FAKTON ENERGY

Haskoning
Enhancing Society Together

Vergelijking restwarmte via WLQ met alternatieve warmteoplossingen

Op nationale kosten, technische haalbaarheid, ruimtelijke inpasbaarheid, systeemoverwegingen en overige criteria

Ministerie van Economische Zaken en Klimaat

Colofon

Vergelijking restwarmte via WLQ met alternatieve warmteoplossingen op nationale kosten, technische haalbaarheid, ruimtelijke inpasbaarheid, systeemoverwegingen en overige criteria

In opdracht van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat

Definitieve rapportage v1.0

Datum: 22 mei 2026

In samenwerking met Haskoning

Wouter van den Wildenberg

w.v.d.wildenberg@fakton.com

Pam Engwirda

p.engwirda@fakton.com

Willem Wolleswinkel

w.wolleswinkel@fakton.com

Laurens Roetert Steenbruggen

laurens.roetert.steenbruggen@haskoning.com

Inhoudsopgave

1. Aanleiding, vraagstelling en methode 4
2. Scope en scenario's 10
3. Conclusies 16
4. Resultaten nationale kosten analyse 22
5. Resultaten technische haalbaarheid en ruimtelijke inpasbaarheid 35
6. Resultaten systeemperspectieven en overige criteria 48

Bijlagen 57

I. Wijkkeuze langs tracé WLQ
II. Scenario overschrijdende uitgangspunten
III. Scenario uitgangspunten

FAKTON ENERGY

Haskoning
Enhancing Society Together

22-5-2026

1

Aanleiding, vraagstelling en methode

1.1 Aanleiding en vraagstelling

Het ministerie van Economische Zaken en Klimaat vroeg Fakton Energy een analyse uit te voeren van de mogelijke alternatieve scenario's voor duurzame warmtevoorziening in vergelijking met restwarmte via WarmtelinQ

In dit hoofdstuk beschrijven we eerst de aanleiding en vraagstelling van dit onderzoek (1.1). Vervolgens lichten we de gehanteerde methode toe (1.2).

Aanleiding
Ten behoeve van de warmtetransitie gaf het ministerie van Economische Zaken en Klimaat in 2019 opdracht aan Gasunie om te starten met de ontwikkeling van een warmtetransportleiding in Zuid-Holland, nu WarmtelinQ (WLQ). WLQ is specifiek ontworpen om (rest)warmte vanuit de Rotterdamse haven te transporteren naar de gebouwde omgeving en glastuinbouw. Dit warmtetransportnetwerk moet de ruggengraat vormen van een duurzaam en toekomstbestendig warmtesysteem in Zuid-Holland.

Recent bleek dat de investeringskostenraming van WLQ is gestegen. Uit de review hiervan eind 2025 bleek dat deze kostenstijgingen marktconform en reëel zijn. Om een weloverwogen besluit te nemen over de inrichting van het toekomstig warmtesysteem in Zuid-Holland, vroeg het ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) Fakton Energy een vergelijking te maken tussen restwarmte via WLQ en mogelijke alternatieve scenario's voor een duurzame warmtevoorziening van de gebouwde omgeving.

Vraagstelling
EZK vroeg Fakton Energy om een *transparante, navolgbare en inhoudelijk onderbouwde analyse van duurzame warmteopties te maken die dient als directe onderbouwing voor bestuurlijke besluitvorming.*

Deze analyse bestaat uit een vergelijking van de scenario's op nationale kosten, technische haalbaarheid, ruimtelijke inpasbaarheid, systeemoverwegingen en overige criteria.

Leeswijzer
Deze rapportage start met een beschrijving van de methode, inclusief de afbakening van scope en scenario's, zodat helder is wat we vergelijken en op basis van welke uitgangspunten. Daarna volgen de conclusies als directe input voor de besluitvorming. Vervolgens werken we de resultaten uit per beoordelingslijn: nationale kosten, technische haalbaarheid en ruimtelijke inpasbaarheid en systeem overwegingen en overige criteria. In de bijlage staan de belangrijkste uitgangspunten, zodat aannames en berekeningen herleidbaar en controleerbaar zijn.

1.2 Methode

De methode voor dit onderzoek berust op een vergelijking van restwarmte via WLQ met alternatieve, duurzame warmtevoorzieningsopties op basis van nationale kosten, technische haalbaarheid en ruimtelijke inpasbaarheid en systeem overwegingen en overige criteria.

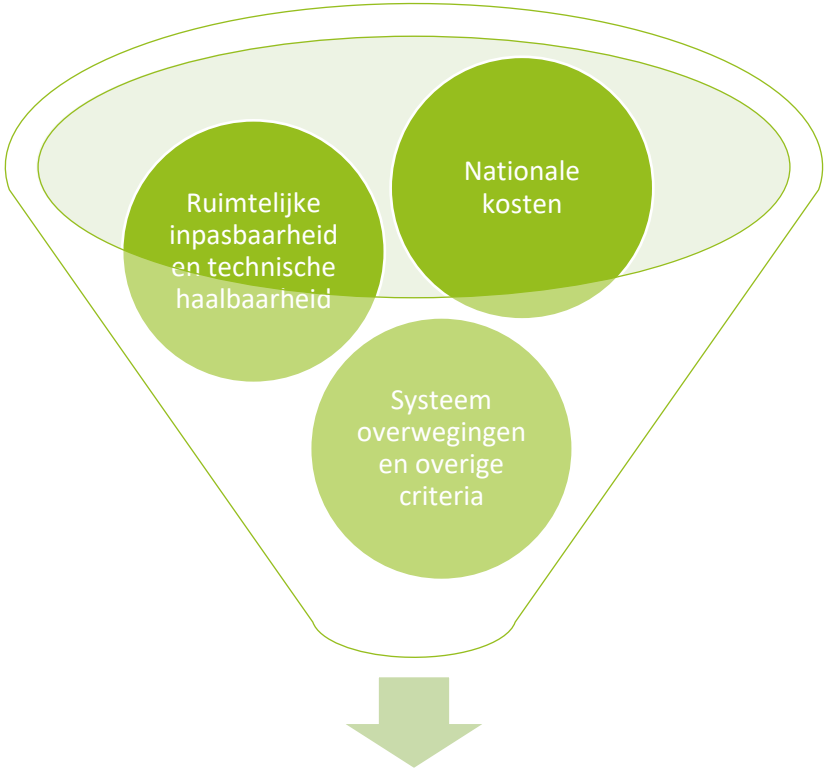
Aanpak

Vergelijking restwarmte via WLQ met alternatieve, duurzame warmtevoorzieningsopties
De basis van de methode is een analyse van de nationale kosten waarin we verschillende scenario's voor duurzame warmtevoorziening vergelijken met restwarmte via WLQ. Dit vullen we aan met een toets op technische haalbaarheid en ruimtelijke inpasbaarheid en aanvullende systeemoverwegingen en overige criteria. De aanpak geven wij schematisch weer in figuur 1.1.

We vergelijken WLQ met een set alternatieve scenario's waarin dezelfde eindgebruikers die op WLQ zouden aansluiten een andere, duurzame warmtevoorziening krijgen. Elk scenario beschrijft een coherent warmteconcept, inclusief bron(nen), distributie/infra, piek- en back-up en de benodigde aanpassingen achter de voordeur. Door de vraag gelijk te houden, wordt zichtbaar wat het systeem per scenario vraagt.

Deze scenario's vergelijken we op basis van drie analyses:

1. Nationale kosten: We maken inzichtelijk wat de totale nationale kosten van het warmtesysteem in een scenario zijn.
2. Ruimtelijke inpasbaarheid en technische haalbaarheid: We maken inzichtelijk in welke mate een scenario technische haalbaar en ruimtelijk inpasbaar is.
3. Systeem overwegingen en overige criteria: we maken inzichtelijk wat systeem overwegingen zijn voor de verschillende scenario's. Daarnaast maken we additionele criteria inzichtelijk ten behoeve van de afweging tussen de scenario's.



Figuur 1.1: Schematische weergave van de onderzoeksaanpak

1.2 Methode

22-5-2026

De analyse nationale kosten richt zich bewust op de vergelijking van kosten van verschillende warmtescenario's met restwarmte via WLQ.

Analyse nationale kosten

Wij voeren een nationale kostenanalyse uit om de financiële doelmatigheid van restwarmte via WLQ te vergelijken met alternatieve warmtescenario's
Dit onderzoek betreft een nationale kostenvergelijking. We vergelijken de verschillende scenario's op financiële doelmatigheid voor de samenleving en nemen daarbij alle relevante kosten mee, ongeacht wie deze betaalt.

Deze nationale kostenanalyse is geen eindgebruikerskostenanalyse. Een eindgebruikerskostenanalyse vertrekt vanuit het perspectief van de eindgebruiker en neemt bijvoorbeeld belastingen meenemen. Dergelijke posten beschouwen wij niet als kosten binnen deze nationale kostenanalyse.

Tot slot nemen we in dit onderzoek geen maatschappelijke baten mee. De studie is daarom expliciet geen maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA).

Deze nationale kosten analyse is ingericht als een verschillenanalyse
We focussen per alternatief op de meerkosten of besparingen ten opzichte van het basisscenario, en laten effecten die in beide opties gelijk optreden buiten beschouwing, of verwerken ze uitsluitend als uniforme input in de berekening. Per warmtescenario nemen we de volgende posten mee in de nationale kosten analyse:

- Investeringskosten: De kosten voor de warmtebron, infrastructuur, piek- en back-up voorzieningen en de nodige aanpassingen in de woning.
- Operationele kosten: De kosten voor de warmtevoorziening gedurende de levensduur. Hieronder vallen kosten zoals onderhoud en beheer.
- Energiekosten: De kosten voor de energie die het warmtesysteem gebruikt. Hieronder vallen kosten voor elektra, gas en inkoop van warmte.
- Kosten verwijderen gasnet of verwijderen WLQ: De kosten voor het verwijderen van het gasnet of WLQ in scenario's waar deze infrastructuur overbodig wordt door overstap op een andere warmtevoorziening.
- ETS-kosten: De kosten voor de CO_2 -uitstoot van de warmtevoorziening drukken wij uit in de resulterende kosten voor ETS1 en ETS2.
- Restwaarde: De restwaarde van de warmtevoorziening aan het einde van de beschouwingsperiode van 30 jaar.

Subsidies en kostprijsverhogende belastingen nemen wij niet mee in de nationale kosten analyse
Deze posten leiden vooral tot een herverdeling van kosten en baten tussen partijen en veranderen het nationale kostenbeeld van een scenario niet.

In de uitgangspunten van de analyse sluiten wij aan op het op dit moment geldende beleid en de bijbehorende doelstellingen en instrumenten
Beleidskaders (zoals de bijmengverplichting, het streven naar CO_2-neutraliteit in 2050 en ETS-uitgangspunten) kunnen in de tijd wijzigen, daarom lezen we de resultaten als een uitkomst binnen de huidige beleidscontext.

