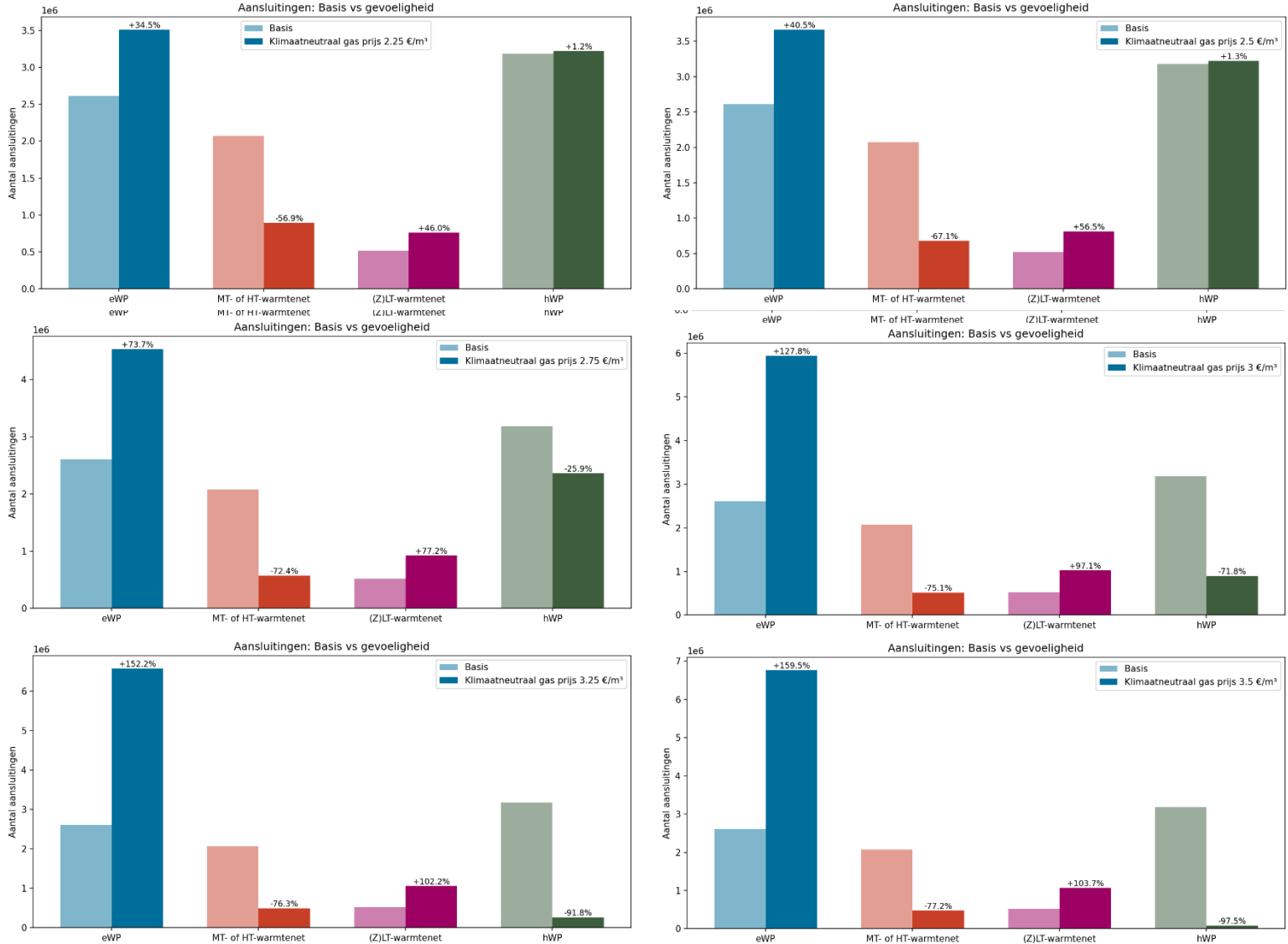
3.3.2 Verdeling van aansluitingen

De verdeling van aansluitingen reageert sterk op de prijs van klimaatneutraal gas. Naarmate de gasprijs stijgt, neemt het aantal aansluitingen met individuele elektrische warmtepompen en LT-warmtenetten toe, terwijl het aantal aansluitingen op MT/HT-warmtenetten sterk afneemt.

Bij lagere gasprijsvarianten is dit patroon al zichtbaar. Bij een gasprijs van €1,75 per m³ stijgt het aantal aansluitingen met individuele elektrische warmtepompen met +19% (3.116.825 aansluitingen) en het aantal LT-warmtenetaansluitingen met +28% (665.289 aansluitingen). Het aantal aansluitingen op MT/HT-warmtenetten daalt in dezelfde variant met -33%. Het aantal aansluitingen op hybride warmtepompen blijft dan nog vrijwel gelijk (+<1%).

Bij verdere stijging van de gasprijs worden deze verschuivingen sterker. Bij een gasprijs van €2,50 per m³ neemt het aantal individuele elektrische warmtepompen toe met +41% en het aantal LT-warmtenetaansluitingen met +57%. Het aantal MT/HT-warmtenetaansluitingen daalt dan met -67%. Het aantal hybride warmtepompaansluitingen blijft tot en met deze variant nog grotendeels stabiel (+1%). Vanaf een gasprijs van €2,75 per m³ verandert ook het aantal aansluitingen op hybride warmtepompen duidelijk. Bij €2,75 per m³ daalt het aantal hybride warmtepompaansluitingen met -26%. In de hoogste gasprijsvariant (€3,50 per m³) is deze daling zeer groot (-98%). Tegelijkertijd nemen individuele elektrische warmtepompen (+160%) en LT-warmtenetten (+104%) sterk toe, terwijl MT/HT-warmtenetten sterk afnemen (-77%).

De gevoeligheid voor klimaatneutraal gas leidt daarmee tot een duidelijke verschuiving van gasgerelateerde en MT/HT-oplossingen richting individuele elektrische warmtepompen en LT-warmtenetten, vooral in de hogere prijsvarianten.



3.3.3 Nationale kosten

De verhoging van de prijs van klimaatneutraal gas leidt tot duidelijke verschuivingen in de nationale kosten. De effecten nemen stapsgewijs toe naarmate de gasprijs verder stijgt.

Bij prijsstijgingen, tot en met een gasprijs van €2,50 per m³, nemen de totale meerkosten vooral toe voor S1, S3 en S4. Bij een gasprijs van €2,50 per m³ stijgen de totale meerkosten van S1 met +32% tot €1.259 mln/jaar, van S3 met +50% tot €5.762 mln/jaar en van S4 met +71% tot €5.074 mln/jaar. Voor S2 nemen de totale meerkosten in dezelfde variant juist sterk af (-68% tot €758 mln/jaar).

Bij hogere gasprijzen verandert het beeld verder. Vanaf €2,75 per m³ nemen de totale meerkosten van S4 minder eenduidig toe, doordat het aantal aansluitingen met hybride warmte-

pompen sterk afneemt. In de hoogste variant (€3,50 per m³) dalen de totale meerkosten van S4 tot €462 mln/jaar (-84% ten opzichte van de hoofdberekening), terwijl S1 en S3 juist sterk toenemen. S1 stijgt tot €4.124 mln/jaar (+334%) en S3 tot €8.929 mln/jaar (+133%).

Tabel 10 Nationale meerkosten en absolute CAPEX en OPEX per hoofdstrategie bij alternatieve prijzen van klimaatneutraal gas

Gevoeligheid	Hoofdstrategie	Meerkosten totaal (M€ / jaar)	Meerkosten totaal t.o.v. basis (%)	CAPEX absoluut totaal (M€ / jaar)	CAPEX absoluut totaal t.o.v. basis (%)	OPEX absoluut totaal (M€ / jaar)	OPEX absoluut totaal t.o.v. basis (%)
Prijs van klimaatneutraal gas 1.75	S1	1083	+14%	1361	+13%	819	+12%
	S2	1662	-30%	1246	-43%	2314	-26%
	S3	4754	+24%	5479	+22%	5099	+21%
	S4	3853	+30%	2414	+1%	6334	+16%
Prijs van klimaatneutraal gas 2	S1	1153	+21%	1445	+20%	869	+19%
	S2	1309	-44%	854	-61%	1900	-39%
	S3	5171	+35%	5907	+32%	5470	+29%
	S4	4242	+43%	2418	+1%	6728	+23%
Prijs van klimaatneutraal gas 2.25	S1	1210	+27%	1511	+26%	910	+25%
	S2	1072	-55%	598	-73%	1606	-49%
	S3	5441	+42%	6169	+38%	5723	+35%
	S4	4646	+56%	2426	+2%	7140	+31%
Prijs van klimaatneutraal gas 2.5	S1	1259	+32%	1568	+31%	937	+28%
	S2	758	-68%	327	-85%	1211	-61%
	S3	5762	+50%	6468	+44%	6024	+42%
	S4	5074	+71%	2434	+2%	7600	+39%
Prijs van klimaatneutraal gas 2.75	S1	1824	+92%	2264	+88%	1318	+80%
	S2	427	-82%	183	-92%	693	-78%
	S3	6793	+77%	7656	+71%	6781	+60%
	S4	4263	+43%	1808	-24%	6319	+16%
Prijs van klimaatneutraal gas 3	S1	3107	+18%	3844	+220%	2145	+193%
	S2	373	+51%	111	-51%	621	-80%
	S3	8168	+31%	9179	+25%	7777	+84%
	S4	1934	+28%	726	-40%	2892	-47%
Prijs van klimaatneutraal gas 3.25	S1	3875	+308%	4788	+299%	2643	+262%
	S2	347	-85%	74	-97%	570	-82%
	S3	8707	+127%	9723	+117%	8188	+94%
	S4	804	-73%	231	-90%	1231	-77%
Prijs van klimaatneutraal gas 3.5	S1	4124	+334%	5100	+325%	2827	+287%
	S2	324	-86%	51	-98%	533	-83%
	S3	8929	+133%	9906	+121%	8356	+98%
	S4	462	-84%	80	-97%	700	-87%

Op basis van de meerkosten per WEQ ontstaat een genuanceerder beeld. De verschillen tussen strategieën zijn kleiner dan bij de totale meerkosten, omdat wordt gecorrigeerd voor veranderingen in het aantal aangesloten WEQ. Hierdoor wordt zichtbaar in welke mate de gasprijs de kosten per aansluiting beïnvloedt, los van verschuivingen in de verdeling van aansluitingen. De meerkosten per WEQ van S4 stijgen sterk naarmate de gasprijs toeneemt: van +28% bij €1,75 per m³ tot +141% bij €3,50 per m³. Ook S2 wordt per WEQ duurder, met een stijging van +10% bij €1,75 per m³ tot +77% bij €3,50 per m³. Voor S1 en S3 nemen de meerkosten per WEQ eveneens toe, maar minder sterk: bij de hoogste gasprijsvariant met respectievelijk +25% en +17%.

