



Nationale kosten van warmte voor woningen

Eindrapport

13 oktober 2025

Nationale kosten van warmte voor woningen



In opdracht van:



Auteurs:

Kees van der Leun
Evelien Smit
Steffan Brosschot
Lisanne Havinga

Eindrapport
13 oktober 2025

Common Futures. Energy Transition Specialists B.V.
Vondellaan 54, 3521 GH Utrecht
The Netherlands

<https://www.commonfutures.com/>
+31 30 281 9699

Voorwoord

Voorwoord opdrachtgevers

De warmtetransitie is een opgave met grote consequenties voor de maatschappij, waarvoor in de komende paar jaar belangrijke beslissingen moeten worden genomen. Als Netbeheer Nederland en EBN nemen we onze verantwoordelijkheid in het realiseren van de daarvoor benodigde infrastructuur. Dit vergt inzicht in de gewenste en waarschijnlijke toepassing van een nieuwe warmtestrategie per regio en per buurt: elektrische warmtepompen, hybride warmtepompen en warmtenetten op verschillende temperatuurniveaus.

Voor een goede afweging van de opties is het van groot belang om inzicht te hebben in factoren die de nationale kosten bepalen. Het PBL heeft daar een waardevolle bijdrage aan geleverd met de Actualisatie Startanalyse 2025. Toch blijven er nog vragen open, bijvoorbeeld over het effect van voortgaande isolatie, de benodigde veranderingen in het elektriciteitssysteem, het effect van de beschikbaarheid van groen gas, en de gevoeligheid voor investeringskosten en adoptiegraad van warmtenetten.

Om een globale indicatie te krijgen van het effect van een aantal belangrijke factoren op de nationale kosten zijn we deze studie gestart.

Voor ons heeft de studie waardevolle nieuwe inzichten opgeleverd, en we kijken er naar uit om op basis van deze bevindingen de discussie aan te gaan met overheden en het bedrijfsleven!

Netbeheer Nederland
werkgroep Keuzes Integraal Energiesysteem

EBN
Nationale Deelneming Warmte

Voorwoord Common Futures

We hebben met veel plezier gewerkt aan dit belangrijke en complexe vraagstuk. Graag willen we de stakeholders en deskundigen waarmee we gedurende dit project gesproken hebben, bedanken voor hun inzichten en vragen: Anne Melchers, Daan Witkop en Max Brouwer (Ministerie KGG / collectieve warmte), Iris van Oortmerssen en Casper van Mourik (Ministerie KGG / individuele warmte), Sabine Jansen en Harraald Polet (Ministerie VRO), Yvonne Hofman (NPLW), Cilou Bertin (VNG), Merijn Rijnsburger en Marie-Emilie Ingen Housz (Rotterdam), Job Brunner (IPO), Bert Stuij, Jacqueline Hooijschuur en Walter van der Wittenboer (RVO), Bram Straten (TKI Systeemintegratie), Robert Jan van Egmond (TKI Urban Energy), Bram Smeets en Evert Jan Althuis (Eneco), Frank Agterberg (Vereniging Warmtepompen), Marco Bijkerk (Vereniging Duurzame Warmte), Wouter van den Akker (Alliander/TU Eindhoven), en Mathijs Bijkerk (Quintel)

Onze speciale dank gaat uit naar de auteurs van de Startanalyse bij het PBL – Steven van Polen en team – die ons geholpen hebben bij het begrijpen van de daarin gemaakte aannames en gebruikte methoden.

Deze studie is tot stand gekomen in intensieve samenwerking met een projectgroep vanuit de opdrachtgevers: Maarten Afman en Wendy Swelsen (Alliander), Maarten Staats (Enexis), Wouter Terlouw en Milou Teeuwen (Stedin), Merel van Straaten en Corné van Langen (EBN). Daarnaast hebben we gesproken met Martijn Douwes en André Treffers (Gasunie) en met Balthasar Klimbie en Viktor Beelen (TenneT). Bedankt voor de goede discussies, jullie kritische vragen en suggesties, en voor de review van het materiaal.

We hopen met dit rapport een nuttige bijdrage te leveren aan de belangrijke discussie over de warmtetransitie. Het is goed mogelijk dat er toch nog onjuistheden in deze complexe analyse geslopen zijn. Ook die zijn uiteraard voor rekening van Common Futures.

Samenvatting (1)

De warmtetransitie is een urgente opgave met grote consequenties voor de maatschappij en netbeheerders. Het is een ingewikkeld techno-economisch, sociaal, en coördinatie-vraagstuk. De techno-economische optieruimte is voor Nederland verkend met de Startanalyse van het PBL. Daarin worden voor alle buurten, zoals gedefinieerd door het CBS, een aantal gestileerde opties doorgerekend. De Startanalyse identificeert per buurt de oplossing met de laagste nationale kosten: de totale kapitaallasten en variabele kosten, ongeacht wie deze kosten betaalt.

Voor heel Nederland gaat het daarbij om investeringen van meer dan €200 miljard, met bijbehorende kapitaallasten van ca. €10 miljard per jaar en variabele kosten van ca. €14 miljard per jaar; alles op nationale kostenbasis. De belangrijkste oplossingen in de Startanalyse zijn elektrische warmtepompen, hybride warmtepompen en middentemperatuur warmtenetten.

Er zitten echter nog grote onzekerheden in de berekeningen. Met deze studie geven we inzicht in de invloed van een aantal belangrijke factoren op de nationale kosten en op de mix van oplossingen met de laagste nationale kosten.

- In de Startanalyse is de voortgaande **verbetering van isolatiekwaliteit** niet meegenomen. Wij schatten de warmtevraagreductie in de bestaande woningvoorraad als gevolg van verbeterde isolatiekwaliteit op 1-1,5% per jaar; het meenemen van het effect daarvan als uitgangspunt voor de keuze van warmteoplossing leidt tot een grote verschuiving naar elektrische warmtepompen omdat deze een hogere isolatiekwaliteit vragen.
- De **beschikbaarheid van groen gas** is in de Startanalyse maximaal 2 bcm (miljard m³ per jaar), gebaseerd op het ingeschatte Nederlandse productiepotentieel. Onze verwachting is dat dit met toenemende mate een Europese markt wordt. Wanneer door import vanuit EU-landen meer ter beschikking komt leidt dit tot meer hybride warmtepompen. Bij 3 bcm groen gas is er toename van 1,8 miljoen hybride warmtepompen, en een verlaging van de totale nationale kosten van ca. €1 miljard per jaar. Dit komt met name doordat er bij toepassing van hybride warmtepompen minder vergaand geïsoleerd hoeft te worden.
- De benodigde **verzwaring van het elektriciteitsnet** is – vergeleken met isolatie en installaties – geen grote factor in de nationale kosten van de warmtetransitie, ook als we de kosten die het PBL opnam voor verzwaring van het laagspanningsnet met de kosten van verzwaring op de hogere spanningsniveaus uitbreiden. Dit terwijl netverzwaring in de discussie vaak een hoofdrol speelt. Het extra benodigde **regelbaar elektriciteits-productievermogen** – niet meegenomen in de Startanalyse - kan wél een factor van belang zijn; de investeringskosten (per eenheid extra vermogen) kunnen die van de netverzwaring duidelijk overtreffen.
- **Middentemperatuur-warmtenetten** zijn een kapitaalintensieve optie. Het lijkt aannemelijk dat ze een **langere levensduur** kennen dan in de Startanalyse aangenomen werd, en ook de **projectmanagementkosten** zouden bij grootschalige toepassing lager kunnen liggen; beide verlagen de kapitaallasten met als gevolg een significante verhoging van het aandeel van warmtenetten in de oplossing met de laagste nationale kosten. Als de **adoptiegraad** per buurt lager ligt dan de in de Startanalyse aangenomen 100% vermindert het aandeel warmtenetten; voor de grootte van dit effect is het van belang of de adoptie geconcentreerd is of verspreid over de buurt.

Samenvatting (2)

- Voor de **elektriciteitsprijs** rekent het PBL met een jaargemiddelde groothandelsprijs. Wij verwachten echter dat de gemiddelde prijs voor elektrische warmtepompen aanzienlijk hoger zal zijn dan het jaargemiddelde omdat de vraag zich concentreert op koude winterdagen met relatief hoge prijzen. Meenemen van een 50-100% hogere prijs leidt tot een sterke afname van het aantal elektrische warmtepompen in de mix met de laagste nationale kosten, ten gunste van warmtenetten.
- De **prijs van groen gas** beïnvloedt met name het aantal hybride warmtepompen. Bij een prijs tussen de €1,50/m³ en €3,00/m³ verdwijnen ze vrijwel geheel uit de optimale mix. In analyses kunnen we afleiden dat de waarde van groen gas in de warmtetransitie onder de aannames van de Startanalyse rond €2,20/m³ ligt.

Uit onze gevoeligheidsanalyses blijkt dat voor veel buurten de nationale kosten van verschillende warmteoplossingen dicht bij elkaar liggen, iets dat door het PBL ook al benadrukt werd. Daardoor zijn de veranderingen in de mix van oplossingen vaak groot, terwijl een andere mix weinig in nationale kosten hoeft te verschillen. Het is daarom – zeker gezien alle nog resterende onzekerheden – van belang om het maken van keuzes allereerst te richten op de buurten waar de verschillen groot zijn en de mix dus robuust is.

Tegelijkertijd kan dan gewerkt worden aan het verbeteren van de randvoorwaarden voor de drie belangrijkste oplossingen:

- Voor de elektrische warmtepomp is het van belang om de piekvraag te adresseren in verband met de impact op het elektriciteitssysteem. Zo kan overwogen worden om warmtepompen met elektrische elementen als hulpverwarming bij koud weer niet meer te subsidiëren. Ook zou de extra vraag naar regelbaar vermogen – en hoe daaraan tegemoet te komen – beter onderzocht moeten worden.

- In gebieden waar warmtenetten een robuuste keuze vormen vanuit het oogpunt van nationale kosten zou overwogen kunnen worden om warmtepompen niet te subsidiëren. Ook zou gewerkt moeten worden aan het verlagen van de investerings- en projectmanagementkosten van warmtenetten, onder meer door standaardisering.
- Voor grootschalige toepassing van hybride warmtepompen is het van belang om duidelijke keuzes maken ten aanzien van structurele import van groen gas. Als hiervoor gekozen wordt zou ook beleid moeten worden ingezet om hier werk van te maken.

Om duidelijkheid over de uitgangspunten voor alle partijen in de warmtetransitie te scheppen zou de rijksoverheid een isolatiescenario kunnen ontwikkelen. Verder zouden inzichten in geschikte ‘eindoplossingen’ verrijkt kunnen worden met transitie scenario's die meer inzicht geven in hoe daar in de tijd naar toegewerkt kan worden.

In investeringsbeslissingen in de warmtetransitie spelen de kosten voor de eindgebruiker een belangrijke rol. Onderzocht zou moeten worden waar deze sterk afwijken van nationale kosten; zulke verschillen zouden keuzes met hogere nationale kosten in de hand kunnen werken. Op deze punten kan dan beleid ontwikkeld worden om de kosten voor de eindgebruiker meer in lijn te brengen met de nationale kosten.

Deze studie heeft nog eens laten zien dat de warmtetransitie gepaard gaat met hoge kosten. Dit maakt het nodig om op alle punten gestructureerd te werken aan kostenreductie, op alle niveaus: componenten, systemen, en processen.

Inhoudsopgave

Samenvatting

Inhoudsopgave

Inleiding

Hoofdstuk 1 - De Startanalyse

Hoofdstuk 2 - Belangrijke factoren in de nationale kosten: effecten en inzichten

Hoofdstuk 3 - Relevante beleidsdossiers

Hoofdstuk 4 - Aanbevelingen en suggesties voor vervolgonderzoek

Bijlagen

Bijlage 1 - Overzicht van de aansluitingen per variant in de Startanalyse

Bijlage 2 - Verdieping op de factoren

Bijlage 3 - Aanpak gevoeligheidsanalyses

Bijlage 4 - Overzicht van de resultaten van alle gevoeligheidsanalyses

p. 4

p. 6

p. 7

p. 10

p. 15

p. 44

p. 47

p. 50

p. 52

p. 70

p. 72



Inleiding



Aanleiding, scope en leeswijzer

De warmtetransitie is een grote maatschappelijke opgave die gepaard gaat met significante investeringen. Netbeheerders nemen daarin verantwoordelijkheid voor het realiseren van de benodigde energie-infrastructuur. Energie Beheer Nederland (EBN) zal – wanneer de Wet Collectieve Warmte (WCW) in werking treedt - via de Nationale Deelneming Warmte mee-investeren in publieke warmtenetten.

Om goed onderbouwde systeemkeuzes te kunnen maken is inzicht nodig in de factoren die de nationale kosten van warmte bepalen. Nationale kosten zijn de totale kapitaallasten en variabele kosten die samenhangen met het realiseren van een bepaalde duurzame warmtemix voor de gebouwde omgeving, ongeacht wie deze kosten betaalt. De Actualisatie Startanalyse 2025 van het Planbureau van de Leefomgeving (PBL) biedt daarvoor een belangrijk referentiekader, maar bevat nog veel onzekerheden en vereenvoudigingen. In een integrale energiesysteem-analyse kwam Netbeheer Nederland tot de conclusie dat inzicht ontbreekt over hoe deze onzekerheden en vereenvoudigingen de inschattingen van nationale kosten van de warmtetransitie kunnen beïnvloeden.

Gezamenlijk gaven Netbeheer Nederland en EBN daarom opdracht voor deze studie, welke als doel heeft om meer inzicht te krijgen in een aantal factoren die een belangrijke rol spelen in de nationale kosten van de warmtetransitie en de mate waarin (afwijkingen in) deze factoren de nationale kosten van de warmtetransitie kunnen beïnvloeden. Afsproken werd om de volgende factoren te analyseren: isolatiekosten en -kwaliteit, prijs en beschikbaarheid van groen gas, netverzwaringkosten in hogere netvlakken, kosten van regelbaar vermogen, stuurbaarheid van warmtepompen, investerings- en projectmanagementkosten voor warmtenetten, de adoptiegraad van warmtenetten in de wijk, en de elektriciteitsprijs.

Voor elk van de factoren beoogt deze studie antwoord te geven op de volgende vragen:

1. Op welke manier kunnen (ontwikkelingen in) deze factor de nationale kosten van de warmtetransitie beïnvloeden, en via welke mechanismen (bijvoorbeeld investeringskosten, netverzwaring, flexibiliteit of energieverbruik)?
2. Hoe kan deze factor zich richting de toekomst ontwikkelen, gegeven technologische, economische of beleidsmatige trends? Welke data is hiervoor beschikbaar?
3. Hoe is deze factor meegenomen in de Startanalyse 2025 van het PBL? Welke aannames of vereenvoudigingen zijn hier bij gebruikt? Sluit dit aan bij de inzichten uit vraag 2?
4. Wat is de orde van grootte van het effect van andere aannames voor de factor op de nationale kosten van de warmtetransitie?

De studie combineert in het beantwoorden van deze vragen een kwalitatieve en een kwantitatieve benadering:

- In de **kwalitatieve analyse** is per factor in kaart gebracht hoe deze de nationale kosten kan beïnvloeden, hoe de factor in de Startanalyse 2025 is opgenomen, en hoe de factor zich in de toekomst kan ontwikkelen.
- In de **kwantitatieve analyse** zijn op basis van de kwalitatieve bevindingen voor iedere factor gevoeligheidsanalyses uitgevoerd, waarbij invloed van variaties in de factor op de uitkomsten van de Startanalyse zijn doorgerekend.

Het volgende hoofdstuk ([Hoofdstuk 1](#)) beschrijft de Startanalyse, inclusief haar doel, aanpak en resultaten op hoofdlijnen. [Hoofdstuk 2](#) behandelt de methode en uitkomsten van gevoeligheidsanalyses op factoren (uitkomsten kwantitatieve analyse), inclusief een synthese van de belangrijkste bevindingen. De inzichten van de voorafgaande kwalitatieve analyse zijn te vinden per factor in [Bijlage 2](#). In [Hoofdstuk 3](#) wordt een overzicht gegeven van de beleidsdossiers waar deze studie aan raakt en in [Hoofdstuk 4](#) worden aanbevelingen gedaan voor vervolgonderzoek om de inzichten verder aan te scherpen.

Hoofdstuk 1

De Startanalyse



De Startanalyse

De Startanalyse is een startpunt voor de warmtetransitie per wijk

In 2024 is een nieuwe wet aangenomen die in januari 2026 in werking treedt: de Wet gemeentelijke instrumenten warmtetransitie (Wgiw). Op grond van die wet moeten gemeenten uiterlijk 31 december 2026 een geüpdatete versie van hun Transitievisie Warmte opleveren, nu het 'Warmteprogramma'. Daarin moet worden vastgelegd welke stappen een gemeente in de komende 10 jaar zal nemen om tot een aardgasvrije warmtevoorziening te komen. Daarbij moeten ze - naast eindgebruikerskosten - de nationale kosten van de benodigde energie-infrastructuur meewegen.

Als hulpmiddel hierbij hebben de Ministeries van Klimaat en Groene Groei (KGG) en Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening (VRO) het PBL verzocht de Startanalyse te actualiseren. De Actualisatie van de Startanalyse aardgasvrije buurten 2025 (ASA25) is dus een update van de Startanalyse aardgasvrije buurten 2020.

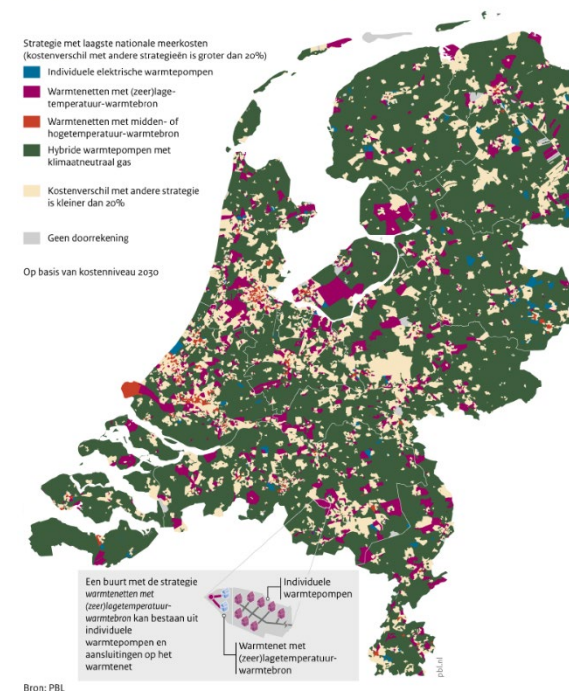
Het is een 'bottom-up' analyse op buurtniveau, primair bedoeld voor gemeenten als startpunt om verdere analyses te maken voor keuzes in hun warmteprogramma's. Het PBL heeft daarnaast de data voor alle buurten geaggregeerd naar nationaal niveau in het kernrapport. Grote steden lijken op hun eigen analyses te vertrouwen, maar veel gemeenten gebruiken de Startanalyse als inspiratie voor verdere analyses die uiteindelijk kunnen leiden tot hun warmteplannen.

De modellering is gedaan met Vesta MAIS, een *open source* model van het PBL. De resultaten zijn verkrijgbaar op gemeentelijk niveau in Excel-bestanden, en geaggregeerd in het kernrapport. Het PBL verstrekt op aanvraag ook de gedetailleerde data met resultaten per buurt voor heel Nederland.

Voor elke buurt worden de nationale meerkosten ten opzichte van het referentiebeeld 2030 (alle woningen met een cv-ketel op aardgas) van verschillende aardgasvrije warmte-strategieën berekend (elektrische warmtepompen, warmtenetten, hybride warmtepompen).

Dit zijn jaarlijkse kosten voor als de maatregel is doorgevoerd. Kapitaallasten worden berekend in constante euro's van 2023. Voor alle technologieën wordt een discontovoet van 2,25% gehanteerd, maar de levensduur verschilt.

Strategie met laagste nationale meerkosten per buurt bij Startanalyse voor aardgasvrije buurten



Conform CBS-buurtindeling 2023 worden 14.515 buurten gebruikt, met gemiddeld 589 aansluitingen. Het aantal aansluitingen per buurt varieert echter sterk: de grootste buurt heeft bijna 15.000 aansluitingen en 60% van alle aansluitingen bevindt zich in 20% van de buurten. Anderzijds zijn er veel buurten met slechts een beperkt aantal aansluitingen. Een aansluiting is in de meeste gevallen een woning, maar het kan ook een utiliteitsgebouw zijn.

De Startanalyse

Verschillende strategievarianten worden vergeleken in de Startanalyse

Er worden in de Startanalyse vier **'strategieën'** – systeemkeuzes voor aardgasvrije verwarming in een buurt - geanalyseerd: S1: elektrische warmtepompen (eWP), S2: warmtenetten met midden- of hogetemperatuur bron (MT/HT-warmtenetten), S3: warmtenetten met een (zeer)lage temperatuur bron* ((Z)LT-warmtenetten) en S4: hybride warmtepompen (hWP).

Voor elke strategie zijn **'varianten'** gedefinieerd, elk met een combinatie van warmtetechnologie en isolatiemaatregelen; in totaal zijn dit er 18, die voor elke buurt doorgerekend worden. Er zijn twee doel-isolatie-niveaus gedefinieerd: schillabel D+ (alle woningen met een schillabel slechter dan D worden naar schillabel D geïsoleerd) en B+ (slechter dan B wordt B).

De behandeling van warmtenetten in de Startanalyse is complex, vanwege de vele mogelijke uitvoeringsvormen daarvan. Er zijn zes varianten voor warmtenetten met als MT/HT bron restwarmte of geothermie. Er worden acht typen onderscheiden met een (Z)LT warmtebron. Twee varianten hebben een LT-restwarmtebron (15-30°C), vijf zijn op basis van WKO met regeneratie in droge koelers, en één op basis van WKO met TEO (thermische energie uit oppervlaktewater). Voor de (Z)LT varianten wordt een buurt doorgerekend met een mix van warmtenetaansluitingen en individuele elektrische warmtepompen. Het geschatte beschikbare vermogen van LT-bronnen is vaak te klein om hele buurten van warmte te voorzien. Omdat alle gebouwen wel aardgasvrij moeten zijn in de Startanalyse worden de collectieve systemen in deze varianten aangevuld met individuele elektrische warmtepompen.

Per buurt wordt de strategievariant met de laagste nationale meerkosten per bespaarde ton CO₂ ten opzichte van het referentiebeeld 2030 (alle woningen met een cv-ketel op aardgas) geselecteerd. De keuze gebeurt per buurt op basis van de gemiddelde kosten voor de woningen.

De **'hoofdberekening'** van PBL geeft voor alle buurten de geselecteerde strategievariant, en op basis daarvan de nationale mix aan aansluitingen per strategie, en de totale nationale meerkosten.

* NB Het PBL gaat dus uit van de temperatuur van de bron. In sommige varianten is de bron ZLT/LT, maar de levering aan het gebouw op middentemperatuur (bijvoorbeeld na collectieve opwaardering naar 70°C). Warmtenetten met een (Z)LT bron worden aangeduid als (Z)LT-netten; deze varianten zouden in andere publicaties een MT-net genoemd worden.

Nationale kosten van warmte voor woningen

Strategiecode	Omschrijving strategie	Variant-code	Schillabel	Omschrijving variant
S1	Individuele elektrische warmtepomp	S1a	B+	Luchtwarmtepomp
		S1b	B+	Bodemwarmtepomp
S2	Warmtenet met midden- of hogetemperatuurbron	S2a	B+	MT-restwarmte
		S2b	B+	MT-geothermie potentie-contour
		S2c ^a	B+	MT-geothermie overal
		S2d	D+	MT-restwarmte
		S2e	D+	MT-geothermie potentie-contour
		S2f ^a	D+	MT-geothermie overal
S3	Combinatie van warmtenet met (Z)LT-warmtebron en individuele elektrische warmtepompen	S3a	B+	Restwarmte, bron 15-30 °C, individueel opwaarderen tot 50 °C + TW ^b
		S3b	B+	WKO, bron 15 °C, individueel opwaarderen tot 50 °C + TW ^b
		S3c	B+	WKO, bron 15 °C, collectief opwaarderen tot 70 °C
		S3d	B+	WKO, bron 15 °C, collectief opwaarderen tot 50 °C, booster voor TW ^b
		S3e	B+	WKO + TEO, bron 15 °C, individueel opwaarderen tot 50 °C + TW ^b
		S3f	D+	Restwarmte, bron 15-30 °C, collectief opwaarderen tot 70 °C
		S3g	D+	WKO, bron 15 °C, individueel opwaarderen tot 50 °C + TW ^b
		S3h	D+	WKO, bron 15 °C, collectief opwaarderen tot 70 °C
S4	Hybride warmtepomp met klimaatneutraal gas	S4a	B+	Hybride warmtepomp
		S4b	D+	Hybride warmtepomp

a) Varianten S2c en S2f zijn theoretische varianten, onder de aanname dat een geothermieboring op elke locatie mogelijk is en niet enkel in gebieden waarvan bekend is dat ze onderzocht zijn voor geothermie. Om deze reden worden deze varianten uitgesloten van de laagste nationale kostenvergelijking. Om gemeenten inzicht te geven in kosten voor gebieden waar de mogelijkheden nu nog onbekend zijn, worden deze varianten wel meegenomen in de berekeningen.

b) TW: tapwater

De Startanalyse

Aannames in de Startanalyse

- In buurten waar een technologie-keuze volgens de analyse de laagste nationale meerkosten oplevert, gaat de Startanalyse uit van **100% adoptie*** van deze keuze binnen die buurten. Dit geldt **voor MT/HT netten, eWP en hWP**.
- De **aanpak voor ((Z)LT)-netten wijkt af** van die voor andere warmteoplossingen; hiervoor is een **‘clusteringsmethode’** toegepast. Dit betekent dat voor (Z)LT-netten eerst een afweging gemaakt wordt per woning tussen een (Z)LT aansluiting en een eWP. Voor een uitleg van de clusteringsmethode zie hoofdstuk 4.5 van [Gebruikershandleiding van de Actualisatie van de Startanalyse 2025](#).
- Toepassing van twee technologieën vindt ook plaats in buurten waar al **bestaande MT-warmtenetten** liggen. Als basis in de Startanalyse worden bestaande warmtenetten meegenomen — dit betreft 445.925 aansluitingen op MT en HT-netten. Het PBL behoudt deze netten als uitgangspunt; het zou niet logisch zou zijn om ze te vervangen door een andere warmteoplossing. Dit betekent dat sommige buurten in de hoofdberekeningen een mix laten zien van bestaande MT-netten en aanvullende strategieën, zoals eWP of hWP.
- In strategie 4 (hybride warmtepomp) spreekt het PBL van ‘klimaatneutraal gas’ als brandstof voor het CV-keteldeel; dit betreft een mix van groen gas (biomethaan) en groene waterstof. In de hoofdberekening is dit in feite met name groen gas, gegeven de gehanteerde groothandelsprijs van €1,00 per m³. De onzekerheid in de beschikbaarheid van groene waterstof voor de gebouwde omgeving en de kosten van groene waterstof zijn nog dermate groot, dat we in dit rapport verder de term ‘groen gas’ hanteren.
- In het toekennen van strategie 4 (hybride warmtepomp en groen gas) wordt een speciale methode toegepast. Omdat deze strategie in het overgrote deel van de buurten de optie met de laagste nationale meerkosten is wordt de beschikbare 2 bcm (2 miljard m³ per jaar) volledig benut. **Groen gas en hWP (S4) wordt daarom toegekend waar de waarde van groen gas het hoogst is** (waar het verschil in nationale meerkosten per bespaarde ton CO₂ het grootst is).
- In de Startanalyse wordt aangenomen dat bijstook in warmtenetten gerealiseerd wordt door hulpketels op klimaatneutraal gas. Van de 2 bcm groen gas wordt **0,5 bcm groen gas gereserveerd voor hulpketels** in de warmtenetten, zowel in de hoofdberekening als in de gevoeligheidsanalyses. Er wordt verder geen check uitgevoerd van de daadwerkelijke inzet in hulpketels in de verschillende analyses.

*) Deze aanname past bij buurten met een min of meer homogene bebouwing. Zeker bij grote buurten (de grootste heeft 15.000 aansluitingen) zal het toepassen van één strategie in werkelijkheid vaak niet reëel zijn.

De Startanalyse

De mix aan aansluitingen in de hoofdberekening

De tabel geeft voor de hoofdberekening het totaal aantal aansluitingen per strategie en technologie; in totaal zijn er 8,4 miljoen aansluitingen van bestaande woningen en utiliteitsgebouwen. In de figuur uit de Startanalyse (rechtsonder) is dezelfde verdeling te zien. Daarin is met arceringen aangegeven voor welk deel van de aansluitingen het kostenverschil met de optie met de op één na laagste nationale kosten minder dan 20% bedraagt.

Binnen Strategie 1 (individuele eWP) gaat het vrijwel uitsluitend om luchtwarmtepompen, die veel lagere kosten hebben dan de bodemwarmtepomp. De meeste aansluitingen op een individuele eWP zitten echter in buurten met Strategie 3 in combinatie met (Z)LT-warmtenetten.

Strategie 2 zijn de MT/HT-warmtenetten. In totaal zijn er ca. 2,5 miljoen aansluitingen, waarvan alleen de varianten waarin isolatie beperkt wordt tot schillabel D+, tot significante aantallen komen. Voor 1,2 miljoen van deze aansluitingen (incl. 0,45 miljoen bestaande aansluitingen) is het kostenverschil met de optie met de op één na laagste nationale kosten groter dan 20%.

Als gevolg van de clusteringmethode resteren er in S3 buurten maar kleine (Z)LT-warmtenetten met gemiddeld 120 aansluitingen; eWP is op woningniveau vaak aantrekkelijker dan aansluiting op (Z)LT. Deze buurten kunnen dus ook gezien worden als eWP-buurten met voor een beperkt aandeel van de aansluitingen een Warmte-koude opslag (WKO); hoewel ze 30% van het totaal aantal aansluitingen omvatten, krijgt slechts 6% een aansluiting op een (Z)LT-warmtenet; dit kunnen woningen zijn waarvoor de kosten van isolatie naar schillabel B+ hoog zijn. De overige aansluitingen in deze buurten krijgen een individuele eWP.

Binnen de S3-strategie komen alleen twee WKO-varianten met resp. thermische energie uit oppervlaktewater en droge koeler als warmtebron tot significante aantallen aansluitingen; elk ca. 200.000. De twee varianten met een restwarmtebron komen vrijwel niet aan bod; er is een groot potentieel aan restwarmtebronnen, maar mogelijk is de afstand van bron tot buurt vaak een beperkende factor. Ook de vier varianten met een collectieve warmtepomp en een warmtenet op 50 of 70 °C komen er nauwelijks aan te pas. S3-varianten zijn een oplossing voor buurten die buiten de boot vallen voor toepassing van hybride warmtepompen, door de beperkte beschikbaarheid van groen gas. Ze krijgen dan bijvoorbeeld (Z)LT-aansluitingen voor lastig te isoleren woningen en eWP voor de overige woningen.

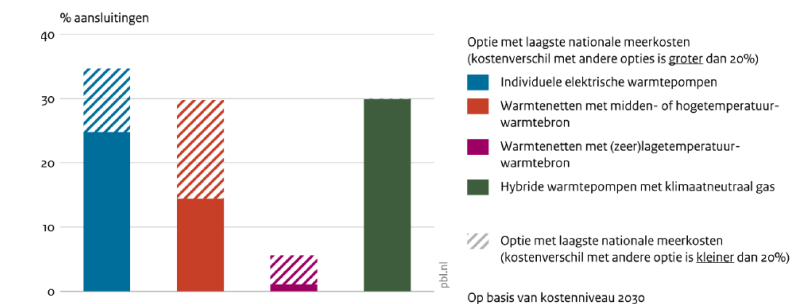
Hybride warmtepompen met groen gas zitten in Strategie 4, met ca. 2,5 miljoen aansluitingen, vrijwel uitsluitend in de variant met schillabel D+, vanwege de lagere isolatiekosten.

Mix van aansluitingen in de hoofdberekening (miljoenen)

Strategie	Technologie				Totaal
	eWP	MT	LT	hWP	
S1	0,94	0,01	0	0	0,95
S2	0	2,29	0	0	2,29
S3	1,96	0,08	0,47	0	2,51
S4	0	0,13	0	2,51	2,64
Totaal	2,91	2,50	0,47	2,51	8,39

In de rest van dit document zullen we voornamelijk spreken over technologieën (door het PBL 'warmteoptie' genoemd)

Aandeel aansluitingen per warmteoptie

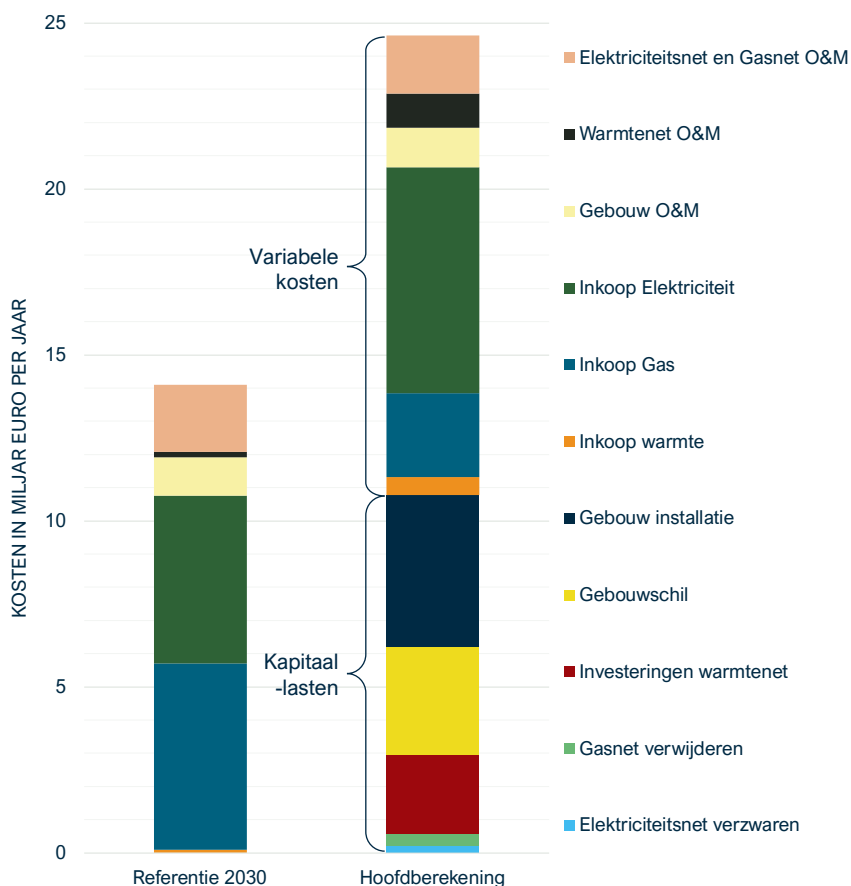


Bron: PBL

De hoofdberekening in de Startanalyse betekent voor de infrastructuur: 2,5 miljoen aansluitingen (hWP) behouden het gasnet. Voor 3,5 miljoen aansluitingen (eWP+LT) is vrijwel zeker netverzwaring aan de orde, en 3,0 miljoen aansluitingen (MT+LT) krijgen een aansluiting op een warmtenet

Opbouw van de totale nationale kosten in de hoofdberekening

Totale jaarlijkse kosten in de PBL hoofdberekening



De berekende jaarlijkse kosten van warmteoplossingen per buurt bepalen welke warmteoplossing voor die buurt geselecteerd wordt, en de totale nationale kosten zijn dan de som van die van de per buurt geselecteerde oplossingen.