Wij verdisconteren met een maatschappelijke discontovoet van 2,8%
We rekenen alle kosten en de restwaarde door naar een contante waarde met een maatschappelijke discontovoet van 2,8% (gecorrigeerd voor inflatie). Daarmee maken we scenario's onderling consistent vergelijkbaar over de analyseperiode. Deze discontovoet sluit aan bij de door het kabinet voorgeschreven discontovoet voor nationale kostenanalyses.

1.2 Methode

We toetsen theoretische uitgangspunten en data met inhoudelijke experts, zodat scenario's juist en vergelijkbaar zijn en de onderbouwing herleidbaar blijft.

Uitgangspunten voor de nationale kostenanalyse bepalen we door intensieve samenwerking met Haskoning en een serie expert-interviews
Om tot gedegen uitgangspunten voor dit onderzoek te komen, werken we nauw samen met adviesbureau Haskoning. Gezamenlijk combineren we inzichten uit verschillende gerenommeerde onderzoeksrapporten (CE Delft, PBL, TNO), om tot een actueel en onderbouwd beeld van kosten te komen.

Uitgangspunten valideren we zowel met interne experts vanuit Fakton en Haskoning als met belangrijke stakeholders. De expert-interviews leveren niet alleen een second-opinion op de uitgangspunten, maar ook inzicht in strategische afwegingen vanuit deze partijen. In het kader van dit onderzoek interviewen we de volgende partijen:

- Warmtebedrijven Netverder, Eneco, Vattenfall en EBN over de uitgangspunten voor investerings- en operationele kosten en levensduur van warmtenetten, de warmtevraag en de benodigde aanpassingen in woningen. Ook over het systeemperspectief en de potentie en kosten van aardwarmte.
- Provincie Zuid-Holland over het systeemperspectief.
- Ministerie van Economische Zaken en Klimaat over de ontwikkeling van groen gas en actuele kosten voor warmtepompen.
- Netbeheerders Stedin en Alliander over de uitgangspunten rondom de kosten en levensduur van het elektranet en over de benodigde netverzwaring voor verschillende warmte-alternatieven.
- Gasunie over de uitgangspunten rondom WLQ en het gasnet.
- Havenbedrijf Rotterdam over het systeemperspectief.
- Geothermie Nederland over het systeemperspectief en samenhang tussen geothermie en WLQ.
- Kalavasta over de gelijktijdigheid en benodigd regelbaarvermogen in het Nederlandse elektriciteitssysteem.

Figuur 1.2: Schematische weergave van de totstandkoming van de uitganspunten voor de nationale kosten analyse

1.2 Methode

We combineren de nationale kosten analyse met een beoordeling op ruimtelijke inpasbaarheid en technische haalbaarheid, zodat per scenario mogelijke uitdagingen helder worden

Analyse ruimtelijke inpasbaarheid en technische haalbaarheid
Naast een financiële analyse zijn ook de ruimtelijke inpasbaarheid en technische haalbaarheid per warmtealternatief cruciaal voor het bepalen van een voorkeursoplossing. De mate waarin een warmtealternatief fysiek kan worden ingepast in de bestaande omgeving heeft directe invloed op de uitvoerbaarheid en doorlooptijd van projecten. Wij vergelijken de verschillende scenario's op de volgende onderdelen:

Ruimtelijke inpasbaarheid

- Ruimtelijke inpasbaarheid van opwek/productie: Wij brengen per alternatief in beeld welke ruimte nodig is voor de opwek en/of productie van warmte, elektriciteit en groen gas. Daarbij kijken wij naar locaties en ruimtelijke randvoorwaarden binnen en buiten het stedelijk gebied, zoals ruimte voor warmtebronnen (bijvoorbeeld geothermie of restwarmte), hernieuwbare elektriciteit, groen gasproductie en aanvullend regelbaar vermogen.
- Ruimtelijke inpasbaarheid van transport: Wij maken per alternatief inzichtelijk welke ruimte nodig is om energie te transporteren. Het gaat daarbij om ruimte in de ondergrond en bovengrond voor warmtenetten en WOS'en, trafohuisjes en overdrachtstations.
- Ruimtelijke inpasbaarheid van levering (aansluiting en afgifte): Wij brengen per alternatief in beeld welke ruimte nodig is voor de levering aan eindgebruikers in en om de woning of het gebouw. Daarbij gaat het om ruimte voor technische installaties en aansluitingen, zoals warmtepompen en afleversets.

Technische haalbaarheid

- Technische haalbaarheid van warmtebron en systeem: Wij toetsen per scenario welke technische randvoorwaarden en systeemaanpassingen nodig zijn voor een robuuste warmtevoorziening. Bij collectieve systemen gaat het onder meer om uitbreiding van bestaande warmtenetten en aanleg van nieuwe distributienetten in stedelijke gebieden, en om de koppeling met en beschikbaarheid van warmtebronnen. Ook de technische haalbaarheid van de systeeminpassing en bronbeschikbaarheid van individuele opties, hybride en all-electric, nemen we mee in de technische beoordeling.
- E-netcongestie en impact op energie-infrastructuur: Wij beoordelen per alternatief in welke mate extra elektriciteitsinfrastructuur nodig is en wat dit betekent voor de uitvoerbaarheid in de tijd. In de regio Den Haag, Rotterdam en Leiden speelt een grote opgave voor netverzwaring. Daarnaast hebben wij wijken geselecteerd op basis van de Startanalyse van PBL waar collectieve warmte de voorkeursoplossing is. Netbeheerders nemen deze richting mee in hun verzwaringsagenda en daarom kijken wij expliciet naar de mate waarin alternatieven extra druk leggen op het elektriciteitsnet en naar de uitvoerbaarheid op korte en lange termijn.
- Groen gasvraag en beschikbaarheid: De collectieve warmtescenario's zijn in de huidige opzet niet volledig (aard)gasvrij, door de inzet van piek- en back-upvoorzieningen. Wij gaan ervan uit dat deze piekvraag in de tijd verduurzaamt via groen gas. Per scenario bepalen wij de jaarlijkse groen gasvraag, zowel voor collectieve piekketels als voor toepassingen op woningniveau middels hybride warmtepompen. Wij zetten deze vraag af tegen de verwachte beschikbaarheid van groen gas voor verschillende sectoren op basis van PBL en gebruiken dit als input voor de beoordeling van de technische haalbaarheid van deze scenario's.

2

Scope en scenario's

2.1 Scope

De scope van dit onderzoek omvat ca. 120.000 WEQ in Zuid-Holland, langs het WLQ tracé.

In dit hoofdstuk beschrijven we allereerst de scope van dit onderzoek (2.1). Daarna lichten we de gehanteerde scenario's met alternatieve warmtevoorzieningen toe (2.2), inclusief een beschrijving van de belangrijkste aannames en uitgangspunten in elk scenario.

Scope: circa 120.000 WEQ langs het WLQ-tracé
WLQ beoogt in de toekomst 120.000 woning equivalenten (WEQ) van warmte te kunnen voorzien. Waar deze warmte naartoe gaat is nog niet bepaald. Voor de scope van dit onderzoek hebben wij wijken geselecteerd langs het geplande tracé van WLQ, die in de Startanalyse van PBL collectieve warmte als de oplossing met laagste maatschappelijke kosten zijn geoormerkt: van Rotterdam naar Den Haag en vanuit Rijswijk richting Leiden (zie figuur 2.1). Wij hebben het aantal WEQ gebaseerd op de capaciteit van WLQ, 248 MW basislast, en de verwachte vermogensvraag per woning voor de bestaande aansluitingen en de nieuwe aansluitingen in de door ons geselecteerde wijken.

Binnen deze regio onderscheiden wij twee typen gebieden.

- Gebieden waar al een bestaand warmtenet ligt (115 MW voor ca. 56.000 WEQ)
- Gebieden waar nog geen warmtenet ligt (133 MW voor ca. 63.000 WEQ), daarmee nieuw aan te sluiten woningen

Voor de gebieden zonder warmtenet hebben wij de scope bepaald met de PBL Startanalyse aardgasvrije wijken. Langs het WLQ tracé selecteerden wij de wijken waar de Startanalyse een collectieve warmtenetoplossing als meest kosteneffectief aanwijst (voorkeurstechnologie S2D: MT-restwarmte). Bijlage I geeft een overzicht van de geselecteerde wijken.

We beperken ons onderzoek tot levering aan de gebouwde omgeving, omdat de studie is opgezet om warmteoplossingen voor de verduurzaming van vastgoed te vergelijken. Levering aan de glastuinbouw kent andere warmtevraagprofielen, en technische eisen, waardoor de geschikte technieken voor verduurzaming wezenlijk verschillen. Het meenemen van glastuinbouw zou de vergelijking minder eenduidig maken en valt buiten de scope van deze vastgoedgerichte analyse.

Figuur 2.1: Het tracé van transportleiding WarmtelinQ; van Rotterdam naar Den Haag en van Rijswijk richting Leiden

2.2 Scenario's

22-5-2026

We beschouwen vier alternatieve warmtevoorzieningen voor restwarmte via WLQ; namelijk geothermie, buurtwarmtepompen, all-electric warmtepompen en hybride warmtepompen.

Scenario's voor bestaande netten en nieuw aan te sluiten woningen
In samenwerking met EZK en op basis van expert judgement van Fakton Energy en Haskoning maken wij in onze nationale kosten analyse onderscheid tussen bestaande netten en nieuw aan te sluiten woningen.

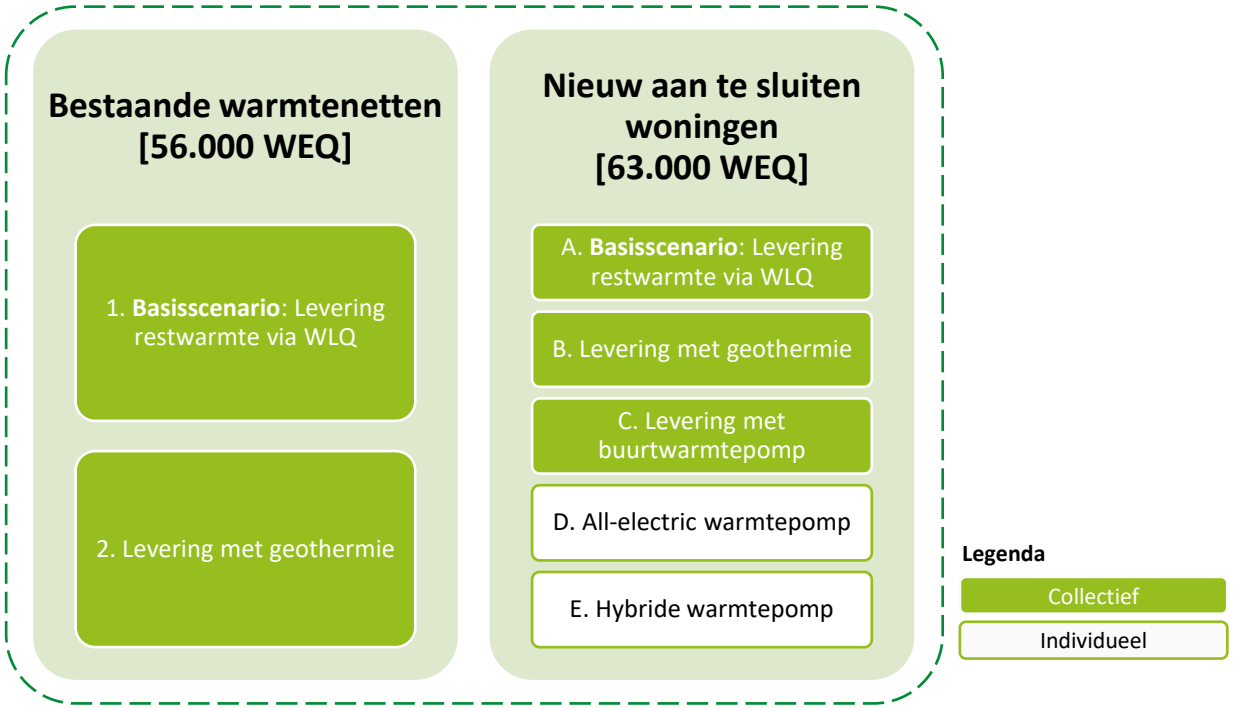
Voor de bestaande netten gaan wij ervanuit dat we deze warmtenetten in stand houden en niet verwijderen. Wij vergelijken voor de bronnen voor de bestaande netten levering van restwarmte via WarmtelinQ (WLQ) als basisscenario met levering via nieuw te ontwikkelen geothermiebronnen. Wij zien overige technieken niet haalbaar voor de levering van hoge temperatuur warmte passend bij het warmteprofiel van de bestaande netten.