Tabel 11 Nationale meerkosten en absolute CAPEX en OPEX per hoofdstrategie per WEQ bij alternatieve prijzen van klimaatneutraal gas

Gevoeligheid	Hoofdstrategie	Meerkosten per WEQ (€ / jaar)	Meerkosten per WEQ verschil t.o.v. basis (%)	CAPEX absoluut per WEQ (€ / jaar)	CAPEX absoluut per WEQ verschil t.o.v. basis (%)	OPEX absoluut per WEQ (€ / jaar)	OPEX per absoluut WEQ verschil t.o.v. basis (%)
Prijs van klimaatneutraal gas 1.75	S1	1199	+1%	1507	+1%	907	-0%
	S2	1041	+10%	780	-11%	1449	+15%
	S3	1095	+3%	1262	+1%	1175	-0%
	S4	1098	+28%	688	-0%	1804	+15%
Prijs van klimaatneutraal gas 2	S1	1208	+2%	1514	+1%	910	-0%
	S2	1079	+14%	703	-20%	1566	+24%
	S3	1110	+4%	1268	+2%	1174	-0%
	S4	1203	+41%	686	-0%	1909	+21%
Prijs van klimaatneutraal gas 2.25	S1	1213	+2%	1516	+1%	913	+0%
	S2	1157	+22%	645	-27%	1734	+38%
	S3	1115	+4%	1265	+1%	1173	-0%
	S4	1308	+53%	683	-1%	2011	+28%
Prijs van klimaatneutraal gas 2.5	S1	1219	+3%	1519	+1%	908	-0%
	S2	1230	+30%	530	-40%	1963	+56%
	S3	1127	+6%	1265	+1%	1178	+0%
	S4	1413	+65%	678	-2%	2117	+34%
Prijs van klimaatneutraal gas 2.75	S1	1295	+9%	1608	+7%	936	+3%
	S2	1241	+31%	530	-40%	2013	+60%
	S3	1167	+9%	1315	+5%	1165	-1%
	S4	1534	+79%	651	-6%	2274	+44%
Prijs van klimaatneutraal gas 3	S1	1407	+19%	1742	+16%	972	+7%
	S2	1386	+46%	414	-53%	2309	+83%
	S3	1213	+14%	1363	+9%	1155	-2%
	S4	1694	+98%	636	-8%	2534	+61%
	S1	1465	+24%	1810	+21%	999	+10%
	S2	1557	+64%	334	-62%	2553	+103%

Prijs van	S3	1234	+16%	1378	+10%	1161	-1%
klimaatneutraal gas 3.25	S4	1875	+119%	539	-22%	2871	+82%
Prijs van	S1	1486	+25%	1838	+23%	1019	+12%
klimaatneutraal gas 3.5	S2	1674	+77%	264	-70%	2756	+119%
	S3	1247	+17%	1384	+11%	1167	-1%
	S4	2064	+141%	358	-48%	3127	+99%

3.4 Prijs van klimaatneutrale elektriciteit

3.4.1 Toelichting

De prijs van klimaatneutrale elektriciteit heeft impact op de OPEX van alle strategieën. Verhoudingsgewijs maken de elektrische warmtepompen (S1 en S3¹¹) meer gebruik van elektriciteit ten opzichte van de andere warmteopties. MT/HT-warmtenetten (S2) maken slechts beperkt gebruik van elektriciteit; voor o.a. het produceren van warmte bij een geothermiebron en het transporteren van warmte in een warmtenet. Bij hybride warmtepompen (S4) wordt in beperkte mate elektriciteit gebruikt; enkel de basislast voor de warmtelevering van ruimteverwarming (78% van de volumevraag voor ruimteverwarming).

In deze gevoeligheidsanalyse verkennen we een lagere en een hogere klimaatneutrale elektriciteitsprijs ten opzichte van de hoofdberekening. Wanneer de klimaatneutrale elektriciteitsprijs lager is, zien we in de nationale kosten van sectie 0 dat S1 en S3 (die meer gebruikmaken van elektriciteit) lagere kosten hebben. S1 en S3 worden daarmee ook vaker toegewezen als de voorkeursoptie (met laagste nationale kosten) ten koste van strategie S2, zoals te zien in de verdeling van de aansluitingen in sectie 3.4.2. Strategie S4 ondervindt geen impact van een lage elektriciteitsprijs; ondanks een forse daling van de elektriciteitsprijs blijft de toekenning als voorkeursoptie gelijk.

Wanneer de klimaatneutrale elektriciteitsprijs hoger is, zien we het tegenovergestelde effect. Strategieën S1 en S3 worden duurder, minder aantrekkelijk en minder vaak toegewezen. Als gevolg van de beperkte maximale beschikbaarheid van klimaatneutraal gas kan strategie S4 in deze situatie niet vaker toegewezen worden en de verminderde aantrekkelijkheid van S1 en S3 opvangen. Enkel strategie S2 vangt daarom deze lagere aantrekkelijkheid vervolgens op. De bovenbeschreven trends zien we terug in de verdeling van de aansluitingen

3.4.2 Verdeling van aansluitingen

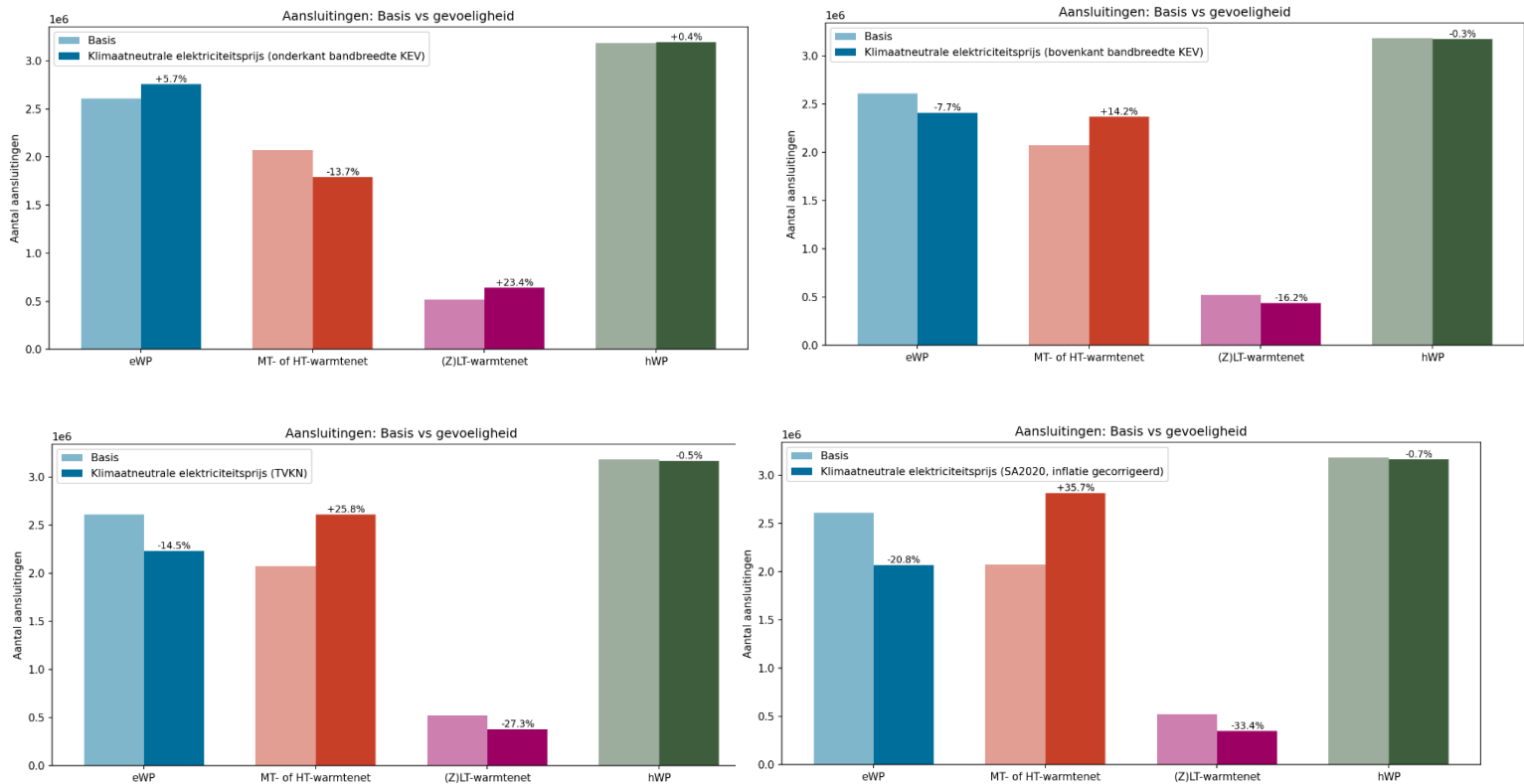
De verdeling van aansluitingen verschuift zichtbaar met de elektriciteitsprijs, maar blijft binnen een relatief beperkte bandbreedte.