De grootste verandering in de nationale kosten zijn de jaarlijkse **kapitaallasten** van de investeringen om alle buurten in Nederland tegen de laagste nationale kosten aardgasvrij te maken. Deze bedragen €10,8 miljard per jaar*; hierin zijn dus niet de kapitaallasten meegenomen van de assets die gelijk blijven, zoals het ongewijzigde deel van het elektriciteitsnet en bestaande MT-warmtenetten. Teruggerekend is dit ca. € 220 miljard aan investeringen (berekend met een discontovoet van 2,25% en een levensduur die varieert van 15 jaar voor warmtepompen tot 50 jaar voor de verzwaring van elektriciteitsnetten en de verwijdering van het gasnet). Voor de hoofdberekening is de verdeling van de jaarlijkse kapitaallasten weergegeven in het onderste deel van het staafdiagram. De grootste posten daarin zijn de gebouwinstallaties (42%), isolatie/gebouwschil (30%), en de investeringen in warmtenetten (22%). De kosten van verwijdering van het gasnet (3%) en van de benodigde verzwaring van het elektriciteitsnet (LS-net en MS/LS trafo's, 2%) spelen een ondergeschikte rol; de investeringen daarin zijn een beperkt deel van de totale investeringen en ze hebben een lange afschrijvingstermijn van 50 jaar.

De variabele kosten dalen opvallend genoeg nauwelijks vergeleken met die in het referentiebeeld 2030. In totaal gaat het hier om een grote kostenpost van €14 miljard per jaar. Zowel voor de kapitaallasten als voor de variabele kosten kunnen variaties in de aannames grote invloed hebben op de uitkomsten.

Van de variabele kosten bestaat in de hoofdberekening 71% uit inkoop van energie. De door het PBL aangenomen energieprijzen zijn dus van grote invloed. Deze zijn (in euro's van 2023, inclusief overhead kleinverbruik): aardgas: €0,53 per m³, groen gas: €1,20 per m³, 'grijze' elektriciteit: €0,10 per kWh, klimaatneutrale elektriciteit: €0,088 per kWh. Onderhoud en beheer (O&M) vormen ook een grote kostenpost. Er wordt weliswaar veel minder gas gebruikt in de hoofdberekening (2 bcm) dan in het referentiebeeld 2030 (10,6 bcm), maar het groen gas is wel veel duurder. Gecombineerd met stijgingen in inkoop van elektriciteit en warmte (vergoeding voor restwarmte) en in kosten van onderhoud en beheer verklaart dit dat de variabele kosten nauwelijks dalen.

Veel van de kapitaallasten in isolatie en installatie worden gedaan voor elektrische warmtepompen, ook in (Z)LT netten, waarbij de isolatiekwaliteit opgewaardeerd moet worden naar schillabel B+. Dit leidt echter ook tot flinke besparingen in de variabele kosten, met name met minder gas inkoop. Gas blijft nog steeds een grote kostenpost vanwege het gebruik van groen gas in hybride warmtepompen en in hulpketels voor warmtenetten.

*) Alle kostenposten zijn afgeleid uit de datasets van PBL behorende bij de Startanalyse

A scenic view of a canal in Amsterdam, featuring traditional Dutch houses with many windows, reflected in the water. A large red curved graphic element is on the right side. Yellow autumn leaves are visible in the top left corner.

Hoofdstuk 2

Belangrijke factoren in de nationale kosten: effecten en inzichten

Belangrijke factoren

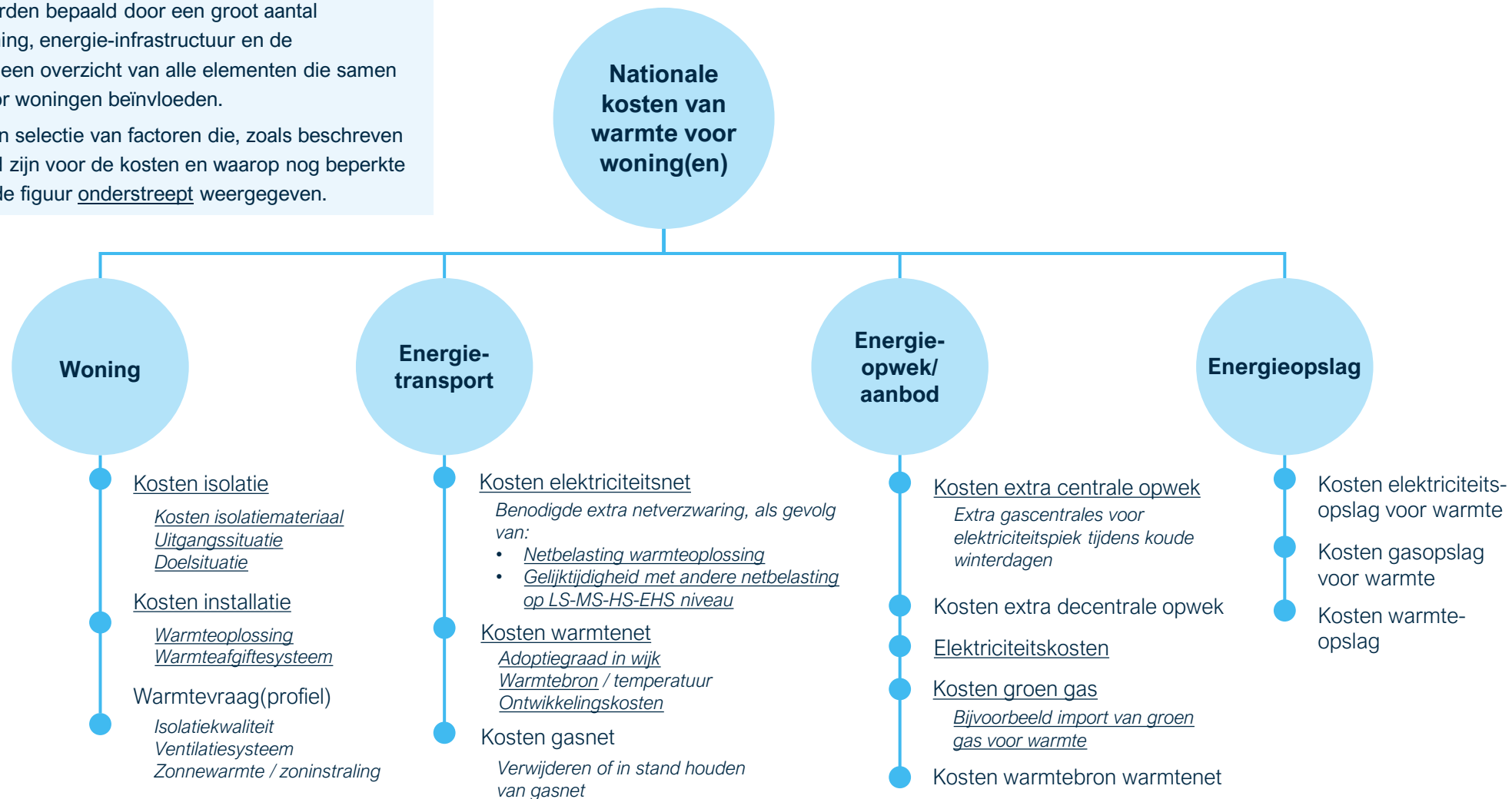
Factoren in de nationale kosten van warmte voor woningen

De nationale kosten van warmte worden bepaald door een groot aantal samenhangende factoren in de woning, energie-infrastructuur en de energievoorziening. De figuur geeft een overzicht van alle elementen die samen de nationale kosten van warmte voor woningen beïnvloeden.

In deze studie richten we ons op een selectie van factoren die, zoals beschreven in de aanleiding en scope, bepalend zijn voor de kosten en waarop nog beperkte kennis beschikbaar is. Deze zijn in de figuur onderstreept weergegeven.

Leeswijzer hoofdstuk

Op de volgende slide lichten we toe waarom juist op deze factoren wordt ingezoomd: hoe beïnvloeden zij de nationale kosten, via welke mechanismen, en waarom zijn ze relevant in deze fase van de analyse? In de daaropvolgende hoofdstukken worden de afzonderlijke factoren vervolgens geanalyseerd, gekwantificeerd en geduid in samenhang met de overige resultaten van deze studie.



Belangrijke factoren

Belangrijke onderwerpen in de nationale kosten van de warmtetransitie (1)

Aan de start van het project is in overleg met de netbeheerders een eerste set factoren geselecteerd voor kwalitatieve verdieping (zie [Bijlage 2](#)). Tijdens deze fase werd, mede door verdere analyse van de Startanalyse 2025, duidelijk welke factoren een grote of juist beperkte rol spelen in de nationale kostenberekening, en welke aannames of gevoelheden daaraan verbonden zijn. Op basis van deze inzichten is de lijst met factoren tijdens het onderzoek aangescherpt: sommige factoren zijn toegevoegd, andere vervielen. De factoren die op deze en de volgende pagina worden geïntroduceerd, zijn uiteindelijk meegenomen in de kwantitatieve gevoeligheidsanalyses.

In deze fase van het onderzoek is voor elke factor afzonderlijk een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd, om de ordegrrootte van het effect op de nationale kosten inzichtelijk te maken. In een vervolgfase zou het waardevol zijn om meerdere factoren gelijktijdig te variëren, zodat interacties tussen aannames beter zichtbaar worden.

Tot slot is het belangrijk te benadrukken dat nationale kosten slechts één afwegingscriterium vormen bij de keuze voor warmteoplossingen. Ook aspecten als eindgebruikerskosten, sociale processen, tempo van realisatie en maakbaarheid spelen een cruciale rol bij het bepalen van de optimale transitiepaden. Deze aspecten zijn geen onderdeel de Startanalyse en de aanvullende gevoeligheidsanalyses, maar bespreken we wel in meer detail aan het einde van dit hoofdstuk ([link](#))

Isolatie

Isolatie is een belangrijke factor in de nationale kosten van de warmtetransitie en één van de grootste kostencomponenten in de Startanalyse. Tegelijkertijd bestaan er aanzienlijke onzekerheden over de ‘autonome’ verbetering van isolatiekwaliteit – los van de buurttransitie - richting 2050. Deze onzekerheden beïnvloeden de nationale kosten via twee mechanismen:

- De benodigde isolatieverbetering voor een warmteoplossing en de bijbehorende kapitaallasten;
- De variabele energiekosten die samenhangen met de resterende warmtevraag.*

Ontwikkelingen in de uitgangssituatie van isolatiekwaliteit (bijvoorbeeld door autonome isolatieverbetering) of kosten voor isolatie kunnen de vergelijking tussen de warmteoplossingen op laagste nationale kosten beïnvloeden.

Groen gas

De Startanalyse veronderstelt een beperkte beschikbaarheid van 2 miljard m³ klimaatneutraal gas (groen gas), waardoor de inzet van hybride warmtepompen wordt begrensd. Onder deze aannames is de hybride warmtepomp (met isolatie tot schillabel D+, groen gas prijs van €1,20 / m³) de goedkoopste optie voor circa 2,5 miljoen aansluitingen, met ten minste 20% lagere nationale kosten dan het eerstvolgende alternatief.

De reële beschikbaarheid en prijs van groen gas voor de gebouwde omgeving op de lange termijn is onzeker en kan variëren naar de toekomst. Andere inschattingen over de beschikbaarheid en prijs van groen gas voor de gebouwde omgeving kunnen de technologiemix en daarmee de nationale kosten dus naar verwachting significant beïnvloeden.

*) Er bestaat echter bij experts verschil van inzicht over de relatie tussen warmtevraagreductie en energielabel.

Belangrijke factoren

Belangrijke onderwerpen in de nationale kosten van de warmtetransitie (2)

Netverzwaring en regelbaar vermogen

De kosten van netverzwaring zijn in de Startanalyse een kleine factor; ze veroorzaken slechts 2% van de kapitaallasten. Dit komt doordat de benodigde investeringen in de isolatie en installatie relatief significant grotere kostenposten zijn. Daarbij zijn enkel de kosten van het laagspanningsnet en het MS-LS-transformatorstation. In dit onderzoek is aanvullend verkend wat het mogelijke effect is van benodigde investeringen in hogere netvlakken.

Elektrische warmtepompen hebben de grootste vermogensvraag. Wanneer deze klein gedimensioneerd worden en/of niet stuurbaar zijn kan de gelijktijdigheid van de vraag in koude winteruren – die de piekvraag bepalen - veel hoger liggen dan de in de Startanalyse aangenomen 0,5. Bij voldoende dimensionering en goede stuurbaarheid op elektriciteitsprijs en netcongestie kan de gelijktijdigheid juist lager liggen.

In het verlengde van de benodigde netverzwaring verwacht Common Futures dat ook de vraag naar regelbaar vermogen sterk kan toenemen bij een brede adoptie van elektrische warmtepompen, omdat dit een extra vraagpiek kan introduceren in (soms windstille) winterweken. Hiervoor moeten mogelijk extra gasturbinecentrales worden bijgebouwd. Dit kan een aanzienlijke impact hebben op de nationale kosten van elektrische warmtepompen. Als het regelbaar vermogen geleverd wordt door gasturbines is hier in een aardgasvrij systeem ook groen gas voor nodig.

Warmtenetten

Warmtenetten kennen significante investeringskosten. In de Startanalyse lijkt de aangenomen levensduur waarover deze kapitaallasten worden uitgesmeerd echter relatief kort, en zijn daarnaast de investeringen rond projectmanagement per aansluiting hoog ingeschat. Beide factoren verhogen de nationale kosten per aansluiting van warmtenetten, en beïnvloeden daarmee het aantal buurten waarvoor warmtenetten de optie met de laagste nationale kosten zijn.

De Startanalyse gaat uit van een adoptiegraad van 100% in de buurten waar het warmtenet de oplossing met de laagste nationale kosten is. In de praktijk lijkt een adoptiegraad van 100% niet realistisch, omdat woningeigenaren keuzevrijheid hebben en soms al een andere oplossing kiezen voordat een warmtenet gerealiseerd wordt. Een lagere adoptiegraad in de buurt kan de nationale kosten van de warmtenetoplossing per aansluiting verhogen, met name wanneer verspreid over de buurt voor andere oplossingen gekozen wordt. Dit geldt ook in het algemeen: waar in de praktijk meerdere oplossingen in dezelfde buurt toegepast worden, zullen de nationale kosten – met name van de infrastructuur – oplopen.

Vanwege de bijzondere behandeling van (Z)LT-warmtenetten in de Startanalyse, het geringe aandeel in de mix, en het gebrek aan data over de warmtebronnen ligt de focus in onze gevoeligheidsanalyses op MT-warmtenetten.

Energieprijzen

In de Startanalyse wordt gerekend met een (lage) groothandelsprijs gemiddeld over het jaar van €0,065 per kWh, plus een opslag voor 'overhead kleinverbruik'. De gewogen elektriciteitsprijs in de uren dat een elektrische warmtepomp draait zal echter hoger liggen dan het jaargemiddelde. Dit zou de variabele kosten van elektrische warmtepompen verhogen, en potentieel het aantal woningen waarvoor dit de optie met de laagste nationale kosten is.

Relevante onderwerpen waarop we geen gevoeligheidsanalyse hebben gedaan:

Installaties: In installaties zoals warmtepompen is nog veel innovatie mogelijk. Hierdoor kunnen de kosten in de toekomst dalen.

Discontovoet: In de Startanalyse is gerekend met de geldende maatschappelijke discontovoet van 2,25%. In 2025 neemt de rijksoverheid een nieuw besluit over de te hanteren discontovoet. Deze zou daarbij hoger uit kunnen komen, waardoor kapitaalintensieve opties relatief duurder worden.

Belangrijke factoren

Gevoeligheidsanalyses

Op de volgende pagina's bespreken we de 16 aanvullende gevoeligheidsanalyses die we voor deze studie hebben uitgevoerd op basis van de Startanalyse, achtereenvolgens voor isolatie, groen gas, netverzwaring en regelbaar vermogen, warmtenetten, en energieprijzen.

Voor deze analyses hebben we gebruik gemaakt van de data-bestanden van de Startanalyse. Door parameters te variëren veranderen de nationale kosten van de verschillende strategieën per buurt en in veel gevallen leidt dat ook tot wijziging van de strategie met de laagste nationale kosten per buurt. Uiteindelijk tellen we de investeringen en aantallen aansluitingen voor de nieuwe situatie weer op tot nationaal niveau. Onze aanpak beschrijven we in [Bijlage 3](#).

Daarnaast duiden we ook enkele gevoeligheidsanalyses van het PBL zelf (gemarkeerd in de tabel rechts) en maken we waar nodig vergelijkingen met andere resultaten van het PBL.

Concreet werkt onze gevoeligheidsanalyse als volgt:

1. We gaan uit van de kostendata van het PBL voor alle 18 varianten;
2. We herberekenen de meerkosten van alle varianten per buurt op basis van nieuwe aannames;
3. We selecteren per buurt de variant met de laagste meerkosten na deze herberekening;
4. We sommeren de aansluitingen en meerkosten van de winnende variant voor alle buurten om tot nationale waarden te komen.

Onderwerp	Factor	Waarde in hoofd-berekening Startanalyse	Wie	Gevoeligheidsanalyse(s); toelichting aannames op navolgende slides
Isolatie	Investeringskosten	varieert	CF*	-10%
	Uitgangsniveau schillabels	2024	CF	2037, alles al B+ (geen isolatie kosten)
	Strategie 1 (eWP)	met schillabel B	CF	met schillabel D
	Doelniveau schillabels	D+ of B+ (afhankelijk van de strategievariant)	PBL	Alle gebouwen naar B+
Groen gas	Beschikbaarheid	2 bcm	CF	3 bcm, onbeperkte beschikbaarheid
Netverzwaring en regelbaar vermogen	Aansluitwaarde elektrische warmtepomp	7 kW - vast	CF	11 kW - vast
	Kosten netverzwaring	ca. €530/kW	CF	€1.000/kW
	Kosten regelbaar vermogen	Niet meegenomen	CF	€1.350/kW
	Gelijktijdigheidsfactor	0,5	CF	0,25 en 0,9
Warmtenetten	Projectmanagementkosten per aansluiting	MT warmtenetten: €4.100	CF	MT warmtenetten: €2.600
	(idem)	MT warmtenetten: €4.100 LT en eWP: €2.600 hWP: €1.100	PBL	MT: hoog €8.000, laag €209 LT en eWP: hoog €5.000, laag €209 hWP: hoog €2.000, laag €209
	Levensduur	28 jaar	CF	Leidingen: 48 jaar met een herinvestering van 25% van de initiële CAPEX in jaar 30. Warmtebronnen en afleversets: 38 jaar met een herinvestering van 70% in jaar 20.
	Investeringskosten	varieert per onderdeel	CF	+/- 25%
Energieprijzen	Elektriciteitsprijs	€0,088/kWh	CF	50% en 100% hogere prijzen
	Prijs groen gas	€1.2/m ³	PBL	€0,88 €1,50 €3 en €5/m ³

*CF = Common Futures

Belangrijke factoren

Leeswijzer gevoeligheidsanalyses

In de volgende slides wordt de gevoeligheidsanalyse per onderwerp behandeld: (1) isolatie, (2) groen gas, (3) netverzwaring en regelbaar vermogen, (4) warmtenetten en (5) energieprijzen.

Elke factor wordt behandeld in twee onderdelen

1. **Inzichten en opzet van de analyse** – een toelichting op actuele inzichten en ontwikkelingen rond het onderwerp, hoe het onderwerp in de Startanalyse is meegenomen, en een introductie van de uitgevoerde gevoeligheidsanalyses. De achterliggende inzichten, aannames en data zijn uitgewerkt in [Bijlage 2](#).
2. **Resultaten en interpretatie** – een samenvatting van de belangrijkste bevindingen uit de gevoeligheidsanalyses, inclusief grafieken met de effecten op de nationale kosten en de samenstelling van de optimale mix aan warmteopties. Waar relevant worden ook aanbevelingen voor vervolgonderzoek gegeven.

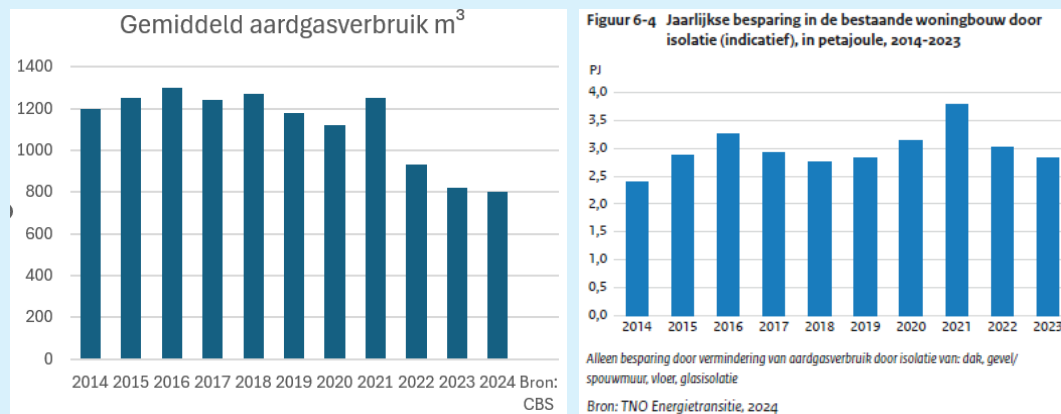
De slides met de toelichting en interpretatie van de resultaten worden ondersteund met twee grafieken aan de linker zijde. De bovenste grafiek laat voor elke gevoeligheidsanalyse de kosten optimale mix aan warmteopties op nationaal niveau zien. De onderste grafiek toont de opbouw van de nationale kosten per gevoeligheid. Onder elke grafiek wordt de kwantitatieve wijziging ten opzichte van de hoofdberekening in de Startanalyse weergegeven.

Onderwerp	Onderdeel	Pagina
Isolatie	Inzichten en opzet van de analyse	21
	Resultaten en interpretatie	23
Groen gas	Inzichten en opzet van de analyse	25
	Resultaten en interpretatie	26
Netverzwaring en regelbaar vermogen	Inzichten en opzet van de analyse	28
	Resultaten en interpretatie	30
Warmtenetten	Inzichten en opzet van de analyse	32
	Resultaten en interpretatie	34
Energieprijzen	Inzichten en opzet van de analyse	36
	Resultaten en interpretatie	38

Voortgaande verbetering van isolatiekwaliteit niet meegenomen; kan dit leiden tot een verschuiving naar elektrische warmtepompen? (1)

Actuele inzichten en ontwikkelingen

Warmtevraagreductie door isolatie is een belangrijke stap in de warmtetransitie (zie [Kamerbrief over verduurzaming gebouwde omgeving](#)), en wordt actief gestimuleerd door de overheid. Jaarlijks investeert Nederland significante bedragen in isolatiemaatregelen, mede door de hoge energieprijzen sinds 2021 en afspraken met corporaties over labelverbetering. Deze maatregelen hebben de warmtevraag structureel verlaagd; dit is één van de oorzaken van het sterk gedaalde aardgasverbruik in woningen (figuur links, [CBS](#)): isolatie heeft tussen 2013-2024 de warmtevraag gemiddeld met 1,25% per jaar gereduceerd (rechts, [RVO 2024](#) en [TNO 2025](#)).

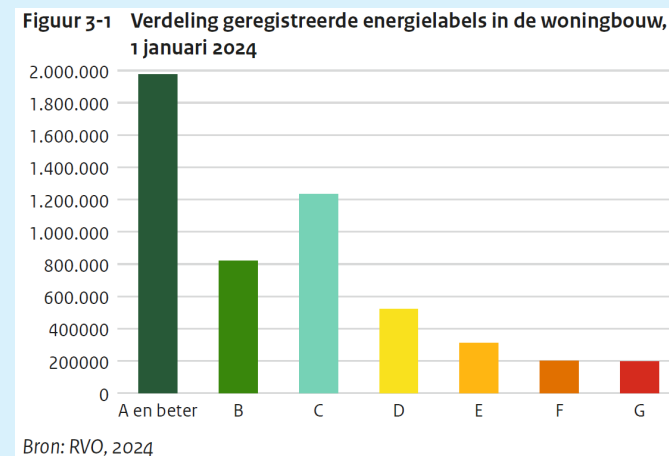


Behandeling in de Startanalyse

De Startanalyse rekent vanuit huidige gebouwschil (energielabels) en houdt geen rekening met een voortgaande 'autonome' ontwikkeling van woningsisolatie. Dit heeft tot gevolg dat in de Startanalyse alle verbeteringen ten opzichte van het huidige isolatieniveau voor rekening

komen van de maatregelenpakketten waar ze deel van uitmaken. De huidige isolatiekwaliteit (uitgangssituatie) is bij gebrek aan data globaal ingeschat op basis van energielabels – van wisselende kwaliteit en jaar van opname - en gasverbruik. In de doelsituatie voor isolatie wordt per warmteoplossing onderscheid gemaakt tussen een benodigde opwaardering naar D+ of B+ schillabel.

Onder de aannames in de Startanalyse zou het opwaarderen van de Nederlandse bouwvoorraad naar B+ €164 miljard kosten, en opwaardering naar D+ €33 miljard; voor B+ zijn er ook veel meer woningen die isolatiemaatregelen nodig hebben dan voor D+. In de figuur hieronder is van de woningen met een energielabel (toen 64%) de verdeling gegeven. Een schillabel B+ variant zou betekenen dat van deze woningen ca. 2,4 miljoen (bijna de helft) geïsoleerd zou moeten worden, terwijl dit er voor schillabel D+ slechts ca. 0,4 miljoen zouden zijn.



Voortgaande verbetering van isolatiekwaliteit niet meegenomen; kan dit leiden tot een verschuiving naar elektrische warmtepompen? (2)

Relevante variaties in de aannames

Omdat de warmtetransitie zich over 25 jaar uitstrekt, zal de isolatiekwaliteit van veel woningen al verbeterd zijn voordat een aardgasvrije warmteoplossing wordt geïnstalleerd. Bij een stijgende uitgangssituatie nemen de extra isolatiekosten af, waardoor pakketten met een hoger doelniveau (B+) over het totaal aan nationale kosten aantrekkelijker kunnen worden ten opzichte van die met D+.

Introductie van de gevoeligheidsanalyses

“10% isolatiekosten besparing”: In de Startanalyse is aangenomen dat de kosten van isolatiemaatregelen met 12% stijgen tussen 2020 en 2030, terwijl de meeste andere kosten (bijv. van warmtepompen) dalen. Er is echter ook op het vlak van isolatiemaatregelen nog veel te winnen, bijvoorbeeld door procesverbetering. In deze analyse bekijken we wat er gebeurt als de kosten van isolatiemaatregelen gemiddeld 10% lager liggen dan de aannames in de hoofdberekening van de Startanalyse.

“Autonoom B+”: Er wordt ieder jaar stevig geïsoleerd in de Nederlandse woningvoorraad, waardoor naar onze inschatting de warmtevraag met 1,0-1,5% per jaar afneemt. Wanneer we aannemen dat de gemiddelde buurt rond 2037 – midden tussen nu en 2050 - voor zijn transitiekeuze komt te staan betekent dit dat de warmtevraag dan al met zo'n 15% gedaald is. In deze gevoeligheidsanalyse nemen we aan dat de autonome ontwikkeling in 2037 gemiddeld al geleid heeft tot 'schillabel B+' voor de hele gebouwvoorraad, zonder dat de kosten nog drukken op de vergelijking tussen de verschillende strategieën. Dit is waarschijnlijk een vrij extreme aanname. Hoewel volgens sommige bronnen het gasverbruik in woningen met een CV-ketel slechts met ca. 15% daalt, zelfs bij een verbetering van label

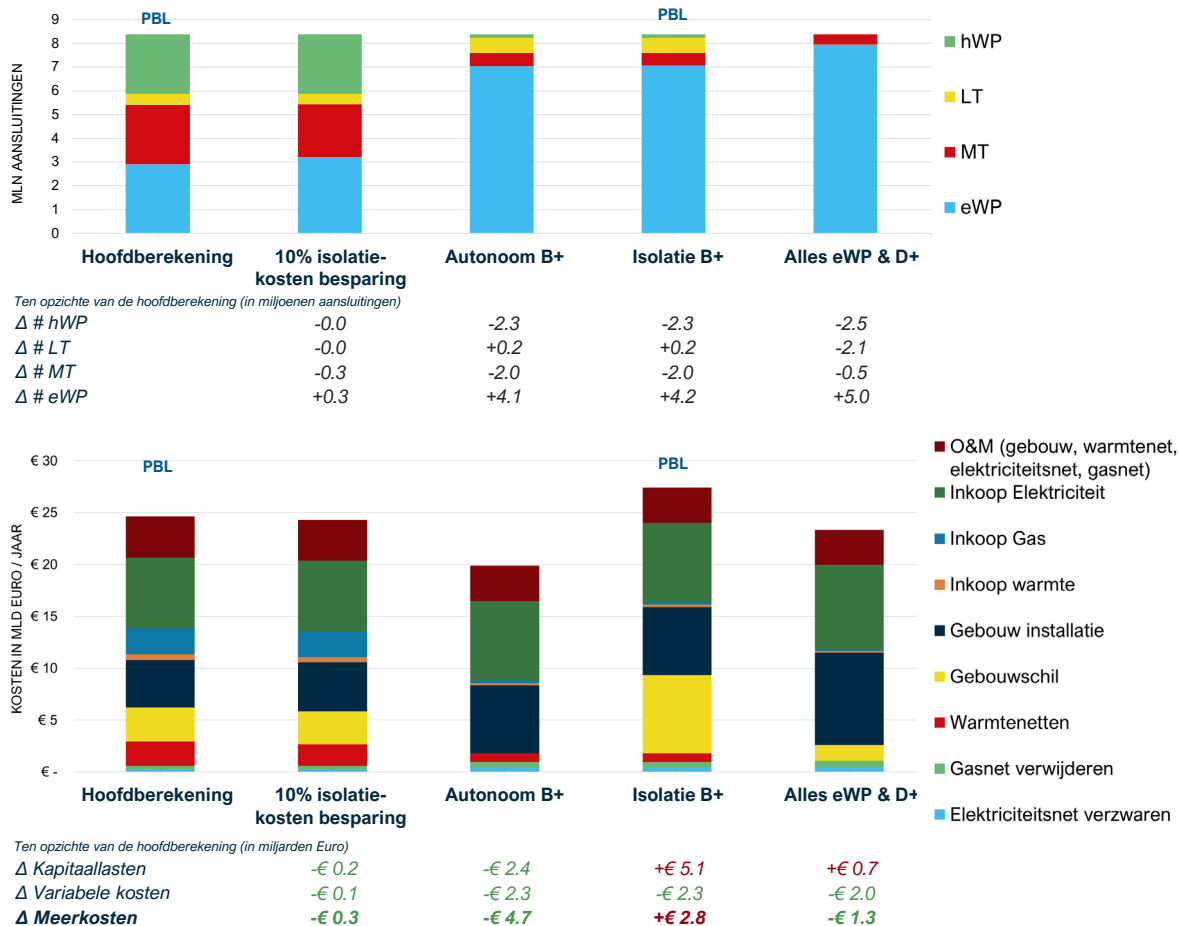
D-G naar B, zou het berekende warmteverlies aanmerkelijk meer moeten dalen. Het verschil wordt toegeschreven aan een hogere gemiddelde binnentemperatuur na verbetering van de isolatie.

“Isolatie B+”: Ter vergelijking nemen we de PBL-gevoeligheidsanalyse op waarin alle aansluitingen geïsoleerd worden tot schillabel B+, waarbij de kosten wel drukken op de vergelijking tussen de verschillende strategieën.

“Alles eWP + D+”: In de Startanalyse is niet onderzocht wat een combinatie van eWP met schillabel D+ op zou leveren. In deze analyse berekenen we het effect op de meerkosten. Het effect op het aantal eWPs in de oplossing met de laagste nationale kosten laat zich niet goed inschatten zonder het Vesta MAIS model opnieuw te draaien, dus nemen we de strategievariant s1a uit de berekeningen van de Startanalyse (alleen elektrische warmtepompen) als basis voor de mix van aansluitingen en de nationale kosten per buurt. Voor isolatie hebben we de kosten uit strategievariant s4b gebruikt (hybride warmtepomp met D+ schillabel). Verder hebben we de posten inkoop elektriciteit, installatie (warmtepomp) en netverzwaring geschaald met de extra elektriciteitsvraag. Deze extra vraag hebben we berekend uit het verschil in warmtevraag tussen strategievarianten met een D+ label (s1a) en met een B+ label (s4b).