Voor nieuw aan te sluiten woningen onderzochten we drie collectieve varianten (levering restwarmte via WLQ als basisscenario, geothermie of een buurtwarmtepomp) en twee individuele varianten (all-electric warmtepomp en een hybride warmtepomp). Voor nieuw aan te sluiten woningen gaan we uit van een middentemperatuur warmteprofiel.

Afbakeningen
Binnen dit onderzoek hanteren wij een set afbakeningen om de scenario's onderling goed vergelijkbaar te maken. Daarmee borgen wij dat verschillen in uitkomsten zo veel mogelijk voortkomen uit de gekozen warmteopties en niet uit afwijkende rekenregels.

- Tijdsperiode: dertig jaar inclusief restwaarde. Wij beoordelen de warmtevoorzieningen over een looptijd van dertig jaar. Aan het einde van deze periode nemen wij de restwaarde van investeringen mee, zodat we scenario's met verschillende levensduren van assets op een consistente manier vergelijken.
- Eindbeeld: alle scenario's CO_2-neutraal in 2050. Wij veronderstellen dat alle doorgerekende scenario's in 2050 CO_2-neutraal zijn. De verschillen tussen scenario's zitten daarmee vooral in de route naar 2050 en in de bijbehorende kosten gedurende de transitieperiode.
- Vaste geografische scope: Wij rekenen met een vaste geografische scope zoals beschreven op de vorige pagina. Het verdelingsvraagstuk van restwarmte en geothermie valt buiten de scope van dit onderzoek en wordt onderzocht binnen nMIEK Warmtesysteem Zuid-Holland.
- Volledige adoptiegraad van gekozen technologie: we hanteren een 100% adoptiegraad van een gekozen techniek binnen de scenario's. Hierdoor zijn de verschillende scenario's onderling te vergelijken voor een gelijk aantal woningen.

Scope onderzoek [ca. 120.000 WEQ]



Figuur 2.2: Schematische weergave van de scope en scenario-alternatieven van dit onderzoek

2.2 Scenario's

Scenario overzicht voor bestaande warmtenetten

Tabel 2.1 geeft een overzicht van de belangrijkste eigenschappen van de scenario's voor de bestaande netten.

Tabel 2.2 op de volgende pagina geeft een overzicht van de belangrijkste eigenschappen van de scenario's voor de nieuw aan te sluiten woningen.

Pagina 15 presenteert het ingroeipad van de verschillende scenario's, zowel voor de bestaande netten als voor de nieuw aan te sluiten woningen.

Een uitgebreide toelichting op de scenario's en de gehanteerde uitgangspunten is terug te vinden in bijlage II: Scenario overschrijdende uitgangspunten en bijlage III: Scenario uitgangspunten.

Tabel 2.1: Overzicht scenario's voor bestaande netten

Bestaande warmtenetten	Restwarmte via WLQ	Geothermie
Warmteoplossing basisbron	Bronnen uit de haven en transport via WLQ	Geothermie
Temperatuurniveau	Direct toepasbaar in net	Opgewaardeerd met warmtepomp tot benodigde temperatuur
Piek/back-up	Gasgestookt, in de tijd verduurzaamd met groen gas; bestaande voorzieningen volstaan (geen extra investeringen).	Gasgestookt, in de tijd verduurzaamd met groen gas; bestaande voorzieningen volstaan (geen extra investeringen).
E-Netimpact op basis van piekvraag	Geen extra benodigde netverzwaring	Extra elektriciteitsvraag door warmtepompen (0,7kWe/WEQ)
Ingroeipad	Start levering 2027; volledige levering 115 MW in 2029.	Vertraging door bronontwikkeling 4–7 jaar; start levering 2029, benodigde 115 MW in 2032.
Onderscheidende kostenposten	Geen additionele investeringskosten. Investering WLQ tot 115 MW en uitkoppeling bronnen voor bestaande netten zijn "sunk costs"	• Investeringen geothermiebronnen • Transport naar distributienetten • Netverzwaringskosten • Regelbaar vermogen • Kosten voor verwijderen WLQ

2.2 Scenario's

Scenario overzicht voor nieuw aan te sluiten woningen

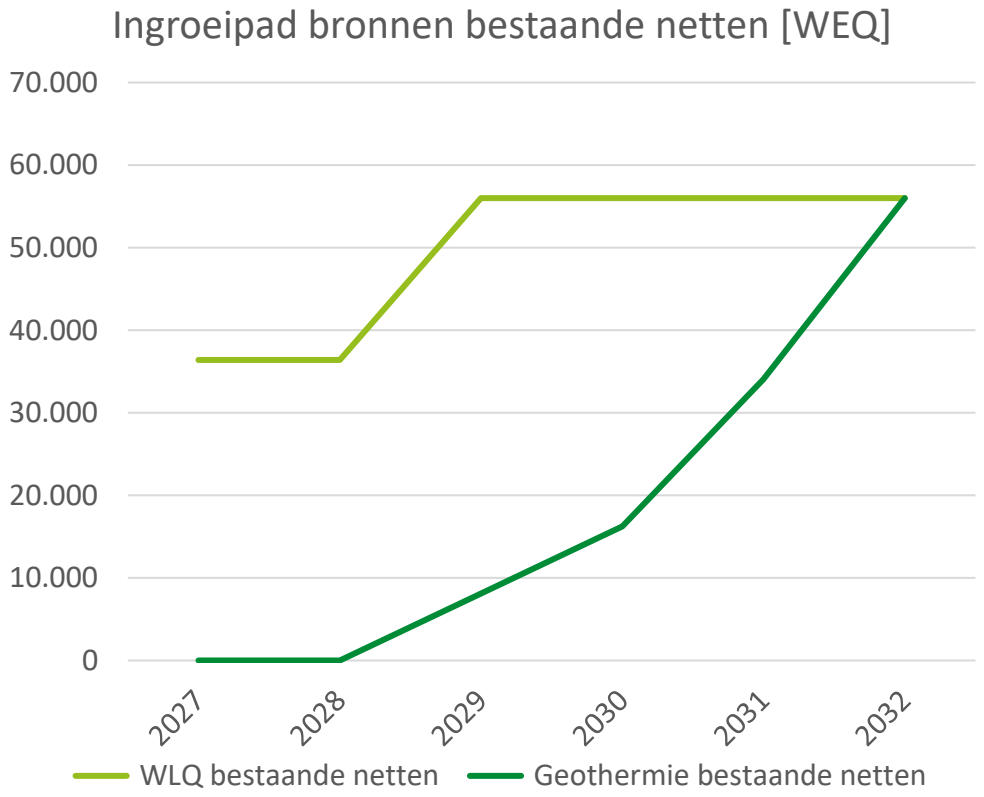
Tabel 2.2: Overzicht scenario's voor nieuw aan te sluiten woningen

Nieuw	Restwarmte via WLQ	Geothermie	Buurtwarmtepompen	Individueel All-electric	Individueel Hybride
Warmteoplossing basisbron	Bronnen uit de haven en transport via WLQ	Geothermie	Buurtwarmtepompen op lucht	Lucht/water warmtepomp	Warmtepomp en CV-ketel
Temperatuurniveau	Direct toepasbaar in net zonder opwaarderen	Direct toepasbaar in net zonder opwaarderen	Direct toepasbaar in net zonder opwaarderen	Toepasbaar na isolatie naar de RVO-standaard voor LT-verwarming	Direct toepasbaar
Piek/back-up	Gasgestookt; verduurzaming met groen gas	Gasgestookt; verduurzaming met groen gas	Gasgestookt; verduurzaming met groen gas	Geen piek/back-up	Geen piek/back-up. Verduurzaming met groen gas
Buffer	Onderdeel van systeem	Onderdeel van systeem	Onderdeel van systeem	Geen onderdeel	Geen onderdeel
Distributie-infrastructuur	Warmtedistributienet	Warmtedistributienet	Warmtedistributienet	Geen warmtedistributie	Geen warmtedistributie Wel gasdistributie
E-Netimpact op basis van piekvraag	Geen extra benodigde netverzwaring	Extra elektriciteitsvraag door pompen (0,3kWe/WEQ)	Extra elektriciteitsvraag door warmtepompen (1,1kWe/WEQ)	Extra elektriciteitsvraag door warmtepompen (1,6kWe/WEQ)	Extra elektriciteitsvraag door warmtepompen (1,0kWe/WEQ)
Ingroeipad	Start 2029; lineaire groei tot 2038	Start 2029; lineaire groei tot 2038	Start 2035 (vanwege congestie); lineaire ingroei tot 2050	Overstap op natuurlijk moment (lineaire ingroei tot 2043)	Overstap op natuurlijk moment (lineaire ingroei tot 2043)
Onderscheidende kostenposten	• WLQ-uitbreiding naar 248 MW (extra WOS'en) • Uitkoppeling bronnen in de haven om tot 248 MW te komen • Distributienetten • Afleverset + inpandig • Piek/back-up • Verwijderen gasnet	• Geothermiebron • Transportleidingen bron • Distributienetten • Afleverset + inpandig • Netverzwaringskosten • Regelbaar vermogen • Piek/back-up • Verwijderen gasnet	• Buurtwarmtepomp-installatie • Distributienetten • Afleverset + inpandig • Netverzwaringskosten • Regelbaar vermogen • Piek/back-up • Verwijderen gasnet	• Warmtepomp + inpandig • Isolatiekosten (de RVO-standaard voor LT-verwarming) • Aanpassing afgiftesysteem • Netverzwaringskosten • Regelbaar vermogen • Verwijderen gasnet	• Hybride warmtepomp + CV-ketel + inpandig • Netverzwaringskosten • Regelbaar vermogen • Instandhoudingskosten gasnet