Bij een lagere elektriciteitsprijs (KEV 2024 onderkant bandbreedte) neemt het aantal aansluitingen met individuele elektrische warmtepompen toe, evenals het aantal aansluitingen binnen LT-warmtenetoplossingen. Tegelijkertijd neemt het aantal aansluitingen op MT/HT-warmtenetten af.

¹¹ Strategie S3 bestaat uit een van LT-warmtenet-cluster in een buurt, aangevuld met individuele elektrische warmtepomp-aansluitingen voor de panden die niet zijn aangesloten op dit cluster.

Bij een hogere elektriciteitsprijs (KEV 2024 bovenkant bandbreedte en TVKN) wordt het omgekeerde patroon zichtbaar. Het aantal aansluitingen met individuele elektrische warmtepompen en binnen LT-oplossingen neemt af, terwijl het aantal aansluitingen op MT/HT-warmtenetten toeneemt. Dit effect wordt sterker bij de hoogste prijsvariant (SA2020).

Het aantal aansluitingen op hybride warmtepompen verandert in alle varianten slechts beperkt en blijft relatief stabiel ten opzichte van de hoofdberekening.



3.4.3 Nationale kosten

De variatie in de prijs van klimaatneutrale elektriciteit leidt tot duidelijke, maar niet uniforme veranderingen in de nationale kosten per strategie. Bij een lagere elektriciteitsprijs (KEV onderkant bandbreedte) dalen de totale meerkosten voor S2 en S4 met respectievelijk -18% (€1.925 mln/jaar) en -5% (€2.825 mln/jaar), terwijl S1 en S3 licht toenemen (+2% en +3%).

Wanneer de elektriciteitsprijs toeneemt (KEV bovenkant bandbreedte), verschuift dit beeld. S2 laat dan een sterke stijging zien van +20% (€2.824 mln/jaar), terwijl S4 beperkt toeneemt (+5%). Voor S1 en S3 is de ontwikkeling gemengd, met respectievelijk -3% en -5%, waarbij ook CAPEX afneemt (-7% en -8%).

In de varianten met hogere elektriciteitsprijzen (TVKN en SA2020) nemen de verschillen verder toe. Met name bij SA2020 (variant binnen deze gevoeligheidsanalyse) stijgen de totale meerkosten voor S2 (+52% naar €3.575 mln/jaar) en voor S4 (+13% naar €3.350 mln/jaar), terwijl S1 juist afneemt (-16% naar €796 mln/jaar). S3 laat in deze variant eveneens een daling zien van -12%.

Tabel 12 Nationale meerkosten en absolute CAPEX en OPEX per hoofdstrategie bij alternatieve prijzen van klimaatneutrale elektriciteit

Gevoeligheid	Hoofdstrategie	Meerkosten totaal (M€ / jaar)	Meerkosten totaal t.o.v. basis (%)	CAPEX absoluut totaal (M€ / jaar)	CAPEX absoluut totaal t.o.v. basis (%)	OPEX absoluut totaal (M€ / jaar)	OPEX absoluut totaal t.o.v. basis (%)
Prijs van klimaatneutrale elektriciteit KEV onderkant bandbreedte	S1	970	+2%	1292	+8%	652	-11%
	S2	1925	-18%	1781	-19%	2370	-24%
	S3	3954	+3%	4811	+7%	3872	-8%
	S4	2825	-5%	2404	+1%	4976	-9%
Prijs van klimaatneutrale elektriciteit KEV bovenkant bandbreedte	S1	921	-3%	1112	-7%	793	+9%
	S2	2824	+20%	2628	+20%	4033	+29%
	S3	3650	-5%	4108	-8%	4440	+5%
	S4	3121	+5%	2379	-0%	5965	+9%
Prijs van klimaatneutrale elektriciteit TVKN	S1	865	-0%	1004	-16%	805	+10%
	S2	3230	-0%	3008	+37%	4868	+55%
	S3	3496	+4%	3813	-15%	4551	+8%
	S4	3247	+10%	2371	-1%	6380	+17%
Prijs van klimaatneutrale elektriciteit SA2020	S1	796	-16%	896	-25%	787	+8%
	S2	3575	+52%	3333	+52%	5606	+79%
	S3	3370	-12%	3576	-20%	4618	+9%
	S4	3350	+13%	2362	-1%	6722	+23%

Op basis van de meerkosten per WEQ blijven de veranderingen beperkter, maar consistent in richting. Bij de hoogste elektriciteitsprijzen (SA2020) stijgen de meerkosten per WEQ met circa +10% voor S1, +9% voor S2, +12% voor S3 en +13% voor S4. Bij lage elektriciteitsprijzen (KEV onderkant) dalen deze juist met circa -5% voor alle strategieën.

Tabel 13 Nationale meerkosten en absolute CAPEX en OPEX per hoofdstrategie per WEQ bij alternatieve prijzen van klimaatneutrale elektriciteit

Gevoeligheid	Hoofdstrategie	Meerkosten per WEQ (€ / jaar)	Meerkosten per WEQ verschil t.o.v. basis (%)	CAPEX absoluut per WEQ (€ / jaar)	CAPEX absoluut per WEQ verschil t.o.v. basis (%)	OPEX absoluut per WEQ (€ / jaar)	OPEX absoluut per WEQ verschil t.o.v. basis (%)
Prijs van klimaatneutrale elektriciteit KEV onderkant bandbreedte	S1	1129	-5%	1504	+0%	759	-17%
	S2	910	-4%	842	-4%	1120	-11%
	S3	1016	-5%	1236	-1%	995	-16%
	S4	811	-5%	690	+0%	1428	-9%
Prijs van klimaatneutrale elektriciteit KEV bovenkant bandbreedte	S1	1243	+5%	1501	+0%	1071	+18%
	S2	980	+3%	912	+4%	1400	+11%
	S3	1119	+5%	1259	+1%	1361	+16%
	S4	900	+5%	686	-0%	1720	+9%
Prijs van klimaatneutrale elektriciteit TVKN	S1	1274	+8%	1478	-1%	1186	+30%
	S2	1008	+6%	939	+7%	1520	+21%
	S3	1163	+9%	1269	+2%	1514	+29%
	S4	938	+10%	685	-1%	1842	+17%
Prijs van klimaatneutrale elektriciteit SA2020	S1	1306	+10%	1470	-2%	1292	+42%
	S2	1030	+9%	960	+9%	1615	+28%
	S3	1198	+12%	1271	+2%	1642	+39%
	S4	968	+13%	683	-1%	1943	+23%

3.5 Thermische capaciteit van restwarmte-puntbronnen

3.5.1 Toelichting

De beschikbaarheid van restwarmtebronnen beïnvloedt de mogelijkheden die buurten hebben om van het aardgas af te stappen. Wanneer er meer thermische capaciteit van restwarmtebronnen beschikbaar wordt gesteld voor de warmtetransitie, kunnen er meer buurten aanspraak op maken. Dit gaat dan specifiek over de MT/HT-warmtenetten (S2) en LT-warmtenetten (S3) die gebruikmaken van restwarmtebronnen. De beschikbaarheid van restwarmte heeft dus geen invloed op de kosten van warmtenetten (zie de nationale kosten van sectie 3.5.3), maar wel de 'keuzeruimte' en daarmee op de toewijzing van de voorkeursstrategie (zie de verdeling van de typen aansluiting in sectie 3.5.2).

Wanneer de thermische capaciteit van restwarmtebronnen met +50% is toegenomen, zien we weinig verschillen in de verdeling van aantal aansluitingen per warmteoptie. Dit betekent dat wanneer de beschikbaarheid toeneemt, de aantrekkelijkheid van strategieën S2 en S3 ten

opzichte van de andere strategieën niet veel toeneemt. Ondanks dat er meer thermische capaciteit van restwarmte beschikbaar is, wordt de voorkeur gegeven aan andere strategieën. Daarmee kan gesteld worden dat de originele beschikbaarheid van restwarmte in de basis-situatie geen of nauwelijks een limiterende factor was in de toewijzing van warmtenetten in Nederland. Dit beeld wordt bevestigd als we in de modellering kijken hoeveel van de beschikbare thermische capaciteit daadwerkelijk wordt benut; gemiddeld slechts 23% van de beschikbare capaciteit. Daarentegen zien we een kleine uitwisseling in het aantal aansluitingen tussen de MT/HT-warmtenetten (S2) en de LT-warmtenetten (S3); wanneer meer thermische capaciteit van MT-restwarmtebronnen beschikbaar is, is het voor meer buurten vanuit de laagste nationale meerkostenperspectief aantrekkelijk om strategie S2 toegewezen te krijgen ten koste van S3. Daarbij zien we een evenredige daling tussen de elektrische warmtepompen LT-warmtenetaansluitingen, wat verklaard kan worden doordat strategie S3 bestaat uit de combinatie van deze typen aansluitingen.