Wanneer de isolatiekwaliteit door voortgaande verbetering effectief al schillabel B+ bereikt, domineert de elektrische warmtepomp

Aansluitingen en kosten in de isolatie gevoeligheden



Resultaten gevoeligheidsanalyses

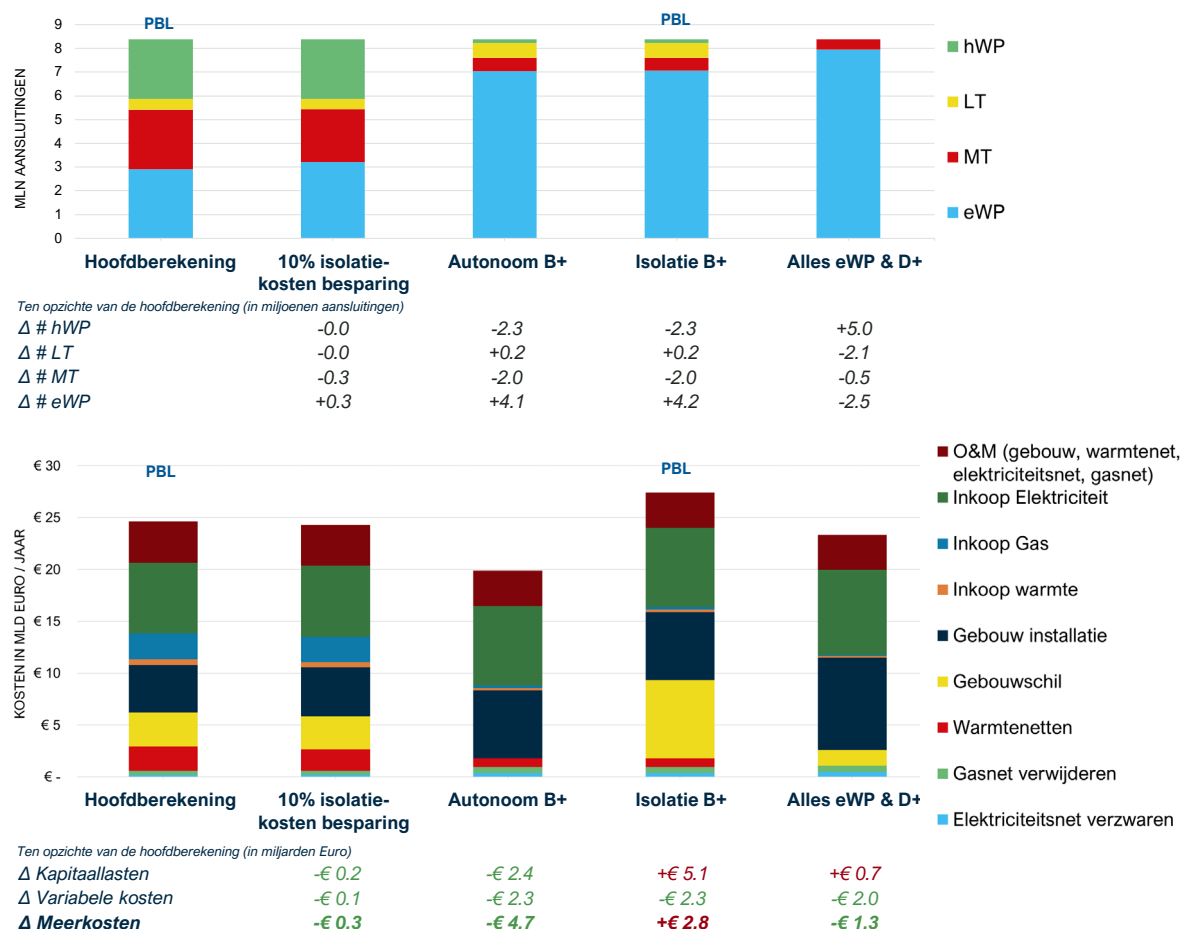
- Een besparing van 10% op isolatiekosten verandert de totale nationale kosten met iets meer dan 1%. Een klein deel van de MT-warmtenetten verschuift naar elektrische warmtepompen (eWP), doordat de combinatie van een eWP met schillabel B+ aantrekkelijker wordt.
- Wanneer isolatiekosten niet worden toegerekend aan specifieke warmteopties vanwege autonome verbetering ("Autonoom B+") of wanneer isolatie naar B+ wordt geforceerd (gevoeligheidsanalyse PBL), ontstaat een duidelijke dominantie van eWPs, met daarnaast beperkte groei van ZLT/LT-netten.
- De analyse "Alles eWP & D+" laat zien dat het niet hoeven door isoleren naar schillabel B+ tot aanzienlijke besparingen in isolatiekosten kan leiden. Dit voordeel wordt deels tenietgedaan door hogere kosten voor installatie, elektriciteitsinkoop en netverzwaring, maar resulteert per saldo in een daling van de nationale meerkosten.

Interpretatie van de resultaten (1/2)

- De resultaten laten zien dat de aannames over isolatiekosten en -kwaliteit een grote invloed kunnen hebben op de relatieve kosteneffectiviteit van warmteopties. Wanneer isolatie buiten de afweging tussen warmteoplossingen wordt geplaatst neemt het aandeel elektrische warmtepompen in de mix met de laagste nationale kosten sterk toe. Bewoners en corporaties zullen naar verwachting doorgaan met isolatiemaatregelen, bij vervangingsmomenten, om hun eigen energierekening te verlagen, en uit comfort-overwegingen. De beide B+ gevoeligheidsanalyses zijn vergaande verkenningen daarvan, maar een effect op de mix van warmteoplossingen en op de nationale kosten lijkt waarschijnlijk.

Wanneer de isolatiekwaliteit door voortgaande verbetering effectief al schillabel B+ bereikt, domineert de elektrische warmtepomp

Aansluitingen en kosten in de isolatie gevoeligheden



Interpretatie van de resultaten (2/2)

- De gevoeligheidsanalyses Autonoom B+ en Isolatie B+ leiden vrijwel tot dezelfde mix van technologieën (overwegend eWP): wanneer, door voortgaande isolatie of door isolatie als onderdeel van de ‘eenmalige’ warmtetransitie in de buurt schillabel B+ is bereikt, is de afweging tussen de opties dezelfde. Het verschil tussen de twee gevoeligheidsanalyses zit dan alleen nog in het al dan niet meetellen van de isolatiekosten in de nationale kosten van de warmtetransitiekeuze; worden deze kosten in dat kader gemaakt of zijn ze sowieso al gemaakt door voortgaande isolatieverbetering?
- Bij de lagere nationale kosten van de variant “Alles eWP & D+” moet aangetekend worden dat dit tot grote extra investeringen in het elektriciteitssysteem zou leiden. Wanneer de effecten op de hogere netvlakken en op regelbaar vermogen meegenomen worden leidt dit weer tot hogere nationale kosten. Ook de door ons voorziene hoger dan jaargemiddelde elektriciteitsprijs voor warmtepompen draagt hier aan bij. Zie ook de gevoeligheidsanalyses onder Netverzwaring en regelbaar vermogen en onder Energieprijzen.

Aanbevelingen voor vervolg

- De impact van voortgaande isolatie is afhankelijk van de verdeling van deze isolatie-inspanningen naar bestaande isolatiekwaliteit (schillabel). Meer inzicht hierin is nodig om de effecten beter in te kunnen schatten.

Belangrijke factoren | Groen gas

Zou een hogere beschikbaarheid van groen gas - door import - leiden tot meer hybride warmtepompen?

Actuele inzichten en ontwikkelingen

De toekomstige beschikbaarheid van groen gas is onzeker, maar bepalende factoren voor de inzet van hybride warmtepompen in de gebouwde omgeving.

De markt voor groen gas ontwikkelt zich in toenemende mate als een Europese markt, mede door de grote verschillen in vraag en aanbod per land. De Nederlandse vraag kan daardoor deels door import en Nederlandse vraag dus (gedeeltelijk) voorzien kan worden uit Europese productie en import. Volgens [Guidehouse \(2025\)](#) bedraagt het duurzaam Nederlands productiepotentieel in 2050 circa 3,5 bcm, aangevuld met mogelijke importen van ongeveer 7,4 bcm, wat leidt tot een totale beschikbaarheid van circa 11 bcm.

Common Futures acht een Europees potentieel van 100 bcm meer realistisch en 50 bcm zeker haalbaar, rekening houdend met rekening houdend met onzekerheden rondom beschikbaarheid van grondstoffen en afstand tot het gasnet. Op basis hiervan is de schatting dat 3–7 bcm groen gas op lange termijn beschikbaar zou kunnen zijn voor Nederland.

Na aftrek van kostenefficiënte toepassingen in andere sectoren (~3 bcm) resteert naar verwachting 0 - 4 bcm groen gas potentieel voor inzet in hybride warmtepompen. Zie [Bijlage 2](#) voor meer toelichting.

Behandeling in de Startanalyse

In de Startanalyse 2025 veronderstelt het PBL dat 2 bcm klimaatneutraal gas beschikbaar is voor de gebouwde omgeving. Anders dan in de Startanalyse 2020, waar deze hoeveelheid nog werd gekoppeld aan de landelijke productieambitie voor groen gas (biomethaan) uit het Klimaatakkoord, houdt de term “klimaatneutraal gas” nu ook ruimte voor groene waterstof. Bij de aangenomen kosten van €1,20/m³ gaan wij er in dit rapport van uit dat dit volume hoofdzakelijk met groen gas wordt ingevuld.

Van de 2 bcm wordt ca. 0,5 bcm ingezet in hulpketels van MT-warmtenetten (dat komt neer op gemiddeld ca. 250 m³ per aansluiting per jaar) en is de overige 1,5 bcm beschikbaar voor inzet in hybride warmtepompen. Het PBL heeft daarnaast gevoeligheidsanalyses uitgevoerd met 0 bcm, 1 bcm en 1,5 bcm beschikbaarheid.

Relevante variaties in de aannames

Deze hybride warmtepomp met klimaatneutraal gas heeft onder de aannames in de hoofdberekening van de startanalyse in veel buurten de laagste nationale kosten. De inzet van deze oplossing wordt beperkt aannames over de beschikbare hoeveelheid groen gas. Andere aannames over de beschikbare hoeveelheid groengas zouden de nationale kosten van de warmtetransitie kunnen veranderen.

Introductie van de gevoeligheidsanalyses

“0 bcm”, “1 bcm”, “1,5 bcm”: Gevoeligheidsanalyses van het PBL die de beschikbare hoeveelheid klimaatneutraal gas naar beneden variëren.

“3 bcm”: onze gevoeligheidsanalyse waar de impact van grotere beschikbaarheid groen gas wordt doorgerekend. Van de 3 bcm wordt, net als bij de gevoeligheidsanalyses van het PBL, 0,5 bcm opzij gezet voor hulpketels van warmtenetten.

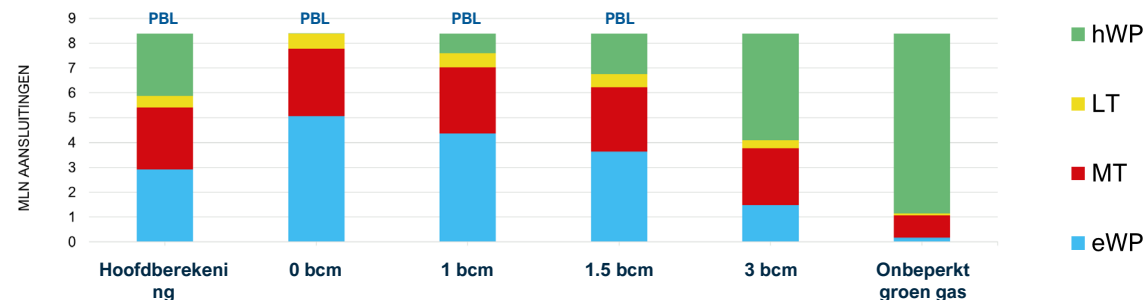
“Onbeperkt groen gas”: gevoeligheidsanalyse zonder beperking van de beschikbare hoeveelheid groen gas om de maximale behoefte te onderzoeken.

In alle gevoeligheden laten we de groen gas prijs onveranderd op €1,20/m³. Het zou kunnen dat de prijs oploopt bij meer inzet van groen gas, maar gezien de bescheiden impact vergeleken met het Europese potentieel van ca. 100 bcm hebben we deze koppeling achterwege gelaten.

Belangrijke factoren | Groen gas

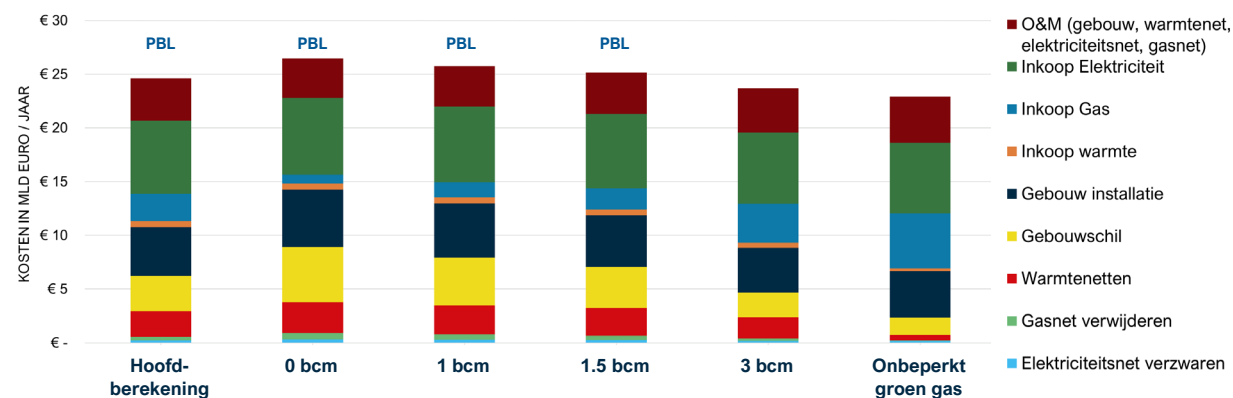
Bij een beschikbaarheid – door import – van 3 bcm groen gas neemt het aantal hybride warmtepompen sterk toe (1)

Aansluitingen en kosten in de groen gas gevoeligheden



Ten opzichte van de hoofdberekening (in miljoenen aansluitingen)

Δ # hWP	-2.5	-1.7	-0.9	+1.8	+4.7
Δ # LT	+0.1	+0.1	+0.1	-0.1	-0.4
Δ # MT	+0.2	+0.2	+0.1	-0.2	-1.6
Δ # eWP	+2.2	+1.5	+0.7	-1.4	-2.7



Ten opzichte van de hoofdberekening (in miljarden Euro)

Δ Kapitaallasten	+€ 3.5	+€ 2.2	+€ 1.1	-€ 2.0	-€ 4.1
Δ Variabele kosten	-€ 1.6	-€ 1.1	-€ 0.5	+€ 1.0	+€ 2.4
Δ Meerkosten	+€ 1.8	+€ 1.1	+€ 0.5	-€ 0.9	-€ 1.7

Resultaten gevoeligheidsanalyses

- Bij een beschikbaarheid van 0–3 bcm nemen de nationale jaarlijkse kosten met circa €1 miljard per extra bcm af (ca. €1 / m³). Bij 3 bcm – waarvoor import nodig is – stijgt het aantal hybride warmtepompen (hWP) met circa 2 miljoen aansluitingen, vooral ten koste van elektrische warmtepompen (eWP); het aandeel warmtenetten blijft vrijwel gelijk. In het scenario met onbeperkte beschikbaarheid schakelt het merendeel van de woningen over op een hWP, met een verbruik van circa 4,2 bcm groen gas.
- Voor MT-warmtenetten varieert het groen gas verbruik in hulpketels tussen 0,1 en 0,7 bcm, afhankelijk van het aantal aansluitingen – een niet-verwaarloosbare hoeveelheid in het debat over de toekomstige inzet van groen gas.

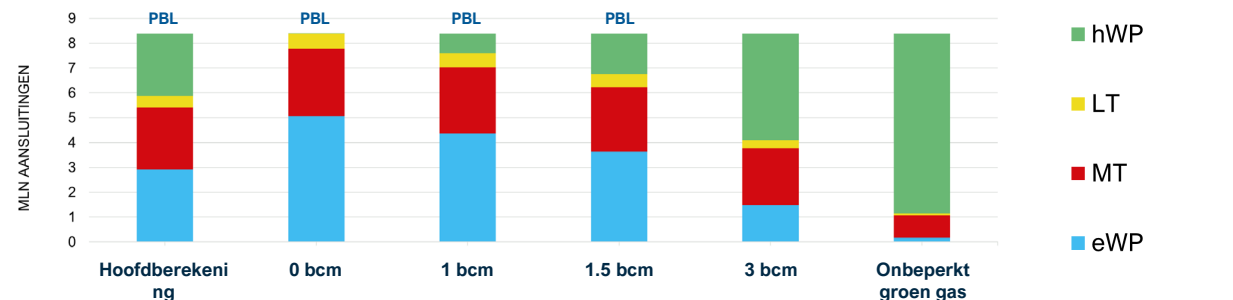
Interpretatie van de resultaten (1/2)

- De waarde van groen gas blijkt robuust: een hogere beschikbaarheid leidt tot een verschuiving van eWP naar hybride warmtepompen en significante besparingen in de jaarlijkse nationale kosten. De besparing met grotere inzet van hWP's komt vooral door lagere isolatie- en installatiekosten, en de bespaarde kosten voor het niet hoeven verwijderen van gasinfrastructuur (daar tegenover staan wel hogere kosten voor onderhoud en beheer). Het elektriciteitsverbruik daalt slechts licht: de afname door verschuiving van eWP naar hWP wordt grotendeels gecompenseerd door de toename door een verschuiving van MT-warmtenetten naar hWP.
- De som van bespaarde nationale kosten (€1/m³) en de aangenomen prijs (€1,20/m³) impliceert een nationale waarde van groen gas in deze toepassing van circa €2,20 per m³.

Belangrijke factoren | Groen gas

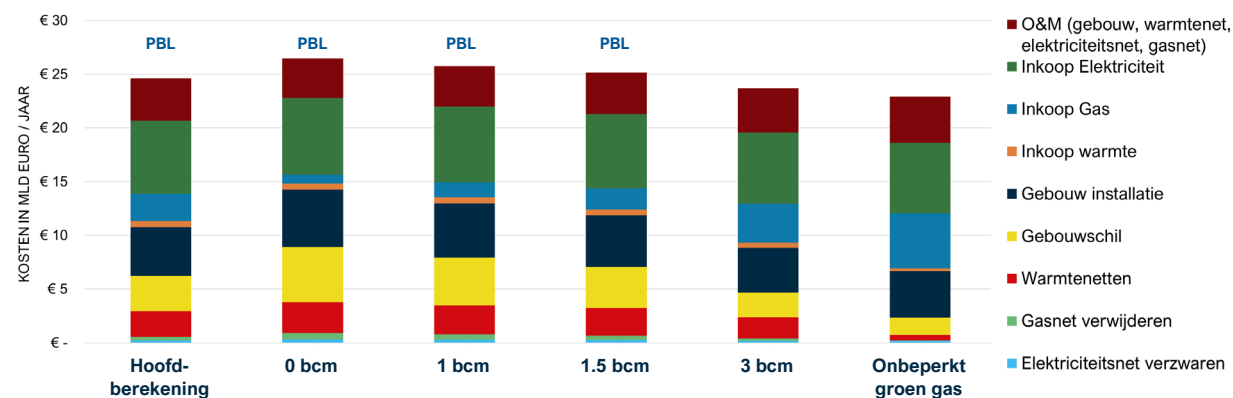
Bij een beschikbaarheid – door import – van 3 bcm groen gas neemt het aantal hybride warmtepompen sterk toe (2)

Aansluitingen en kosten in de groen gas gevoeligheden



Ten opzichte van de hoofdberekening (in miljoenen aansluitingen)

Δ # hWP	-2.5	-1.7	-0.9	+1.8	+4.7
Δ # LT	+0.1	+0.1	+0.1	-0.1	-0.4
Δ # MT	+0.2	+0.2	+0.1	-0.2	-1.6
Δ # eWP	+2.2	+1.5	+0.7	-1.4	-2.7



Ten opzichte van de hoofdberekening (in miljarden Euro)

Δ Kapitaallasten	+€ 3.5	+€ 2.2	+€ 1.1	-€ 2.0	-€ 4.1
Δ Variabele kosten	-€ 1.6	-€ 1.1	-€ 0.5	+€ 1.0	+€ 2.4
Δ Meerkosten	+€ 1.8	+€ 1.1	+€ 0.5	-€ 0.9	-€ 1.7

Interpretatie van de resultaten (2/2)

- De analyses zijn uitgevoerd met een vaste groen gas prijs van €1,20/m³. In principe kan een hogere vraag de prijs opdrijven, waardoor de groei van het aantal hybride warmtepompen (hWP) mogelijk wordt afgeremd. Gezien het Europese potentieel van ca. 100 bcm zou een extra 1-2 bcm Nederlandse vraag waarschijnlijk een gering effect op het prijsniveau hebben; dit wordt anders als hybride warmtepompen op groen gas ook grootschalig zouden worden toegepast in andere landen.
- Het effect van de prijs van groen gas is nader uitgewerkt in de PBL-gevoeligheidsanalyses en behandeld onder '[Belangrijke factoren | Energieprijzen](#)'.
- Een betere uitgangssituatie voor isolatiekwaliteit verkleint het verschil in nationale kosten tussen hWP's en elektrische warmtepompen (eWP), waardoor de relatieve kosteneffectiviteit van eWP's toeneemt.

Aanbevelingen voor vervolg

- Vervolgonderzoek zou de wisselwerking tussen isolatiekwaliteit en de prijs en beschikbaarheid van groen gas moeten kwantificeren. Een prijsverwachting voor groen gas zou rekening moeten houden met de Europese vraag in relatie tot aanbod, onder andere door het aankomende emissiehandelssysteem ETS2 (voor gebouwde omgeving en wegverkeer) en de optiewaarde van groene koolstofmoleculen voor de industrie.

Verzwaring van het elektriciteitsnet is geen grote factor in de kosten, maar kan extra benodigd regelbaar vermogen dat wél zijn? (1)

Actuele inzichten en ontwikkelingen

Netverzwaring is een belangrijke factor in de warmtetransitie. In veel buurten is een zwaarder elektriciteitsnet nodig, niet alleen door elektrificatie van de warmtevraag, maar ook door elektrisch laden in de wijk en zon-PV op daken. De vraag is hoeveel extra netverzwaring nodig is voor de verschillende warmteoplossingen, in relatie tot parameters als de isolatiekwaliteit van de woningen, en tot welke kosten dit leidt op de verschillende spanningsniveaus in het elektriciteitssysteem.

De netbelasting van warmtepompen hangt af van verschillende factoren: technische specificaties van de warmtepomp – inclusief de dimensionering van de warmtepomp, de grootte en inzet van een elektrisch element, de stuurbaarheid en gelijktijdigheid met andere vraag – en de doorwerking naar benodigde uitbreiding op hogere netvlakken. Hiermee verbonden is in welke mate een warmteoplossing leidt tot extra behoefte aan regelbaar vermogen in het elektriciteits-systeem.

- **Aansluitwaarde van warmtepompen:** Het gemiddelde thermisch vermogen van een lucht-water warmtepomp ligt rond de 5 kW ([Vereniging Warmtepompen, 2025](#)). Veel toestellen beschikken daarnaast over een elektrisch element van 2–6 kW, dat onder koude omstandigheden of voor tapwater kan worden ingeschakeld. [BDH \(2025\)](#) schat dat dit het gemiddelde vermogen tijdens koude dagen met 2,2 tot 4,2 kW per woning kan verhogen; in hun onderzoek had ongeveer 70% van de all-electric warmtepompen echter voldoende vermogen om zonder elektrisch element te functioneren, waardoor dit piekeffect beperkt blijft.
- **Gelijktijdigheid en stuurbaarheid:** De gelijktijdigheidsfactor bepaalt in hoge mate de piekvraag in het net. Het gaat daarbij om de gelijktijdigheid in koude periodes, waarin de piekvraag optreedt.

- bij slecht stuurbare of klein gedimensioneerde systemen kan de factor oplopen; Common Futures schat in tot 0,8 – 0,9;
- bij slimme sturing en thermische buffering kan deze juist dalen ([CE Delft, 2023](#)). Slimme aansturing kan volgens TenneT de nationale behoefte aan piekvermogen met 3 tot 5 gascentrales verminderen.
- **Doorwerking op hogere netvlakken:** De netkosten nemen toe naarmate ook hogere netvlakken worden meegenomen. [CE Delft \(2024\)](#) schat de totale investeringskosten voor extra vermogensvraag op €1.047 per kW, waarvan bijna de helft boven de MS/LS-trafo. Op LS-niveau bedragen de kosten ongeveer €530 per kW, exclusief hogere netvlakken en regelbaar vermogen.

Tot slot is er ook een link met extra behoefte aan **regelbaar vermogen**. De behoefte aan regelbaar vermogen groeit door de elektrificatie van warmte, terwijl het beschikbare vermogen juist afneemt. TenneT verwacht in haar [Monitoring Leveringszekerheid 2025](#) dat het regelbaar vermogen in 2035 daalt tot 12,5 GW, ten opzichte van 18,2 GW in 2023, waardoor – bij een toenemende piekvraag door elektrificatie – de leveringszekerheid onder druk komt. Bij grootschalige inzet van elektrische warmtepompen kan in koude, windstille periodes extra piekvermogen nodig zijn. De kosten voor nieuw regelbaar vermogen zijn sterk gestegen — van circa €800/kW tot €2.000/kW voor een STEG-centrale in recente projecten — en deze kunnen daarmee de werkelijke nationale kosten van elektrische warmteopties aanzienlijk verhogen.

Verzwaring van het elektriciteitsnet is geen grote factor in de kosten, maar kan extra benodigd regelbaar vermogen dat wél zijn? (2)

Behandeling in de Startanalyse

In de Startanalyse bedragen de kosten van netverzwaring (alleen LS-net en MS/LS-trafo's) slechts 2% van de nationale kapitaallasten, €215 miljoen per jaar, teruggerekend staat dit voor €6,4 miljard aan extra investeringen ten behoeve van de warmtetransitie; een relatief bescheiden bedrag ten opzichte van de €107 miljard aan investeringen in het net op land die volgens het IBO nodig zijn in de periode tot 2040. Ook in vergelijking met de totale investeringskosten in de Startanalyse (ruim €200 miljard) is het bescheiden.

De Startanalyse rekent met de volgende kentallen:

- €530/kW aan netverzwarkosten
- Een vaste aansluitwaarde van 7 kW per eWP-woning (t.o.v. 3 kW voor een woning met cv-ketel);
- Gelijktijdigheidsfactor van 0,5;
- Er wordt geen rekening gehouden met netbelasting van elektrische auto's en zon-PV of behoefte aan extra regelbaar vermogen.

Relevante variaties in de aannames

De aannames in de Startanalyse voor netverzwarkosten (hogere netvlakken niet meegenomen), aansluitwaarde (waarschijnlijk te laag inclusief elektrisch element) en gelijktijdigheidsfactor (afhankelijk van de dimensionering laag in koude winterweken) leiden tot een onderschatting van de kosten van de benodigde netverzwaring en regelbaar vermogen. Aan de andere kant kan een deel van de netverzwaring toch al nodig zijn voor elektrisch laden en zon-PV waardoor niet het hele bedrag voor rekening zou komen van de warmtepomp; voor het extra benodigde regelbaar vermogen blijft dit wel het geval.

In onze gevoeligheidsanalyses brengen we eerst de aansluitwaarde van een eWP-woning op 11 kW, waarvan 8 kW voor de warmtepomp inclusief elektrisch element (een waarde aan de

bovenkant van de range die geleverd wordt voor bestaande woningen).

Vervolgens worden de netverzwarkosten per kW verdubbeld (toevoeging van ca. €500/kW extra voor hogere netvlakken) en daarna nemen we aan dat voor de extra piekvraag van warmtepompen in windstille winterweken ook €1.350/kW voor extra regelbaar vermogen geïnvesteerd moet worden. Dit zou gelden bij 1:1 extra regelbaar vermogen op basis van een gasturbinecentrale ten opzichte van de piekvraag. Uiteindelijk zal dit waarschijnlijk niet helemaal 1:1 hoeven te zijn; aan de andere kant liggen de kosten voor een STEG-centrale nog aanzienlijk hoger dan die voor een gasturbinecentrale.

Mede om het effect van stuurbaarheid van de warmtepomp-piekvraag te onderzoeken variëren we de gelijktijdigheidsfactor naar 0,25 (groot gedimensioneerd, in hoge mate stuurbaar) en 0,9 (klein gedimensioneerd, niet stuurbaar in de piek).

Introductie van de gevoeligheidsanalyses

"11 kW WP": aansluitwaarde van woning met eWP 11 kW (vv. 8 kW voor de eWP)

1. "eNet x 2": €1.000/kW netverzwarkosten (toevoeging hogere netvlakken)
2. "eNet x 4,7": €2.350/kW netverzwarkosten, (hogere netvlakken plus extra regelbaar vermogen)
 - i. "GTF 0,25": idem, met gelijktijdigheidsfactor 0,25
 - ii. "GTF 0,9": idem, met gelijktijdigheidsfactor 0,9

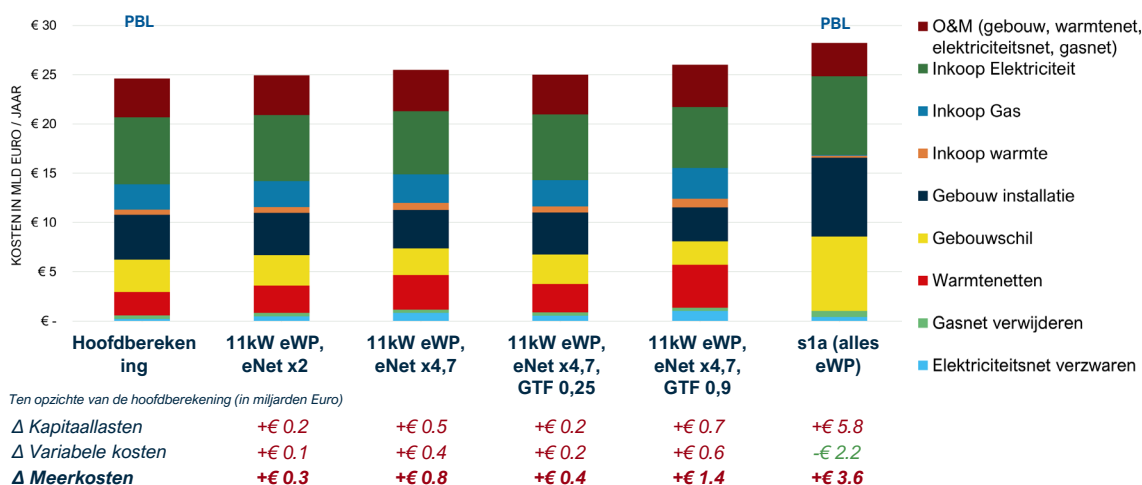
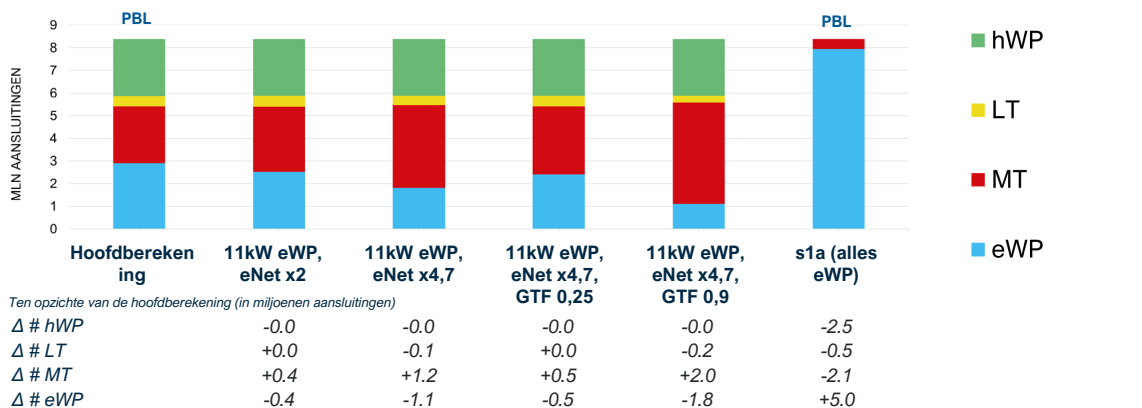
"S1a": We vergelijken met een scenario waarin voor alle buurten de PBL-variant met eWP toegepast wordt.

In de benamingen van de analyses staat WP voor warmtepomp, eNet voor elektriciteitsnet, GTF voor gelijktijdigheidsfactor en S1a voor de Startanalyse variant met luchtwarmtepompen.