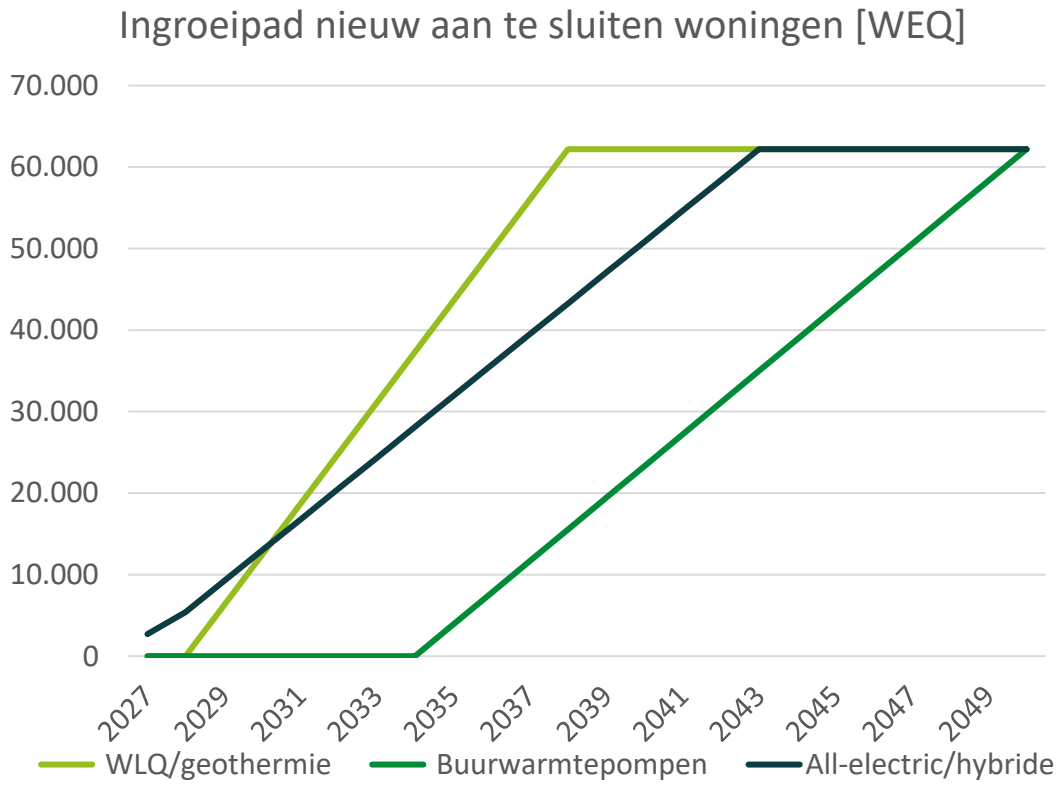
2.2 Scenario's

Ingroeipaden voor de verschillende scenario's

Onderstaande grafieken laten het ingroeipad per scenario zien voor de bestaande netten en nieuw aan te sluiten woningen. De gekozen ingroeipaden worden toegelicht in bijlage III: Scenario uitgangspunten.



Figuur 2.3: Ingroeipad bestaande netten



Figuur 2.4: Ingroeipad voor nieuw aan te sluiten woningen

FAKTON ENERGY

Haskoning
Enhancing Society Together

22-5-2026

3

Conclusies

3. Conclusies (1/5)

22-5-2026

Conclusies bestaande netten en nationale kosten nieuw aan te sluiten woningen: *Voor bestaande netten resulteert WLQ in de lagere nationale kosten en de beste score op technische, ruimtelijke en systeem overwegingen. Voor nieuw aan te sluiten woningen resulteert het hybride warmtepompscenario in de laagste nationale kosten. Daarbij liggen de nationale kosten van de verschillende scenario's in elkaars bandbreedte.*

In dit hoofdstuk beschrijven wij de conclusies van dit onderzoek. Wij beschrijven eerst de conclusies voor de bestaande netten, gevolgd door de conclusies voor nieuw aan te sluiten woningen.

Conclusies bestaande netten

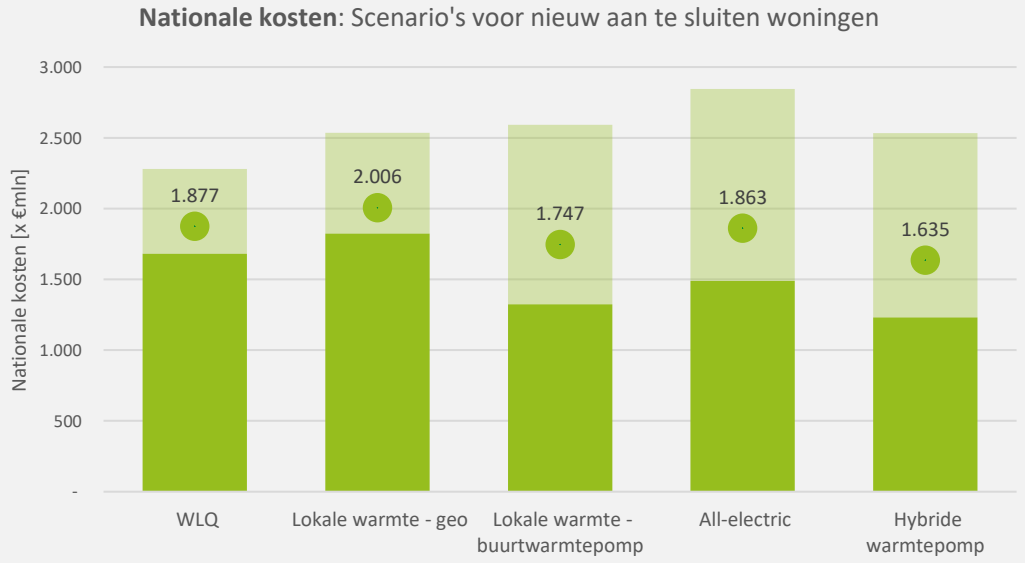
Voor bestaande netten resulteert restwarmte via WLQ in laagste nationale kosten
Voor de verduurzaming van de bestaande warmtenetten laat onze nationale kostenanalyse zien dat levering via WLQ de laagste nationale kosten oplevert. Daarbij hanteren wij het meetpunt "nu": de investeringsbeslissingen voor WLQ en de uitkoppeling van de bronnen in de haven voor deze bestaande netten zijn reeds genomen. Wij beschouwen deze investeringen daarom als *sunk costs* en nemen ze niet opnieuw mee als kostenpost in de vergelijking voor de bestaande netten. Het alternatief met geothermie vraagt nieuwe bronontwikkeling en aansluiting en komt daardoor hoger uit in nationale kosten. Ook wanneer we corrigeren voor een mogelijk synergie voordeel wanneer de volledige scope overgaat op geothermie komt WLQ tot de laagste nationale kosten.

Restwarmte via WLQ scoort beter op ruimtelijke inpasbaarheid en technische haalbaarheid
Daarnaast komt WLQ het beste naar voren op ruimtelijke inpasbaarheid en technische haalbaarheid. Het gebruik van WLQ voor de huidige netten gebruikt minder openbare ruimte aangezien WLQ reeds is gerealiseerd. Nieuw te ontwikkelen geothermiebronnen vragen additionele ruimte, ook wanneer WLQ verwijderd wordt. Daarnaast is de technische haalbaarheid van de bronuitkoppeling in de haven zeer aannemelijk door een verregaand ontwikkelstadium. Geothermie kent daarin nog ontwikkelrisico's.

Restwarmte via WLQ scoort beter op CO_2-uitstoot
WLQ biedt een duidelijke versnelling in de transitie naar CO_2-neutraliteit doordat de bestaande netten sneller verduurzaamd kunnen worden met levering van restwarmte via WLQ dan nieuw te ontwikkelen geothermiebronnen.

Conclusies nieuw aan te sluiten woningen

Voor nieuw aan te sluiten woningen resulteert het hybride scenario in de laagste nationale kosten en liggen de nationale kosten van de verschillende scenario's in elkaars bandbreedte. Daarbij is het hybride scenario het gevoeligst voor veranderingen in de (groen)gasprijs. Het buurtwarmtepomp scenario kent een grote gevoeligheid door latere overstap en daarmee langere gebruik van (groen)gas. De scenario's zijn ook gevoelig voor veranderingen in investeringskosten, waarbij in de collectieve scenario's deze gevoeligheid zit op de investeringen in transport en voor individuele oplossingen in de investeringen in de woning.



3. Conclusies (2/5)

22-5-2026

Technische haalbaarheid en ruimtelijke inpasbaarheid nieuw aan te sluiten woningen: *Voor nieuw aan te sluiten woningen achten wij alle onderzochte scenario's technisch haalbaar maar zien wij een aantal belangrijke aandachtspunten. Het WLQ-scenario voor nieuw aan te sluiten woningen achten wij ruimtelijk het best inpasbaar.*

Voor nieuw aan te sluiten woningen hebben alle scenario's specifieke voor- en nadelen gekeken naar de technische, ruimtelijke en systeemoverwegingen. Hieronder beschrijven wij de conclusies en de verschillende voor- en nadelen op de niveaus technische haalbaarheid, ruimtelijke inpasbaarheid en systeemoverwegingen.

Technisch haalbaarheid: alle scenario's technisch haalbaar
Technische haalbaarheid is de mate waarin een scenario binnen de beoogde tijd en binnen de gegeven fysieke en operationele randvoorwaarden gerealiseerd kan worden. Alle onderzochte scenario's achten wij technisch haalbaar. Hieronder beschrijven wij de belangrijkste aandachtspunten rondom technische haalbaarheid:

- Het hybride scenario bevat een grote onzekerheid door de verwachte beperkte beschikbaarheid van groen gas. Dit betreft een verdelingsvraagstuk tussen verschillende sectoren met een groen gasbehoefte. In lijn met PBL actualisatie van de Startanalyse 2025, is het aannemelijk dat groen gas ingezet gaat worden waar dit het meest kostenefficiënt is. Dit zijn typisch buurten met een lage warmtedichtheid waardoor een alternatief duurder is. Binnen dit onderzoek kijken wij naar een scope waarbij de warmtedichtheid hoog is en waar uit de Startanalyse volgt dat groen gas geen kostenefficiënte inzet heeft.

- Netcongestie vormt een risico in de realisatie van alle scenario's, waarbij het WLQ-scenario door de laagste elektriciteitsvraag het minste beslag legt op het elektriciteitsnet en daarmee het meest robuust is onder netbeperkingen. In het buurtwarmtepomp-scenario is het reëel dat in delen van het gebied tot 2035 geen nieuwe aansluitingen mogelijk zijn, omdat veel vermogen op één locatie moet worden ingepast. Ook geothermie en de WOS'en voor WLQ leiden tot een extra elektra-aansluiting, waardoor een tijdige, voldoende zware aansluiting onzeker is en de planning van bron en inbedrijfname onder druk komt. Netbeheerders rekenen op collectieve warmte binnen geselecteerde scope. Bij een overstap naar individuele oplossingen is er meer netverzwaring nodig, welke in de toekomst tot verdere netcongestie kan leiden.