Wanneer de thermische capaciteit van restwarmtebronnen met 50% is afgenomen, zien we wederom beperkte verschillen in het aantal aansluitingen per strategie. Wanneer de beschikbaarheid afneemt, kunnen er minder buurten aanspraak maken op de restwarmtebronnen en zullen deze buurten genoodzaakt zijn om gebruik te maken van de overige strategie (S1 en S4). Belangrijk om te benoemen is dat er ook verschuivingen optreden binnen strategie S2; wanneer er minder thermische capaciteit van restwarmtebronnen beschikbaar is (strategievarianten S2a en S2d) stapt een deel van de buurten over op geothermie (strategievarianten S2b en S2e). Gegeven dat de beschikbaarheid van klimaatneutraal gas beperkt is voor strategie S4 (hybride warmtepompen), zal de overstap voor het overige deel voornamelijk gericht zijn op S1 (elektrische warmtepompen). Deze daling in het aantal warmtenetaansluitingen is terug te zien voor de strategie S2. Opvallend is dat het aantal LT-warmtenetaansluitingen (S3) juist toeneemt. We zien dat de buurten op basis van de laagste nationale meerkosten aanspraak willen maken op de LT-restwarmtebronnen wanneer de capaciteit van de MT-restwarmtebronnen ontoereikend is. De verklaring hiervoor is tweeledig. In de buurten die in de basissituatie een MT-warmtenet krijgen toegewezen, is het vaak vanuit laagste maatschappelijke kostenperspectief beter om collectieve maatregelen te nemen. Wanneer de technische capaciteit van de MT-restwarmtebron niet voldoende is, zal deze buurt idealiter overstappen op andere collectieve maatregelen, zoals strategie S3. Een andere verklaring ligt besloten in de manier waarop Vesta MAIS is gemodelleerd. Voor een buurt om S2 toegewezen te krijgen, dient de thermische capaciteit van de MT-warmtebron voldoende te zijn om de gehele buurt van warmte te voorzien. Dit is niet het geval voor S3, waarbij het tekort aan broncapaciteit in de buurt kan worden opgevangen met individuele elektrische warmtepompen.

De beschreven ontwikkelingen in de hoge en lage varianten zien we ook terug in de onderstaande tabel, waarbij de totale jaarlijkse warmtelevering uit de restwarmtebronnen is gepresenteerd. In de hoge variant stijgt de warmtelevering uit MT/HT-restwarmtebronnen, terwijl de warmtelevering uit LT-restwarmtebronnen daalt. In de lage variant zien we tegenovergestelde ontwikkeling, waarbij de warmtelevering uit MT/HT-warmtebronnen daalt, en de warmtelevering uit LT-warmtebronnen verder stijgt. De totale warmtelevering uit de warmtebronnen is vervolgens lager dan in de hoofdberekening, omdat met de uitwisseling van S2 naar S3 niet alleen LT-warmtebronnen worden aangesproken, maar ook het elektriciteitsnet voor de warmtepompen van S3.

Tabel 14 Totale warmtelevering per type puntbron bij alternatieve thermische capaciteit van restwarmte-puntbronnen

Variant	MT/HT-bron warmtelevering (GJ/j)	LT-bron warmtelevering (GJ/j)	Totale bron warmtelevering (GJ/j)
Basis	80.422.833	34.587.440	115.010.273
Hoog	82.708.781	34.247.225	116.956.006
Laag	77.304.796	35.438.800	112.743.596

In algemeenheid kan gesteld worden dat de impact van de beschikbaarheid van restwarmte-bronnen, zelfs bij forse wijzigingen (+/- 50%) in de beschikbare thermische capaciteit, beperkt is op de uitkomsten van de Startanalyse. Op basis van de nationale kosten verandert er ook weinig, aangezien deze gevoeligheidsanalyse geen impact heeft op de kostenverschillen tussen strategieën. Als je kijkt naar de totale nationale kosten van de warmtetransitie, dan kunnen de laagste kosten behaald worden in de situatie waarbij er het minste limiterende factoren zijn. Met andere woorden; een hogere beschikbaarheid van thermische capaciteit van restwarmtebronnen, zorgt voor meer mogelijkheden ten aanzien van beschikbare strategieën waarbinnen buurten kunnen optimaliseren op basis van de laagste nationale kosten. Wanneer de beschikbaarheid afneemt, nemen de totale nationale kosten toe.

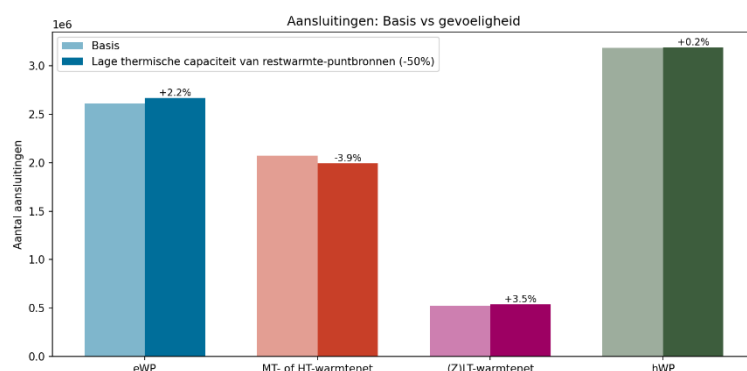
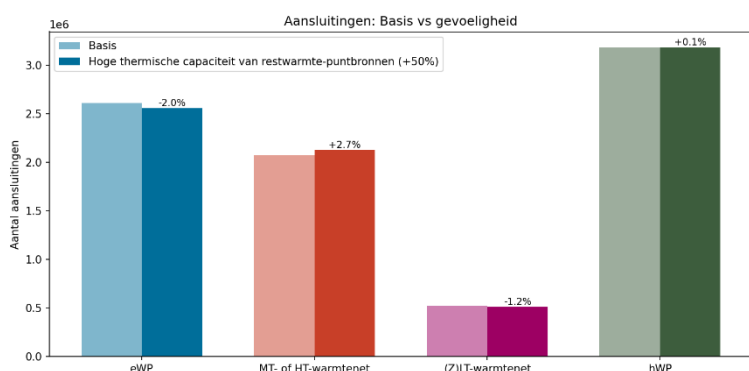
3.5.2 Verdeling van aansluitingen

De verdeling van aansluitingen reageert op de beschikbaarheid van restwarmte, maar de omvang van deze verschuivingen blijft beperkt bij een hogere beschikbaarheid en neemt toe bij een lagere beschikbaarheid.

Bij een hogere beschikbaarheid van restwarmte (+50%) blijft het aantal aansluitingen op MT/HT-warmtenetten en LT-warmtenetoplossingen grotendeels stabiel, met slechts beperkte uitwisseling tussen deze categorieën.

Bij een lagere beschikbaarheid (-50%) wordt het effect duidelijker zichtbaar. Het aantal aansluitingen op MT/HT-warmtenetten neemt af, terwijl het aantal aansluitingen met individuele elektrische warmtepompen toeneemt. Tegelijkertijd neemt het aantal aansluitingen binnen LT-warmtenetoplossingen licht toe, wat wijst op een verschuiving richting alternatieve collectieve oplossingen.

Het aantal aansluitingen op hybride warmtepompen blijft in beide varianten vrijwel constant en reageert nauwelijks op de veranderingen in restwarmtebeschikbaarheid.



3.5.3 Nationale kosten

De variatie in de thermische capaciteit van restwarmtebronnen leidt tot relatief beperkte veranderingen in de nationale kosten.

Bij een hogere beschikbaarheid (+50%) blijven de effecten klein en gemengd. De totale meerkosten nemen af voor S1 (-4% tot €908 mln/jaar) en blijven nagenoeg gelijk voor S3 (-1% tot €3.774 mln/jaar) en S4 (circa 0%). S2 laat juist een lichte stijging zien (+3% tot €2.427 mln/jaar). Deze veranderingen zijn zowel in CAPEX als OPEX beperkt en blijven binnen een bandbreedte van circa $\pm 4\%$.

Bij een lagere beschikbaarheid (-50%) ontstaat een iets duidelijker maar nog steeds beperkt effect. De totale meerkosten nemen toe voor S1 (+7% tot €1.016 mln/jaar) en licht voor S3 (+2% tot €3.893 mln/jaar), terwijl S2 afneemt (-5% tot €2.242 mln/jaar). S4 blijft ook hier vrijwel onveranderd. De veranderingen zijn zichtbaar in zowel CAPEX als OPEX, maar blijven beperkt tot circa $\pm 7\%$.

Tabel 15 Nationale meerkosten en absolute CAPEX en OPEX per hoofdstrategie bij alternatieve thermische capaciteit van restwarmte-puntbronnen

Gevoeligheid	Hoofdstrategie	Meerkosten totaal (M€ / jaar)	Meerkosten totaal verschil t.o.v. basis (%)	CAPEX absoluut totaal (M€ / jaar)	CAPEX absoluut totaal verschil t.o.v. basis (%)	OPEX absoluut totaal (M€ / jaar)	OPEX absoluut totaal verschil t.o.v. basis (%)
Thermische capaciteit van restwarmte-puntbronnen +50%	S1	908	-4%	1150	-4%	701	-4%
	S2	2427	+3%	2273	+4%	3239	+3%
	S3	3774	-1%	4419	-1%	4162	-2%
	S4	2971	-0%	2389	-0%	5463	-0%
Thermische capaciteit van restwarmte-puntbronnen -50%	S1	1016	+7%	1281	+7%	775	+6%
	S2	2242	-5%	2062	-6%	3015	-4%
	S3	3893	+2%	4548	+1%	4297	+2%

restwarmte- puntbronnen -50%	S4	2979	+0%	2396	+0%	5473	+0%
------------------------------------	----	------	-----	------	-----	------	-----

Op basis van de meerkosten per WEQ zijn de verschillen zeer beperkt, met veranderingen van maximaal $\pm 1\%$ voor alle strategieën. Dit wijst erop dat de veranderingen in totale kosten vooral samenhangen met kleine verschuivingen in de verdeling van aansluitingen, en niet met substantiële veranderingen in kosten per aansluiting.