Belangrijke factoren | Netverzwaring en regelbaar vermogen

Het gecombineerd effect van kosten voor regelbaar vermogen en een hoge gelijktijdigheidsfactor in de piek kan groot zijn (1)

Aansluitingen en kosten in elektriciteitsnet gevoeligheden



Resultaten gevoeligheidsanalyses

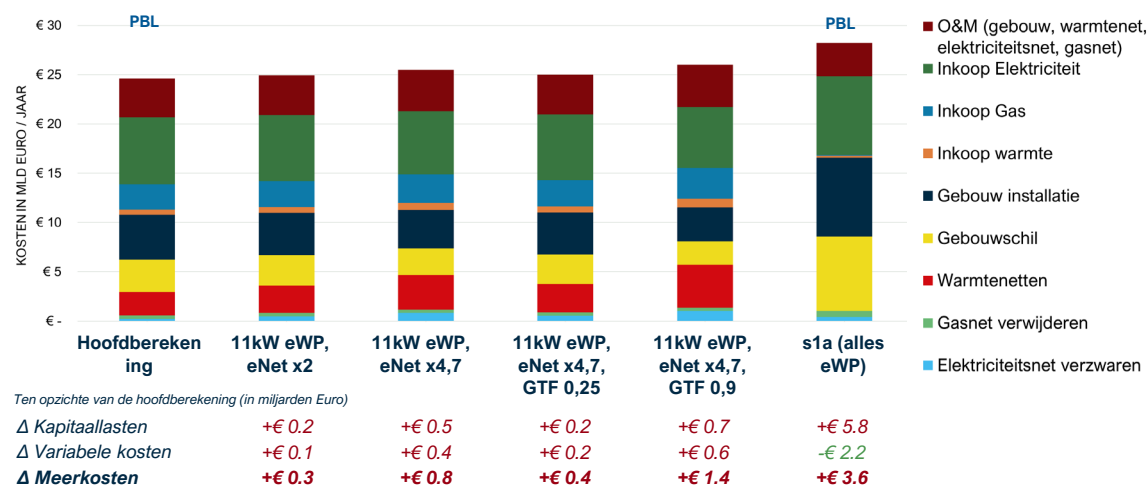
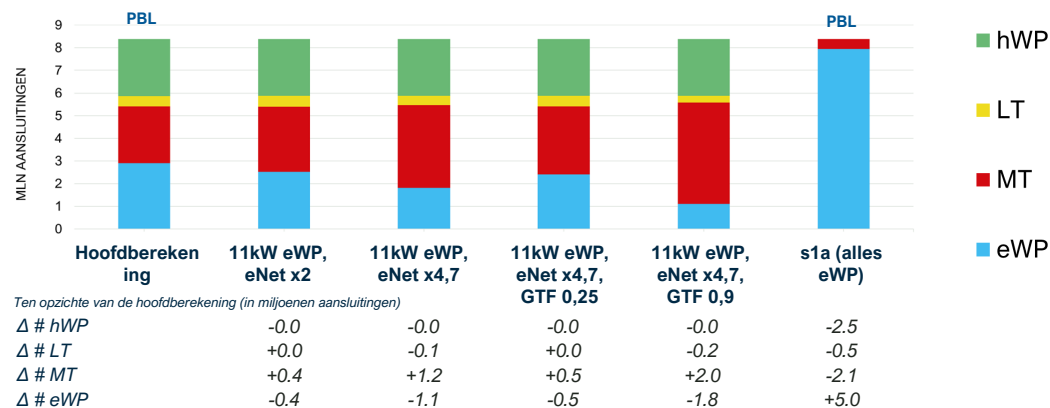
- De hoofdberekening in de Startanalyse komt uit op een gelijktijdige piekbelasting op het laagspanningsnet (LS) door woningen van circa 20 GW, tegenover ongeveer 12 GW* in het referentiebeeld. De variant met uitsluitend elektrische warmtepompen ('s1a') komt uit op circa 28 GW LS-netbelasting.
- Het meenemen van inschattingen voor benodigde investeringen in hogere netvlakken en een aansluitwaarde van 11 kW per eWP-woning heeft nauwelijks effect op de jaarlijkse kosten, maar verschuift wel een aanzienlijk deel van de eWP's naar MT-warmtenetten. Een mogelijke verschuiving naar hybride warmtepompen is niet zichtbaar, omdat de beschikbare hoeveelheid groen gas al maximaal is benut. De hybride warmtepomp blijft in alle onderzochte gevoeligheden robuust aanwezig.
- Wanneer ook de kosten voor extra regelbaar vermogen worden meegerekend ('eNet x4,7'), wordt de impact van piekvraag duidelijk. Bij hoge gelijktijdigheid (0,9) nemen de nationale meerkosten fors toe, terwijl bij lagere gelijktijdigheid (0,25) dit effect beperkt blijft. Omdat een warmtepomp met een aansluitwaarde van 8 kW incl. elektrisch element (11 kW voor de woning) waarschijnlijk groot gedimensioneerd is voor een woning met schillabel B, zou het scenario met gelijktijdigheid 0,9 voorkomen moeten kunnen worden.
- Hoewel de jaarlijkse netkosten beperkt blijven, lopen de investeringen sterk uiteen: van €6,4 miljard in het basisscenario tot €31 miljard in het eNet x 5, GTF 0,9-scenario; in de variant met alleen eWP's (met PBL-aannames voor netverzwaring) bedragen ze circa €12 miljard.

*) 8 miljoen aansluitingen x 3 kW per cv-ketelwoning x gelijktijdigheidsfactor 0,5).

Vervolg op volgende slide

Het gecombineerd effect van kosten voor regelbaar vermogen en een hoge gelijktijdigheidsfactor in de piek kan groot zijn (2)

Aansluitingen en kosten in elektriciteitsnet gevoeligheden



Interpretatie van de resultaten

- De verschuiving van elektrische warmtepompen (eWP) naar MT-warmtenetten bij hogere netverzwarkosten laat zien dat deze opties voor een deel van de buurten qua nationale kosten dicht bij elkaar liggen. In verschillende buurten zijn de uitkomsten gevoelig voor (kleine) veranderingen in aannames, waardoor modelresultaten minder robuust zijn voor de intrinsieke onzekerheden in bijvoorbeeld kosten, isolatiekwaliteit en gelijktijdigheid.

Aanbevelingen voor vervolg

- Analyseer voor welk aandeel van de wijken de kostenverschillen tussen eWP en MT-netten minimaal zijn en welke wijken juist robuuste voorkeuren laten zien.
- Verfijn daarnaast de infrastructuur-berekeningen: de werkelijkheid ligt genuanceerder dan het huidige model weergeeft, met regionale verschillen in netcapaciteit, aansluitdichtheid en uitbreidingskosten die sterk kunnen doorwerken in de kosteneffectiviteit van warmteopties.

Warmtenetten: kapitaallasten MT-netten mogelijk lager, maar adoptiegraad van <100% kan kosten opdrijven (1)

Actuele inzichten en ontwikkelingen

Warmtenetten spelen een belangrijke rol in de warmtetransitie, vooral in dichtbebouwde gebieden met een lagere isolatiekwaliteit. De nationale kosten worden sterk beïnvloed door de adoptiegraad, en de ontwikkelingskosten van warmtenetten.

De *adoptiegraad* kan de kosteneffectiviteit van de MT-warmtenetten beïnvloeden: bij lagere adoptiegraad in de wijk kunnen de gemiddelde kosten per aansluiting stijgen afhankelijk van de spreiding over de wijk en het type woning dat voor de individuele oplossing gaat. Een adoptiegraad van 100% in een buurt lijkt vaak niet realistisch, gezien de keuzevrijheid van woningeigenaren en de snelle groei van individuele (hybride) warmtepompen. Inmiddels zijn er ruim 700.000 geïnstalleerd, met een verwachte groei van 250.000 per jaar tot 2030. Het merendeel hiervan is tot nu toe geplaatst in nieuwbouw woningen, maar een toenemend deel wordt ook geplaatst in bestaande woningen. Ecorys (2025)* laat zien dat bij 70% adoptie de maatschappelijke meerwaarde van warmtenetten met circa €0,25 – 0,6 miljard per jaar afneemt ten opzichte van 100% adoptie.

De *ontwikkelingskosten* en *afschrijvingstermijn* (levensduur) van warmtenetten zijn eveneens relevante factoren. Volgens EBN liggen de projectmanagementkosten in bestaande business cases rond de €1.400–1.600 per aansluiting. De economische levensduur van leidingen ligt volgens EBN rond de 40–50 jaar (met herinvestering van 25% na 30 jaar), en die van bronnen en afleversets op 38 jaar (70% herinvestering na 20 jaar).

Behandeling in de Startanalyse

Warmtenetten zijn in de Startanalyse de optie met de laagste nationale kosten in buurten met een hoge woningdichtheid en een relatief slechte bestaande isolatiekwaliteit. In de hoofdberekeningen komen voor 30% van de aansluitingen (merendeels woningen) warmtenetten met een MT-warmtebron als optie met laagste nationale meerkosten naar voren, en voor 6% van de aansluitingen warmtenetten met een LT/ZLT-warmtebron (bijna altijd WKO). Dit is inclusief de bestaande 450.000 MT-warmtenet aansluitingen.

De voordelen in termen van nationale kosten zitten in de Startanalyse vooral in uitgespaarde isolatiekosten: warmtenetten met een MT/HT warmtebron worden vooral toegepast in combinatie met 'schillabel D+', waarin alleen woningen met een slechter schillabel dan D worden verbeterd naar schillabel D. Wel is voor meer dan de helft van de aansluitingen met MT-warmtebron het kostenverschil met een andere warmtestrategie kleiner dan 20% en voor bijna alle warmtenetten met een LT/ZLT-warmtebron ook. Dit maakt het aantal MT-aansluitingen gevoelig voor aannames in isolatiekwaliteit en adoptiegraad.

Voor MT/HT netten wordt ervan uitgegaan dat alle buurten een adoptiegraad hebben van 100%.

In de hoofdberekening van het PBL is een gemiddelde van €4.100 per aansluiting aangenomen voor de projectmanagementkosten; effectief is dit de helft van de kosten per aansluiting uit de Proeftuinen Aardgasvrije Wijken. Er wordt gerekend met een levensduur van 28 jaar voor alle componenten, zonder gedeeltelijke herinvestering.

*) Ecorys (2025) [nog te publiceren]. Sensitiviteitsanalyse – Maatschappelijke waarde van warmtenetten.

Warmtenetten: kapitaallasten MT-netten mogelijk lager, maar adoptiegraad van <100% kan kosten opdrijven (2)

Relevante variaties in de aannames

Om meer inzicht te krijgen in hoe andere aannames rond de ontwikkelingskosten van warmtenetten doorwerken op de optimale mix en nationale kosten van de warmtetransitie is het relevant om variaties in investeringskosten, afschrijvingstermijn en projectmanagementkosten door te rekenen.

Daarnaast zou het ook relevant zijn om het effect van een lagere adoptiegraad in de buurt te analyseren. Dit zou echter meer inzicht vragen in het type woningen in de wijk en de spreiding van de adoptiegraad van het warmtenet over de wijk. Als de warmtenet-aansluitingen binnen de wijk geclusterd zijn kan de impact op de kosten per aansluiting beperkt zijn.

Introductie van de gevoeligheidsanalyses (WN = warmtenet)

“WN-25%” en “WN+25%”: de investeringskosten van alle warmtenetonderdelen worden met 25% verlaagd en verhoogd.

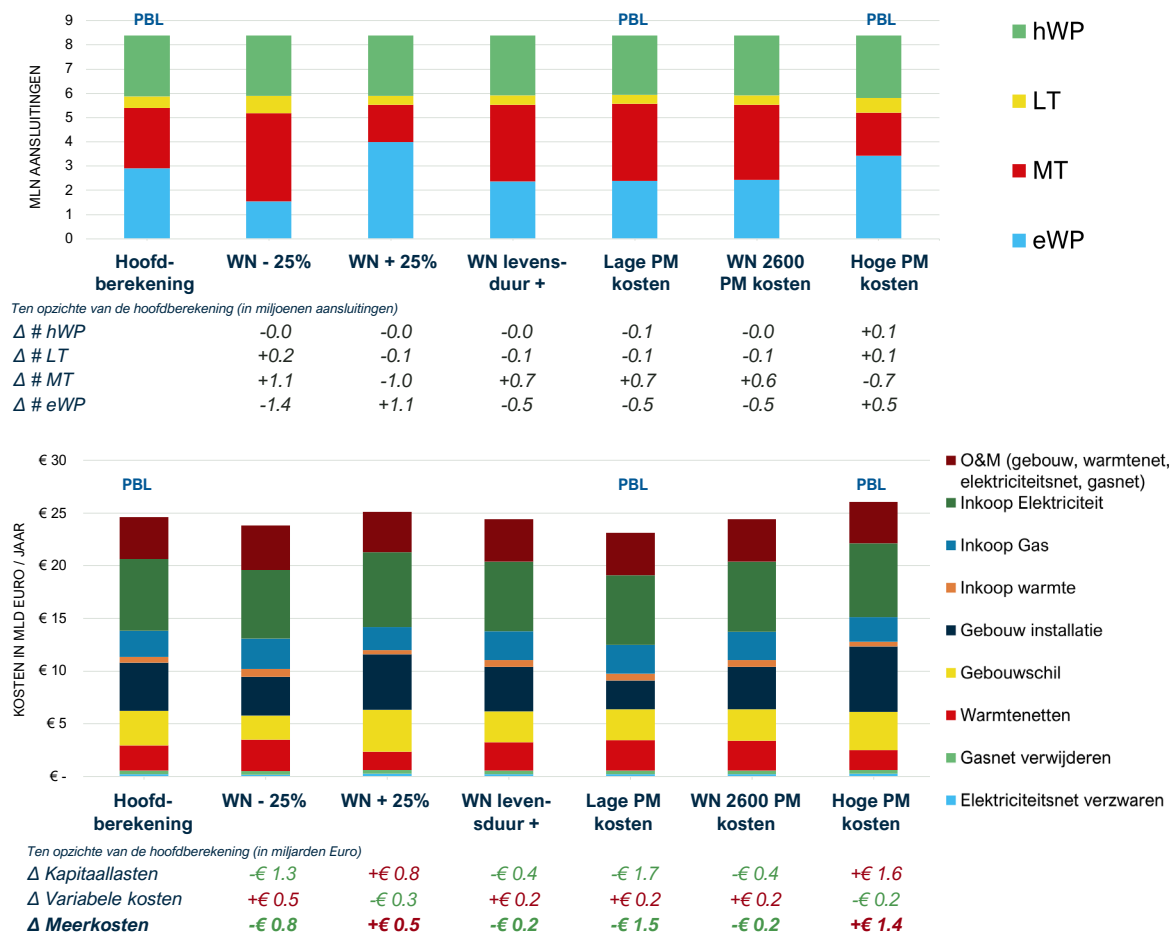
“WN levensduur +”: Voor alle componenten van warmtenetten is in de hoofdberekening gerekend met een economische levensduur van 28 jaar. In onze gevoeligheidsanalyse wordt de levensduur van verschillende warmtenetonderdelen aangepast op basis van inschattingen van EBN. Leidingen krijgen een economische levensduur van 48 jaar met een herinvestering van 25% van de initiële CAPEX in jaar 30. Warmtebronnen en afleversets krijgen een levensduur van 38 jaar met een herinvestering van 70% in jaar 20.

“WN 2600 PM kosten”: Projectmanagementkosten van MT warmtenetten worden gelijk gesteld aan LT-netten en eWP op €2.600 per aansluiting.

“Hoge PM en lage PM”: Gevoeligheidsanalyses van het PBL ter vergelijking. Dit zijn scenario's met hoge projectmanagement (PM) - kosten (€8.000 MT, €5.000 LT en eWP, €2.000 hWP) en lage PM-kosten (€209) De hoge kosten zijn gebaseerd op de ervaringen uit de Proeftuinen Aardgasvrije Wijken; de lage zijn die uit de Startanalyse 2020, gebaseerd op 'organisatie van keukentafelgesprekken'.

Warmtenetten: gevoelig voor investeringskosten (1)

Aansluitingen en kosten in de warmtenet-gevoeligheden



Resultaten gevoeligheidsanalyses

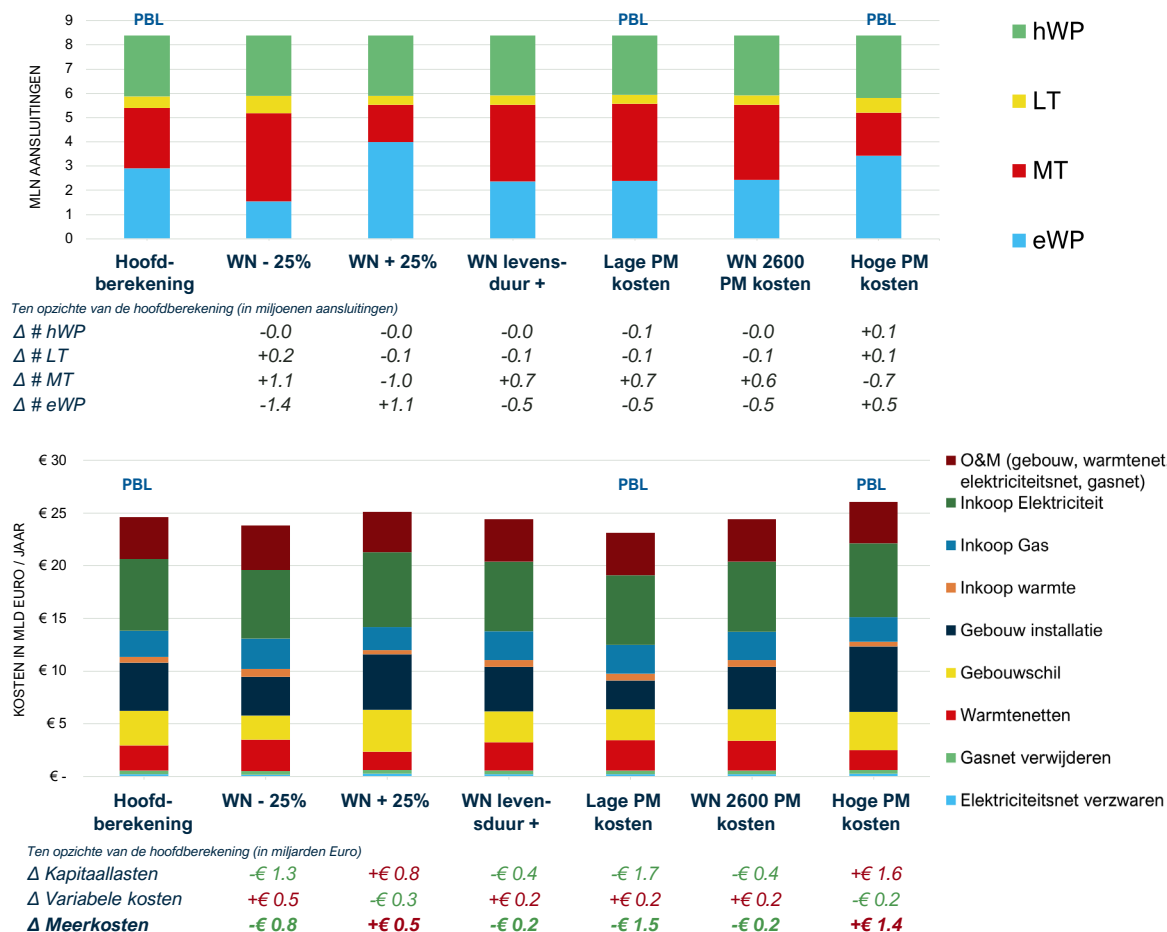
- Binnen de gevoeligheidsanalyses treden de verschuivingen in de technologiemix met name op tussen MT-warmtenetten en elektrische warmtepompen. De geanalyseerde veranderingen in projectmanagementkosten of investeringskosten leiden tot verschuivingen van 0,5 tot 1 miljoen aansluitingen ten opzichte van de hoofdberekening.
- Het aantal aansluitingen hybride warmtepompen blijft vrijwel gelijk tussen de verschillende gevoeligheden. Dit komt door de eerder toegelichte beperking van de beschikbare hoeveelheid groengas, waarbij de hybride warmtepomp oplossing wordt toegekend aan de buurten waarin het kostenverschil met de tweede goedkoopste technologie het grootste is.
- Een verandering in de hoogte van de projectmanagementkosten heeft een significante impact op de verandering van de nationale kosten. Het verschil tussen het scenario met de hoge projectmanagementkosten en het scenario met de lage projectmanagementkosten is zo'n €3 miljard aan jaarlijkse nationale kosten, en het aantal aansluitingen met warmtenetten varieert met 1.4 miljoen.

Interpretatie van de resultaten (1/2)

- De resultaten tonen dat warmtenetten en elektrische warmtepompen voor een deel van de buurten dicht bij elkaar liggen in termen van nationale kosten. Variaties in aannames over levensduur of ontwikkelingskosten kunnen de voorkeur voor een technologie doen kantelen. Dit duidt op gevoeligheid en onzekerheid in de modeluitkomsten rond de technologiemix.
- Als meerdere van deze effecten tegelijk optreden, kunnen de aantallen in positieve of negatieve richting doorslaan. Twee relevante gevoeligheden - de aanscherping van de levensduur en een 70% adoptiegraad - werken in tegengestelde richting.

Warmtenetten: gevoelig voor investeringskosten (2)

Aansluitingen en kosten in de warmtenet-gevoeligheden



Interpretatie van de resultaten (2/2)

- Als de adoptiegraad van warmtenetten in de wijk lager zou uitvallen, kunnen kosten per aansluiting toenemen afhankelijk van de spreiding van de woningen die aansluiten op het warmtenet. Een dergelijke ontwikkeling is - zoals toegelicht - niet doorgerekend, maar zou een vergelijkbaar effect kunnen hebben als het WT +25%-scenario: een significante verschuiving van warmtenetten naar elektrische warmtepompen, en een beperkte stijging van de totale nationale kosten.

Aanbevelingen voor vervolg

- Analyseer de robuustheid per buurt: identificeer waar de verschillen tussen warmtenetten en eWP's het kleinst zijn en waar de resultaten dus het meest gevoelig zijn voor aannames.
- Verfijn de aannames over projectmanagementkosten: verzamel empirische data uit recente grootschalige projecten om realistische bandbreedtes vast te stellen. Integreer praktijkinzichten uit EBN en netbeheerders over schaalvoordelen, standaardisatie en projectorganisatie, die de werkelijke kosten van warmtenetten verder kunnen drukken.
- Verdiep het inzicht in de impact van adoptiegraad: meer inzicht in de spreiding van woningtypen binnen de warmtenetwijken zou inzicht kunnen bieden. Een analyse op gebouwniveau kan helpen te bepalen hoe de verdeling van wel- en niet-aangesloten woningen de kosten per aansluiting beïnvloedt.
- Onderzoek de samenhang tussen (variaties in) adoptiegraad, levensduur en ontwikkelingskosten om beter te begrijpen hoe deze factoren elkaar versterken of compenseren.

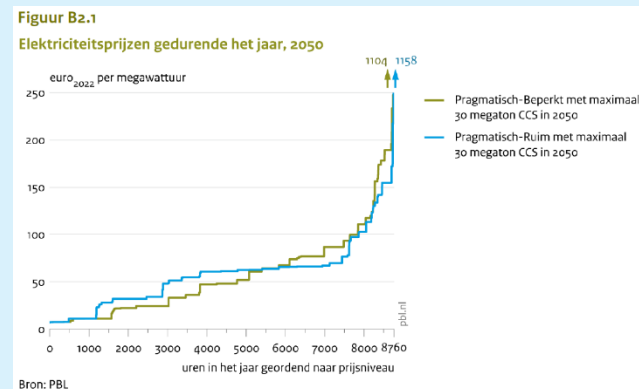
Belangrijke factoren | Energieprijzen

De gemiddelde elektriciteitsprijs zal voor een warmtepomp hoger zijn dan het aangenomen jaargemiddelde; wat is het effect? (1)

Actuele inzichten en ontwikkelingen

Elektriciteitsprijs

In de Toekomstverkenning Klimaatneutraal Nederland (TVKN, 2024) heeft het PBL een inschatting gemaakt voor toekomstige elektriciteitsprijzen. Het jaargemiddelde voor de elektriciteitsprijzen in 2030 komt uit op 62-68 €/MWh. Het TVKN-rapport presenteert ook het onderstaande figuur*, welke laat zien dat elektriciteitsprijzen gedurende het jaar sterk variëren. Voor de duurste 1.000 uur uit de grafiek is de elektriciteitsprijs naar schatting ca. 150 €/MWh, dat is 2,5 tot 3 keer hoger dan het jaargemiddelde.



De elektriciteitsvraag voor warmte zit vooral in koude winterweken met gemiddeld een hoge elektriciteitsprijs: er is dan in Nederland weinig zon-PV productie en (bij veel warmtepompen) een hoge vraag naar elektriciteit. De hoogste prijzen treden op als er daarbij ook nog eens weinig wind is. In deze uren wordt de elektriciteitsprijs gezet door regelbaar vermogen. Als we aannemen dat daarvoor gascentrales worden ingezet met

groen gas als brandstof, dan is de groothandelsprijs daarvoor door het PBL in de hoofdberekening gesteld op 1,00 €/m³ = ca. 114 €/MWh_{th}. Het is aannemelijk dat voor de extra winterpiek voor ruimteverwarming nieuwe gascentrales bijgebouwd moeten worden. Wanneer vanwege de lage capaciteitsfactor gekozen wordt voor eenvoudige gasturbinecentrales met een rendement van 42%, bedragen de brandstofkosten alleen al 270 €/MWh_e. Ook de kapitaallasten zijn hoog, door de geringe capaciteitsfactor van de gascentrales in een systeem met veel zon en wind; deze zijn in onze gevoeligheidsanalyse onder netverzwaring meegenomen.

Hybride warmtepompen zullen alleen al op basis van hun buitentemperatuur-regeling minder elektriciteit verbruiken in dure uren dan elektrische warmtepompen. Bij sturing op elektriciteitsprijzen wordt kan dit effect nog groter worden.

Groen gas prijs

De toekomstige prijs van groen gas zal grotendeels worden bepaald op een Europese markt, aangezien productie en vraag per land sterk uiteenlopen. Huidige ramingen plaatsen de kostprijs voor duurzaam geproduceerd groen gas tussen 65 €/MWh en 110 €/MWh (Common Futures en BIP, 2023, gecorrigeerd voor kostenstijging sinds 2021). Een grotere beschikbaarheid door import kan de prijs stabiliseren, maar schaarste in Europese productieketens of stijgende grondstofprijzen kunnen die juist verder opdrijven.

*) Overigens is deze figuur niet beschikbaar voor de door het PBL voor de Startanalyse geselecteerde scenario's

Belangrijke factoren | Energieprijzen

De gemiddelde elektriciteitsprijs zal voor een warmtepomp hoger zijn dan het aangenomen jaargemiddelde; wat is het effect? (2)

Behandeling in de Startanalyse

Energieprijzen maken een significant deel uit van de totale jaarlijkse kosten in de hoofdberekening van de Startanalyse; samen zijn elektriciteit en groen gas goed voor bijna 40% van de kosten.

- Voor elektriciteit wordt uitgegaan van €88/MWh (~€65/MWh voor groothandelsprijs op basis van het gemiddelde jaartarief uit de TVKN + €23/MWh overheadkosten voor kleinegebruikers)
- Voor groen gas gaat de Startanalyse uit van een groothandelsprijs van €1,00 / m³ met een overhead van kleinverbruik van €0,20 / m³. Gegeven de range van de huidige kostprijs lijkt dit aan de lage kant.

De Startanalyse rekent met jaargemiddelde prijzen en houdt dus geen rekening met seizoens- of uurvariatie, noch met het effect dat warmtepompen juist in dure winteruren extra elektriciteit verbruiken.

Relevante variaties in de aannames

De werkelijke gemiddelde energieprijzen voor de warmteoplossingen kunnen afwijken van de aannames in de Startanalyse. Daarom is het relevant om in de gevoeligheidsanalyse hoe hogere elektriciteits- en groengasprijzen de optimale mix. Een hogere elektriciteitsprijs benadeelt vooral elektrische warmtepompen, terwijl duurdere groengasprijzen het hybride alternatief minder aantrekkelijk maken. In beide gevallen nemen de totale nationale kosten toe.

Introductie van de gevoeligheidsanalyses

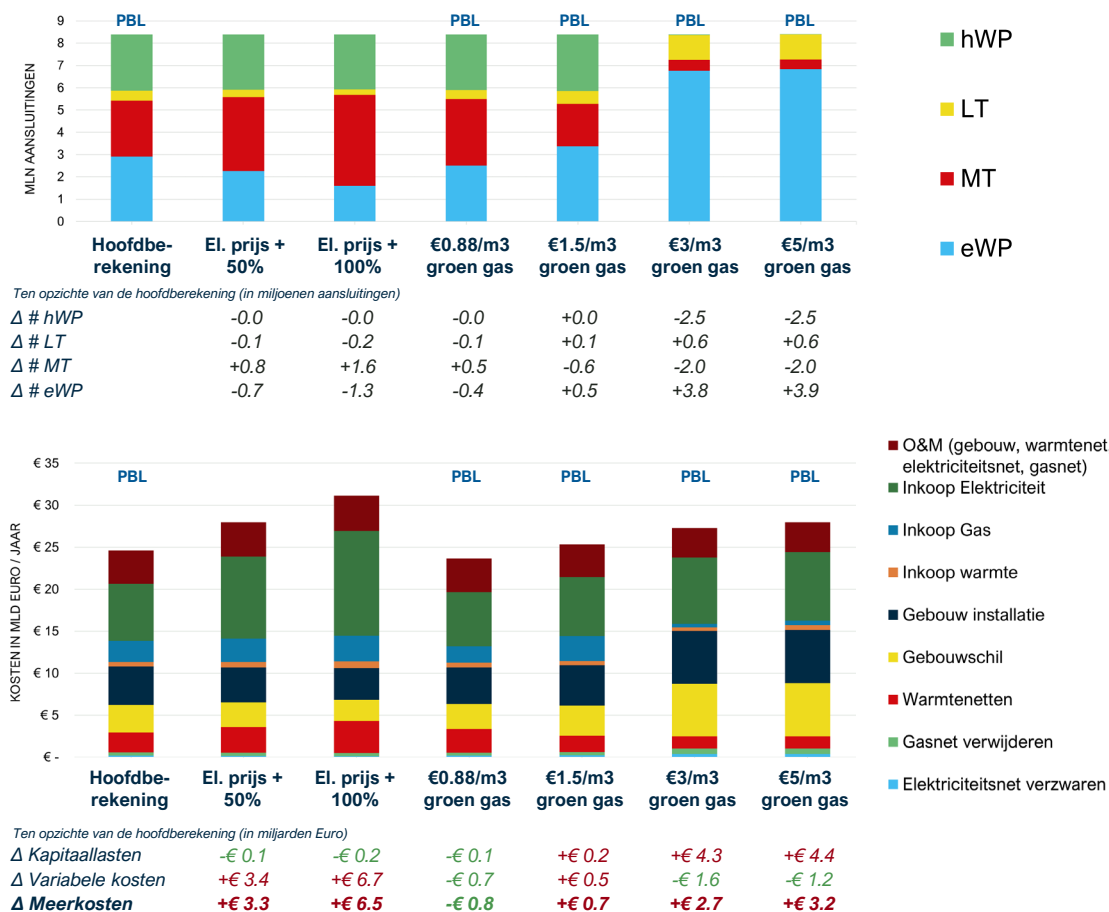
“El-prijs 50%” en “El-prijs 100%”: In de Startanalyse wordt een elektriciteitsprijs van €0.088 per kWh aangenomen. Wij analyseren het effect van 50% en 100% verhoging van de prijzen.

“€0,88/m³ groen gas” – “€5/m³ groen gas”: Gevoeligheidsanalyses van het PBL worden beschreven, waarin de groen gas prijs gevarieerd wordt van €0,88, €1,50, €3,00 en €5,00 per m³ (hoofdberekening €1,20/m³).

Belangrijke factoren - Energieprijzen

Meerkosten en aantal elektrische warmtepompen zeer gevoelig voor elektriciteitsprijs (1)

Aansluitingen en kosten in de energieprijs gevoeligheden



Resultaten gevoeligheidsanalyses

- De optimale mix en nationale meerkosten zijn zeer gevoelig voor de elektriciteitsprijs. Een verdubbeling van de elektriciteitsprijs leidt tot een afname van circa 1,3 miljoen elektrische warmtepomp aansluitingen, die grotendeels verschuiven naar MT-warmtenetten en in mindere mate naar hybride warmtepompen. De nationale meerkosten nemen met 6.5 miljard per jaar toe.
- Een hogere groengasprijs leidt tot tegengestelde ontwikkelingen in de optimale mix: bij hogere groengasprijzen nemen het aantal hybride warmtepompen en MT-warmtenetten af, terwijl elektrische warmtepompen en ZLT-warmtenetten juist toenemen. Hybride warmtepompen blijven robuust tot ongeveer €1,50/m³. Tussen €1,50 en €3,00/m³ verdwijnen ze vrijwel geheel uit de optimale mix, wat overeenkomt met de door ons afgeleide waardering van groen gas van circa €2,20/m³ (zie [pagina 26](#)).