- De beschikbaarheid van restwarmte in de haven van Rotterdam vormt een risico: er is voldoende restwarmtepotentie blijkt uit de Regionale Energie Strategie (RES) en er is interesse voor uitkoppeling, maar dit kent uitdagingen. Veel bedrijven geven aan in de nabije toekomst te kiezen voor eigen gebruik van de restwarmte door stijgende CO_2- en energiekosten en door regelgeving voor energiebesparing. Daarnaast heeft warmte-uitkoppeling vaak lagere prioriteit dan activiteiten voor het primaire proces, is de warmte regelmatig versnipperd en soms lastig bereikbaar.

Ruimtelijke inpasbaarheid: WLQ-scenario ruimtelijk het best inpasbaar
Voor de ruimtelijke inpasbaarheid van de verschillende scenario's zijn de mate van locatieflexibiliteit en de beschikbaarheid van schaarse stedelijke ruimte bepalend. Uit onze analyse volgt dat het WLQ scenario ruimtelijk het best inpasbaar lijkt, er zijn namelijk minder m^2 nodig en de ruimte is reeds gereserveerd. Voor lokale WOS-locaties moet de benodigde ruimte nog lokaal ingepast worden, vergelijkbaar met trafohuisjes in de individuele scenario's. De overige scenario's vragen meer ruimte en bieden minder flexibiliteit, met name door de benodigde uitbreiding van verdeelstations.

Hieronder beschrijven wij bulletgewijs de mate van ruimtelijke inpasbaarheid voor de verschillende in te passen energie-assets in de scenario's. Op de volgende pagina schetsen wij daarbij in de tabel de feitelijke ruimtevraag per scenario.

- Restwarmtebronnen in de haven zijn in veel gevallen inpasbaar, omdat deze installaties doorgaans op bestaande industrieterreinen kunnen landen, ondanks dat dit extra installaties en 'zware leidingen' op het terrein vraagt. De benodigde ruimte en randvoorwaarden sluiten vaak aan bij de aanwezige industriële functies, waardoor de warmte-uitkoppeling en benodigde leidingen meestal inpasbaar zijn.

- Voor de WOS'en van WLQ geldt dat de locaties in principe al gekozen zijn en daarmee ook als inpasbaar worden beschouwd. De ruimtelijke opgave zit hier minder in het vinden van ruimte en meer in het zorgvuldig inpassen binnen de gekozen plekken en het borgen van randvoorwaarden, zoals bereikbaarheid en veiligheid.

3. Conclusies (3/5)

22-5-2026

Ruimtelijke inpasbaarheid nieuw aan te sluiten woningen: *Het WLQ-scenario vraagt de minste ruimte in de openbare ruimte. De ruimtelijke inpasbaarheid van de verschillende scenario's wordt bepaald door locatieflexibiliteit en de beschikbaarheid van schaarse stedelijke ruimte bepalend. Uitbreiding van verdeelstations kent de minste flexibiliteit.*

- Geothermiebronnen hebben per put een relatief grote ruimtevraag, maar daar staat tegenover dat er maar weinig locaties nodig zijn. Bovendien is de locatiekeuze relatief flexibel door de grote potentie in het gebied, wat kansen biedt om deze bronnen te positioneren buiten de meest schaarse stedelijke gebieden.
- Buurtwarmtepompen vragen per station beperkt ruimte, maar door het grote aantal benodigde locaties ontstaat wel een ruimtelijke uitdaging. Juist omdat veel van deze locaties in of nabij de schaarse stedelijke ruimte moeten worden gevonden, kan dit knellen met andere functies en met ondergrondse/ bovengrondse drukte.
- Regelbaar vermogen (RV) vraagt in essentie om één locatie, met bovendien flexibiliteit om deze buiten de schaarse stedelijke ruimte te kiezen. Daarmee is de ruimtelijke inpasbaarheid over het algemeen goed, zolang de locatiekeuze aansluit bij de juiste netlaag.
- Verdeelstations kennen een beperkte flexibiliteit in locatiekeuze en moeten vaak juist binnen schaarse stedelijke ruimte landen om het netwerk goed te kunnen bedienen. Dit maakt de inpassing gevoeliger voor concurrentie met andere ruimteclaims en voor beperkingen door bestaande bebouwing en ondergrondse infrastructuur. Het aantal verdeelstations dat verzwaring nodig heeft is nader te bepalen, en afhankelijk van locatie van verzwaring en netvlakken.
- Lokale WOS en trafohuisjes hebben een vergelijkbare ruimtevraag in diezelfde schaarse stedelijke context. Het verschil zit vooral in de flexibiliteit: trafohuisjes zijn minder flexibel te positioneren, waardoor deze ruimtelijk complexer inpasbaar zijn dan WOS'en.

Onderstaande tabel 3.1 geeft een overzicht van de te plaatsen onderdelen in de openbare ruimte en ruimte in de woning per scenario.

	WLQ met restwarmte			**Geothermie**			**Buurtwarmtepomp**			**All-electric**			**Hybride**		
	Aantal	m² per stuk	**Totaal m²**	Aantal	m² per stuk	**Totaal m²**	Aantal	m² per stuk	**Totaal m²**	Aantal	m² per stuk	**Totaal m²**	Aantal	m² per stuk	**Totaal m²**
Geothermiebron *Na realisatie*				8	5.000 *1.000*	**40.000** ***8.000***									
WOS WLQ	3	500	**1.500**												
Verdeelstations				ntb	700	**700**	ntb	2.400	**2.400**	ntb	3.500	**3.500**	ntb	2.200	**2.200**
Regelbaar vermogen				1	1.900	**1.900**	1	6.500	**6.500**	1	6.000	**6.000**	1	5.600	**5.600**
WOS lokaal	135	35	**4.725**	135	35	**4.725**	135	200	**27.000**						
Trafohuisjes										173	35	**6.050**	103	35	**3.605**
Totaal in openbare ruimte			**6.225**			**15.325**			**35.900**			**15.550**			**11.405**
Ruimte in de woning		**0,5**			**0,5**			**0,5**			**2**			**1**	

Tabel 3.1: Benodigde ruimte per scenario in de openbare ruimte

3. Conclusies (4/5)

Ruimtelijke inpasbaarheid en systeemperspectieven nieuw aan te sluiten woningen: *Collectieve scenario's vragen additionele ruimte in de ondergrond voor de realisatie van warmtenetten ten opzichte van individuele oplossingen. OP woningniveau doen collectieve scenario's het kleinste ruimtebeslag. Voor nieuw aan te sluiten woningen kennen alle scenario's voor- en nadelen op systeemoverwegingen.*

- Warmtenetten vragen extra ruimte in de toch al volle (binnenstedelijke) ondergrond door warmteleidingen (gemiddeld ca. 0,75 m tracébreedte). In de all-electric en hybride scenario's zijn geen warmteleidingen benodigd, maar deze vereisen juist verzwaring van elektriciteitskabels vaak in de stoep op laagspanningsniveau waar eveneens al veel kabels en leidingen liggen.

- Op woningniveau zijn collectieve warmtescenario's het meest ruimte-efficiënt. Een warmtenetaansluiting vraagt circa 0,5 m² voor een afleverset en is vergelijkbaar met een cv-ketel. Individuele oplossingen vragen meer ruimte, circa 2 m² per woning bij all-electric en 1 m² bij hybride. Deze extra ruimte is nodig voor de warmtepomp, buffervat en een buitenunit, al kan die laatste vaak beperkt impact hebben wanneer deze op dak of gevel geïnstalleerd wordt.

<u>Systeemoverwegingen: alle scenario's kennen voor- en nadelen</u>
Systeemoverwegingen betreffen de afwegingen van het gehele regionale energiesysteem van Zuid-Holland. Hiervoor kijken wij verder dan één techniek en beoordelen wij hun bijdrage aan een robuuste, betaalbare en uitvoerbare totaaloplossing. De systeemoverwegingen voor nieuw aan te sluiten woningen beschrijven wij als volgt:

- Geothermie en buurtwarmtepompen bieden vanuit systeemperspectief een voordeel ten opzichte van restwarmte door het gebrek aan afhankelijkheid van belangen van industriële partijen. Geothermie en buurtwarmtepompen zijn primair gericht op warmtelevering en kennen daardoor minder afhankelijkheid van strategische keuzes van industrie. Daarnaast is de leveringszekerheid van industriële restwarmte op de langetermijn onzeker, omdat de efficiëntie en inrichting van industriële processen mogelijk verandert. Hierdoor kan de uitkoppeling van restwarmte in de haven in de toekomst de betaalbaarheid van warmte onder druk zetten.

- Een regionale backbone zoals WLQ faciliteert op de langere termijn, na ca 15 jaar, een robuust warmtesysteem Zuid-Holland met meerdere bronnen en uitwisseling tussen warmteclusters. Restwarmte biedt een stabiele basisvoorziening waardoor lokale bronnen, met name geothermie, gefaseerd kunnen meegroeien. Daarmee verschuift de aanpak van een of/of-keuze naar een en/en-benadering en met als resultaat dat meer woningen aan kunnen sluiten op een collectief warmtesysteem door de regionale uitwissel- en schaalvoordelen en dat de nationale kosten en de kosten per aansluiting lager worden. Dit komt overeen met het "Samenland-principe" uit een eerdere studie van RES Rotterdam Den Haag. Daarnaast laat onderzoek van Haskoning (2021) zien dat een regionale backbone in combinatie met geothermie de onrendabele top per woning met circa een kwart kan verlagen ten opzichte van alleen lokale collectieve warmteontwikkeling.

- Een expliciete keuze tussen collectieve warmte en individuele systemen binnen de onderzochte scope is een randvoorwaarde om de uitgerekende nationale kosten te kunnen realiseren. Wanneer deze keuze uitblijft, ontwikkelen beide oplossingsrichtingen zich naar verwachting naast elkaar, waardoor er grote kans is dat ze elkaar gaan ondermijnen. Warmtenetten worden bijvoorbeeld aangelegd met onnodig lage dichtheid doordat er ook veel individuele warmtepompen in de wijk zijn geïnstalleerd. In de praktijk resulteert dit in een stapeling van nadelen: hogere nationale kosten, meer benodigde netverzwaring van het elektriciteitsnet, en meer vertraging en minder planbaarheid in de uitvoering van de opgave door netbeheerders. In gebieden waar collectieve warmte tot op heden de beoogde lijn is, adviseren de netbeheerders om deze lijn vast te houden. Dit adviseren zij gezien de omvangrijke groei in elektriciteitsvraag komende decennia, de bijbehorende congestie en de grote en complexe opgave van de netbeheerders om het net bijbehorend te laten meegroeien.