Tabel 16 Nationale meerkosten en absolute CAPEX en OPEX per hoofdstrategie per WEQ bij alternatieve thermische capaciteit van restwarmte-puntbronnen

Gevoeligheid	Hoofdstrategie	Meerkosten per WEQ (€ / jaar)	Meerkosten per WEQ verschil t.o.v. basis (%)	CAPEX absoluut per WEQ (€ / jaar)	CAPEX absoluut per WEQ verschil t.o.v. basis (%)	OPEX absoluut per WEQ (€ / jaar)	OPEX absoluut per WEQ verschil t.o.v. basis (%)
Thermische capaciteit van restwarmte-puntbronnen +50%	S1	1185	+0%	1501	+0%	915	+0%
	S2	942	-1%	882	+0%	1257	-0%
	S3	1067	+0%	1249	+0%	1176	-0%
	S4	856	+0%	688	-0%	1574	-0%
Thermische capaciteit van restwarmte-puntbronnen -50%	S1	1195	+1%	1507	+1%	912	+0%
	S2	942	-1%	866	-1%	1266	+0%
	S3	1069	+0%	1249	+0%	1180	+0%
	S4	856	+0%	689	+0%	1572	-0%

3.6 Kosten voor toepassen isolatiemaatregelen

3.6.1 Toelichting

De kosten voor het toepassen van isolatiemaatregelen hebben impact op de CAPEX van alle strategieën. Isoleren naar een hoger schillabel brengt meer kosten met zich mee dan isoleren naar een lager schillabel. Dat betekent ook dat strategieën die een doelschillabel B en hoger vereisen, zoals LT-warmtetechnieken (S1 en S3a t/m e), meer kosten dragen voor isolatiemaatregelen dan MT/HT-warmtetechnieken (S2, S3f t/m h) die doelschillabel D en hoger vereisen (zie sectie 3.6.3).

De onderstaande tabel laat zien dat wijzigingen in de kosten voor isolatiemaatregelen direct doorwerken in het vereiste isolatieniveau. Bij hoge kosten voor isolatiemaatregelen verschuift een deel van de gebouwen naar strategievarianten met lagere doelschillabels, met een afname van het aantal gebouwen met schillabel B (-22%) en een toename van schillabel D (+12%)

en schillabel N (+10%)¹². Bij lage kosten voor isolatiemaatregelen ontstaat het tegenovergestelde beeld en neemt het aandeel gebouwen met hogere isolatieniveaus toe. Dit bevestigt dat de gevoeligheid primair invloed heeft op de afweging tussen investeren in isolatiemaatregelen en investeren in warmte-infrastructuur.

Tabel 17 Schillabelverdeling bij de hoofdberekening en bij hoge en lage kosten voor isolatiemaatregelen

Gevoeligheid	Label A	Versc hil (%)	Label B	Versc hil (%)	Label C	Versc hil (%)	Label D	Versc hil (%)	Label N	Versc hil (%)
Hoofdberekening	1.624.381		2.260.401		913.919		2.188.170		1.400.229	
Kosten voor isolatiemaatregelen Hoog	1.603.336	-1%	1.771.233	-22%	1.029.545	+13%	2.444.010	+12%	1.538.976	+10%
Kosten voor isolatiemaatregelen Laag	1.643.855	+1%	2.746.978	+22%	807.978	-12%	1.900.705	-13%	1.287.584	-8%

De kosten van isolatiemaatregelen hebben een directe relatie tot de toewijzing van een strategie als voorkeursoptie (met de laagste nationale kosten). De verdeling in aansluiting is gepresenteerd in sectie 3.6.2. Wanneer de kosten voor isolatiemaatregelen stijgen, worden de strategieën die een hoger schillabel vereisen minder vaak als voorkeursoptie aan buurten toegewezen. Hoewel er lagere energiekosten behaald kunnen worden met een hoger schillabel, weegt dit vanuit het perspectief van de nationale kosten niet op tegen de hogere investeringskosten. De nationale kosten van S1 stijgen ten opzichte van alternatieve strategieën en worden daardoor minder vaak als voorkeursoptie toegewezen. Strategie S2 (MT/HT-warmtenetten) en S4 (hybridewarmtepompen) kunnen deze afname opvangen. Echter, de beschikbaarheid van klimaatneutraal gas is beperkt, waardoor deze afname in S1 enkel wordt opgevangen met S2. Daarentegen zien we, ondanks de stijging in kosten, een stijging in strategie S3 (LT-warmtenetten). Het gaat hierbij voornamelijk om een stijging van de strategievarianten waarbij LT-warmte uit de bron wordt opgewaardeerd naar een niveau waarvoor schillabel D en hoger voldoet.

De onderstaande tabel laat voor de hoogste kosten voor isolatiemaatregelen zien hoe buurten verschuiven tussen de strategieën ten opzichte van de hoofdberekening. De grootste verschuivingen op vanuit S3, gevolgd door S4 en S1; S2 verandert nauwelijks. S2 en S4 het minst: S2 groeit het sterkst, terwijl S1 en in mindere mate S3 per saldo buurten verliezen. Voor S4 geldt dat de verschuivingen (buurten die S4 verlaten of juist toegewezen krijgen) el-

¹² Schillabel N wordt gerapporteerd voor panden die een 'niet-bekend' schillabel hebben, en op basis van een inschatting door het Vesta MAIS model geen verdere schillabel sprongen hoeven te maken om te voldoen aan het doelschillabel van de warmtetechniek. Een toename in schillabel N betekent dat minder panden, met een niet-bekend schillabel' isolatiemaatregelen toepassen.

kaar grotendeels compenseren, waardoor het totaal aantal buurten met S4 als voorkeursstrategie nauwelijks wijzigt.

Tabel 18 Verschuivingen van het aantal buurten bij hoge kosten voor isolatiemaatregelen

Gevoeligheid kosten voor isolatiemaatregelen hoog → Basis ↓	S1	S2	S3	S4
S1	1218	40	106	96
S2	0	1686	14	0
S3	18	225	3477	172
S4	24	140	119	6917

Wanneer de kosten voor isolatiemaatregelen dalen, worden de strategieën die een hoger isolatieniveau vereisen vaker als voorkeursoptie aan buurten toegewezen. Wanneer de kosten voor isolatiemaatregelen laag zijn, wordt het aantrekkelijk om meer te investeren in isolatie om zo lagere energieverbruikskosten te behalen. Dit leidt tot een stijging van strategie S1 en een daling van strategie S2. Tot slot zien we een daling in S3, welke verklaard kan worden door de daling van specifiek de strategievarianten waarbij LT-warmte uit de bron wordt opgewaardeerd naar een niveau waarvoor schillabel D en hoger voldoet (S2f t/m h) naar S1 en S4.

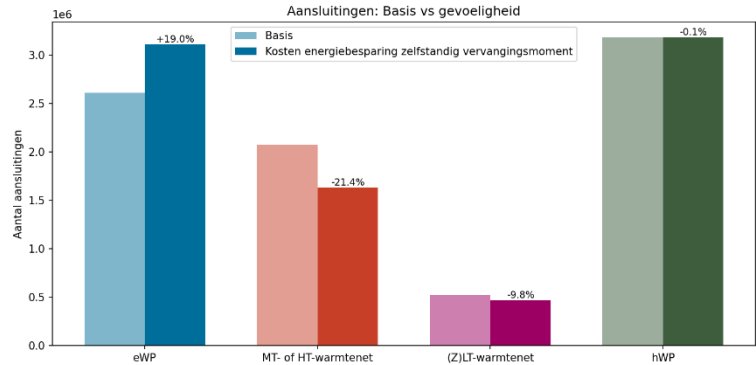
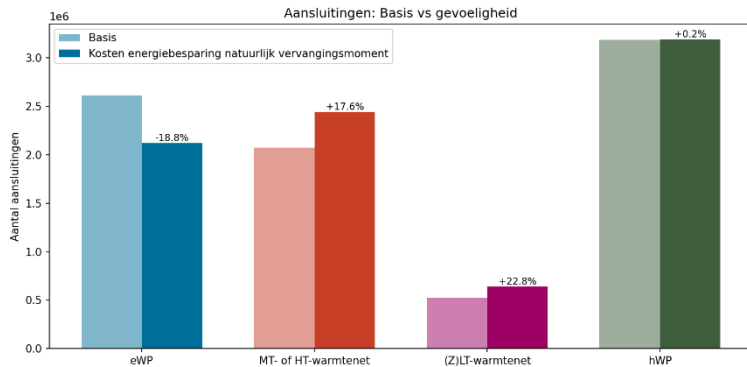
3.6.2 Verdeling van aansluitingen

De verdeling van aansluitingen reageert duidelijk op de kosten voor het toepassen van isolatiemaatregelen, waarbij verschuivingen optreden tussen individuele en collectieve warmteopties.

Bij hoge kosten voor isolatiemaatregelen neemt het aantal aansluitingen met individuele elektrische warmtepompen (S1) af, terwijl het aantal aansluitingen op LT- en MT/HT-warmtenetten (S2 en S3) toeneemt.

Bij lage kosten voor isolatiemaatregelen ontstaat het omgekeerde beeld. Het aantal aansluitingen met individuele elektrische warmtepompen (S1) neemt toe, terwijl het aantal aansluitingen op LT- en MT/HT-warmtenetten (S2 en S3) afneemt.

Het aantal aansluitingen met hybride warmtepompen (S4) verandert nauwelijks als gevolg van de gevoeligheid en blijft in alle varianten vrijwel constant.