Interpretatie van de resultaten

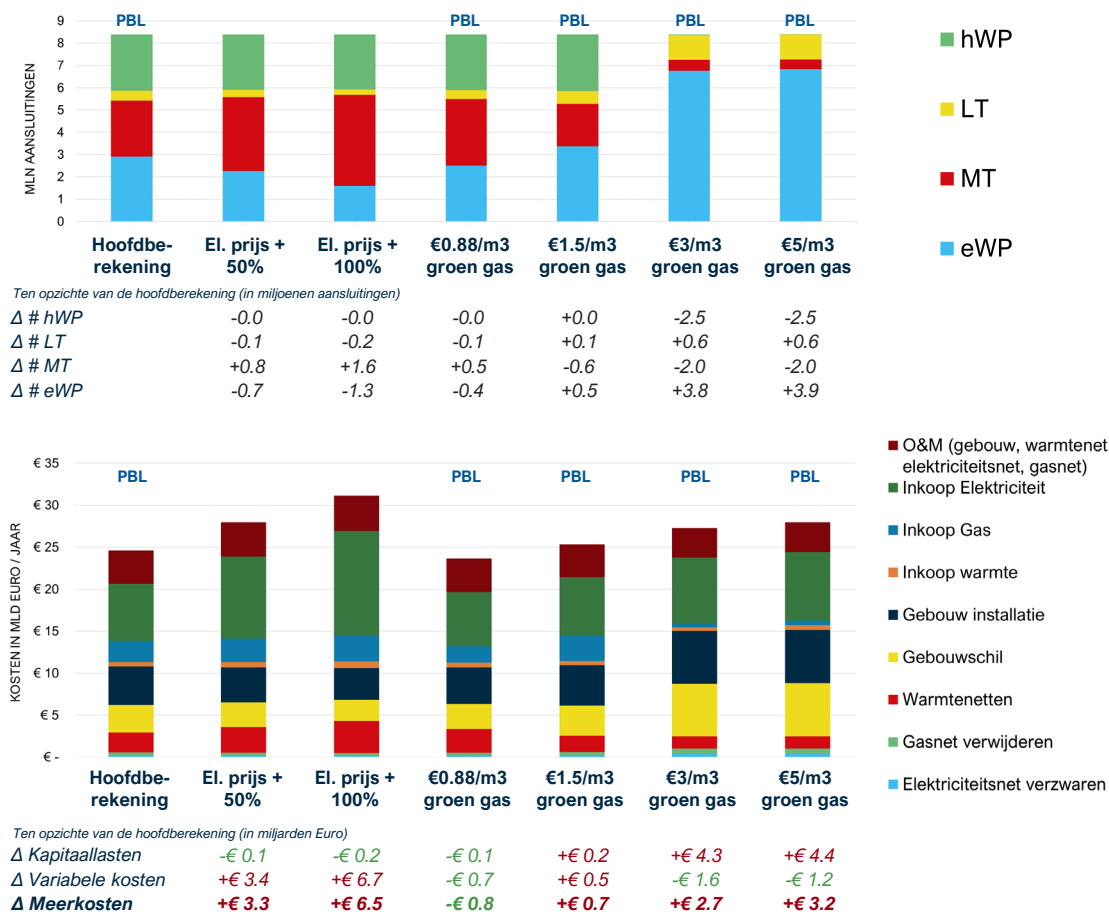
- De sterke invloed van de elektriciteitsprijs op de nationale kosten onderstreept het belang van het verlagen van de piekvraag naar elektriciteit; de elektriciteitsprijs zal in de door ruimteverwarming veroorzaakte winterpieken hoger liggen dan het jaargemiddelde. Dit werkt samen met de gevoeligheid voor netverzwaring: beter kunnen sturen in warmtevraag helpt om zowel de piekbelasting als de elektriciteitsprijs te beperken. Verdere analyse op de samenhang tussen temperatuur, warmtevraag en uurlijkse elektriciteitsprijzen is nodig om het effect hiervan goed in beeld te krijgen.

Vervolg op volgende slide

Belangrijke factoren - Energieprijzen

Meerkosten en aantal elektrische warmtepompen zeer gevoelig voor elektriciteitsprijs (2)

Aansluitingen en kosten in de energieprijs gevoeligheden



Interpretatie van de resultaten (1/2)

- MT-warmtenetten gebruiken warmte (restwarmte en geothermie) en groen gas (voor hulpketels) als energiebronnen; slechts een bescheiden hoeveelheid elektriciteit is nodig voor pompen e.d.. Het is dan ook logisch dat bij hoge elektriciteitsprijzen het aantal aansluitingen op MT-netten toeneemt, terwijl bij hoge groengasprijzen het tegenovergestelde gebeurt: MT-netten worden dan vervangen door elektrische warmtepompen (eWP) en ZLT-netten, die geen groen gas verbruiken.

Aanbevelingen voor vervolg

- Integreer uurprijzen, temperatuurprofielen en warmtevraagprofielen om realistischere, dynamische elektriciteitskosten per warmteoptie te bepalen. Zo kan beter worden beoordeeld hoe vaak warmtepompen daadwerkelijk draaien tijdens dure uren.
- Beoordeel de mogelijkheden van opties zoals vraagsturing, warmtebuffering of hybride warmteoplossingen om de blootstelling aan hoge elektriciteitsprijzen te kunnen beperken.
- Onderzoek de impact van een grotere behoefte aan regelbaar vermogen, inclusief de gevolgen voor toekomstige prijsduurkrommes en hun interactie met de vraagprofielen van warmtepompen.
- Combineer gevoeligheden voor elektriciteitsprijs, netverzwaring en isolatiekwaliteit om samenhangende effecten op nationale kosten te kwantificeren.

Belangrijke factoren

Hoe de factoren doorwerken in mix van oplossingen en nationale kosten (1)

Uit de gevoeligheidsanalyses wordt duidelijk hoe de verschillende factoren doorwerken op de mix van oplossingen en op de nationale kosten. De variërende aannames voor factoren in de gevoeligheidsanalyses beïnvloeden de nationale kosten van verschillende warmteoplossingen per buurt. Vervolgens wordt per buurt de warmtestrategie met de laagste nationale kosten bepaald, op basis waarvan de nationale mix van warmteoplossingen tot stand komt. De totale nationale kosten zijn dan de som van de kosten daarvan.

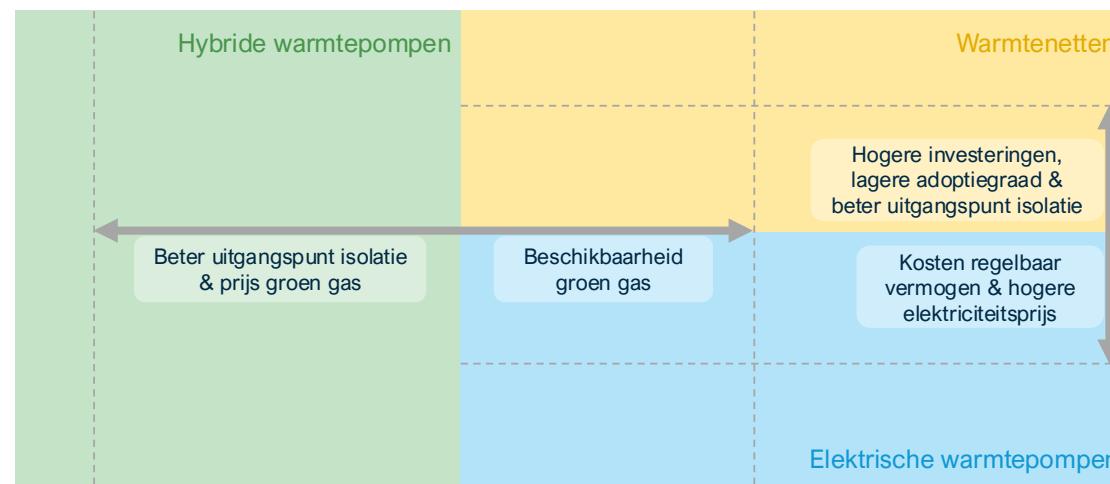
Hieronder gaan we in op hoe de factoren de nationale mix van warmteoplossingen beïnvloeden en hoe dit (direct en indirect) doorwerkt in de nationale kosten van de warmtetransitie.

Impact van factoren op de nationale mix van warmteoplossingen

Het figuur aan de rechterkant laat zien hoe belangrijke systeemfactoren de verdeling tussen drie hoofdtypen warmteoplossingen beïnvloeden: hybride warmtepompen (groen), warmtenetten (geel) en elektrische warmtepompen (blauw). Deze factoren kunnen de nationale kostenoptimale warmteoplossing per buurt veranderen, en daarmee de optimale mix van oplossingen op landelijk niveau verschuiven.

De horizontale pijl geeft de verschuiving van het aantal hybride warmtepompen weer. Deze balans wordt vooral beïnvloed door het uitgangspunt van isolatiekwaliteit (hoe goed woningen zijn geïsoleerd), en de prijs en beschikbaarheid van groen gas. Naarmate groen gas schaarser of duurder wordt – of woningen beter geïsoleerd zijn – verschuift de optimale keuze van hybride warmtepompen naar een mix van warmtenetten en elektrische warmtepompen.

De verticale pijl geeft het evenwicht tussen het aantal elektrische warmtepompen en warmtenetten weer. Dit wordt beïnvloed door de kosten van regelbaar vermogen en de elektriciteitsprijs, die de nationale kosten van eWP's beïnvloeden en door de investeringskosten en adoptiegraad van warmtenetten, die bepalen of collectieve oplossingen tot lagere nationale kosten leiden.



Belangrijke factoren

Hoe de factoren doorwerken in mix van oplossingen en nationale kosten (2)

Impact van factoren op de nationale kosten

De veranderingen in factoren kunnen de nationale kosten zowel direct (door verandering in een kostencomponent) als indirect (via de verandering van de mix) beïnvloeden.

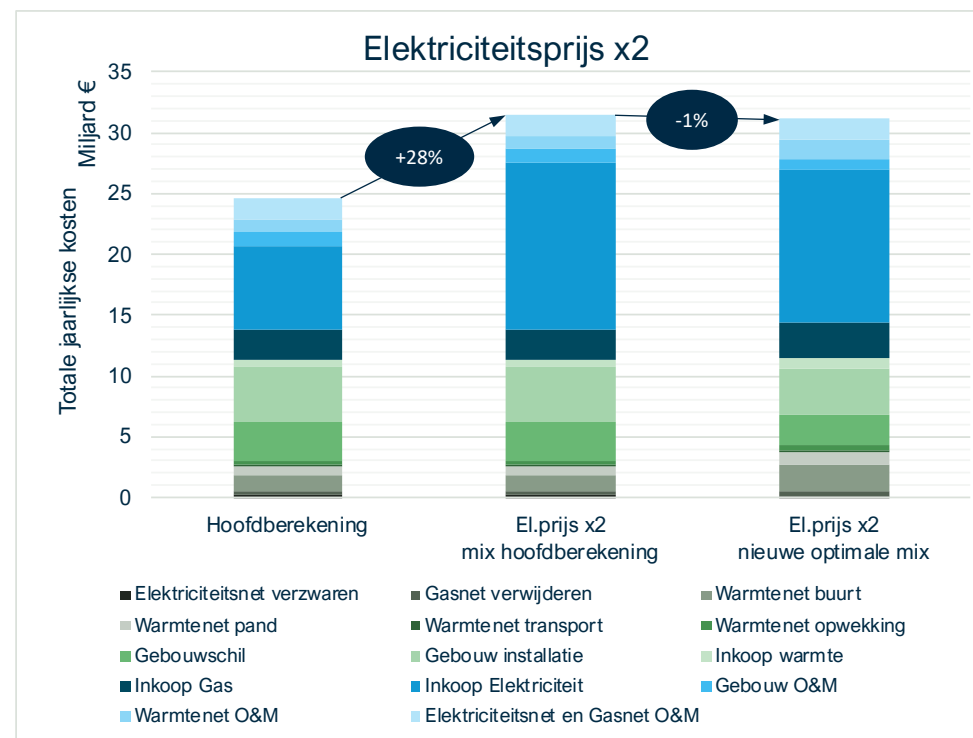
Wanneer buurten door veranderende omstandigheden een andere optimale warmteoplossing krijgen, verschuift de opbouw van de nationale kosten wat soms tot contra-intuïtieve effecten leidt. Bijvoorbeeld: isolatie wordt goedkoper, maar de totale isolatiekosten dalen minder dan je zou verwachten doordat het aantal aansluitingen met de optie eWP - die meer isolatie vereist - toeneemt. Wel leidt deze verschuiving van de mix tot totale lagere nationale kosten.

In het figuur hiernaast is als voorbeeld gegeven het effect op de nationale kosten van verdubbeling van de elektriciteitsprijs getoond, waarbij het directe en indirecte effect zijn uitgesplitst:

- Als de oorspronkelijke mix uit de hoofdberekening wordt aangehouden, stijgen de nationale kosten met circa 28%.
- Na heroptimalisatie — waarbij per buurt opnieuw de goedkoopste warmteoptie wordt gekozen — daalt dit verschil nog slechts met 1%.

Ook bij andere gevoeligheidsanalyses zien we dat de mix van oplossingen die leidt tot de laagste nationale kosten hevig wijzigt door veranderingen in factoren, maar de invloed van die 'heroptimalisatie' beperkt is. Vermoedelijke oorzaak: er zijn veel buurten met een verschil tussen de twee oplossingen met laagste kosten van minder dan 20% (ook het PBL benadrukt dit).

De veranderende factoren (zoals isolatieniveau, elektriciteitsprijs, projectmanagementkosten warmtenetten, en groengas prijs/beschikbaarheid) hebben zelf wél direct een significante impact op nationale kosten van warmte.



Belangrijke factoren

Waarnemingen over de factoren heen

Combinaties van factoren

Waar onze gevoeligheidsanalyses lieten zien wat de effecten van variaties in factoren zijn, zijn er ook verbanden te leggen tussen de effecten van factoren in hun samenhang. Een aantal daarvan zijn:

- Pas boven een prijs van groen gas van ca. 2,20 €/m³ leidt een grotere beschikbaarheid van groen gas niet meer tot meer aansluitingen met hybride warmtepompen
- 'Autonoom' voortgaande isolatie vs. beschikbaarheid groen gas. Wanneer de isolatiekwaliteit van de bestaande woningvoorraad verbetert betekent dit enerzijds dat met dezelfde hoeveelheid groen gas meer hybride warmtepompen gevoed kunnen worden, maar anderzijds dat de elektrische warmtepomp in meer woningen een aantrekkelijk alternatief wordt.
- Als de investering in een warmtenet gereduceerd kan worden in relatie met een wat lagere adoptiegraad in een buurt, bijvoorbeeld door de minder geschikte woningen niet daarop aan te sluiten en door de projectmanagementkosten te reduceren (minder inspanning nodig voor de klanten waarvoor het warmtenet niet aantrekkelijk is), kan het netto effect positief zijn.
- Als de isolatiekwaliteit verbetert neemt de stuurbaarheid van een warmtepomp toe (bij een gegeven vermogen daarvan). Wanneer deze vervolgens op elektriciteitsprijs en variabel nettarief gestuurd wordt, reduceert dit de vraag naar netverzwaring en regelbaar vermogen.
- Bij grootschalige isolatie kunnen de isolatiekosten ook omlaag door het doorlopen van de leercurve en innovatie in processen en technieken.

Buiten de scope van de Startanalyse

Als de warmtebron voor het warmtenet een centrale warmtepomp is kan de warmteoplossing potentieel wél tot extra behoefte aan netverzwaring leiden. In de Startanalyse worden de MT/HT-netten gevoed vanuit restwarmte en geothermie; hier is relatief weinig elektriciteitsverbruik mee gemoeid. De (Z)LT-netten worden vooral gezien in combinatie met WKO (Warmte/koude-opslag); daarbij zullen warmtepompen worden ingezet; in sommige S3-varianten betreft dit centrale warmtepompen.

Het vermogen van zulke centrale warmtepompen is vergelijkbaar met dat van individuele warmtepompen bij elkaar opgeteld. Het voordeel van een collectief systeem is echter dat er meer mogelijkheden zijn om te sturen, bijvoorbeeld met buffers, of door de piekvoorziening anders in te vullen. Zo kunnen 'netbewuste' warmtenetten gecreëerd worden, waarbij de netimpact een ontwerpvariabele is voor het warmtesysteem.

Belangrijke factoren

Welke overwegingen spelen er naast nationale kosten?

Naast het beperken van de nationale kosten van de warmtetransitie – het onderwerp van deze studie – spelen nog andere belangrijke overwegingen; aspecten als eindgebruikerskosten en maakbaarheid spelen een cruciale rol bij het bepalen van de optimale transitiepaden. Om de resultaten van deze studie in dat perspectief te plaatsen, geven we hier een niet-uitputtend overzicht daarvan.

Robuustheid van de warmtevoorziening

Vermindering van de warmtevraag door verbeterde isolatie reduceert de vraag naar energiedragers zoals duurzame elektriciteit en groen gas. Dit maakt Nederland minder afhankelijk van invoer daarvan, veroorzaakt minder ruimtebeslag, en maakt het energiesysteem robuuster tegen mogelijk koudere winters bij een afzwakkende Atlantische oceaanstroming (AMOC).

Geothermie en restwarmte zijn niet afhankelijk van weersomstandigheden zoals zon en wind, en reduceren de druk op uitbouw van zon en wind. Sommige restwarmtebronnen kunnen echter in de loop van de tijd verdwijnen, bijvoorbeeld door sluiting van industriële bedrijven.

Hybride warmtepompen kunnen in principe het gevraagde vermogen tot nul terugbrengen op momenten van netcongestie of een krap aanbod van elektriciteit, ook als die veroorzaakt wordt door onverwachte omstandigheden. Daarvoor moet dan wel geregeld worden dat ze hierop effectief gestuurd kunnen worden.

Eenvoud van implementatie

De hybride warmtepomp kan relatief eenvoudig ingevoerd worden bij de meeste woningen die nu over een cv-ketel beschikken. Er zijn niet onmiddellijk aanpassingen nodig aan woning of warmteafgifte-systeem; wanneer deze later doorgevoerd worden, daalt het gasverbruik verder. Het kan daarmee in de transitie een relatief eenvoudig door te voeren maatregel zijn.

In sommige situaties, zoals hoogbouw, kunnen warmtepompen lastig in te passen zijn. Zeker als een appartementencomplex al een centrale warmtedistributie heeft kan een warmtenet dan het alternatief zijn.

Eindgebruikerskosten

Isolatiemaatregelen blijven naar verwachting populair bij bewoners omdat ze direct leiden tot een verlaging van de rekening (eindgebruikerskosten); de bewoners zien daarbij veel hogere kosten (prijzen) per eenheid afgenomen energie dan de nationale kosten daarvan waarmee in de Startanalyse gerekend wordt. Soms vallen de kosten van isolatiemaatregelen veel hoger uit dan die waarmee in de Startanalyse gerekend wordt; dit hangt dan vaak samen met bouwkundige verbeteringen als de vervanging van kozijnen.

Wanneer de kosten van warmtenetten alleen omgeslagen worden over de gebruikers daarvan vallen de eindgebruikerskosten relatief hoog uit ten opzichte van die van de kosten van verzwaring van het elektriciteitsnet die over alle huishoudens worden omgeslagen. Daarmee kan de oplossing zich 'uit de markt kan prijzen'.

Het onderhoud van warmtenetten wordt belegd bij het warmtebedrijf en zorgt daarmee niet voor onverwachte uitgaven door de burger.

Maakbaarheid

In de komende jaren kan 'maakbaarheid' – de capaciteit van de netwerkbedrijven om de netten overal in Nederland snel te verzwaren en van warmtebedrijven om op te schalen in de uitrol van warmtenetten – een aanzienlijke beperkende factor zijn voor de warmtetransitie.

Hybride warmtepompen kunnen veel vaker toegepast worden zonder dat daarvoor nog nieuwe energieinfrastructuur nodig is; ze reduceren daarmee de druk op maakbaarheid.

Als een versnelde uitrol van warmtenetten eenmaal gerealiseerd wordt speelt dit wel capaciteit vrij bij de netbeheerders om de al bestaande achterstanden in het verzwaren van het elektriciteitsnet weg te werken.

An aerial photograph of a city, likely Amsterdam, showing a dense urban landscape with a mix of modern high-rise buildings and older residential structures. A large green curved shape is overlaid on the bottom left corner of the image.

Hoofdstuk 3

Relevante beleidsdossiers

Relevante beleidsdossiers

Relevante beleidsdossiers (1)

De bevindingen van deze studie – en de warmtetransitie in het algemeen – raken aan een groot aantal beleidsdossiers. Het sturen van de keuzes in de warmtetransitie zal dan ook een impact hebben op deze dossiers. In dit hoofdstuk vindt u een beknopte opsomming daarvan.

Algemeen

Veel van de oplossingen in de warmtetransitie worden beïnvloed door:

- Implementatie van de Europese Richtlijn energieprestatie van gebouwen (EPBD). Deze moet in 2026 worden omgezet in nationale wet- en regelgeving; zie Kamerbrief 14 juli 2025
- Invoering van het nieuwe emissiehandelssysteem voor gebouwde omgeving en transport (ETS 2; zie de Kamerbrief hierover van 17 september 2024; dit zal een extra stimulans brengen voor de warmtetransitie.
- Subsidies / leningen
 - ISDE: Een subsidieregeleing voor (hybride) warmtepompen, aansluiting op warmtenet, isolatie. Per 1 januari 2026 uit te breiden met subsidie voor energiezuinige ventilatiesystemen.
 - Energiebespaarlening / Nationaal Warmtefonds: isolatie, warmtepomp etc.
- Nationale Prestatieafspraken (NPA) 2025-2035 met corporaties; stuurt op vermindering warmtevraag in plaats van alleen op labelverbetering van de woning. Uiterlijk 2027 moeten gemeenten uitgewerkte plannen hebben voor de realisatie van 450.000 aardgasvrije huurwoningen in 2034.

Isolatie

- ‘De Standaard’: een richtlijn voor de isolatiegraad van woningen die toekomstbestendig is,

uitgedrukt in een maximale warmtevraag in kWh/m² per jaar.

- Specifieke subsidies op het gebied van isolatie: SVVE-subsidie voor VVE’s, ISDE-subsidie voor woningeigenaren, SPOR-subsidie en MEER-subsidie voor grootschalige renovatie door woningcorporaties en VVE’s, SPUK-subsidie voor gemeenten om inwoners te helpen met woningisolatie
- Nog te ontwikkelen beleid om de kosten van isolatiemaatregelen te verlagen (wordt in PBL-aannames als enige duurder in 2030 ten opzichte van 2020, terwijl warmtepompen en warmtenetten goedkoper worden)
- Het Nationaal Warmtefonds: Verstreking van leningen voor verduurzaming van woningen voor particuliere woningeigenaren en VVE’s

Veel van deze regelingen vallen onder het Nationaal Isolatieprogramma

Installatie

- Kwaliteitseisen warmtepompen in ISDE
- Deels nog te ontwikkelen normstelling warmtepompen, bijvoorbeeld ten aanzien van inzet van een elektrisch element en regelbaarheid.
- Als onderdeel van de EPBD (European Performance of Buildings Directive) moeten lidstaten de SRI (Smart Readiness Indicator) implementeren. Nederland is aan het uitwerken hoe dit meegenomen kan worden in wet- en regelgeving en normering zoals energielabels. De SRI zou iets moeten zeggen over de ‘slimheid’ van systemen zoals warmtepompen.

Relevante beleidsdossiers

Relevante beleidsdossiers (2)

Netverzwaring

- Nieuwe Energiewet (in werking vanaf 1 januari 2026): Dynamische energie- en nettarieven die een sturing van warmtepompen op basis van energiemarkt en netcongestie mogelijk maken, en de taken en verantwoordelijkheden van netbeheerders aanpassen.
- Landelijk Actieprogramma Netcongestie (LAN)

Groen gas

- De bijmengverplichting van groen gas, die per 2027 ingaat
- Nog te ontwikkelen beleid ten aanzien van import van groen gas

Warmtenetten

- Subsidies: Warmtenetten Investerings Subsidie (WIS) en Nieuwe Warmte Nu (NWN)
- Implementatie van de Wet Collectieve Warmte (WCW)
- De Regionale Energie Strategieën, voor wat betreft regionale keuzes warmtebronnen
- Nog te ontwikkelen beleid voor het goed in kaart brengen van (Z)LT warmtebronnen per gemeente
- Nog te ontwikkelen beleid om ongewenste overlap tussen het stimuleren van warmtepompen en van warmtenetten in dezelfde gebieden te voorkomen.

A photograph of a residential street in winter. The houses are made of wood and painted in various colors: brown, yellow, and red. The roofs are covered in snow, and the ground is also covered in a thick layer of snow. There are bare trees and a clear blue sky in the background. A large green semi-circular graphic is overlaid on the bottom left corner of the image.

Hoofdstuk 4

Aanbevelingen en suggesties voor vervolgonderzoek

Aanbevelingen

Gericht sturen op robuuste keuzes en het versterken van randvoorwaarden per warmteoplossing

Deze studie geeft inzicht in de invloed van een aantal belangrijke factoren op de nationale kosten en op de mix van oplossingen met de laagste nationale kosten. Deze studie geeft echter geen uitsluitel over een ideale mix van technologieën in de warmtetransitie. Daarvoor zijn er nog teveel onbekenden. Wel kunnen we uit de bevindingen een aantal aanbevelingen afleiden, zowel voor beleid als voor benodigd nader onderzoek.

Voor veel buurten ontlopen verschillende oplossingen elkaar weinig in nationale kosten. Daarom is het van belang om te onderzoeken voor welke buurten – en welke types buurten – de keuze van de oplossing met de laagste nationale kosten robuust is; dat zijn de buurten waarin het verschil met de oplossing met de op één na laagste kosten groot is. In die buurten zou dan sterk gestuurd moeten worden op toepassing van deze oplossing.

Tegelijkertijd kan gewerkt worden aan het verbeteren van de randvoorwaarden voor elk van drie hoofdoplossingen:

Elektrische warmtepompen

Gebruik van elektrische elementen in warmtepompen als ondersteuning bij koud weer zou vermeden moeten worden om hoge nationale kosten in het elektriciteitssysteem te vermijden. Er kan in dit kader overwogen worden om warmtepompen met elektrische elementen als hulpverwarming bij koud weer niet meer te subsidiëren.

Grondig onderzoek is nodig naar de impact van elektrische warmtepompen op regelbaar elektriciteitsproductievermogen, zeker in het licht van het toch al opdoemende gebrek daaraan vanaf kort na 2030. Er moet daarbij gekeken worden naar aansluitwaarde en naar gelijktijdigheid van de piekvraag op koude dagen, als functie van dimensionering van de warmtepomp en de stuurbaarheid daarvan.

Marktmodellering kan dan worden ingezet om te onderzoeken wat de elektriciteitsprijzen worden waar gebruikers van warmtepompen – gewogen naar het verbruik – mee te maken gaan krijgen.

Warmtenetten

Waar warmtenetten robuust naar voren komen als de oplossing met de laagste nationale kosten zouden warmtepompen niet gesubsidieerd moeten worden. Deze subsidie zou daar indirect de adoptiegraad voor de warmtenetten verlagen, wat kan leiden tot hogere totale nationale kosten.

Om de projectmanagement- en investeringskosten van warmtenetten te verlagen zou gestreefd moeten worden naar standaardisering.

Hybride warmtepompen

Voor grootschalige toepassing van hybride warmtepompen is het van belang om duidelijke keuzes maken ten aanzien van structurele import van groen gas. Als hiervoor gekozen wordt zou ook beleid moeten worden ingezet om hier werk van te maken. Tot slot is een afweging gewenst over de verschillende toepassingen, en daarmee de beschikbaarheid voor de gebouwde omgeving.

Aanbevelingen

Vervolgonderzoek en beleidsopties voor een robuuste warmtetransitie

Naast maatregelen om de randvoorwaarden per technologie te verbeteren, zien we bredere kansen om de warmtetransitie als geheel robuuster, efficiënter en beter onderbouwd te maken. Deze aanbevelingen richten zich op het verdiepen van kennis, het ontwikkelen van transitiepaden, het realiseren van kostenreducties en het verkleinen van verschillen tussen nationale en eindgebruikerskosten.

Isolatie

Om goed onderbouwde beleidslijnen te kunnen uitzetten is nog meer gedetailleerde kennis nodig over een aantal aspecten. Met name op het vlak van isolatie is betere informatie nodig, zowel over de huidige toestand van de woningvoorraad en over het effect van maatregelen op de warmtevraag.

Om duidelijkheid te creëren voor alle partijen in de warmtetransitie zou het goed zijn als de rijksoverheid een isolatiescenario opstelt: Van welke toekomstige isolatieniveaus kunnen gemeenten en ontwikkelaars van warmteoplossingen uitgaan bij hun keuzes en business cases?

Robuustheid en transitie

Ook zou de robuustheid van onze analyse nader onderzocht moeten worden. Waar zitten de grenzen aan de 'vlakke optima', het werkgebied waarin verschillende oplossingen slechts weinig verschillen in nationale kosten? Keuzes per buurt binnen het vlakke optimum kunnen op andere belangrijke gronden dan nationale kosten alleen gemaakt worden.

De Startanalyse neemt geen transitiepad mee; het is een model voor het eenmalig aardgasvrij maken van buurten, gebaseerd op het referentiebeeld 2030, maar niet gebonden aan een bepaald punt in de tijd. In de maatschappij loopt de transitie al: woningeigenaren isoleren hun woningen, en schaffen (hybride) warmtepompen aan en op vele plaatsen wordt gewerkt aan het realiseren van warmtenetten.

Om deze aspecten in de tijd mee te nemen zouden warmtetransitiescenario's ontwikkeld moeten worden. Onderdeel daarvan kan bijvoorbeeld een autonoom voortgaande verbetering van de isolatiekwaliteit zijn, maar ook de groeiende penetratie van warmtepompen die, zeker bij het algemeen beschikbaar stellen van subsidies daarvoor, geleidelijk het speelveld voor warmtenetten verkleint.

Hiermee zouden ook *signposts* uitgezet kunnen worden voor de periode van 2025 tot 2050; welke ontwikkelingen moeten gemonitord worden om het transitiepad telkens bij te kunnen stellen? Zo kan ook bekeken worden of een aanpak per buurt nog voldoende toegevoegde waarde heeft, of dat de ontwikkelingen die al ingehaald hebben.

Kostenreductie

De hoge kosten van de warmtetransitie maken het nodig om op alle punten te werken aan kostenreductie. Dit geldt op componentniveau (bijvoorbeeld warmtepompen), op procesniveau (lagere isolatiekosten door gestroomlijnde aanpak) en op systeemniveau (afstemming isolatie-installatie-infrastructuur). Onderzoeks- en ontwikkelprogramma's, in combinatie met gestructureerde opschaling, zouden hiervoor ingezet moeten worden.

Een punt dat uit de Startanalyse naar voren komt is het belang van het terugdringen van projectmanagementkosten voor alle technologieën. Hiermee kunnen duizenden euro's per aansluiting gemoeid zijn.

Vergelijking van nationale kosten met eindgebruikerskosten

In investeringsbeslissingen in de warmtetransitie spelen de kosten voor de eindgebruiker een belangrijke rol. Onderzocht zou moeten worden waar deze sterk afwijken van nationale kosten; zulke verschillen zouden keuzes met hogere nationale kosten in de hand kunnen werken. Op deze punten kan dan beleid ontwikkeld worden om de kosten voor de eindgebruiker meer in lijn te brengen met de nationale kosten.



Bijlage 1

Overzicht van de aansluitingen per variant in de Startanalyse

Overzicht van de aansluitingen per variant in de Startanalyse

In de tabel hiernaast is voor de hoofdberekening van de Startanalyse de verdeling gegeven van de aantallen aansluitingen (woningen en utiliteitsgebouwen) per strategievariant, en van de verdeling van de technologieën eWP, MT, (Z)LT en hWP.

Mix van aansluitingen in de PBL hoofdberekening, opgesplitst in de varianten

Strategie	Variant	Beschrijving warmteoplossing (getallen: °C. TW = tapwater)	Doel-situatie isolatie	Aantal buurten	# aansl. eWP	# aansl. MT	# aansl. (Z)LT	# aansl. hWP	Totaal aansl. variant
1	's1a'	Luchtwarmtepomp	B+	1.624	942.813	7.283	0	0	950.096
	's1b'	Bodemwarmtepomp	B+	38	2.094	3	0	0	2.097
2	's2a'	MT-restwarmte	B+	5	0	3.648	0	0	3.648
	's2b'	MT-geothermie potentie-contour	B+	1	0	501	0	0	501
	's2d'	MT-restwarmte	D+	1.200	0	1.340.978	0	0	1.340.978
	's2e'	MT-geothermie potentie-contour	D+	853	0	945.172	0	0	945.172
3	's3a'	LT-restwarmte. bron 15-30. individueel opwaarderen tot 50. TW	B+	352	307.839	2.482	11.405	0	321.726
	's3b'	LT-WKO, bron 15, individueel opwaarderen tot 50, TW	B+	210	75.726	97	4.842	0	80.665
	's3c'	LT-WKO, bron 15, collectief opwaarderen tot 70	B+	15	8.809	385	138	0	9.332
	's3d'	LT-WKO, bron 15, collectief opwaarderen tot 50, booster voor TW	B+	6	1.800	0	7	0	1.807
	's3e'	LT-WKO + TEO, bron 15, individueel opwaarderen tot 50, TW	B+	1.409	1.162.586	13.253	209.438	0	1.385.277
	's3f'	LT-restwarmte, bron 15-30, collectief opwaarderen tot 70	D+	51	15.003	8.178	2.550	0	25.731
	's3g'	LT-WKO, bron 15, individueel opwaarderen tot 70	D+	1.737	368.765	31.973	231.709	0	632.447
	's3h'	LT-WKO, bron 15, collectief opwaarderen tot 70	D+	95	24.066	19.519	8.402	0	51.987
4	's4a'	Hybride warmtepomp	B+	2	0	78	0	2	80
	's4b'	Hybride warmtepomp	D+	6.656	0	125.591	0	2.514.545	2.640.136
TOTAAL buurten / aansluitingen per technologie				14.515	2.909.501	2.499.141	468.491	2.514.547	8.391.680

Bijlage 2

Verdieping op de factoren

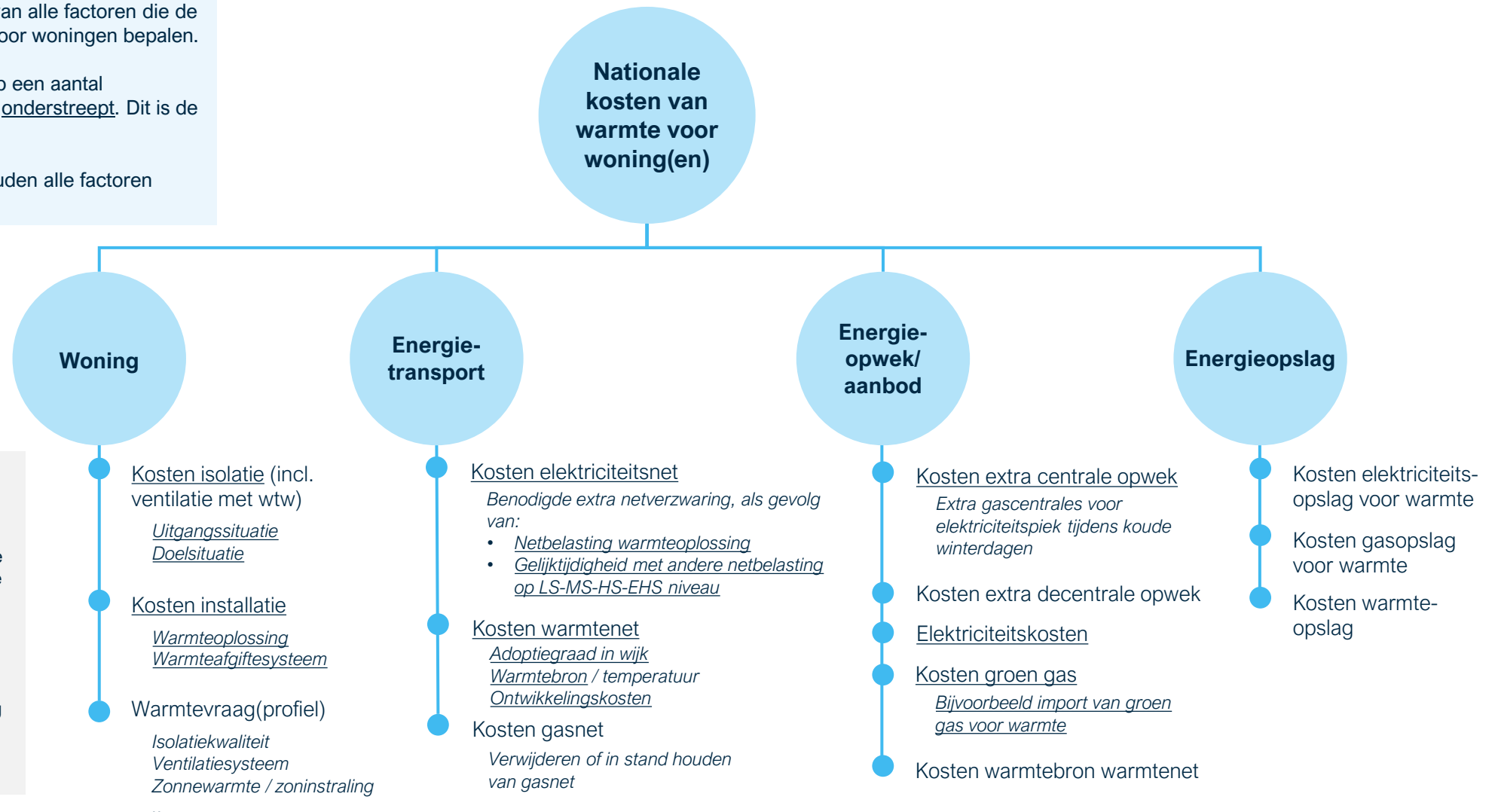


Factoren in de nationale kosten van warmte voor woningen

De figuur geeft een overzicht van alle factoren die de nationale kosten van warmte voor woningen bepalen.