3. Conclusies (5/5)

22-5-2026

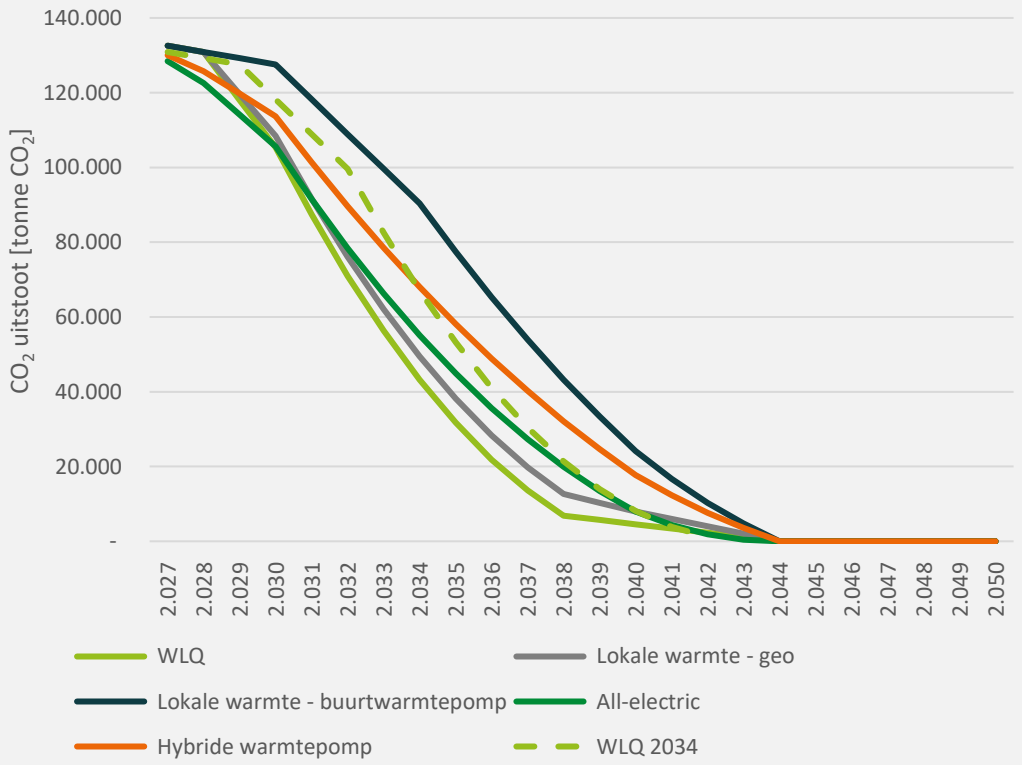
CO_2 uitstoot en afhankelijkheid gas nieuw aan te sluiten woningen: *Het vollooppad bepaalt sterk de reductie van CO_2 en afhankelijkheid van gas. Het all-electric scenario heeft de laagste afhankelijkheid van gas omdat gas geen onderdeel uitmaakt van de eindoplossing voor nieuw aan te sluiten woningen.*

- Het al dan niet in stand houden van het bestaande gasnet voor groen gas is een systemische afweging binnen de inrichting van het totale energiesysteem. Omdat de infrastructuur al aanwezig is, kan hergebruik op korte termijn de uitvoeringsdruk beperken in een context van schaarste aan mensen, materialen, vergunningsruimte en toenemende netcongestie. Het verzwaren van het elektranet en aanleggen van een nieuw energiesysteem in de vorm van collectieve warmte vraagt intensieve samenwerking tussen gemeenten en netbeheerders/warmtebedrijven. Echter kan op termijn het gasnet in stand houden in gebieden waar een alternatief beschikbaar is leiden tot hogere kosten voor de eindgebruiker.

CO_2 reductie afhankelijk van vollooppad
Voor nieuw aan te sluiten woningen is de volloopsnelheid de bepalende factor voor de snelheid richting CO_2-neutraliteit. De scenario's met collectieve warmte via WLQ en geothermie resulteren in de snelste afbouw van CO_2 met de huidige uitgangspunten. Een vertraging van het volloop (gestippelde lijn presenteert een vertraagde volloop van WLQ) resulteert in latere CO_2-reductie. Het vraagt duidelijke sturing op vraagcreatie om dit vollooppad te realiseren. De grafiek presenteert de afbouwpaden per scenario.

Het all-electric scenario heeft de laagste afhankelijkheid van gas
All-electric heeft in 2050 de laagste afhankelijkheid van gas, omdat het gasverbruik na de overstap volledig verdwijnt. In het WLQ scenario en lokale warmte met geothermie scenario daalt het gasverbruik sterk zodra woningen aansluiten; daarna resteert vooral gas voor piek- en back-up. In het buurtwarmtepompscenario bouwt het gasverbruik later af omdat de woningen later overstappen door e-netcongestie. Dit scenario eindigt op een vergelijkbaar niveau als de andere collectieve oplossingen. Het hybride scenario wijkt af en kent juist de hoogste gasafhankelijkheid, doordat de cv-ketel structureel onderdeel blijft van de oplossing voor een deel van de warmtevraag en voor piekmomenten. De mate en snelheid van afbouw worden in alle scenario's vooral bepaald door de volloopsnelheid van de aansluitingen.

CO_2-uitstoot: per scenario voor nieuw aan te sluiten woningen



FAKTON ENERGY

Haskoning
Enhancing Society Together

22-5-2026

4

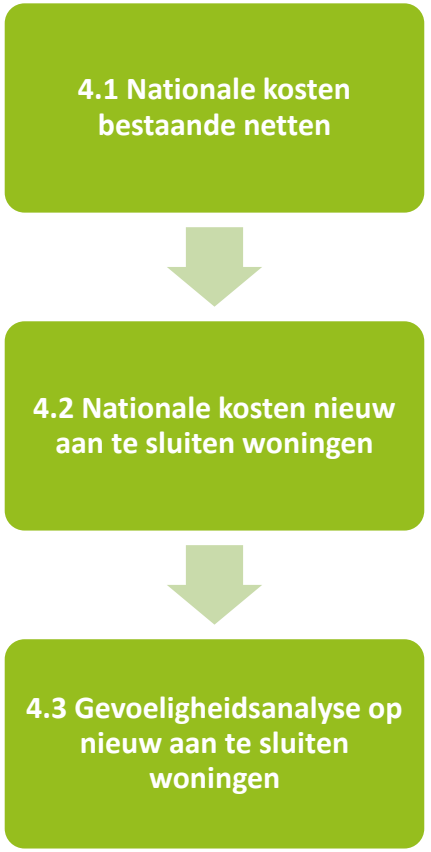
Resultaten nationale kosten

Vergelijking WLQ met alternatieve warmteoplossingen

4. Resultaten nationale kosten

In dit hoofdstuk presenteren wij de resultaten van de nationale kostenanalyse voor bestaande warmtenetten en nieuw aan te sluiten woningen, inclusief een gevoeligheidsanalyse

In dit hoofdstuk presenteren wij de resultaten van de nationale kostenanalyse. We starten met de resultaten voor bestaande warmtenetten (4.1), gaan vervolgens in op de resultaten voor nieuw aan te sluiten woningen (4.2) en sluiten af met een gevoeligheidsanalyse voor nieuw aan te sluiten woningen (4.3). De onderliggende uitgangspunten van de scenario's zijn opgenomen in bijlage II en III.



Figuur 4.1: Opbouw resultaten nationale kosten analyse

4.1 Bestaande warmtenetten

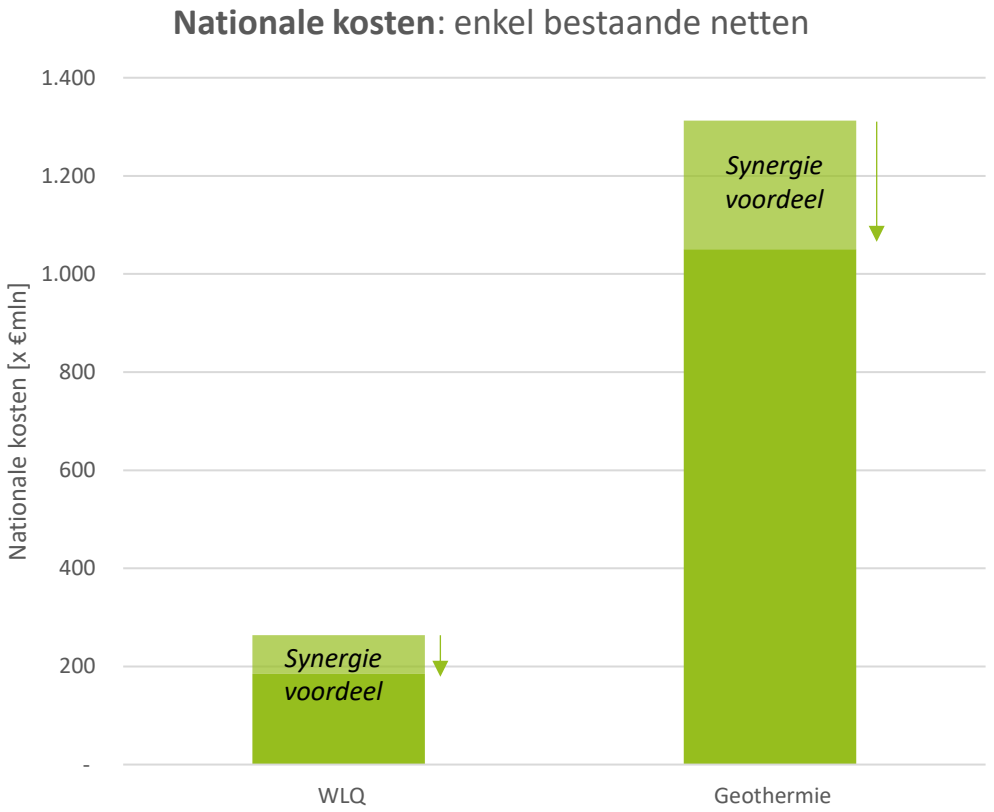
Het scenario restwarmte via WLQ leidt voor bestaande warmtenetten tot de laagste nationale kosten.

Restwarmte via WLQ leidt tot de laagste nationale kosten voor de bestaande warmtenetten
Voor de verduurzaming van de bestaande warmtenetten laat de analyse zien dat levering van restwarmte via WLQ tot de laagste nationale kosten leidt. De grafiek presenteert de totale nationale kosten per scenario, netto contant gemaakt met de maatschappelijke discontovoet van 2,8% (gecorrigeerd voor inflatie).

In deze vergelijking hanteren wij het meetpunt “nu”: de investeringsbeslissingen voor de realisatie van WLQ en restwarmtebronuitkoppelingen zijn reeds genomen. Wij beschouwen de bijbehorende investeringen daarom als *sunk costs* en nemen ze niet opnieuw op als onderscheidende kostenpost voor de keuze tussen de doorgerekende alternatieven voor de bestaande netten. De resterende nationale kosten in het WLQ scenario betreffen de operationele kosten van WLQ (115 MW), energiekosten piek- en back-up en ETS-kosten.

Het alternatief waarbij bestaande warmtenetten worden gevoed met lokale geothermie leidt tot hogere nationale kosten. Dit komt door de benodigde investeringen in nieuwe geothermiebronnen en uitkoppeling richting de bestaande distributienetten. Overige kosten in dit scenario betreft het onderhoud van de geothermiebronnen, energiekosten piek- en back-up en ETS-kosten.