3.6.3 Nationale kosten

De variatie in de kosten voor isolatiemaatregelen leidt tot duidelijke verschuivingen in de nationale kosten tussen strategieën.

In de variant met hoge kosten voor isolatiemaatregelen nemen de totale meerkosten voor S2 sterk toe (+28% tot €3.024 mln/jaar), terwijl S1 juist sterk afneemt (-17% tot €792 mln/jaar). S3 laat een beperkte daling zien (-3%) en S4 een lichte stijging (+3%). De stijging van S2 komt vooral tot uiting in hogere CAPEX (+29%), terwijl bij S1 juist een duidelijke daling van CAPEX zichtbaar is (-17%).

In de variant met lage kosten voor isolatiemaatregelen ontstaat het tegenovergestelde beeld. De totale meerkosten van S2 dalen sterk (-30% tot €1.641 mln/jaar), terwijl S1 (+7% tot €1.014 mln/jaar) en S3 (+5% tot €4.013 mln/jaar) toenemen. S4 laat een beperkte daling zien (-3%). Ook hier is de verschuiving in kosten primair zichtbaar in CAPEX, met een daling van -31% voor S2 en een stijging van +8% voor S3.

Tabel 19 Nationale meerkosten en absolute CAPEX en OPEX per hoofdstrategie bij hoge en lage kosten voor isolatiemaatregelen

Gevoeligheid	Hoofdstrategie	Meerkosten totaal (M€ / jaar)	Meerkosten totaal verschil t.o.v. basis (%)	CAPEX absoluut totaal (M€ / jaar)	CAPEX absoluut totaal verschil t.o.v. basis (%)	OPEX absoluut totaal (M€ / jaar)	OPEX absoluut totaal verschil t.o.v. basis (%)
Kosten voor isolatiemaatregelen hoog	S1	792	-17%	994	-17%	585	-20%
	S2	3024	+28%	2826	+29%	3716	+18%
	S3	3723	-3%	4198	-6%	4033	-5%
	S4	3064	+3%	2483	+4%	5483	+0%
Kosten voor Isolatiemaatregelen laag	S1	1014	+7%	1299	+8%	832	+14%
	S2	1641	-30%	1501	-31%	2446	-22%
	S3	4013	+5%	4841	+8%	4585	+8%
	S4	2875	-3%	2290	-4%	5463	-0%

Op basis van de meerkosten per WEQ zijn de verschillen minder uitgesproken, maar wel consistent in richting. Bij hoge kosten nemen de meerkosten toe met circa +5% (S1), +8% (S2), +6% (S3) en +3% (S4). Bij lage kosten nemen deze juist af met circa -7% (S1 en S3), -10% (S2) en -3% (S4).

Tabel 20 Nationale meerkosten en absolute CAPEX en OPEX per hoofdstrategie per WEQ bij hoge en lage kosten voor isolatiemaatregelen

Gevoeligheid	Hoofdstrategie	Meerkosten per WEQ (€ / jaar)	Meerkosten per WEQ verschil t.o.v. basis (%)	CAPEX absoluut per WEQ (€ / jaar)	CAPEX absoluut per WEQ verschil t.o.v. basis (%)	OPEX absoluut per WEQ (€ / jaar)	OPEX absoluut per WEQ verschil t.o.v. basis (%)
Kosten voor Isolatiemaatregel en hoog	S1	1245	+5%	1564	+4%	919	+1%
	S2	1025	+8%	958	+9%	1260	+0%
	S3	1134	+6%	1278	+2%	1228	+4%
	S4	880	+3%	713	+3%	1574	-0%
Kosten voor Isolatiemaatregel en laag	S1	1105	-7%	1415	-6%	906	-1%
	S2	851	-10%	779	-11%	1269	+1%
	S3	993	-7%	1198	-4%	1134	-4%
	S4	830	-3%	661	-4%	1577	+0%

3.7 Kosten voor het verwijderen van het gasnet

3.7.1 Toelichting

De kosten voor het verwijderen van het gasnet hebben impact op de CAPEX van de strategieën die geen gebruik maken van het gasnet; elektrische warmtepompen (S1), MT/HT-warmtenetten (S2) en LT-warmtenetten (S3). Voor strategie S4 wordt gebruikgemaakt van het bestaande gasnet om het klimaatneutrale gas te distribueren naar de individuele aansluitingen in de buurt. Voor strategie S4 wordt het gasnet niet verwijderd. De kosten van strategie S4 zijn daarom onaangetast in deze gevoeligheidsanalyse. De nationale kosten zijn weergegeven in sectie 3.7.3.

Wanneer de kosten voor het verwijderen van het gasnet op nul worden gezet, worden strategieën S1, S2 en S3 aantrekkelijker ten opzichte van strategie S4. Echter, ondanks dat deze kosten niet meewegen voor de andere strategieën, blijft het gebruik van klimaatneutraal gas zeer aantrekkelijk.

Tabel 21 Verschuivingen van het aantal buurten bij de gevoeligheid zonder kosten voor het verwijderen van het gasnet

Gevoeligheid kosten niet verwijderen gasnet → Basis ↓	S1	S2	S3	S4
S1	1375	0	0	85
S2	0	1662	0	38
S3	0	0	3718	174
S4	647	1	149	6403

In de verdeling van de type aansluitingen van sectie 3.7.2 en de bovenstaande tabel zien we dat de verschuivingen tussen strategieën beperkt blijven. Vrijwel alle buurten met S2 (98%) en S3 (95%) behouden dezelfde voorkeursstrategie als in de hoofdberekening. Ook S4 blijft voor het grootste deel van de buurten de voorkeursstrategie. De belangrijkste verschuiving betreft buurten die van S4 naar S1 overstappen. Dit sluit aan bij de beperkte veranderingen in de verdeling van aansluitingen en laat zien dat het verwijderen van de gasnetkosten slechts een beperkte invloed heeft op de strategiekeuze op buurniveau.

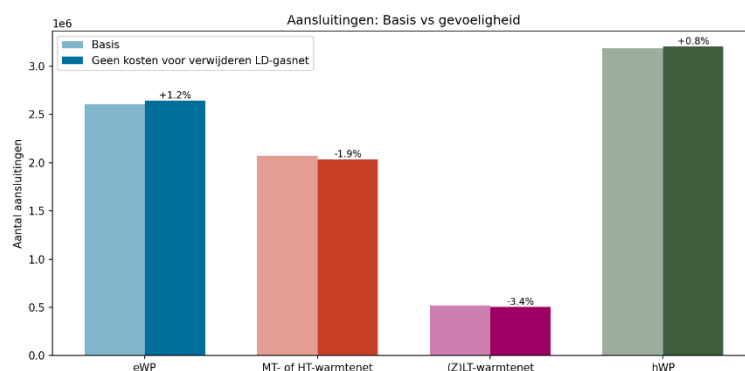
We zien daarom nauwelijks wijzigingen in het aantal aansluitingen met een hybride warmtepomp (S4); slechts kleine verschillen als gevolg van de uitwisseling van het beschikbare klimaatneutrale gas tussen buurten. Dit leidt vervolgens ook weer tot enkele kleine wijzigingen in de verdeling van de aansluitingen van elektrische warmtepompen (S1), MT-HT-warmtenetten (S2) en LT-warmtenetten (S3).

3.7.2 Verdeling van aansluitingen

De verdeling van aansluitingen verandert slechts in beperkte mate wanneer de kosten voor het verwijderen van het gasnet op nul worden gezet.

Er is sprake van een lichte toename in het aantal aansluitingen met individuele elektrische en hybride warmtepompen. Daarentegen neemt het aantal aansluitingen op MT/HT- en LT-warmtenetten licht af.

De totale verdeling van aansluitingen blijft daarmee grotendeels stabiel, waarbij de onderlinge verhoudingen slechts beperkt verschuiven ten opzichte van de hoofdberekening.



3.7.3 Nationale kosten

Het buiten beschouwing laten van de kosten voor het verwijderen van het gasnet leidt tot beperkte veranderingen in de nationale kosten.

De totale meerkosten nemen licht af voor S2 (-5% tot €2.241 mln/jaar) en S3 (-7% tot €3.547 mln/jaar), terwijl S1 juist licht toeneemt (+6% tot €1.006 mln/jaar). S4 blijft vrijwel onveranderd (+1%).

De veranderingen zijn zichtbaar in zowel de CAPEX als OPEX. Voor S1 nemen deze toe met respectievelijk +10% en +20%, terwijl de overige strategieën een daling laten zien in zowel CAPEX als OPEX.

Tabel 22 Nationale meerkosten en absolute CAPEX en OPEX per hoofdstrategie bij de gevoeligheid zonder kosten voor het verwijderen van het gasnet

Gevoeligheid	Hoofdstrategie	Meerkosten totaal (M€ / jaar)	Meerkosten totaal verschil t.o.v. basis (%)	CAPEX absoluut totaal (M€ / jaar)	CAPEX absoluut totaal verschil t.o.v. basis (%)	OPEX absoluut totaal (M€ / jaar)	OPEX absoluut totaal verschil t.o.v. basis (%)
Kosten voor het verwijderen van het gasnet	S1	1006	+6%	1327	+10%	879	+20%
	S2	2241	-5%	2075	-5%	3090	-2%
	S3	3547	-7%	4200	-6%	4170	-1%
	S4	2989	+1%	2398	+0%	5359	-2%

Op basis van de meerkosten per WEQ blijven de verschillen beperkt, met veranderingen van -3% (S1 en S2), -6% (S3) en 0% voor S4.