In dit rapport richten we ons op een aantal belangrijke factoren. Deze zijn onderstreept. Dit is de scope van de huidige fase.

Voor een volledige analyse zouden alle factoren meegenomen moeten worden.



Koudevoorziening (bijvoorbeeld airconditioning) valt niet direct onder de kosten van warmte voor woningen. Wel wordt de factor in overweging genomen als relevante externe factor om in overweging te nemen bij het bepalen van maatschappelijk optimale warmteoplossingen.

Warm tapwater vormt samen met ruimteverwarming de warmtevraag in de woning en is dus onderdeel van de kosten van warmte voor woningen.

Factoren die de nationale kosten van warmte voor woningen beïnvloeden

Woning / Isolatie

1. Hoe kan de factor de piekvraag in LS-netten en de nationale kosten voor warmte beïnvloeden?

Impact piekvraag LS-netten

- De mate van isolatie van een woning kan de warmtepiekvraag en daarmee de netbelasting sterk beïnvloeden. Bijvoorbeeld, in het Functioneel Ontwerp Vesta MAIS (2021) wordt in een D+ woning met een hWP gerekend met een aansluitwaarde van 4,6 kW terwijl er in een B+ woning met 3,2 kW gerekend wordt. De warmtevraag scheelt tussen een D en B woning ook met ca. 15%.

Impact nationale kosten

- Isolatie is 30% van de nationale kapitaallasten o.b.v. de Startanalyse, en is daardoor van grote invloed op de uitkomsten
- In Startanalyse laat een gevoeligheidsanalyse zien dat indien de aanname zou zijn dat alle woningen uiteindelijk naar schillabel B geïsoleerd worden, de uitkomsten wat betreft warmteoplossing met laagste nationale kosten compleet veranderen (vooral elektrische warmtepompen, amper nog hybride WP en MT/HT-netten).

2b. Zijn er andere studies die iets over de factor zeggen?

- Volgens de voortgangsrapportage over het Programma versnelling Verduurzaming Gebouwde Omgeving (Min. BZK, 2024), is het gasverbruik in woningen 11% gedaald tussen 2023 en 2022. Er wordt ingeschat dat 2.5% daling wordt veroorzaakt vanwege 'fysieke maatregelen' (op basis van het aantal geïnstalleerde warmtepompen in de bestaande bouw en de inschatting van het aantal getroffen isolatiemaatregelen en labelverbeteringen). Onduidelijk is hoe dit getal tot stand is gekomen en hoeveel effect verbeterde isolatiemaatregelen heeft. Verder in het stuk wordt er uitgelegd dat dit met name veroorzaakt wordt door de stijging van het aantal warmtepompen.
- Er wordt ingeschat dat de groeiende hoeveelheid isolatiemaatregelen (gelijk aan ~30 miljoen m² isolatie / jr) een daling veroorzaken in de gasvraag van 3 PJ elk jaar (RVO Monitor Verduurzaming Gebouwde Omgeving 2024). Dit is gebaseerd op een analyse van TNO - In 9 jaar (2014-2023) ca. 30 PJ besparing op finaal energieverbruik door isolatie, dat is ca. 11,5% op het aardgasverbruik voor verwarming van ca. 260 PJ in 2014. Verder wordt ook ca. 30 PJ bespaard door installatie van HR-ketels, warmtepompen en zonneboilers.
- Volgens BCG (2025) heeft het nalaten van energiebesparende maatregelen bij eWP's tot gevolg dat de reductie van het piekvermogen in hun Hoog scenario van 35% terugvalt naar 0%. Dit zou een Capex-reductie 2040 betekenen van €600 miljoen. Dit bij 2,1 miljoen warmtepompen in de gebouwde omgeving, dus ca. €300 capex per betrokken woning.

2a. Hoe is de factor meegenomen in de Startanalyse (2025)?

- Isolatieniveau wordt in de Startanalyse vertaald uitgedrukt in schillabel. De benodigde isolatiemaatregelen en de kosten daarvan worden bepaald door het verschil tussen de schillabel van de uitgangssituatie en de doelsituatie.
- De **uitgangssituatie** van de schillabel van een woning is in de analyse direct gelinkt aan de energielabels van de woningen. In de ASA25 "wordt als aanname het schillabel van de woning gelijkgesteld aan het energielabel". 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. Data over energielabels werden uit het openbare dataportal van energielabels van RVO opgehaald op 01-02-2024. Voor de ~3,3 miljoen woningen (40%) zonder energielabel is een inschatting gemaakt op basis van lineaire regressie met gebruik van gegevens over bouwjaar, gasverbruik, vloeroppervlak, woningtype uit de WoON-onderzoek database.
- Voor de **doelsituatie** is het benodigde schillabel afgeleid van aannames over de vereiste afgiftetemperatuur van een warmteoplossing. In alle strategieën worden de schillabels waar nodig opgewaardeerd naar schillabel D of B, afhankelijk van de warmteoplossing. Voor all-electric en (zeer) laagtemperatuur-warmtenetten wordt uitgegaan dat er tot schillabel B geïsoleerd wordt. Voor hybride oplossingen en MT/HT-warmtenetten wordt de aanname gedaan dat er slechts tot schillabel D+ geïsoleerd hoeft te worden (tot schillabel D). Van de woningen met een energielabel heeft nu al meer dan 80% een label van D of hoger. Een rijwoning uit de jaren 60-70 met schillabel D heeft bijvoorbeeld een HR-ketel en dubbelglas op de begane grond, maar anders geen isolatie. Het opwaarderen naar schillabel B+ kan bijvoorbeeld inhouden dat het dak en/of de spouwmuur geïsoleerd wordt, en HR++-glas geplaatst (Verbeterjehuis). In de Startanalyse zijn isolatiemaatregelpakketten geïdentificeerd en gedefinieerd om deze schillabels te bereiken.
- De **kostenschattingen** voor isolatiemaatregelen zijn afgeleid uit door DGMR bepaalde isolatiepakketten en een Arcadis kostendatabase uit 2023, toegepast op 4.000 woningen in de WoON2018 database met informatie over het energielabel en de isolatiekwaliteit. TNO heeft de kosten van isolatiemaatregelpakketten gedefinieerd voor het opwaarderen van labels naar D+ en B+ voor een- en meergezinswoningen. Het opwaarderen van een schillabel naar het één niveau hoger ligt gemiddeld op ca. €5.000 voor een meergezinswoning en ca. €7.000 voor een eengezinswoning (Bepaling Isolatiekosten Woningen Startanalyse 2025). Investeringskosten voor de isolatiebesparingen per kWh/m² effect zijn redelijk vergelijkbaar tussen energielabels.
- In een **gevoeligheidsanalyse** worden alle woningen naar schillabel B gebracht. Het effect daarvan is zeer groot: het aantal aansluitingen op een warmtepomp loopt op naar 7 miljoen, hybride warmtepompen en nieuwe aansluitingen op MT/HT warmtenetten vallen grotendeels weg. De resultaten kennen wel een flinke onzekerheid – van de 7 miljoen aansluitingen op een ewp zijn er ~3 miljoen met minder dan 20% kostenverschil met het eerstvolgende beste alternatief. De ASA25 "bevat ook een gevoeligheidsanalyse waarin wordt uitgegaan van een optimistischere inschatting van het effect van isolatie [op het energieverbruik van woningen] bij zowel schillabel B+ en D+". Dit heeft weinig effect op de hoofdfresultaat van PBL; totale investeringen dalen met 1% naar €214 miljard (vanwege minder gebouwschil- en installatiekosten) en het aantal aansluitingen met een hWP neemt met 0,2 miljoen aansluitingen toe ten koste van het aantal elektrische warmtepompen.

Factoren die de nationale kosten van warmte voor woningen beïnvloeden

Woning / Isolatie

3. Wat zijn mogelijke consequenties van de gebruikte aannames en methoden?

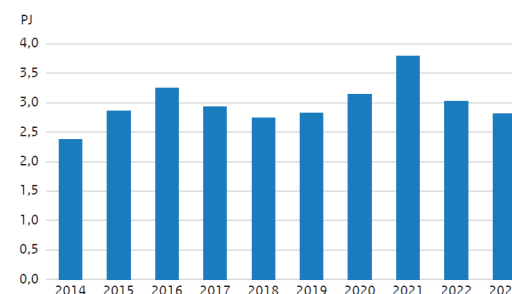
De inschatting van de uitgangssituatie kent veel onzekerheden die invloed kunnen hebben:

- **Onderschatting van de huidige isolatieniveaus:** Energielabels zijn per definitie gedateerd en geven een beeld van een situatie in het verleden.
 - Voortgangsrapportage PVGO (BZK 2024) laat zien dat er ook flink geïnvesteerd wordt in isolatie in Nederland. In 2023 hebben volgens het rapport "ruim 600.000 eigenaar-bewoners hun woning verduurzaamd, waarbij bijna 800.000 isolatiemaatregelen zijn getroffen en circa 170.000 duurzame installaties zijn geïnstalleerd. (...) Op basis van deze gegevens kan worden ingeschat dat de afgelopen jaren gemiddeld ca. 500.000 hele bouwdelen (d.w.z. de hele gevel, hele vloer, geheel dak of alle ramen) zijn aangepakt. (...) Gezien de aangevraagde vierkante meters isolatiemateriaal zijn dit relatief grote maatregelen." Daarnaast beschrijft het rapport Lokale Warmtetransitie (NPLW 2024) dat gemeenten aangeven dat bewoners gemotiveerd zijn om isolatiemaatregelen te nemen en dit ook proactief doen (p. 5).
 - Als de uitgangssituatie wordt onderschat, kan dit ertoe leiden dat de kosten voor isolatiemaatregelen om te komen tot het doelniveau worden overschat. Het kan ook betekenen dat bepaalde strategiekeuzes in de ASA25, zoals het inzetten van hybride warmtepompen in combinatie met schillabel D, te positief worden beoordeeld.
 - In de ASA25 wordt voor de transitie per buurt uitgegaan van de huidige energielabels (2024), zonder aanname van autonome verbetering richting de doelsituatie. Wel is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd waarin alle woningen zijn opgewaardeerd naar minimaal schillabel B. Deze analyse kan dienen als proxy voor het effect van autonome labelverbetering.
- **Overschatting van de huidige schillabels** vanwege de aanname dat schillabel = energielabel. Energielabels worden ook beïnvloed door installaties bijvoorbeeld warmtepompen en zonnepanelen.
 - Zonnepanelen, die op meer dan 1/3 van Nederlandse woningen staan (BNL, 2025), kunnen een energielabel geven dat hoger is dan de schillabel. Bijvoorbeeld een gemiddeld huis (100 m²) met gemiddelde opwek van zon-pv (4.000 kWh per jaar), zou een verbetering kunnen hebben van 40 kWh/m². Dit is genoeg om een sprong te kunnen maken tussen twee energie labels, bijvoorbeeld van D (290 kWh/m²) naar C (250 kWh/m²). Warmtepompen kunnen nog veel meer effect hebben op het energielabel vanwege de besparingen op gasverbruik, en zouden een verschil van 2-3 energie labels kunnen veroorzaken. De adoptiegraad van warmtepompen in woningen bedraagt inmiddels 7%.
 - Een overschatting van de huidige schillabels voor 1/3 van de woningen zou kunnen betekenen dat isolatiekosten te laag ingeschat zijn.

4. (Hoe) is verbetering of verdieping in het bepalen van de orde grootte van het effect (praktisch) mogelijk?

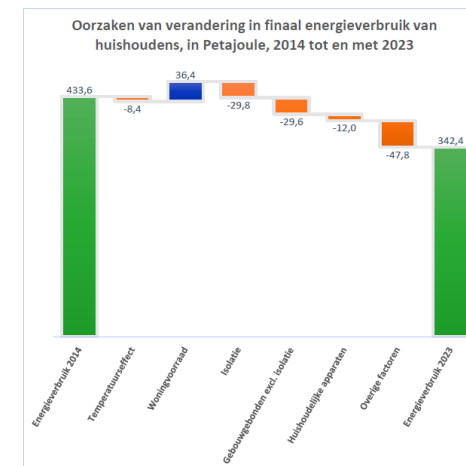
- **Aanpassen van de uitgangssituatie met isolatiescenario's:** Op basis van de analyse van TNO, geciteerd in de [Monitor Verduurzaming Gebouwde Omgeving 2024](#), figuur 6.4 hieronder, vermindert de warmtevraag met ca. 3 PJ per jaar (gelijk aan ca. 1,25% van de totale warmtevraag) vanwege isolatiemaatregelen. In 2030 zou dit betekenen dat de warmtevraag van de bestaande woningvoorraad al 6,25% gedaald is, en in 2037 (halverwege de transitie) 15%. Een flink deel van de isolatiekosten zou dan wegvallen in de afweging tussen de opties.
- **Verbeteren uitgangssituatie:** De uitgangssituatie van energielabels kan op meerdere manieren verbeterd worden. Ten eerste door correctie voor zonnepanelen: op basis van terugleverdata én de energielabels kunnen de schillabels beter worden ingeschat. Daarnaast zou voor de schillabeldata in de ASA25 steekproeven uitgevoerd kunnen worden om de nauwkeurigheid van de landelijke labelverdeling te schatten. Dit zou kunnen op basis van (geanonimiseerde) datasets zoals de RVO-woningendata, data van woningcorporaties (bijv. via brancheorganisaties zoals Aedes) of via nieuw onderzoek (bijv. WoON, 2024). Deze datasets kunnen ook gebruikt worden als sense check op de energielabels, om te beoordelen hoe verouderd de huidige gegevens zijn.
- Daarnaast zouden andere verbeteringen gedaan kunnen worden door dynamische modellen te gebruiken, waar berekeningen ook op gedetailleerdere niveaus gedaan worden dan op gemiddeld jaarniveau.
- Andere factoren die de warmtevraag sterk beïnvloeden zouden ook meegenomen kunnen worden bijvoorbeeld balansventilatie, luchtdichtheid, waterbesparende douchekoppen, douche-WTW's.

Figuur 6-4 Jaarlijkse besparing in de bestaande woningbouw door isolatie (indicatief), in petajoule, 2014-2023



Alleen besparing door vermindering van aardgasverbruik door isolatie van: dak, gevel/spouwmuur, vloer, glasisolatie

Bron: TNO Energietransitie, 2024



Figuur 5.1: Resultaat decompositie analyse huishoudens (bron: analyse TNO)

Factoren die de nationale kosten van warmte voor woningen beïnvloeden

Woning / installatie: warmteafgiftesysteem

1. Hoe kan de factor de piekvraag in LS-netten en de nationale kosten voor warmte beïnvloeden?

Impact piekvraag LS-netten

- Het voor een oplossing vereiste temperatuurniveau van warmteafgifte in de woning kan op verschillende manieren worden ingevuld, bijvoorbeeld door aanpassing van bestaande warmteafgiftesystemen of inzet van ventilatoren, en warmtepompen kunnen ook hogere temperaturen leveren dan verondersteld. Dit zou kunnen betekenen dat de impact op LS-netten deels verminderd zouden kunnen worden.

Impact nationale kosten

- Flexibeler afgifteniveaus per woning zou kunnen leiden tot lagere kosten (met name in isolatie).

2a. Hoe is de factor meegenomen in de Startanalyse (2025)?

- In de Startanalyse wordt voor woningen met schillabel D een als warmteafgifte temperatuur van 60-70 °C aangenomen; voor schillabel B is dit 40-50.
- In lijn met de observaties van het standaard- en streefwaarden onderzoek door Nieman wordt er in ASA2025 vanuit gegaan dat in 20-50% (gemiddeld 35%) van de woningen- met label B in het eindbeeld en afgifte op 50 °C LT-afgiftesystemen nodig zijn (in de vorm van LT-convectoren). (p. 93, Verdiepingsrapport). Vloerverwarming is buiten beschouwing gelaten. De kosten van LT-afgiftesystemen zijn vergelijkbaar met de kosten die in SA2020 zijn aangenomen.
- De Startanalyse koppelt het benodigde schillabel aan aannames over de afgifte temperatuur van de warmteoplossing, maar houdt daarbij geen rekening met technische en praktische speelruimte.

3. Wat zijn mogelijke consequenties van de gebruikte aannames en gekozen methoden in bestaande studies?

- Er is technische en praktische speelruimte in afgifteniveaus. Onderschatting daarvan kan leiden tot overschatting van benodigde isolatie en kosten, met name in de (Z)LT-net en elektrische warmtepompstrategieën.
- De kosten van vloerverwarming zijn vaak hoger dan van convectoren. Als deze zouden worden meegenomen zouden de afgiftekosten voor (Z)LT-warmtenetten hoger uitkomen.

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

		ASA2025		SA2020		SA2020	
		euro2023		euro2023		euro2018	
		min	max	min	max	min	max
woningen eenge-	euro/ aan-	1288	3199	1187	3995	957.2	3222
zins	sluiting						
woningen meerge-	euro/ aan-	1117	1855	5.1	2498	4.1	2015
zins	sluiting						
utiliteit	euro/ m2	4.2	6.3	11.3	11.3	9.1	9.1

4. (Hoe) is verbetering of verdieping in het bepalen van de ordegrootte van het effect (praktisch) mogelijk?

- Rekenen met meer variëteit in warmte-afgiftesystemen, waarmee ook met minder isolatie op lagere temperatuur verwarmd kan worden

Factoren die de nationale kosten van warmte voor woningen beïnvloeden

Woning / Installatie: Adoptiegraad van airconditioning, en de inzet voor verwarming

1. Hoe kan de factor de piekvraag in LS-netten en de nationale kosten voor warmte beïnvloeden?

Impact piekvraag LS-netten

- De afgelopen jaren is er een toename te zien in de aanschaf van airconditioning in Nederland. Deze airconditioning wordt in veel gevallen ook als lucht-luchtwarmtepomp ook worden ingezet om een ruimte te verwarmen. De airco wordt in één ruimte geplaatst – dus gemiddeld zijn meerdere airco's nodig om een huis te verwarmen. Er wordt niet verwacht dat de koelingspiek van airco's doorslaggevend zal zijn voor netbelasting – het te overbruggen temperatuurverschil is doorgaans minder dan in de verwarmingspiek en daardoor kan ook een hoge COP gehaald worden. De piek in koeling is ook gecorreleerd met hoge productie van zon-PV.

Impact nationale kosten

- Als airconditioners in buurten met hWP of MT-warmtenetten geplaatst worden, kan dit alsnog de behoefte aan netverzwaring vergroten en daarmee de nationale kosten doen toenemen.

2a. Hoe is de factor meegenomen in de Startanalyse (2025)?

- Airconditioning wordt genoemd in de Startanalyse documentatie, maar niet in de context van inzet voor verwarming: "Koudevraag wordt niet integraal meegenomen in de nationale kosten berekening. 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." [Link, p. 69](#)
- Mogelijke netverzwaringskosten door air conditioning worden in de Startanalyse niet meegenomen: Niet voor koelen, omdat alleen de nationale kosten worden berekend voor het invullen van de warmtevraag (Infoblad koudevraag, p.8) en niet voor verwarming, want met die toepassing wordt geen rekening gehouden (e-mail van het PBL)

2b. Zijn er andere bronnen die de mogelijke impact van de factor in kaart brengen?

- CE Delft (Impact van warmtetransitie op het lokale elektriciteitsnet, 2023) benoemt airconditioning als bijdrage in groeiende elektriciteitsvraag – maar lijkt de mogelijkheid van inzet voor verwarming niet expliciet mee te nemen in analyse.

2b. (vervolg)

- [Vereniging warmtepompen 2025](#) geeft aan dat er 1,9 miljoen lucht-lucht warmtepompen geïnstalleerd waren in 2024, en dat dit groeit met ca. 0,3 miljoen / jaar. Het gemiddelde thermisch vermogen is al sinds 2012 circa 4,7 kW (vergelijkbaar met de 5 kW van een lucht-water WP), en dit blijft redelijk stabiel. Er wordt aangegeven dat airco's in toenemende mate gebruikt worden voor verwarming, maar nog geen kwantificering van hoeveel dit is.
- Uit een CBS-enquête (2023) bleek dat 40% van de airconditioner-bezitters (vast en mobiel samen) deze ook voor verwarming gebruikt.
- [Welke warmtepompen zijn er?](#) | Milieu Centraal: "Het rendement is ongeveer gelijk aan dat van een lucht-waterwarmtepomp, maar alleen als het om een moderne airco gaat met energielabel A++ of hoger."

3. Wat zijn mogelijke consequenties van de gebruikte aannames en gekozen methoden in bestaande studies?

- Als het gaat om een efficiënte split-airco die ingezet wordt om één ruimte te verwarmen is de impact relatief laag, maar als dit niet het geval is kan de impact significant zijn.
- Als voor verwarming de airco gebruikt (vanwege comfort-redenen, bijvoorbeeld om sneller een ruimte op te warmen en op gelijk weer uit te zetten), kan dit qua energievraag efficiënter zijn, maar dit zou wel kunnen leiden tot een hoge piek in de ochtend in buurten waar dat veel voorkomt.

4. (Hoe) is verbetering of verdieping in het bepalen van de ordegrootte van het effect (praktisch) mogelijk?

- Beter begrijpen van de verhouding van verwarmen met een airco met andere duurzame verwarmingsopties / (hybride) warmtepomp, hoe ze presteren bij koud weer, en hoe worden ze gedimensioneerd. Daarnaast is het belangrijk om te gebruiksprofielen beter te begrijpen. Er wordt bijvoorbeeld aangegeven dat airco's 'relatief snel zijn' wat misschien zou kunnen betekenen dat de pieken hoger zijn. Met deze informatie zou beter ingeschat kunnen worden hoe de airco's aan de piek van verwarming bijdragen.

Factoren die de nationale kosten van warmte voor woningen beïnvloeden

Woning / Installatie: Elektrisch element in warmtepompen

1. Hoe kan de factor de piekvraag in LS-netten en de nationale kosten voor warmte beïnvloeden?

Impact piekvraag LS-netten

- Afhankelijk van de uitvoering heeft een warmtepomp of bijbehorende binnen-unit een elektrisch element. Dit kan bijvoorbeeld worden gebruikt voor thermische desinfectie van de boiler maar vaak dient het ook voor ondersteuning van de ruimteverwarming. Dan schakelt een warmtepomp bij een (te) lage buitentemperatuur over op of bij met een elektrisch element met een laag rendement (COP van ~1). Hierdoor kan een hoge piekbelasting ontstaan tijdens de periodes met de hoogste warmtevraag.

Impact nationale kosten

- Het elektrisch element wordt ingezet om te besparen op de kosten van de verwarmingsinstallatie, omdat de warmtepomp dan kleiner gedimensioneerd kan worden en het effect op het jaarverbruik maar beperkt is. Dit kan er echter wel toe leiden dat de piekbelasting van de warmtepomp significant toeneemt (factor 2-3 in de voorbeelden), en bij grootschalige adoptie van warmtepompen met elektrische elementen kan dit de behoefte aan netverzwaring significant vergroten, wat gepaard gaat met hogere nationale kosten.

2a. Hoe is de factor meegenomen in de Startanalyse (2025)?

- In de ASA wordt de 'aansluitwaarde' van woningen met verschillende warmtetechnologieën gebruikt voor het berekenen van de netimpact. Het PBL definieert de aansluitwaarde als de piekvraag op individueel niveau (Functioneel Ontwerp Vesta MAIS, 2021). De waarden zijn afkomstig van Netbeheer Nederland (2019); *Notitie vertegenwoordiging van elektriciteits- en gasnetten in Vesta t.b.v. de Leidraad (niet op internet te vinden)*. Deze waarden zijn nog zonder de gelijktijdigheidsfactor tussen woningen.
- Vaste aansluitwaarden van 7 kW voor een woning met een elektrische warmtepomp en 3,9 kW voor een woning met een hybride warmtepomp worden gebruikt. De referentie aansluitwaarde (woning met cv-ketel) is 3 kW, wat betekent dat de warmtepomp 4 kW extra aansluiting nodig heeft, en een hWP 0,9 kW. Eigenlijk zou de vermogensvraag afhankelijk moeten zijn van oppervlakte en isolatiekwaliteit van de woning. Er wordt verder niet gerapporteerd over aannames over elektrische elementen.

2b. Zijn er andere bronnen die de mogelijke impact van de factor in kaart brengen?

- [Vereniging warmtepompen 2025](#) geeft aan dat het gemiddelde thermisch vermogen van een lucht-water warmtepompen circa 5 kW is.
- [Merosch \(2024\)](#): Rapportage netbelasting individuele warmtepomp. p. 14-16: warmtepompen verschillen onderling sterk qua inzet en grootte van het elektrisch element. De ene leverancier is volledig afgestapt van het gebruik van elektrische elementen, de andere leverancier levert warmtepompen met een elektrisch element van 2-6 kW, die vaak modulerend in stappen van 0,5 kW worden ingeschakeld. Het elektrisch element vervult verschillende functies: Legionellapreventie (vraagt 2 à 3 kW voor <30 min, zeer beperkte netbelasting), opvang van storingen (kan handmatig of automatisch gaan, beperkte gevolgen voor netbelasting), aanvullende ruimteverwarming (afhankelijk van dimensionering van WP – beta-factor; impact op netbelasting tijdens koude dagen kan aanzienlijk zijn – tot wel factor 2 keer hoger wanneer het modulerend wordt ingeschakeld, en factor 3 bij niet modulerend inschakelen van 3 kW), warmtapwatervoorziening (kan resulteren in bijv. ochtendpiek, als voorraadvat niet op gewenste temperatuur is).
- [BDH \(2025\) Netimpact van woningen met warmtepomp](#): Wanneer bij een temperatuur van -10°C de eWP de warmte moet leveren met een elektrisch element, verhoogt de gemiddelde vermogen met 2,2 – 4,2 kW per woning. Wel geeft BDH ook aan dat ongeveer 70% van de all-electric warmtepompen een geïnstalleerd vermogen heeft dat hoger is dan het benodigde vermogen bij -10 °C, dus dat het elektrisch element niet vaak ingeschakeld hoeft te worden.

3. Wat zijn mogelijke consequenties van de gebruikte aannames en gekozen methoden in bestaande studies?

- Onderschatten van het vermogen van een elektrisch element en de hoeveelheid warmtepompen die dit bij koud weer inzetten voor de ruimteverwarming zou kunnen betekenen dat de impact op het elektriciteitsnet ook onderschat wordt.
- Een nauwkeuriger benadering van het benodigde piekvermogen van de warmtepomp per aansluiting en de gelijktijdigheid daarvan tijdens warmtevraagpieken kan grote impact hebben op de benodigde netverzwaring voor warmtepompen; in de Startanalyse is het benodigde vermogen op LS-niveau recht evenredig met beide.

4. (Hoe) is verbetering of verdieping in het bepalen van de ordegrootte van het effect (praktisch) mogelijk?

- Herberekenen van de impact op elektriciteitsnetten met nauwkeurigere waarden voor de vermogens van elektrische warmtepompen.

Factoren die de nationale kosten van warmte voor woningen beïnvloeden

Woning / Installatie: Stuurbaarheid van warmtepompen

1. Hoe kan de factor de piekvraag in LS-netten en de nationale kosten voor warmte beïnvloeden?

Impact piekvraag LS-netten

- De impact van warmtepompen op netbelasting wordt niet alleen bepaald door het vermogen, maar ook door op welke momenten dat vermogen wordt gebruikt/ingezet. Bij grote gelijktijdigheid met ander verbruik in de woning en bij andere netverbruikers is de impact op netbelasting groter. Met slimme sturing kan de elektriciteitsvraag van de warmtepomp beter afgestemd worden op de daadwerkelijke belasting van het net; daarmee kan de netbelasting verminderd worden.

Impact nationale kosten

- Als de netbelasting met slimme sturing verlaagd kan worden, kan dit voor een wijk betekenen dat het net minder verzaamd hoeft te worden waarmee benodigde investeringen in het net afnemen. Dit kan ook doorwerken naar hogere netvlakken, en de behoefte aan piek-gascentrales verminderen.

2a. Hoe is de factor meegenomen in de Startanalyse (2025)?

- De aansluitwaardes worden vermenigvuldigd met een gelijktijdigheidsfactor van 0,5 voor woningen en 0,95 voor utiliteitsgebouwen ([Link, p. 8-9](#)), wat zou leiden tot een gelijktijdige piek van 2 kW voor eWP en 0,45 kW voor hWP. Er wordt gemeld dat dit vuistregels zijn. De waarschijnlijke bron voor gelijktijdigheidsfactoren is CE Delft, via het functioneel ontwerp van Vesta MAIS: Voor 0,5 bij MT-ruimteverwarming is de bron (CE Delft 2019b): Overzicht aanpassingen Vesta MAIS. Verslaglegging ECW-PBL validatiesessies i.h.k.v. de Startanalyse 2019. Delft, CE Delft, juli 2019. Voor 0,55 bij LT-ruimteverwarming is de bron (CE Delft 2019a): Functioneel ontwerp LT-warmtenetten gebouwde omgeving; Concept voor validatie Vesta maart 2019. Delft, CE Delft, maart 2019.
- Er wordt verder niet gerapporteerd over aannames over stuurbaarheid – wel noemt het rapport dat ‘slimme aansturing van apparaten kan de piekvraag en gelijktijdigheid verlagen’, maar hier lijkt niet mee gerekend te worden.

2b. Zijn er andere bronnen die de mogelijke impact van de factor in kaart brengen?

- [CE Delft \(2023\)](#): “Met slimme oplossingen kan de netbelasting van apparaten dalen, en daarmee de noodzaak tot netverzwaring mogelijk ook (beperkt) afnemen (...). Bij warmtepompen is slim sturen beperkter mogelijk dan bij laden van voertuigen. Warmtepompen werken het best als de vraag zo constant mogelijk is”

2b. vervolg

- [CE Delft \(2023\)](#): Drie voorbeeldbuurten met Stedin doorgerekend (niet-stedelijk, hoogstedelijk en suburbane nieuwbouw) op effect netbelasting warmtepomp (tw, rv), elektrische auto, koken, en zon-PV met verschillende adoptiegraden. Gelijktijdigheid van EV met warmtevraag van 100 woningen kan leiden tot extra hoge pieken.
- [Merosch \(2024\)](#), p. 14-16: Met de huidige nieuwe warmtepompen kan er technisch al veel. Zo zijn de meeste warmtepompen voorzien van een smart-grid module waarmee die het mogelijk maakt om met het oog op energiegebruik en netbelasting de warmtepomp slim aan te sturen.
- [Merosch \(2024\)](#) noemt dat slimme sturing netbelasting met 0,5-1 kWe kan verlagen, maar onderbouwt dit niet. Een groot deel van de flexibele inzet van het vermogen van de warmtepompen zit in het gebruik van het voorraadvat voor warm tapwater (inhoud van tussen de 150 en 300 liter). Ook kan de woning zelfs als thermische buffer worden gebruikt.
- Uit een studie van [TenneT \(2021\)](#) blijkt dat in Nederland 3 tot 5 gascentrales minder nodig zijn wanneer dit flexibele vermogen wordt benut met slimme sturing.