<u>Gevoeligheid synergie voordeel bij aansluiten volledige scope: geen impact op de conclusie</u>
In het geval dat zowel de bestaande netten als nieuw aan te sluiten woningen gebruik maken van WLQ of lokale geothermie als bron resulteert dit in lagere kosten per aansluiting. Voor geothermie hanteren wij een afslag op de investeringen als gevolg van de schaalvoordelen. We hanteren hier, in afstemming met EBN, 20% voor. Dit komt voort uit de hogere benuttingsgraad van assets en arbeid. Voor WLQ hanteren wij een afslag op de operationele kosten van WLQ van 40%, gebaseerd op de businesscase van WLQ. We zien met dit synergie voordeel dat de conclusie blijft staan; ook dan leidt de levering van restwarmte via WLQ voor bestaande netten tot de laagste nationale kosten.



Figuur 4.2: Resultaten nationale kosten analyse bestaande warmtenetten

4.2 Nieuwe aansluitingen

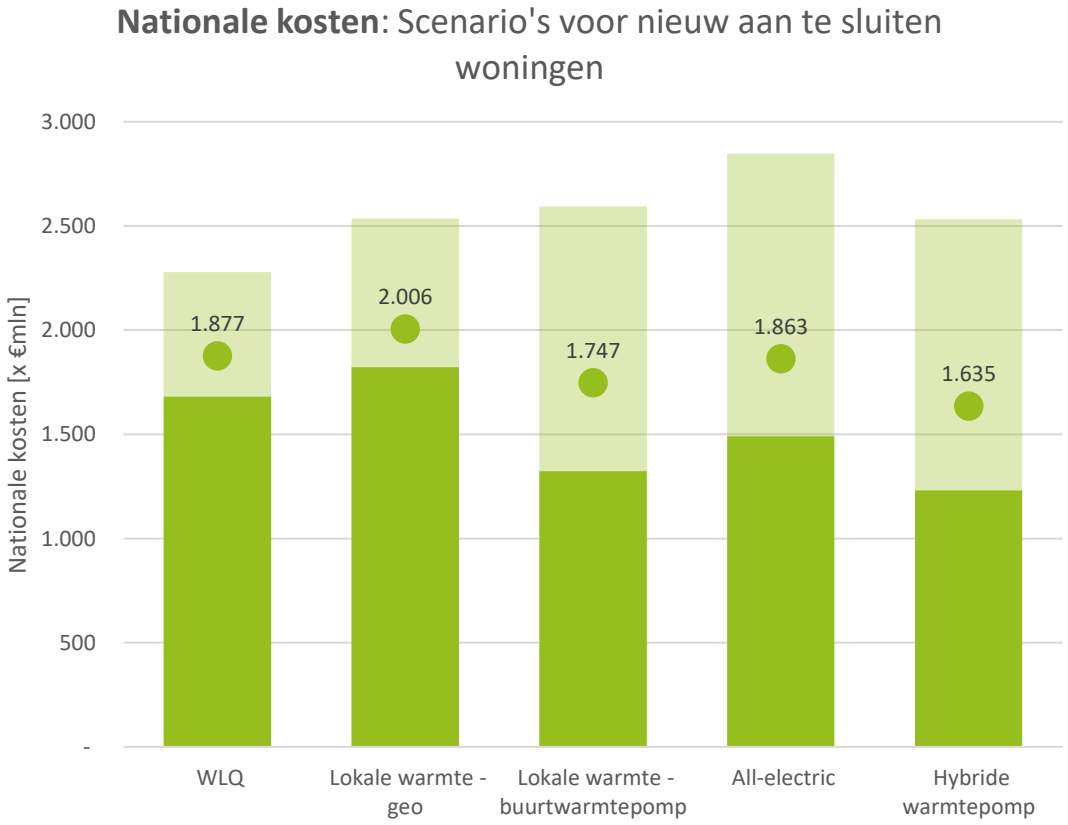
22-5-2026

Voor nieuw aan te sluiten woningen resulteert de hybride warmtepomp in de laagste nationale kosten, uitkomsten liggen in elkaars bandbreedte.

De hybride warmtepomp resulteert in de laagste nationale kosten voor nieuw aan te sluiten woningen. Echter door onzekerheden liggen de nationale kosten van de verschillende scenario's in elkaars bandbreedte.
Voor de nieuw aan te sluiten woningen laat de nationale kostenanalyse zien dat de verschillende scenario's in belangrijke mate binnen elkaars gevoeligheden liggen, waarbij het hybride scenario met de basis uitgangspunten resulteert in de laagste nationale kosten. De grafiek presenteert de nationale kosten per scenario voor de nieuw aan te sluiten woningen. De resultaten bevatten een onzekerheid van 30% passend bij estimation class 4. Estimation classes is een standaardmethode om de nauwkeurigheid en volwassenheid van een kostenraming in te delen naarmate een project vordert. Estimation class 4 is passend bij een haalbaarheidsonderzoek zoals deze.

<u>Hybride warmtepomp resulteert in laagst nationale kosten</u>
Het hybride warmtepompscenario resulteert in de laagste nationale kosten. Dit komt door de beperkte investeringen voor het instandhouden van het huidige gasnet en beperkte additionele investeringen in het elektranet door de additionele vermogensvraag. Bij collectieve systemen ligt het zwaartepunt van de nationale kosten in de investering in een nieuw energiesysteem, het warmtenet.

<u>De verschillen tussen scenario's vallen in belangrijke mate binnen elkaars gevoeligheden.</u>
Belangrijke gevoeligheden voor het bepalen van de nationale kosten per scenario zijn: energieprijzen, vollooppaden, en uitgangspunten zoals woningaantallen en isolatiemaatregelen. De gevoeligheidsanalyse op pagina 30-34 geeft een overzicht van de door ons doorgerekende gevoeligheden en hun impact.



Figuur 4.3: Resultaten nationale kosten analyse nieuwe aansluitingen

4.2 Nieuwe aansluitingen

Investeringskosten, bevatten een onzekerheidsbandbreedte van circa 30%

De volgende pagina presenteert de **investeringskosten** voor enkel nieuw aan te sluiten woningen per scenario. Hieronder beschrijven wij de verschillende componenten en interpreteren wij de resultaten:

- **Bronnen warmte**: dit betreft voor WLQ de investering in bronuitkoppeling in de haven, gelijk aan € 250.000 / MW. Voor geothermie betreft het de ontwikkeling van geothermiebronnen zonder warmtepomp (1,7 miljoen €/MW) en voor de buurtwarmtepompen de warmtepomp (1,4 miljoen €/MW). De individuele oplossingen nemen we mee in de kosten in de woning.
- **Piek en backup**: dit betreft de ontwikkeling van piek-/back-up-ketels en -buffers. Dit is voor de collectieve scenario's gelijk aan €19 mln.
- **Regelbaar vermogen elektra**: dit betreft de investering in additioneel regelbaar vermogen. Het vermogen is gekoppeld aan de additionele elektravraag. Investering bedraagt €1,4 mln. per MW.
- **Infrastructuur warmte - distributie**: dit betreft de investering in lokale distributienetten
- **Infrastructuur warmte – transport:** dit betreft voor het WLQ-scenario de additionele investering om WLQ operationeel te maken van 115 MW naar 248 MW. Voor geothermie betreft dit de investering in de infrastructuur van de bron naar de lokale distributienetten.
- **Infrastructuur elektra**: dit betreft de investering in netverzwaring per scenario. Voor de individuele oplossingen gaan we uit van verzwaring op LS/MS/HS niveau voor €1,1 mln. per MWe. Voor de collectieve oplossingen gaan we uit van verzwaring op MS/HS niveau voor €0,7 mln. per MWe. Voor het WLQ-scenario nemen wij geen additionele netverzwaringskosten mee.
- **Infrastructuur gas**: dit betreft de kosten voor de instandhouding van het aardgasnet.
- **Kosten in de woning**: dit betreft voor de collectieve oplossingen de investering in een afleverset en inpandige werkzaamheden. Voor de individuele oplossingen betreft dit de warmtepomp en voor hybride ook een CV-ketel.
- **Isolatiekosten**: dit betreft de isolatiekosten tot de RVO-standaard voor LT-verwarming , enkel voor het all-electric scenario.
- **Kosten verwijderen aardgasnet**: dit betreft de kosten voor het verwijderen van het aardgasnet in alle scenario's behalve het hybride-scenario.
- **CV-ketel vervangen:** dit betreft de kosten voor het vervangen van een CV-ketel van individuele huishoudens die nog niet de overstap maken naar het alternatief.
- **Restwaarde**: dit betreft de restwaarde per scenario op basis van de technische levensduur van de investeringen.

Interpretatie resultaten

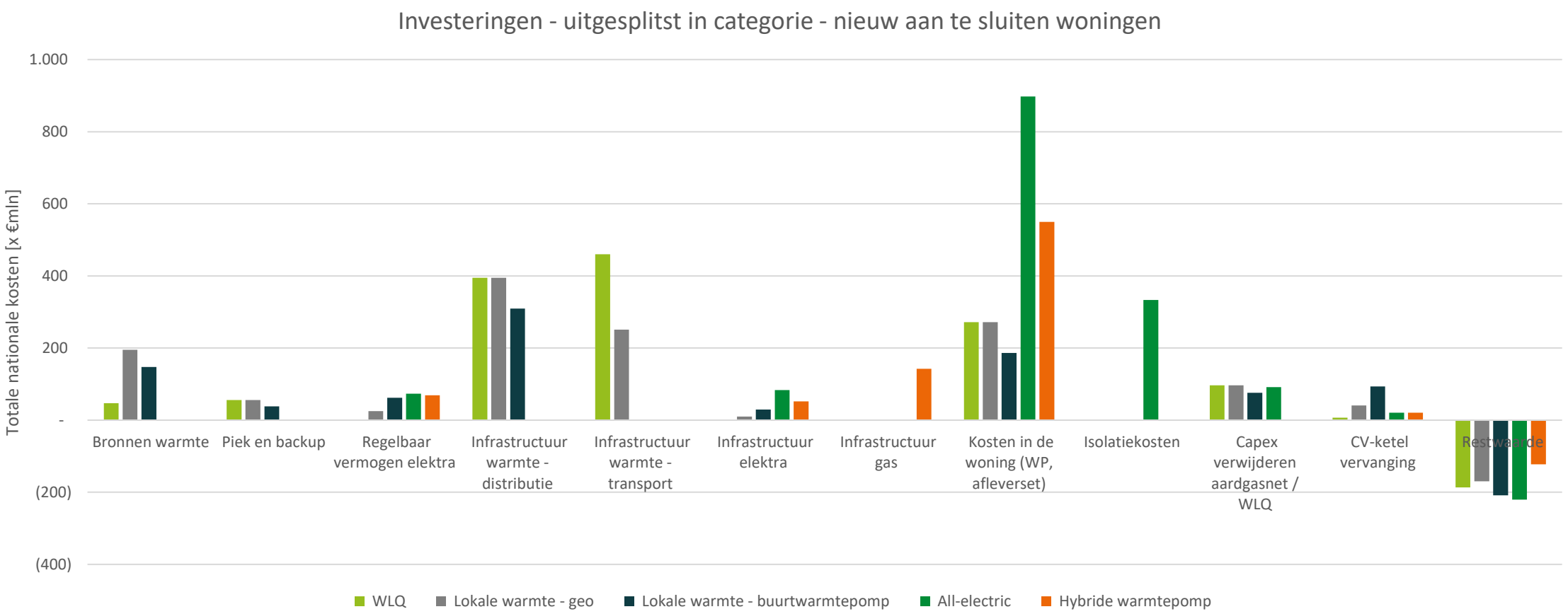
Het zwaartepunt van de investeringen ligt in het WLQ-scenario in de infrastructuur en bij all-electric in de woning
Op hoofdlijnen laat de kostenopbouw zien dat de zwaartepunten per scenario verschillen. Bij WLQ ligt het zwaartepunt van de investeringen in de infrastructuur: uitbreiding van WLQ en de aanleg van distributienetten in de nieuwe gebieden. Bij all-electric oplossingen verschuift een groter deel van de investeringen naar woninggebonden aanpassingen, waaronder de warmtepomp, benodigde isolatie- en afgiftesysteemmaatregelen.