Tabel 23 Nationale meerkosten en absolute CAPEX en OPEX per hoofdstrategie per WEQ bij de gevoeligheid zonder kosten voor het verwijderen van het gasnet

Gevoeligheid	Hoofdstrategie	Meerkosten per WEQ (€ / jaar)	Meerkosten per WEQ verschil t.o.v. basis (%)	CAPEX absoluut per WEQ (€ / jaar)	CAPEX absoluut per WEQ verschil t.o.v. basis (%)	OPEX absoluut per WEQ (€ / jaar)	OPEX absoluut per WEQ verschil t.o.v. basis (%)
Kosten voor het verwijderen van het gasnet	S1	1147	-3%	1513	+1%	1002	+10%
	S2	915	-3%	847	-4%	1262	+0%
	S3	1007	-6%	1192	-5%	1184	+1%
	S4	853	-0%	684	-1%	1529	-3%

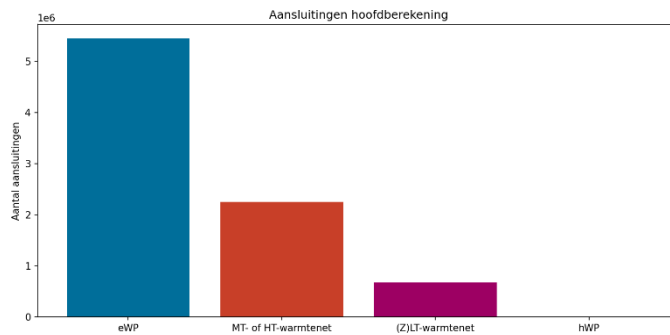
Referentielijst

1. Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). (2025). Actualisatie Startanalyse aardgasvrije buurten 2025 (ASA2025) – Kernrapport en Gebruikershandleiding.
2. Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), TNO, CBS en RIVM. (2024). *Klimaat- en Energieverkenning 2024 (KEV 2024)*.
3. Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). (2020). *Startanalyse aardgasvrije buurten 2020*.
4. Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). Trajectverkenning Klimaatneutraal 2050 (TVKN2050).
5. Rijksoverheid. (2025). Taakopdracht IBO Energietransitie van de woningvoorraad.
6. Werkgroep Discontovoet. (2020). Rapport Werkgroep Discontovoet 2020.
7. Werkgroep Discontovoet. (2025). *Rapport Werkgroep Discontovoet 2025*.

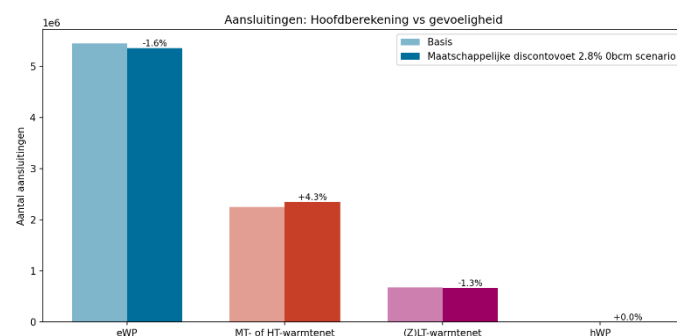
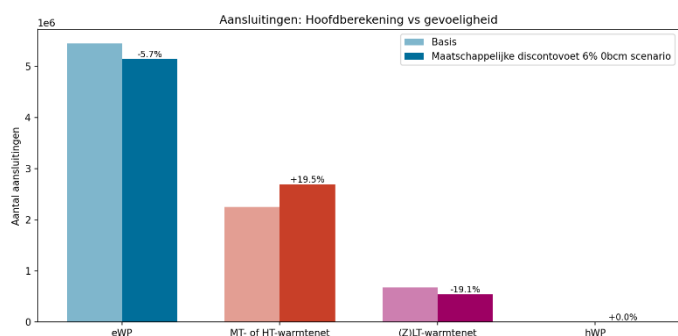
Bijlage A - 0 bcm resultaten

Deze bijlage bevat de resultaten op basis van het scenario waarin voor individuele installaties geen klimaatneutraal gas beschikbaar is (0 bcm), conform het uitgangspunt van de hoofdberekeningen van de Startanalyse. Dit in tegenstelling tot de resultaten in het hoofdrapport, waar wordt uitgegaan van 2 bcm beschikbaarheid van klimaatneutraal gas voor individuele installaties, om zo de vergelijkbaarheid met de ASA2025 te waarborgen. Doordat in dit 0 bcm-scenario geen klimaatneutraal gas beschikbaar is voor individuele installaties, komt strategie 4 niet terug in de resultaten in deze bijlage.

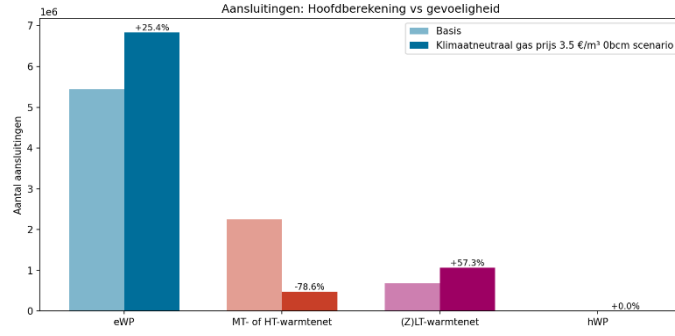
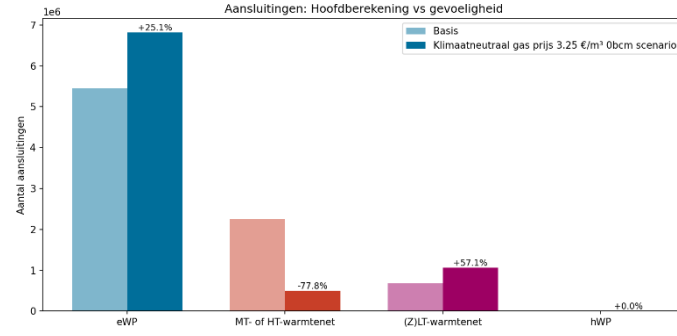
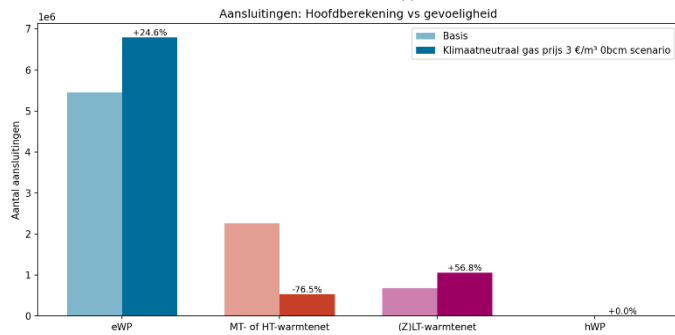
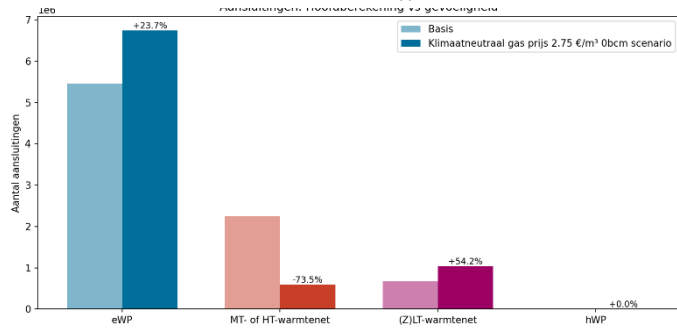
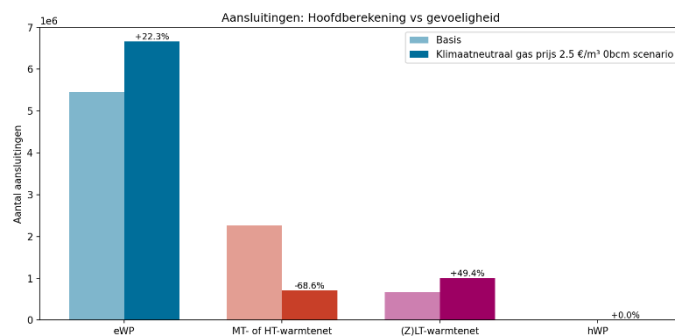
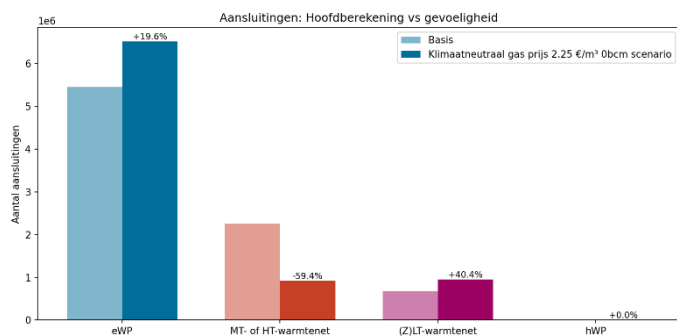
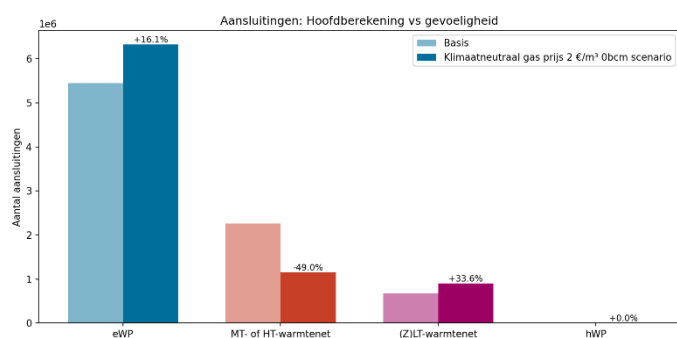
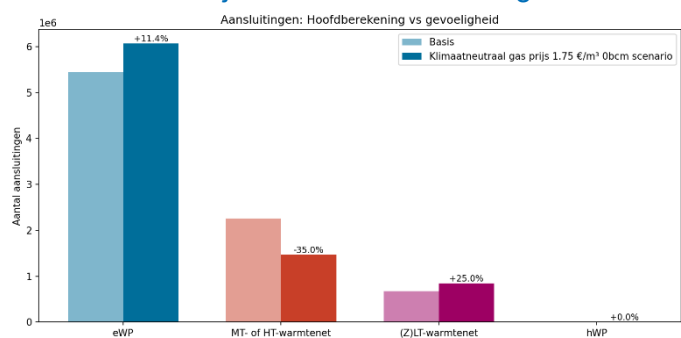
Hoofdberekening