3. Wat zijn mogelijke consequenties van de gebruikte aannames en gekozen methoden in bestaande studies?

- De aanname in de Startanalyse dat de warmtepompen niet gestuurd worden op netbelasting is in lijn met de huidige situatie. Ten opzichte daarvan zou een aanzienlijke verbetering mogelijk moeten zijn, maar deze zou enerzijds in de huidige berekeningen van het PBL niet volledig naar voren komen (door het niet meenemen van hogere netvlakken en benodigd regelbaar vermogen) en anderzijds gematigd kunnen worden als (ongestuurd) elektrisch laden toch al een forse netverzwaring vereist.
- De gelijktijdigheidsfactor van warmtepompen in koude winterweken kunnen veel hoger zijn dan het gemiddeld. Zeker krap gedimensioneerde warmtepompen zullen dan een groot deel van de tijd draaien, waarmee de gelijktijdigheid toeneemt en de stuurbaarheid vermindert.

4. (Hoe) is verbetering of verdieping in het bepalen van de ordegrootte van het effect (praktisch) mogelijk?

- Door modelberekeningen aan warmtepompen voor een koude week, rekening houdend met de dimensionering daarvan ten opzichte van de warmtevraag, met de mogelijkheid om warmte te bufferen in een opslagvat en in de thermische massa van de woning, met het al of niet gebruiken van een elektrisch element. Uitgezocht moet worden in hoeverre zulke modelberekeningen al gedaan zijn, bijvoorbeeld met de Renovatieverkenner van TU/e, die in 2025 beschikbaar komt.

Factoren die de nationale kosten van warmte voor woningen beïnvloeden

Energietransport / elektriciteitsnet: elektrische auto's

1. Hoe kan de factor de piekvraag in LS-netten en de nationale kosten voor warmte beïnvloeden?

Impact piekvraag LS-netten

- Laadpalen voor elektrische auto's bij woningen hebben vaak een laadvermogen van 11 kW (past binnen een 3x25 A aansluiting). Wanneer de auto's gelijktijdig laden bij woningen (bijv. bij thuiskomst na werk) kan dit een significante piek in de elektriciteitsvraag van de wijk veroorzaken.
- Aannames die inschatting piekbelasting kunnen beïnvloeden: laadvermogen, laadpatroon, adoptiegraad, gelijktijdigheid, stuurbaarheid

Impact nationale kosten

- *Bij hoge gelijktijdigheid met warmte:* Gelijktijdigheid van de elektriciteitsvraag van warmte met EV's (en/of andere elektrische apparatuur) zorgt voor verhoging van de piek-netbelasting, wat de kosten voor netverzwaring kan verhogen.
- *Bij lage gelijktijdigheid met warmte:* Als de gelijktijdigheid beperkt is en er voor EV's sowieso uitbreiding van het net nodig is, moeten deze netverzwarkosten toch gemaakt worden, ongeacht de gekozen warmte-oplossing. Daarmee kunnen de netverzwarkosten dus niet (volledig) toegerekend worden aan de warmte-oplossing.
- *De werkelijkheid ligt waarschijnlijk in het midden:* een deel van de benodigde netverzwaring zal waarschijnlijk sowieso nodig zijn en ongeacht van de warmte-oplossing. Het is daarom van belang om te kunnen onderscheiden welk aandeel van de netverzwaring toegerekend kan worden aan de gekozen warmte-oplossing.

2a. Hoe is de factor meegenomen in de Startanalyse (2025)?

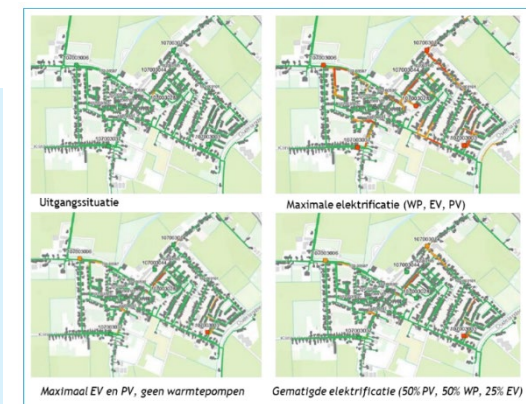
- De Startanalyse houdt geen rekening met ontwikkelingen in elektrisch laden die potentieel ook tot netverzwaring kunnen leiden. Ze brengt alleen de netverzwaring in kaart als gevolg van een aardgasvrije strategie (zie p.7).

2b. Zijn er andere bronnen die de mogelijke impact van de factor in kaart brengen?

- Een studie van BDH ([Netimpact woningen met warmtepomp Op basis van slimme meterdata 2025](#)) laat zien dat de gemiddelde vermogens van thuisladers tussen de 6 en 11 kW zitten.
- In CE Delft studie "[Impact warmtetransitie op het lokale elektriciteitsnet](#)" wordt de jaarlijkse elektriciteitsvraag van EVs in de wijk in 2050 ongeveer gelijk geschat aan de elektriciteitsvraag voor verwarming.

2b. Zijn er andere bronnen die de mogelijke impact van de factor in kaart brengen?

- CE Delft (2023) studie met voorbeeldwijken Enexis: In wijken met all-electric warmtepomp bepaalt warmtevraag de piek – maar in een voorbeeld veroorzaakt tijdens piekmoment warmte het elektrisch laden additionele netbelasting. In wijken met hybride warmtepomp bepaalt elektrisch laden de piek.



3. Wat zijn mogelijke consequenties van de gebruikte aannames en gekozen methoden in bestaande studies?

- Elektrische auto's worden momenteel grotendeels ongestuurd geladen, wat leidt tot hoge pieken in de beginuren van de avond — wanneer ook warmtepompen vaak in bedrijf zijn. Deze pieken kunnen zich dus opstapelen, wat tot aanzienlijke netverzwaring in woonbuurten kan leiden. Bij toenemende aantallen EV's zou alleen het laden al forse investeringen in de netcapaciteit vergen. De benodigde verzwaring voor warmtepompen komt daar dan nog bij. Tegelijkertijd neemt het besef toe dat sturing noodzakelijk is. Bij publieke laadpunten wordt al actief gestuurd om congestie te beperken, en eerste experimenten laten zien dat ook thuisladen buiten piekuren goed mogelijk is. Aangezien de capaciteitsfactor van thuisladen laag is, kan slimme sturing het effect op de piek flink verminderen. In dat geval gaan warmtepompen een relatief grotere rol spelen in de piekvraag, en wordt de stuurbaarheid van warmtegebruik — bijvoorbeeld via buffervaten — steeds belangrijker voor netoptimalisatie.
- De batterijen van elektrische auto's kunnen ook nog ingezet worden als thuisbatterij (Vehicle-to-Grid = V2G). Voor zover de auto's overdag bij de woning zijn kunnen ze daarmee bijdragen aan het opvangen van de pieken door zon-PV op daken van woningen. Voor langere koude perioden is het niet waarschijnlijk dat de autobatterijen (in combinatie met evt. statische thuisbatterijen) de behoefte aan extra elektriciteit voor warmtepompen kunnen opvangen (zie o.a. [TenneT Adequacy Outlook 2023](#) p.56/57).

4. (Hoe) is verbetering of verdieping in het bepalen van de ordegrootte van het effect (praktisch) mogelijk?

- Vergt inzicht in profielen en gelijktijdigheid van de elektriciteitsvraag/aanbod, bijvoorbeeld door slimme meterdata van woningen met EV's / inductiekoken / zon-PV / warmtepomp, bijvoorbeeld met LS-modellering en gebruik van [Laadprofielgenerator van Elaad NL](#).

Factoren die de nationale kosten van warmte voor woningen beïnvloeden

Energietransport / elektriciteitsnet: Zon-PV

1. Hoe kan de factor de piekvraag in LS-netten en de nationale kosten voor warmte beïnvloeden?

Impact piekvraag LS-netten

- Met zon-PV op dak produceert de woningeigenaar elektriciteit, ook op momenten dat hij deze niet zelf volledig gebruikt. Het overschot aan elektriciteit wordt ingevoerd op het net, wat netbelasting veroorzaakt. Hoe groter het geïnstalleerde vermogen, hoe groter deze netbelasting kan zijn tijdens zonnige dagen. In de huidige opzet leidt dit tot overspanning op het LS-net waarna de inverter het zon-PV systeem afschakelt zodat dit verder geen consequenties heeft.
- Aannames die inschatting piekbelasting kunnen beïnvloeden: geïnstalleerd vermogen / adoptiegraad, %-zelfconsumptie, curtailment, oriëntatie van de zonnepanelen

Impact nationale kosten

- De beperkte gelijktijdigheid van de elektriciteitsvraag van warmte met aanbod van zon-PV zorgt voor een hogere netbelasting van beide technieken, omdat de vraag en aanbod dan maar beperkt wordt uitgemiddeld achter de meter. De benodigde netverzwaring wordt dan bepaald door de techniek die de hoogste netbelasting veroorzaakt, maar (een deel van) de netverzwaring moet dan mogelijk hoe dan ook plaatsvinden, ongeacht de gekozen warmteoplossing.
- Een deel van de benodigde netverzwaring zal waarschijnlijk sowieso nodig zijn en ongeacht van de warmte-oplossing. Het is daarom van belang om te kunnen onderscheiden welk aandeel van de netverzwaring toegerekend kan worden aan de gekozen warmte-oplossing.

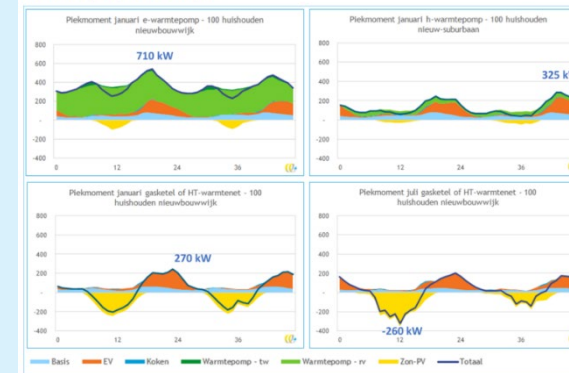
2a. Hoe is de factor meegenomen in de Startanalyse (2025)?

- De Startanalyse houdt geen rekening met ontwikkelingen zon-PV die potentieel ook tot netverzwaring kunnen leiden. Ze brengt alleen de netverzwaring in kaart als gevolg van een aardgasvrije strategie (zie p.7).

2b. Zijn er andere bronnen die de mogelijke impact van de factor in kaart brengen?

- [CE Delft \(2023\)](#) studie met voorbeeldwijken Enexis: In wijken met een warmtenet wordt de piek soms door elektrisch laden en soms door zon-PV bepaald.
- Dit kan verschillen per voorzieningsgebied.

Figuur 6 - Netimpact per warmtetechniek voor niet-stedelijke buurt (100 huishoudens) gedurende 48 uur. De ingekleurde vlakken geven de netbelasting per type apparaat. Zonnepanelen leveren elektriciteit en daarom is hun bijdrage negatief. De donkerblauwe lijn geeft de som van opwek en afname. Het blauwe getal is de maximale piek gedurende het jaar



3. Wat zijn mogelijke consequenties van de gebruikte aannames en gekozen methoden in bestaande studies?

- De bijdrage van warmteoplossingen aan benodigde netverzwaring kan overschat worden, en daardoor kunnen ook de vergelijkingen op nationale kosten anders uitvallen.
- Zon-PV geeft pieken op het net bij hoge zoninstraling. Het directe effect wordt beperkt doordat de zon-PV systemen afschakelen bij een te hoge spanning (253 Volt); het optreden hiervan is niet 1-op-1 verbonden met netbelasting, maar daarmee wel sterk gecorreleerd. Door de huidige saldering leidt dit tot een financieel nadeel voor eigenaren van zon-PV; dit nadeel wordt veel minder groot als de saldering vervalt, begin 2027: bij hoge zoninstraling is de elektriciteitsprijs doorgaans laag.

4. (Hoe) is verbetering of verdieping in het bepalen van de ordegrootte van het effect (praktisch) mogelijk?

- Vergt inzicht in profielen en gelijktijdigheid van de elektriciteitsvraag/aanbod, bijvoorbeeld door slimme meterdata van woningen met thuisladen / inductiekoken / zon-PV / warmtepomp

Factoren die de nationale kosten van warmte voor woningen beïnvloeden

Energietransport / elektriciteitsnet: Verzwarende LS-net en impact hogere netvlakken

1. Hoe kan de factor de piekvraag in LS-netten en de nationale kosten voor warmte beïnvloeden?

Impact piekvraag LS-netten

- Een hogere piekvraag in LS-netten kan de netbelasting van hogere netvlakken vergroten, afhankelijk van de gelijktijdigheid van belasting met andere netgebruikers.

Impact nationale kosten

- Benodigde verzwaring van het net door hogere netbelasting gaat gepaard met investeringen in het net op hogere netvlakken en daarmee hogere nationale kosten. Hogere netvlakken houdt in alles boven de MS/LS-trafo: Extra hoogspanning (EHS) ≥ 220 kV (met inbegrip van transformator EHS/HS), Hoogspanning (HS) ≥ 110 kV en < 220 kV, Tussenspanning (TS) ≥ 25 kV en < 110 kV (met inbegrip van transformator HS/TS), Trafo HS+TS / MS, Middenspanning (MS) > 1 kV en < 25 kV
- Voor het leveren van het hogere piekvermogen moet uiteindelijk ook meer regelbaar productievermogen (of opslag) beschikbaar komen, zoals benadrukt door [TenneT](#). Ook dit leidt tot hogere nationale kosten.

2a. Hoe is de factor meegenomen in de Startanalyse (2025)?

- De Startanalyse bepaalt netverzwaring op LS-net per buurt aan de hand van de huidige beschikbare capaciteit (verkregen via netbeheerders), huidige transportvraag (op basis van een vaste waarde van type woning/wijk + gelijktijdigheid), en aanvullende transportvraag (op basis van vuistregels afhankelijk van warmtestrategie). Mogelijke vereiste verzwaring = (huidige transportvraag + aanvullende transportvraag) * gelijktijdigheid – huidige transportcapaciteit. Vervolgens wordt bepaald hoeveel MS/LS-stations en meter LS-kabel er zijn voor de huidige vermogensvraag, wat wordt geschaald naar de toekomstige vermogensvraag op basis van de gekozen warmtestrategie. De benodigde uitbreiding wordt vervolgens vermenigvuldigd met gerelateerde kostenkengetallen. De eventuele benodigde verzwaring op hogere netvlakken wordt niet meegenomen.
- De belasting per warmtestrategie is opgenomen als een vaste 'aansluitwaarde' (bij eWP en (Z)LT-netten 7 kW, bij cv-ketel / MT-HT-net 3 kW, en hWP 3,9 kW. Gelijktijdigheidsfactoren van 0,5 (woningen) en 0,95 (utiliteit) ([Link](#)).
- De resultaten laten opvallend lage kapitaallasten voor netverzwaring van het elektriciteitsnet zien van €215 miljoen / jaar (2% van totale berekende kapitaallasten). In de berekening is een economische levensduur van 50 jaar gebruikt. Met deze aannames is de totale investering in netverzwaring van het elektriciteitsnet in de hoofdberekeningen van de Startanalyse ~€6,4 miljard; dit betreft dus enkel de netverzwaring in het LS-net. Gemiddeld liggen de kosten voor netverzwaring op ca. €530/kW in de Startanalyse. In het Informatieblad Netverzwaring bij ASA25 concludeert het PBL dat de benodigde aanpassing van de elektriciteitsinfrastructuur minder snel een doorslaggevende factor zijn voor de kostenvergelijking tussen verschillende aardgasvrije warmtestrategieën omdat andere kosten relatief hoger zijn (p.3).

2b. Zijn er andere bronnen die de mogelijke impact van de factor in kaart brengen?

- [CE Delft \(2024\)](#): Schat de benodigde investeringen van per MW uitbreiding van het LSnet, en hoe dat doorwerkt op de hogere netvlakken, op basis van (o.a.) kostenkengetallen van Netbeheer Nederland uit 2019. De investeringskosten (incl. impact hogere netvlakken) voor extra vermogensvraag op het LS-net worden ingeschat op €1.047/kW. Hiervan is bijna de helft van investeringen boven het MS-LS station. Zij laten zien dat de kosten voor netverzwaring bijna kunnen verdubbelen wanneer rekening gehouden wordt met investeringen op hogere netvlakken.
- [Energy Transition Model \(ETM\)](#): Geeft resultaten voor de netto belasting van het elektriciteits-net op LS, MS en HS niveau. Deze inschatting wordt gemaakt aan de hand van de uurlijkse profielen van alle netgebruikers per netvlak, waarmee vervolgens de residual load per uur berekend wordt. Hierin wordt de verschillende netvlakken ieder als koperen plaat beschouwd – en de residual load van het LS-net een vraag/aanbod op het MS-net, enz. Daarnaast geeft het ETM een grafiek met 'meerinvesteringen in energie-infrastructuur, waar de benodigde investeringen in het scenario worden uitgesplitst over de verschillende netvlakken. Deze wordt bepaald adhv het verschil in piek-nettobelasting op de verschillende netvlakken t.o.v. 2019. De kostenkengetallen voor netverzwaring zijn gebaseerd op een studie van CE Delft uit 2017.
- TenneT stelt dat er geen impact is op het EHS net (380/220 kV) omdat dat het een andere functie heeft. Dit komt overeen met de 0% gelijktijdigheid op het EHS-HS station van CE Delft. Enig effect lijkt ons echter toch waarschijnlijk want de HS-netten (150/110 kV) worden vanuit het EHS-net gevoed, en meer regelbaar vermogen en import om aan piekvraag te voldoen komen ook op het EHS-net terecht.

3. Wat zijn mogelijke consequenties van de gebruikte aannames en gekozen methoden in bestaande studies?

- De berekeningen van het PBL lijken ook sterk afhankelijk van de gekozen gelijktijdigheidsfactor (0,5 of 0,55 voor resp. MT en LT-ruimteverwarming van woningen). Als deze hoger uitvalt heeft dit een groot effect op de benodigde netverzwaring en op de nationale kosten.
- Het meenemen van de hogere netvlakken kan leiden tot ruwweg tweemaal zo hoge kosten van benodigde netverzwaring als in de Startanalyse berekend ([CE Delft, 2024](#)); ordegrrootte 1.000 €/kW vs de gemiddelde investeringskosten voor netverzwaring in de Startanalyse van ca. €530/kW.

4. (Hoe) is verbetering of verdieping in het bepalen van de ordegrrootte van het effect (praktisch) mogelijk?

- Het meenemen van hogere netvlakken en kosten van extra regelbaar vermogen in de overweging van varianten.

Factoren die de nationale kosten van warmte voor woningen beïnvloeden

Energietransport / warmtenet: beschikbare warmtebronnen

1. Hoe kan de factor de piekvraag in LS-netten en de nationale kosten voor warmte beïnvloeden?

Impact piekvraag LS-netten

- De beschikbare capaciteit aan warmtebronnen kan het aantal woningen dat op een warmtenet wordt aangesloten beïnvloeden. Doordat deze woningen in het algemeen minder verzorging van het LS-net nodig hebben kan dit ook doorwerken in de extra piekvraag op de elektriciteitsnetten.

Impact nationale kosten

- Met een volledig beeld van de beschikbare broncapaciteit kan het aantal woningen dat op een warmtenet wordt aangesloten hoger uitvallen, wat leidt tot lagere nationale kosten.

2a. Hoe is de factor meegenomen in de Startanalyse (2025)?

- Warmtebronnen zijn geothermie (MT/HT), warmte-koude opslag (WKO) met buitenluchtwarmte uit droge koelers en WKO met thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) (LT) en restwarmtebronnen (MT/HT en LT).
- De capaciteit voor geothermie is ontleend aan het informatietool ThermoGIS van TNO.
- Restwarmtebronnen zijn apart geïnventariseerd voor MT/HT en LT. Voor MT/HT gaat het om installaties met een totaal thermisch vermogen van ongeveer 16 GW_{th}. Dit zijn meest grootschalige bronnen zoals gasturbines, industrie, raffinaderijen, kerncentrales, geothermie en andere energiecentrales, die meestal duidelijk traceerbaar zijn. Volgens het PBL blijven er grote lacunes in de data over (Z)LT-bronnen. Voor (Z)LT is circa 25 GW_{th} aan restwarmtebronnen geïdentificeerd, waarvan het grootste deel uit de voedingsmiddelen-, drank- en tabaksindustrie komt (15 GW_{th}), gevolgd door datacenters (3 GW_{th}), rioolwaterzuiveringsinstallaties en andere kleinere bronnen. Daarnaast zijn veel puntbronnen geïnventariseerd zonder opgegeven thermisch vermogen zoals zwembaden, glastuinbouw en bestaande WKO's. LT-bronnen zijn talrijk en verspreid over veel locaties, en daardoor lastig te inventariseren.
- LT-netten worden in de hoofdberekeningen voornamelijk gevoed via WKO. Hierbij wordt warm water in de zomer opgeslagen in aquifers en in de winter weer onttrokken. Om de WKO-bron op lange termijn energetisch in balans te houden, is regeneratie nodig: bij woningen is dit vooral het aanvullen van warmte in de zomer. Regeneratie kan plaatsvinden via droge koelers (waarmee in de warmere seizoenen warmte uit de buitenlucht wordt geoogst) of via TEO (Thermische Energie uit Oppervlaktewater). Droge koelers zijn in principe bijna overal in Nederland toepasbaar, terwijl TEO alleen mogelijk is nabij grote rivieren, meren of de zee.

2a. (vervolg)

- Er is een groot verschil in het aantal aansluitingen op MT/HT-restwarmte (1,3 miljoen) en LT-restwarmte (14.000). Een mogelijke verklaring hiervoor is het verschil in kosten per eenheid vermogen van de transportleidingen tussen MT- en LT-netten. In de ASA25 blijkt dat een MT-transportleiding een hele wijk van 1.000 - 1.500 woningen kan bedienen, terwijl een LT-net met transportleidingen doorgaans slechts 100 - 150 woningen kan voorzien. Wanneer de afstand gelijk is, is het dus goedkoper per bediende aansluiting om een MT-transportleiding aan te leggen.
- Een andere verklaring is het verschil in analysemethode van beide warmtenetten, dit wordt in slide 'Energietransport / Kosten warmtenet: Adoptiegraad warmteoplossingen' verder toegelicht.

2b. Zijn er andere bronnen die de mogelijke impact van de factor in kaart brengen?

- Ecorys (2025) heeft een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op de capaciteit van restwarmtebronnen in de ASA25, met een variatie van ±50% in het thermisch vermogen. Dit had een verwaarloosbaar effect op de omvang van warmtenetten. De totale capaciteit van de door het PBL geïdentificeerde LT-restwarmtebronnen is hoog (25 GW_{th}), het knelpunt lijkt te zitten in de locaties; door gebrek aan data kunnen bronnen niet zijn meegenomen. Ook in de MT/HT-warmtenetten is weinig gevoeligheid zichtbaar. Dit zou mogelijk verklaard kunnen worden doordat de capaciteit in het basisscenario al groot genoeg is, waardoor een verlaging van 50% nauwelijks effect heeft.

3. Wat zijn mogelijke consequenties van de gebruikte aannames en gekozen methoden in bestaande studies?

- Uit de studie van Ecorys blijkt dat de capaciteit van restwarmtebronnen geen groot knelpunt vormt. Maar als ook de locaties en capaciteiten van LT-bronnen beter worden vastgelegd, en bij MT/HT-bronnen meer inzicht komt in de echte beschikbaarheid en leveringszekerheid, kan het effect op de inzet van warmtenetten beter worden geanalyseerd.

4. (Hoe) is verbetering of verdieping in het bepalen van de ordegrrootte van het effect (praktisch) mogelijk?

- Gemeenten zijn voor de ASA25 gevraagd om de data op restwarmtebronnen te controleren en aan te vullen. Volgens het PBL heeft dit geleid tot betere specificatie van puntbronnen, maar er blijven grote lacunes in de data over (Z)LT-bronnen. Veel gemeenten waren destijds nog niet in staat om volledige gegevens aan te leveren. In september 2025 komt het PBL met een herberekening van de ASA25, waarin restwarmtebronnen zijn geactualiseerd.

Factoren die de nationale kosten van warmte voor woningen beïnvloeden

Energietransport / Kosten warmtenet: adoptiegraad

1. Hoe kan de factor de piekvraag in LS-netten en de nationale kosten voor warmte beïnvloeden?

Impact piekvraag LS-netten

- Als in buurten die een warmtenet krijgen ook nog individuele oplossingen worden gekozen (bijv. warmtepompen in een buurt met een MT/HT-warmtenet) dan kunnen die alsnog zorgen voor een behoefte aan netverzwaring, en daarmee 'dubbele' infrastructuurkosten.

Impact nationale kosten

- Doordat de kosten van een warmtenet niet veel lager worden bij een lagere adoptiegraad, leiden de kosten van de individuele oplossingen tot hogere nationale kosten voor die buurt.

2a. Hoe is de factor meegenomen in de Startanalyse (2025)?

- Als basis in de ASA25 worden bestaande warmtenetten meegenomen — dit betreft 445.925 aansluitingen op MT en HT-netten. Deze aansluitingen zijn behouden als uitgangspunt, aangezien het onlogisch zou zijn om ze te vervangen door een andere warmteoplossing. Dit betekent dat sommige buurten in de hoofdberekeningen een mix laten zien van bestaande MT-netten en aanvullende strategieën, zoals eWP of hWP.
- In andere buurten waar nog geen warmtenet ligt, maar waar een MT- of HT-net volgens de analyse de laagste maatschappelijke kosten oplevert, gaat de ASA25 uit van 100% adoptie van deze netstrategie binnen die buurten.
- De aanpak voor (zeer) laagtemperatuur-netten ((Z)LT) wijkt af van die voor MT/HT-netten. Het PBL meldt dat MT/HT-netten een gemiddeld verzorgingsgebied van 1.000 tot 1.500 woningen zou kunnen voorzien, terwijl (Z)LT-netten slechts circa 100 tot 150 woningen, of enkele utiliteitsgebouwen, kunnen bedienen. Om hierop in te spelen, is voor (Z)LT-netten een 'clusteringsmethode' toegepast, waarbij binnen een buurt kleinere clusters worden gevormd die afzonderlijk van warmte kunnen worden voorzien. De clusteringsmethode werkt als volgt:
 - Gebouwen worden eerst getoetst op ligging binnen de WKO-potentiecontour (een ruimtelijke afbakening die aangeeft waar en in welke mate het potentieel aanwezig is voor een WKO-systeem); gebouwen buiten deze contour krijgen standaard een eWP. Die keuze is gemaakt omdat (Z)LT-netten in principe worden toegepast in buurten die als gasvrij zijn toegewezen, en waar dus geen hWP ingezet kan worden
 - Vervolgens wordt per gebouw gekeken of aansluiting op een (Z)LT-net rendabeler is dan een eWP; alleen deze gebouwen gaan mee in clustering.
 - Daarna worden gebouwen geclusterd en herhaaldelijk gecombineerd tot de voordeligste netconfiguratie is gevonden. Per cluster wordt een fictieve WKO-bron geplaatst.
 - De nationale meerkosten per buurt zijn uiteindelijk de som van de kosten voor (Z)LT-aansluitingen, eWP's en isolatie. Deze worden vergeleken met andere strategieën.

2a. (vervolg)

- In de hoofdberekening zijn (Z)LT-netten in 27% van de buurten het meest kosteneffectief, maar slechts goed voor 6% van alle aansluitingen: er zijn gemiddeld slechts 133 tot 149 aansluitingen per buurt op een (Z)LT-net aangesloten, terwijl de rest (ca. 80%) van de woningen aangesloten zijn op een eWP. Dit komt mogelijk door de clusteringsmethode in combinatie met de aanname van een vaste kostenpost voor het aansluiten van (Z)LT woningen aan een wijknet (€6.509/aansluiting), onafhankelijk van de werkelijke afstand. Dit verdient nader onderzoek.

2b. Zijn er andere bronnen die de mogelijke impact van de factor in kaart brengen?

- In 2024 waren er in Nederland 554.000 elektrische en 148.000 hybride warmtepompen ([Vereniging warmtepompen 2025](#)). Deze zijn wel vaak in nieuwbouwwoningen, die niet meegenomen zijn in de ASA25 (woningen vanaf 2020 zijn niet meegenomen vanwege deze reden). De groei in bestaande woningen was in 2023 en 2024 circa 100.000/jaar. In 2025 wordt weer een groei van ca. 170.000 verwacht (waarvan circa 2/3 in bestaande bouw, gebaseerd op het gemiddeld van 2023/24). Vereniging Warmtepompen verwacht dat het aantal warmtepompen zal groeien met ca. 250.000 per jaar naar ruim 2 miljoen in 2030, ofwel ca. 25% van de aansluitingen in Nederland. De kans dat in een wijk die voor een warmtenet in aanmerking komt al een significant aantal individuele warmtepompen aangetroffen wordt neemt daarmee flink toe.
- Ecorys (2025) heeft in een gevoeligheidsanalyse van ASA25 de impact onderzocht van de adoptiegraad van warmtenetten, afhankelijk van de eigendomsstructuur in een buurt. Wanneer particuliere koopwoningen en huurwoningen overstappen op een warmtenet met een adoptiegraad van resp. 30% ('laag') en 60% ('hoog') daalt de maatschappelijke meerwaarde van warmtenetten met €0,6 miljard/jaar (bij 30%) en €0,25 miljard/jaar (bij 60%) t.o.v van de ASA25 hoofdberekening (100% adoptie, maatschappelijke meerwaarde van €1,2 miljard per jaar).

3. Wat zijn mogelijke consequenties van de gebruikte aannames en gekozen methoden in bestaande studies?

- Een lagere adoptiegraad leidt tot hogere kosten per aansluiting, waardoor MT/HT-netten in de ASA25 mogelijk minder vaak als voordeligste optie naar voren komen.

4. (Hoe) is verbetering of verdieping in het bepalen van de ordegraad van het effect (praktisch) mogelijk?

- Gevoeligheidsanalyse met een lagere adoptiegraad voor warmtenetten, bijvoorbeeld 70% (deze studie)
- Een Vesta MAIS analyse op woningen om het effect tussen (Z)LT en eWP beter te begrijpen, bijvoorbeeld een gevoeligheid met lagere wijk-aansluitingskosten voor (Z)LT-net aansluitingen.
- Een Vesta MAIS analyse waar ook andere oplossingen (hWP, HT/MT) in LT-buurten geplaatst kunnen worden, niet alleen eWP.

Factoren die de nationale kosten van warmte voor woningen beïnvloeden

Energietransport / kosten warmtenet: ontwikkelingskosten

1. Hoe kan de factor de piekvraag in LS-netten en de nationale kosten voor warmte beïnvloeden?

Impact nationale kosten

- De kosten van verschillende typen warmtenetten kunnen de mix van strategieën en uiteindelijke kosten sterk beïnvloeden.

2a. Hoe is de factor meegenomen in de Startanalyse (2025)?

- In de ASA25 zijn de volgende warmtenetkosten meegenomen: warmtebron (geothermie, uitkoppeling restwarmte, thermische energie uit oppervlaktewater, WKO, collectieve warmtepompen), transportleiding, wijknet, aansluitleidingen, inpandige distributie, afleversets, warmteafgiftesysteem en projectmanagement.
- De investeringskosten voor leidingen uit het Vesta MAIS model zijn verhoogd met 30% na validatiesessies met stakeholders van CE.
- Voor (Z)LT-netten is een kostendaling van 12,5% toegepast ten opzichte van MT/HT, gebaseerd op een maximum van 25% (bij 40% lagere graafkosten) en een minimum van 0%.
- Projectmanagementkosten lopen uiteen van €209 tot €5.000 per aansluiting voor (Z)LT-netten, met een gemiddelde van €2.600. Voor MT/HT is dit €209 tot €8.000, met een gemiddelde van €4.100. De hoge waardes zijn gebaseerd op EIB-analyses van PAW-proeftuinen, de laagste op basis van de ASA20-inschattingen (vooral gebaseerd op de organisatie van keukentafelgesprekken). Effectief wordt er nu gerekend met ruwweg de helft van deze PAW-kosten, wat nog geen solide basis is voor de analyse.
- De wijknetkosten zijn voor MT/HT-netten zijn gebaseerd op straatlengte, terwijl voor (Z)LT is gerekend met een vaste wijknet lengte van 9 meter per aansluiting (€6.509/aansluiting). Dit is een verhoging van 50% t.o.v van de SA20, waar op basis van praktijkprojecten waar WIS-subsidie voor is aangevraagd, de gemiddelde lengte per kleinverbruiker op 9 meter lag.
- Inpandige distributiekosten zijn gelijk voor (Z)LT en MT/HT, maar afhankelijk van woningtype: €2.700 voor grond-gebonden woningen, €3.000 voor gestapeld zonder blokverwarming, en €1.444 voor gestapeld met blokverwarming. Afleversets zijn nog een aparte kostenpost met €1.800 per aansluiting, ongeacht nettype.
- Voor de levensduur van warmtenetonderdelen is gerekend met 28 jaar; voor proceskosten wordt een afschrijvingstermijn van 15 jaar aangehouden.
- Warmtebronkosten: voor MT/HT netten zijn kosten van geothermie uit het SDE++ gebruikt (2064 €/kW), en de kosten van uitkoppeling van restwarmte op basis van advies CE Delft (vanaf ca. 200 €/kW).

2b. Zijn er andere bronnen die de mogelijke impact van de factor in kaart brengen?

- EBN geeft aan dat projectmanagementkosten mogelijk aanzienlijk lager zijn dan in de ASA25 is aangenomen, namelijk circa €1.400–€1.600 per aansluiting. Dit is gebaseerd op informatie van warmtenet-projectontwikkelaars
- Volgens EBN kan de levensduur van leidingen gesteld worden op 40–50 jaar. EBN rekent met een herinvestering van 25% op de initiële CAPEX na 30 jaar, gecorrigeerd voor inflatie, dus geen volledige vervanging. Voor warmtebronnen en afleversets wordt gerekend met een herinvestering na 20 jaar, ter grootte van 70% van de oorspronkelijke CAPEX.
- In het Netbeheer Nederland rapport “Slimme keuzes voor een betaalbaar en robuust Energiesysteem (2025)” wordt specifiek geconcludeerd dat de ontwikkeling van warmtenetten versneld moet worden om te voorkomen dat de kosten voor het elektriciteitsnet zullen stijgen. Tegelijkertijd lijkt die stijging in hetzelfde rapport vrij bescheiden: bij een verandering van het aandeel woningen met een warmtenet van 20% naar 10% resp. 30% nemen het aantal knelpunten in LS/MS-netten met 4% toe resp. met 4% af. De daarbij behorende cumulatieve investeringen in netverzwaring (LS en MS) nemen ‘slechts’ met €0,4 miljard toe resp. met €0,2 miljard af.
- Ecorys (2025) heeft een analyse gevoerd op de gevoeligheid van warmtenetkosten in de uitkomsten van de ASA25. Er wordt weinig effect gezien op het aantal buurten en maatschappelijke meerwaarde (met en zonder warmtenetten);

3. Wat zijn mogelijke consequenties van de gebruikte aannames en gekozen methoden in bestaande studies?

- Lagere projectmanagementkosten, langere levensduren en lagere investeringskosten kunnen ertoe leiden dat warmtenetten in meer buurten als voordeligste optie uit de Startanalyse komen.
- Met name over de projectmanagementkosten – een kostenpost met forse impact op de resultaten – bestaan grote onzekerheden.

4. (Hoe) is verbetering of verdieping in het bepalen van de ordegrootte van het effect (praktisch) mogelijk?

- Gevoeligheidsanalyse met projectmanagementkosten van €2.600 per aansluiting voor MT/HT-netten, gelijk aan LT-netten en eWP (deze studie)
- Gevoeligheidsanalyse voor lagere en hogere investeringskosten van warmtenetten (deze studie)
- Gevoeligheidsanalyse waarin de levensduur van leidingen wordt verhoogd naar 50 jaar (deze studie)

Factoren die de nationale kosten van warmte voor woningen beïnvloeden

Energie-opwek/aanbod en -opslag: regelbaar vermogen

1. Hoe kan de factor de piekvraag in LS-netten en de nationale kosten voor warmte beïnvloeden?

Impact piekvraag LS-netten

- Dit heeft geen effect op de piekvraag van LS-netten, maar wordt er juist door beïnvloed. Hogere pieken op lagere netvlakken kunnen doorwerken op hogere netvlakken en dus ook het benodigd hoeveelheid regelbaar vermogen.

Impact nationale kosten

- Veel van het gevraagde extra vermogen in warmtevraagpieken kan op kleinere tijdschalen opgevangen worden door flexibiliteitsopties als batterijen, warmteopslag, vraagsturing in andere sectoren (bijv. industrie), en import van elektriciteit uit andere landen.
- Wanneer pieken in de warmtevraag voor langere tijden doorwerken, bijvoorbeeld in windstille winterweken (periodes met hoge warmtevraag maar lage opwek) is er behoefte aan een flexibele hoeveelheid regelbaar vermogen die onmiddellijk elektriciteit en warmte kan opwekken.
- De extra behoefte aan regelbaar vermogen kan de nationale kosten voor warmte sterk verhogen. Dit geldt dus bij oplossingen met hoge elektrische piekvermogen en gelijktijdigheid.
- Naast de vraag naar regelbaar vermogen is ook energieopslag belangrijk. Dit kan direct benodigd zijn, bijvoorbeeld voor groen gas voor hybride warmtepompen en hulpketels bij warmtenetten, of indirect voor het opwekken van elektriciteit in regelbare centrales die gebruikt worden in elektrische warmtepompen.

2a. Hoe is de factor meegenomen in de Startanalyse (2025)?

- Het benodigd elektrisch vermogen van regelbare elektriciteitscentrales is niet meegenomen in de Startanalyse.

2b. Zijn er andere bronnen die de mogelijke impact van de factor in kaart brengen?

- [TenneT](#) concludeerde in 2021 dat al in 2030 zou 3 tot 5 gascentrales extra nodig zijn in een scenario met 5 GW eWP, incl. het vermogen van de elektrische elementen daarin.
- Volgens de [Monitoring leveringszekerheid \(2025\) van TenneT](#) zal er op basis van de huidige ontwikkelingen nog maar 12,5 GW aan regelbaar vermogen zijn in 2035, t.o.v 18,2 GW in 2023. TenneT verwacht daarmee niet te kunnen voldoen aan de geldende normen voor leveringszekerheid. Er is niet gevarieerd met de aannames omtrent de warmtevraag of type warmteoplossingen in de gebouwde omgeving (jaarlijkse vraag: 58 TWh). Er wordt aangenomen in de berekening dat warmtepompen een verschuifbaar vermogen hebben van 13% over een periode van 6 uur.

2b. (vervolg)

- De kosten van regelbaar vermogen zijn de laatste jaren sterk gestegen. Kosten volgens de [Danish Energy Agency \(2025\)](#) variëren tussen de €600/kW voor een simple cycle gasturbine en €1400/kW voor een combined cycle (back-pressure) turbine. Volgens [Lazard \(2025\)](#) zijn de kosten voor projecten in vroege ontwikkelingsfasen inmiddels \$2400 - 2600/kW (€2060-2230/kW). Dit is een flinke stijging ten opzichte van [Lazard \(2024\)](#) waarin kosten van \$850 – 1300 /kW aangenomen werden.

3. Wat zijn mogelijke consequenties van de gebruikte aannames en gekozen methoden in bestaande studies?

- Omdat het effect van warmteoplossingen op benodigd regelbaar vermogen niet is meegenomen, kan dat betekenen dat: 1) de werkelijke kosten van een warmtestrategieën die leiden tot extra piekvraag naar elektriciteit hoger uitvallen dan verwacht; 2) er in de toekomstplanning mogelijk met onvoldoende marge wordt gerekend, waardoor regelbaar vermogen te vroeg wordt uitgefaseerd.
- De kosten van nieuw regelbaar vermogen per eenheid extra gevraagd vermogen overstijgen de kosten van de netverzwaring op alle netvlakken samen.

4. (Hoe) is verbetering of verdieping in het bepalen van de orde grootte van het effect (praktisch) mogelijk?

- Analyses van de toekomstige elektriciteitsvoorziening moeten ook het effect van verschillende typen warmteoplossingen in de gebouwde omgeving meenemen, en hoe deze doorwerken in de behoefte aan regelbaar vermogen, met name tijdens langere koude periodes met hoge vraag en beperkte hernieuwbare opwek. Ook de samenhang met elektriciteitsimport uit andere landen is hierbij van belang, evenals de beschikbaarheid van en behoefte aan regelbaar vermogen in die landen, die mogelijk gelijktijdig optreedt.
- Voor dergelijke analyses kan marktmodellering worden ingezet. Voor een globale analyse kan waarschijnlijk al nuttige informatie afgeleid worden uit de II3050/IP-scenario's

Factoren die de nationale kosten van warmte voor woningen beïnvloeden

Energie-opwek/aanbod: Elektriciteitsprijzen

1. Hoe kan de factor de piekvraag in LS-netten en de nationale kosten voor warmte beïnvloeden?

Impact piekvraag LS-netten

- Een hogere elektriciteitsprijs dan in de Startanalyse is aangenomen is van grote invloed op de keuze van optimale strategie per buurt. Het lagere aantal aansluitingen op een elektrische warmtepomp zou de piekvraag op LS-netten verlagen.

Impact nationale kosten

- De nationale kosten nemen toe bij een hogere elektriciteitsprijs.

2a. Hoe is de factor meegenomen in de Startanalyse (2025)?

- Referentiebeeld 2030
 - Voor 'grijze' elektriciteit: €0,10 per kWh, opgebouwd uit €0,08 groothandelsprijs + €0,02 overhead kleinverbruik
- Hoofdberekening aardgasvrij
 - Voor klimaatneutrale elektriciteit: €0,088 per kWh, opgebouwd uit €0,065 groothandelsprijs + €0,023 overhead kleinverbruik. De prijs is daarmee 42% lager dan in de Startanalyse van 2020.

2b. Zijn er andere bronnen die de mogelijke impact van de factor in kaart brengen?

- Er zijn ons geen studies bekend die de toekomstige gewogen gemiddelde elektriciteitsprijs voor elektrische en hybride warmtepompen berekenen, en de impact daarvan op afwegingen tussen warmteoplossingen in kaart brengen.

3. Wat zijn mogelijke consequenties van de gebruikte aannames en gekozen methoden in bestaande studies?

- De Startanalyse gebruikt een jaargemiddelde elektriciteitsprijs. Doordat ze zelf een extra piek veroorzaken, zullen juist elektrische warmtepompen (gewogen) gemiddeld een elektriciteitsprijs betalen die hoger ligt dan het jaargemiddelde: er moet extra regelbaar vermogen worden ingezet met een lage capaciteitsfactor en – in het geval van gascentrales – groen gas als brandstof.
- Hybride warmtepompen verbruiken geen elektriciteit (maar groen gas) in koude uren. Ook bij hoge elektriciteitsprijzen in minder koude uren zouden ze om kunnen schakelen op groen gas. Per saldo zal de gewogen gemiddelde elektriciteitsprijs voor een hybride warmtepomp lager liggen dan voor een elektrische warmtepomp.
- Overigens lijkt de hoogte van de jaargemiddelde groothandelsprijs ook laag. Deze is voor 2030 teruggerekend uit inschattingen van prijzen in 2050 uit de [Trajectverkenning Klimaatneutraal 2050](#). Het niveau van 65 €/MWh ligt ruim beneden de huidige prijs voor 2026 (ca. 85 €/MWh) en ook beneden het midden van de bandbreedte daarvoor in de KEV 2025 (73 €/MWh).

4. (Hoe) is verbetering of verdieping in het bepalen van de ordegrootte van het effect (praktisch) mogelijk?

- Gevoeligheidsanalyses met hogere elektriciteitsprijzen (deze studie)
- Marktmodellering (vervolgonderzoek)

Factoren die de nationale kosten van warmte voor woningen beïnvloeden

Energie / opwek en aanbod: beschikbaarheid groen gas (1)

1. Hoe kan de factor de piekvraag in LS-netten en de nationale kosten voor warmte beïnvloeden?

Impact piekvraag LS-netten

- Hybride warmtepompen kunnen de piekvraag in LS-netten verminderen. Wanneer het koud is, gebruikt de hybride warmtepomp (groen) gas in plaats van elektriciteit, wat de piekvraag vermindert.

Impact nationale kosten

- Hybride warmtepompen met groen gas zijn in de Startanalyse in veel gevallen de optie met laagste nationale kosten. Aannames of inschattingen over de hoeveelheid beschikbaar groen gas voor de gebouwde omgeving en het jaarlijks groen gas verbruik van een hybride warmtepomp, beïnvloeden de hoeveelheid woningen die van deze optie voorzien kunnen worden.

2a. Hoe is de factor meegenomen in de Startanalyse (2025)?

- De hybride warmtepomp (hWP) komt er in de hoofdberekening van de Startanalyse uit als optie met laagste nationale kosten voor 2,5 miljoen woningen; hiervoor werd aangenomen dat daarvoor 1,5 bcm* groen gas beschikbaar is. De beperkte benodigde investeringen in het verbeteren van de isolatiekwaliteit (schillabel D+) lijkt een belangrijke factor in de relatief lage nationale kosten van de hWP voor veel woningen.
- Gemiddeld komt dit neer op een groen gas verbruik per jaar voor een woning met een hWP als warmteoplossing van 520 m³. Dit is een vrij hoog gasverbruik vergeleken met andere bronnen; hierbij is aangenomen dat het warm tapwater geleverd wordt het cv-keteldeel.
- Bij deze 2,5 miljoen woningen heeft hWP-optie minstens 30% lagere kosten dan de optie met de op-een-na-laagste nationale kosten. Dit suggereert dat het aantal woningen met hWP als voorkeursoptie nog aanzienlijk hoger zou liggen wanneer meer groen gas beschikbaar zou zijn.
- In de Startanalyse wordt 0,5 bcm groen gas gereserveerd voor hulpketels in de warmtenetten, zowel in de hoofdberekening als in de gevoeligheidsanalyses. Er wordt verder geen check uitgevoerd van de daadwerkelijke inzet. Voor MT-netten bedraagt deze ca. 250 m³/jaar per aansluiting; het gaat daarvoor dus om een inzet van 0,1 bcm in gevoeligheidsanalyses waarin alleen de bestaande aansluitingen gehandhaafd blijven tot ca. 0,7 bcm in een gevoeligheidsanalyse met 3 miljoen MT-aansluitingen. Deze hoeveelheden zijn niet verwaarloosbaar in het Nederlandse debat over de toekomstige beschikbaarheid en inzet van groen gas.

2b. Zijn er andere bronnen die de mogelijke impact van de factor in kaart brengen?

- Een recente studie van de Vereniging Duurzame Warmte met verbruiksdata van 174 woningen (voornamelijk vrijstaand en 2-onder-1-kap) met een hybride warmtepomp laat een gemiddelde daling zien van 75% in gasverbruik, met een forse spreiding. De woningen hadden voor de plaatsing van een hybride warmtepomp gemiddeld gasgebruik van 1875 m³/jaar en na de plaatsing van de hybride warmtepomp een gemiddeld gasgebruik van 478 m³/jaar (inclusief gasvraag voor warmtapwater en koken, en gecontroleerd op temperatuurverschillen tussen jaren).
- De Europese productiekosten van groen gas bedragen ca. 65-110 €/MWh = 0,65 – 1,10 €/m³ (Common Futures en BIP, 2023, gecorrigeerd voor kostenstijging sinds 2021). PBL gaat in de hoofdberekening uit van een groothandelsprijs van 1,00 €/m³. Dit lijkt compatibel met de eerdere studie van Common Futures. Daar bovenop rekent het PBL met een 'Overhead kleingebruik' van 0,20 €/m³.
- In lopende studies neemt Netbeheer Nederland voor woningen met een hybride warmtepomp als structurele oplossing een jaarlijks gasverbruik van 450 m³ aan. De gasvraag voor warmtapwater wordt hierbij niet uitgesplitst.
- Guidehouse, 2025: duurzaam Nederlands productiepotentieel in 2050 wordt geschat op 3,5 bcm, daarnaast is import uit grondstoffen en import van gas uit Europees netwerk mogelijk, geschat op 7,4 bcm in 2050. Dit zou leiden tot een totale beschikbaarheid van 10,9 bcm groen gas. Deze inschattingen zijn gebaseerd op optimistische inschattingen rond het duurzaam potentieel in Europa, met een totaal van 160 bcm groen gas in 2050. Common Futures acht een totaal Europees potentieel van ~100 bcm meer realistisch (Guidehouse, 2024; GfC, 2022) en ~50 bcm zeker haalbaar, rekening houdend met onzekerheden rondom beschikbaarheid van grondstoffen en afstand tot het gasnet. Geschaald naar 50 bcm of 100 bcm is het beschikbare groen gas potentieel voor Nederland in 2050 respectievelijk zo'n 3,6 bcm of 7,2 bcm.
- De Guidehouse studie heeft ook gekeken waar groen gas het meest kostenefficiënt ingezet kan worden. De totale vraag van subsectoren (incl. piekkelers voor warmtenetten) buiten de gebouwde omgeving waar groen gas de goedkoopste optie wordt geschat op ~3 bcm (Guidehouse, 2025, tabel 11, p. 31). Dit zou betekenen dat er bij 100 bcm Europees potentieel nog ~3 tot 4 bcm groen gas (kostenefficiënt) beschikbaar is voor hybride warmtepompen in de gebouwde omgeving.

* 1 bcm = 1 miljard m³ per jaar. Van de 1,5 bcm voor individuele warmteoplossingen lijkt slechts een kleine fractie naar utiliteitsbouw-aansluitingen te gaan.

Factoren die de nationale kosten van warmte voor woningen beïnvloeden

Energie / opwek en aanbod: beschikbaarheid groen gas (2)

3. Wat zijn mogelijke consequenties van de gebruikte aannames en gekozen methoden in bestaande studies?

- De beschikbaarheid van groen gas voor woningen, en aannames over gemiddeld hernieuwbaar gasverbruik van een hybride warmtepomp kunnen het aantal woningen dat een hybride warmtepomp als warmteoplossing kan benutten dus nog sterk beïnvloeden:
- Hoofdberekening PBL 2025: 2,5 miljoen woningen
- Beschikbaar potentieel van 3-4 bcm (i.p.v. 1,5 bcm): 5,0 – 6,7 miljoen woningen

4. (Hoe) is verbetering of verdieping in het bepalen van de orde grootte van het effect (praktisch) mogelijk?

- Gevoeligheidsanalyse met hogere beschikbaarheid van groen gas (deze studie)
- Door een hogere beschikbaarheid van groen gas aan te nemen en tegelijkertijd variërende prijsniveaus zou er ingeschat kunnen worden hoe effectief groen gas kan zijn in de warmtetransitie. Idealiter zou ook het effect van een autonome groei in de isolatieniveau meegenomen worden.

Bijlage 3

Aanpak gevoeligheidsanalyses



De Startanalyse

Aanpak van gevoeligheidsanalyses

Wij gebruiken de data uit de Startanalyse van het PBL om daarop gevoeligheidsanalyses uit te voeren. Het betreft een omvangrijk datapakket van meer dan 1.000 Excel-bestanden, met input- en outputdata uit de modellering.

Alle bestanden hebben een vergelijkbare structuur: de 14.515 CBS-buurtten staan per bestand in de rijen, en voor elke buurt zijn ongeveer 80 indicatoren beschikbaar (in de kolommen). Voor een overzicht van alle indicatoren en bijbehorende codes verwijzen we naar hoofdstuk 3 van de [Gebruikershandleiding van de Actualisatie van de Startanalyse 2025](#).

De indicatoren zijn onderverdeeld in vier hoofdcategorieën: ‘statische’ indicatoren (bijv. locatie, aantal woningen), energie-indicatoren (bijv. input klimaat neutraal gas, elektriciteitsverbruik, energie voor ventilatie), kosten-indicatoren (bijv. totale kapitaallasten, inkoop warmte), en indicatoren voor het type aansluiting (bijv. cv-ketel, elektrische warmtepomp).

Het PBL heeft voor elke buurt alle 18 varianten doorgerekend. De selectie van de variant met de laagste nationale meerkosten per buurt vormt de kernuitkomst van de Startanalyse - de zogenoemde hoofdberekening. Daarnaast heeft het PBL op dezelfde manier 12 gevoeligheidsanalyses uitgevoerd op energieprijzen, beschikbaarheid van groen gas en projectmanagementkosten.

De PBL-analyse is ‘bottom-up’ opgebouwd:

1. Per buurt worden 18 varianten doorgerekend;
2. Per buurt wordt de variant met de laagste nationale meerkosten gekozen op basis van de laagste meerkosten per bespaarde ton CO₂;
3. Aansluitingen worden geaggregeerd op nationaal niveau;
4. Totale kosten worden op nationaal niveau opgeteld.

Wijzigingen in de aannames leiden zo tot een nieuwe mix van warmteoplossingen met nieuwe gesommeerde nationale meerkosten.

Onze eigen gevoeligheidsanalyses volgen dezelfde logica. Deze richten zich met name op het herberekenen van kostenindicatoren, waarbij we nieuwe aannames toepassen. De kostenindicatoren zijn als volgt onderverdeeld:

- Kapitaallasten (in €/jaar): verzwaren van het elektriciteitsnet (LS-kabel en MS-LS trafo's), verwijderen van het gasnet, warmtenet (bron, transportleiding, buurtleiding, inpandige leidingen), gebouwschil (isolatie) en gebouw installatie (afgifte, warmtepomp, projectmanagementkosten).
- Variabele kosten (in €/jaar): inkoop van gas, warmte en elektriciteit, en kosten van onderhoud en beheer (O&M) van infrastructuur en bouwmaatregelen.

Samen vormen deze de totale jaarlijkse kosten. Door hiervan de uitgaven aan variabele kosten in het referentiebeeld 2030 af te trekken*, worden de jaarlijkse meerkosten berekend.

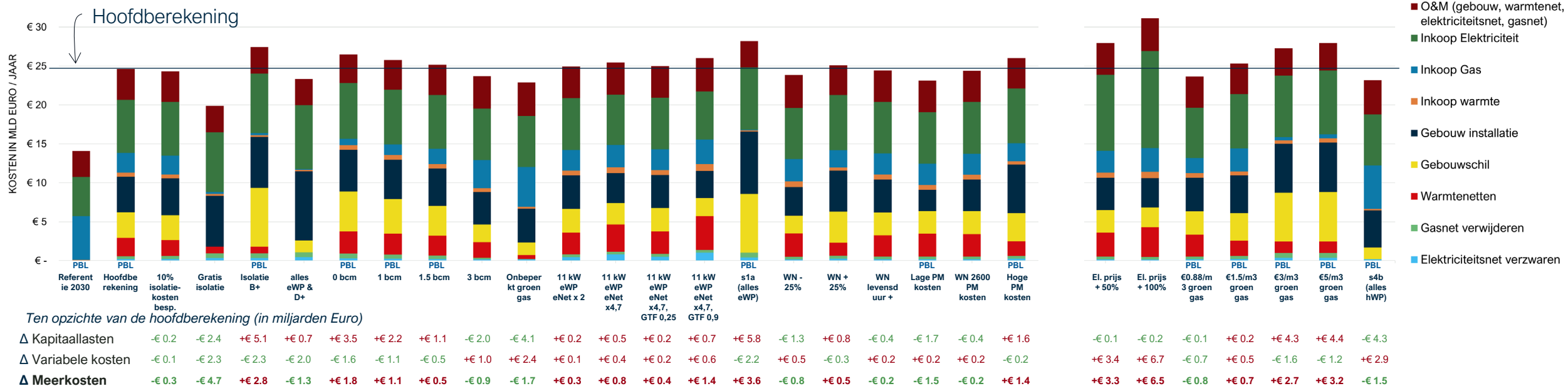
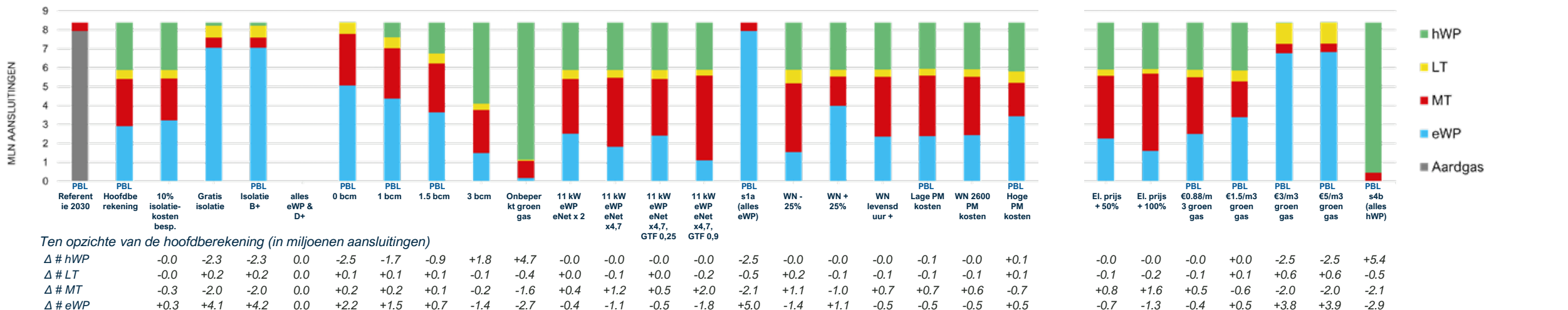
*) De kapitaallasten zijn voor de investeringen in het aardgasvrij maken. In het referentiebeeld zijn deze nul, dus de gehele kapitaallasten vormen jaarlijkse meerkosten.



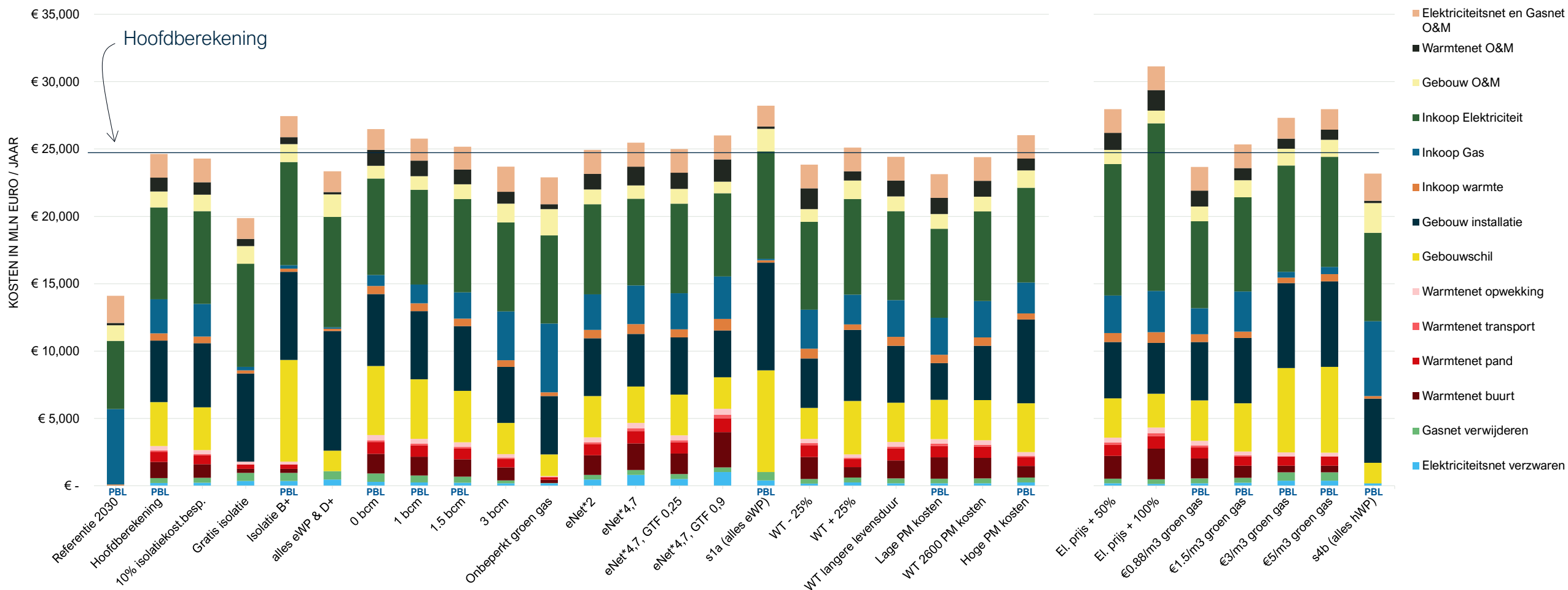
Bijlage 4

Overzicht van de resultaten van alle gevoeligheidsanalyses

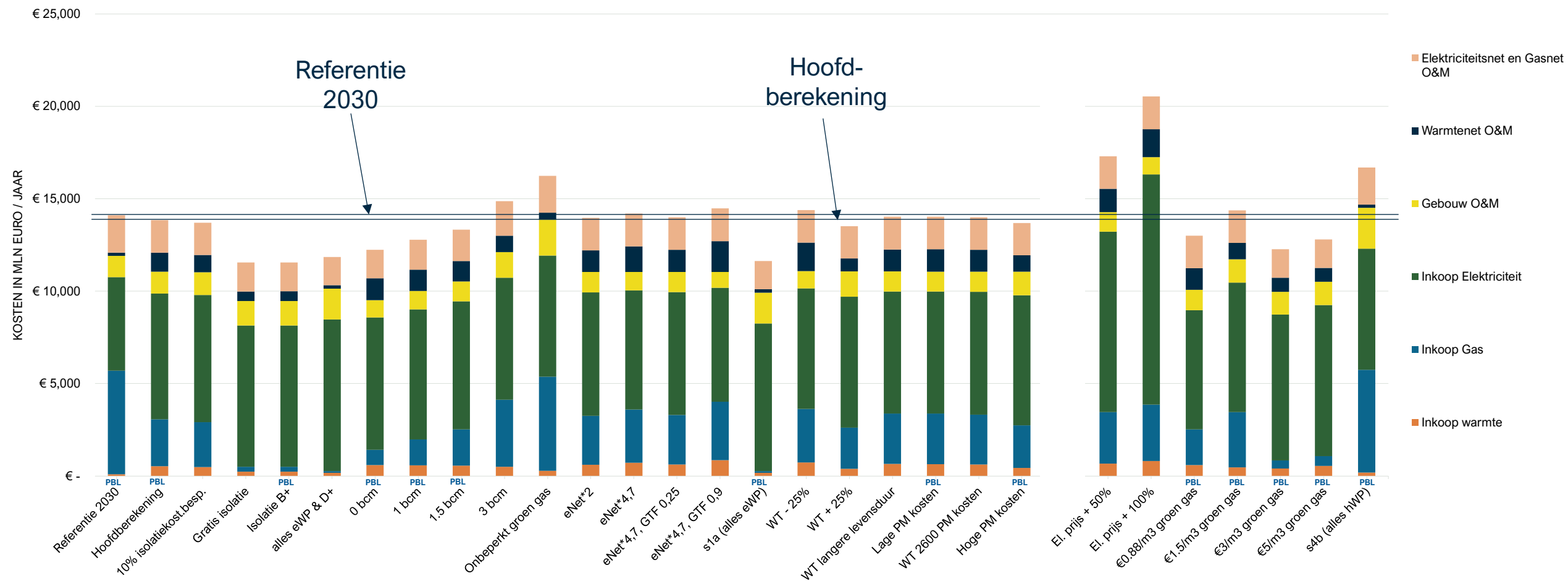
Alle resultaten: aansluitingen en totale jaarlijkse kosten



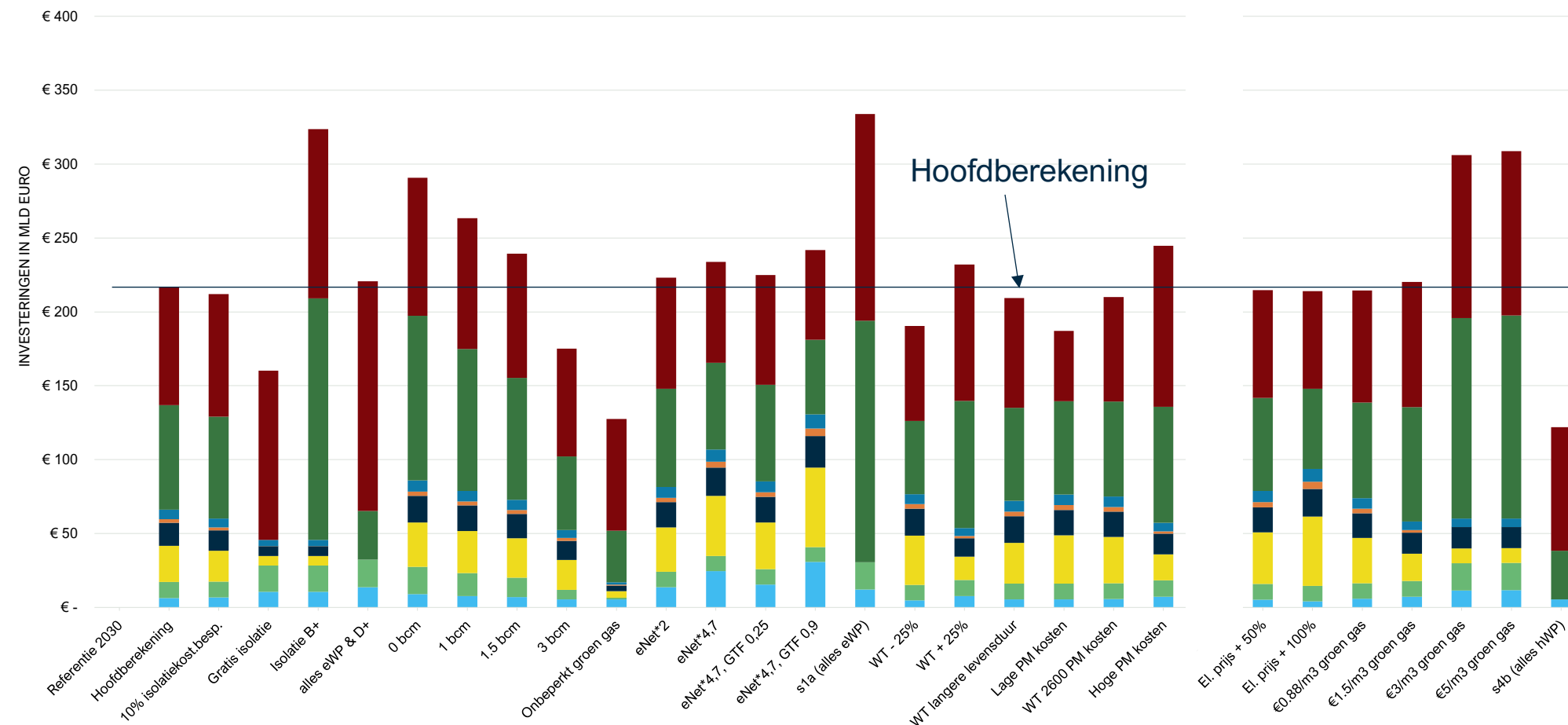
Alle resultaten: totale jaarlijkse kosten uiteengezet



Alle resultaten: variabele kosten uiteengezet



Alle resultaten: investeringskosten (ingeschat)



	Levensduur (jaar)	Anniteits- factor
Gebouw installatie	22.5*	-5.7%
Gebouwschil	30	-4.6%
Warmtenet opwekking	28	-4.9%
Warmtenet transport	28	-4.9%
Warmtenet pand	28	-4.9%
Warmtenet buurt	28	-4.9%
Gasnet aanpassen	50	-3.4%
Gasnet verwijderen	50	-3.4%
Elektriciteitsnet verzwaren	50	-3.4%

Discontovoet: 2.25%
Levensduur op basis van het
Verdiepende Rapport van de ASA.

***LET OP:** Gebouw installatie bevat de kosten voor projectmanagement en voor installaties zoals warmtepompen. De levensduur is daarom ingeschat op het gemiddelde (22,5 jaar) daarvan (30 jaar voor warmtepompen en 15 jaar voor PM kosten).