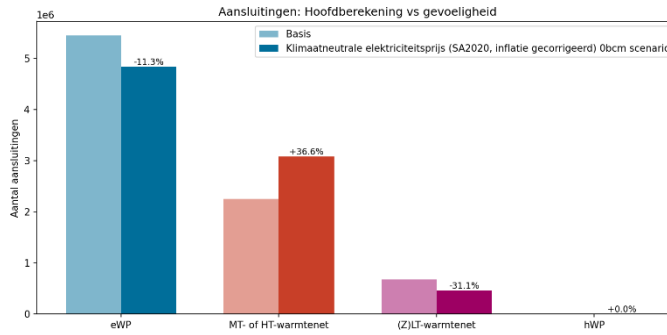
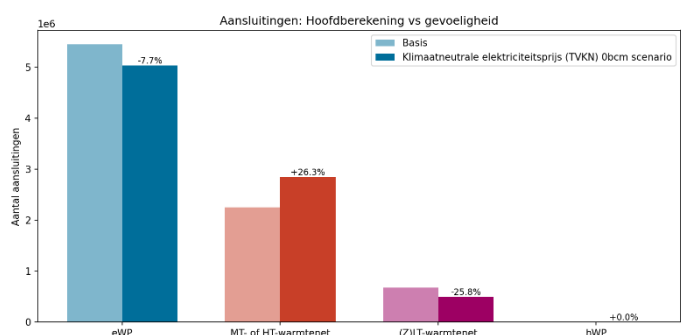
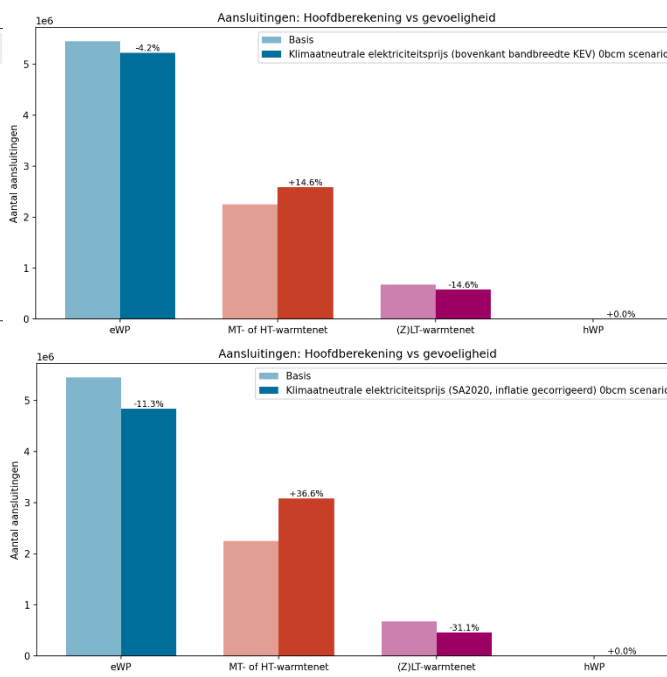
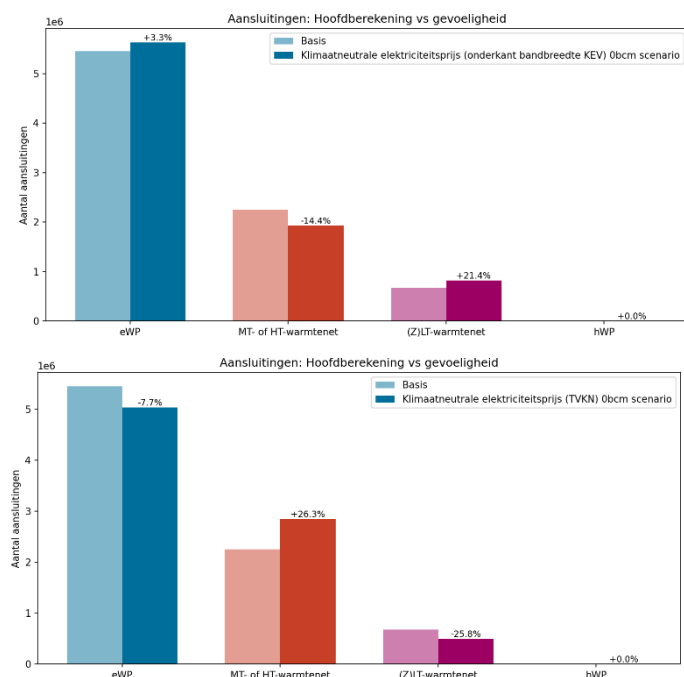
Maatschappelijke discontovoet



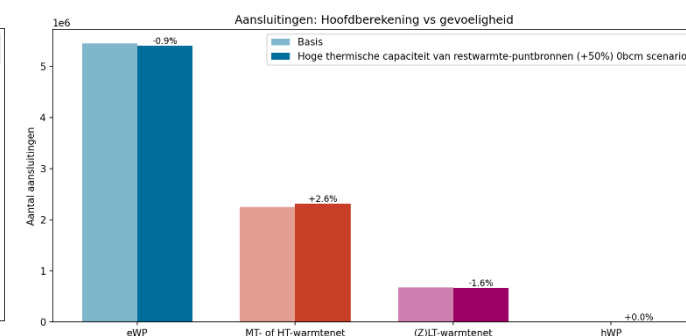
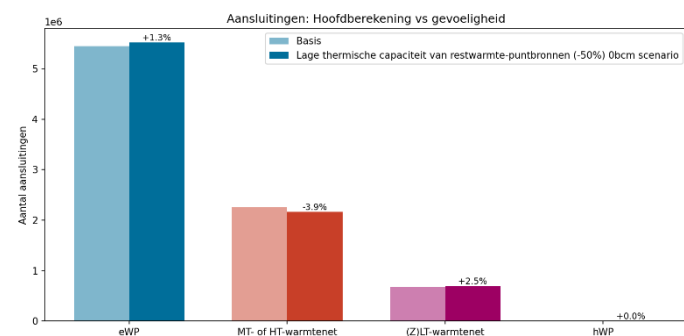
Prijs van klimaatneutraal gas



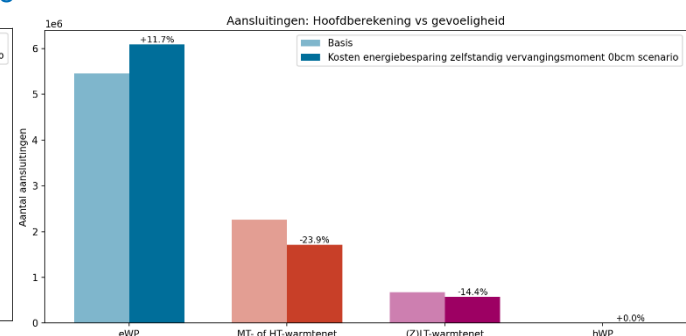
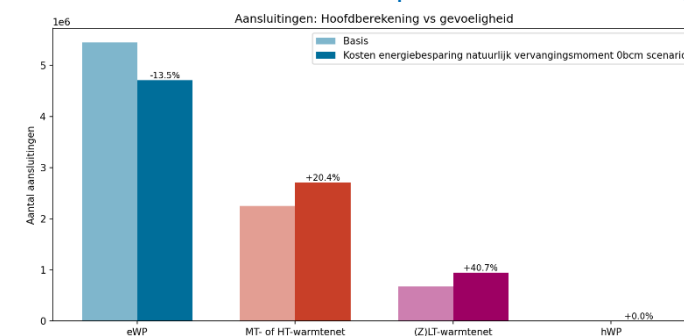
Prijs van klimaatneutrale elektriciteit



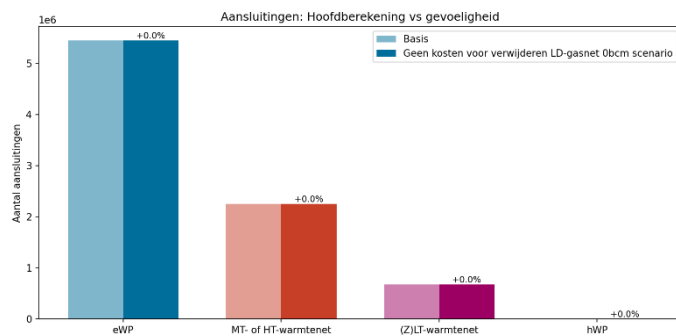
Thermische capaciteit van restwarmte-puntbronnen



Kosten voor toepassen isolatiemaatregelen



Kosten voor het verwijderen van het gasnet





Answering
tomorrow's
challenges
today

Postbus 4175
3006 AD Rotterdam
Nederland

Watermanweg 44
3067 GG Rotterdam
Nederland

T 010 453 88 00
F 010 453 07 68
E netherlands@ecorys.com

K.v.K. nr. 24316726

W www.ecorys.nl