Benodigde investering in netverzwaring en regelbaar vermogen relatief klein aandeel in nationale kosten
De systeemkosten die samenhangen met de extra elektriciteitsvraag van de verschillende scenario's, zoals netverzwaring en additioneel regelbaar vermogen, resulteert in een relatief klein aandeel van de nationale kosten.

Restwaarde het hoogst bij all-electric en buurtwarmtepompen
De restwaarde is absoluut gezien het hoogst in het all-electric-scenario omdat de investeringen in isolatiemaatregelen tot een laat stadium in de tijd gedaan worden en lang waarde houden. Het buurtwarmtepompscenario heeft ook een hoge restwaarde omdat in dit scenario de transitie later op gang komt en de investeringen daardoor later in de tijd vallen. Hierdoor ontstaat er een hogere restwaarde na de looptijd van 30 jaar.

4.2 Nieuwe aansluitingen

22-5-2026



Figuur 4.5: Investeringen per scenario, uitgesplitst in categorieën, netto contante waarde

4.2 Nieuwe aansluitingen

Operationele kosten, bevatten een onzekerheidsbandbreedte van circa 30%

De volgende pagina presenteert de **operationele kosten** voor enkel nieuw aan te sluiten woningen per scenario. Hieronder beschrijven wij de verschillende componenten en interpreteren wij de resultaten:

- **OPEX Bronnen warmte**: dit betreft voor WLQ de operationele kosten voor het transport en de WOS'en, voor geothermie de operationele kosten van de doubletten en voor de buurtwarmtepomp de operationele kosten voor de warmtepomp.
- **OPEX WLQ:** dit betreft de operationele kosten voor WLQ om tot 248 MW te komen, volgend uit de businesscase van WTS.
- **OPEX Piek en backup**: dit betreft de operationele kosten voor piek en back-up in de collectieve scenario's.
- **OPEX Regelbaar vermogen elektra**: dit betreft de operationele kosten voor het regelbaar vermogen elektra. Dit is afhankelijk van de additionele investering in het regelbaar vermogen per scenario.
- **OPEX Infrastructuur warmte**: dit betreft de operationele kosten voor de distributienetten en de WOS'en.
- **OPEX In de woning**: dit betreft voor de collectieve scenario's het onderhoud aan de afleverset. Voor de individuele oplossingen betreft dit het onderhoud aan de warmtepomp en in het geval van de hybride warmtepomp ook de CV-ketel.
- **Overhead**: dit betreft kosten voor administratie bij de energiebedrijven.
- **Elektra inkoop**: dit betreft de totale inkoop van elektra (commodity) over een looptijd van 30 jaar per scenario na overstap op het duurzame alternatief. Voor de collectieve scenario's betreft dit pompenergie voor de distributienetten. Het elektraverbruik voor transport via WLQ zit verwerkt in OPEX WLQ. Voor de buurtwarmtepomp komt daar nog de elektra vraag voor de warmtepomp bij. Voor de individuele oplossingen betreft dit het elektraverbruik van de warmtepomp.
- **Gas inkoop**: dit betreft de totale inkoop van gas (commodity) over een looptijd van 30 jaar per scenario voor én na overstap op het duurzame alternatief. Voor alle scenario's is het gasverbruik van de CV-ketel voor de overstap naar het duurzame alternatief meegenomen. Na de overstap nemen wij voor de collectieve systemen gasverbruik mee voor piek- en backup. Voor het hybride scenario is dit het aandeel gas voor warmtelevering in de woning.
- **ETS**: dit betreft de ETS-kosten gekoppeld aan de uitstoot per scenario, zowel voor als na overstap op een duurzaam alternatief.

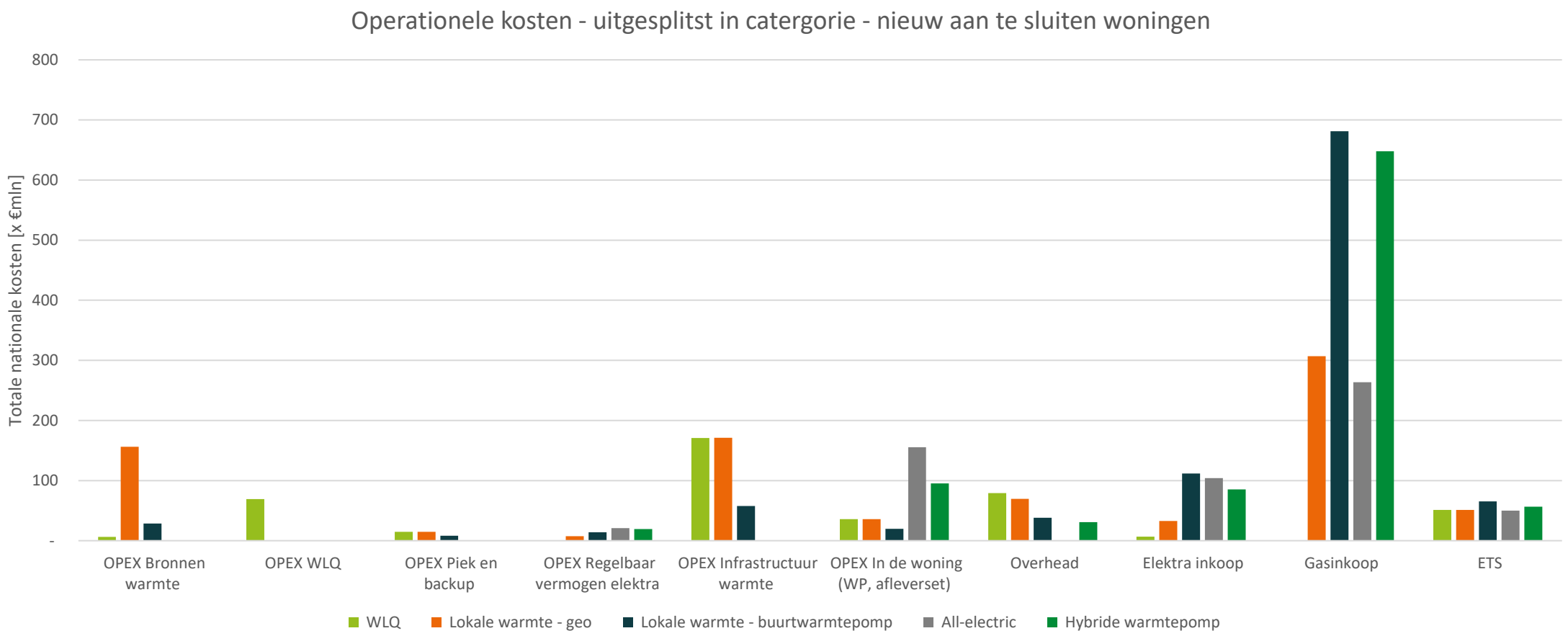
Interpretatie resultaten

Het zwaartepunt van de operationele kosten ligt in alle scenario's bij inkoop van gas
In de operationele kosten zien wij eveneens een verschillend profiel per scenario. Collectieve warmtesystemen kennen relatief meer kosten voor beheer, onderhoud en exploitatie van infrastructuur en centrale installaties. Individuele oplossingen kennen relatief meer kosten die samenhangen met elektriciteitsverbruik en met onderhoud van woninginstallaties zoals een warmtepomp. Echter ligt bij alle scenario's het zwaartepunt op de inkoop van gas. In de collectieve scenario's betreft dit het benodigde gas voor de piek- en back-up van het systeem. Het lokale buurtwarmtepomp scenario heeft de hoogste gasvraag omdat dit scenario later overgaat op de duurzame oplossing waardoor er een aanzienlijk aandeel gasverbruik voor overstap in het scenario zit.

4.2 Nieuwe aansluitingen

22-5-2026

Operationele kosten, bevatten een onzekerheidsbandbreedte van 20%



Figuur 4.6: Operationele kosten per scenario, uitgesplitst in categorieën, netto contante waarde

4.3 Gevoeligheidsanalyse

De nationale kosten voor de nieuw aan te sluiten woningen kennen een onzekerheid van 30%; daarom rekenen we gevoeligheden door op energieprijzen, investeringskosten en onderzoek specifieke uitgangspunten.

De nationale kosten voor de nieuw aan te sluiten woningen kennen een onzekerheid van 30%. In deze studie toetsen wij daarom de impact van de volgende gevoeligheden:

Energieprijzen

- De prijs van (groen) gas: het basis uitgangspunt betreft een commodity gasprijs van 0,30 €/m^3 (prijspeil 2025, volledig grijsgas) met een ontwikkeling tot 2,40 €/m^3 (volledig groen gas en geïndexeerd) in 2050. In de gevoeligheidsanalyse rekenen wij met een verdubbeling en een halvering van deze gasprijs.

- De prijs van elektra: het basis uitgangspunt betreft een commodity elektraprijs van 0,09 €/kWh. Deze daalt richting 2030 naar 0,073 €/kWh op basis van de KEV 2025 prognoses. Daarna indexeren wij met 2% per jaar. In de gevoeligheidsanalyse hanteren wij een toename van de elektraprijs met 50% en halvering van de elektraprijs.

- De prijs voor het uitkoppelen van restwarmte: het basis uitgangspunt voor de restwarmte bronkosten betreft € 250.000 / MW. De bronkosten zijn sterk afhankelijk van het industriële proces waarop wordt uitgekoppeld en of er CCS nodig is om tot een duurzame bron te komen. In de gevoeligheidsanalyse rekenen wij daarom met een verdubbeling van deze kosten en een halvering.

Investeringskosten

- Investeringskosten in distributienetten (warmte en elektra): de investeringskosten in distributienetten kennen gevoeligheden doordat deze in beperkte ruimte in de ondergrond gerealiseerd moeten worden. Dit geldt zowel voor warmte als elektra. Daarom rekenen wij met een gevoeligheidsanalyse op de investeringskosten voor transport (WLQ en transport van geo), distributie van warmte, en netverzwaring van elektra. De bandbreedte die wij hanteren is – 30% en + 30% (estimation class 4, haalbaarheidsstudie). Voor de investeringen op WLQ hanteren wij een bandbreedte van 15% aangezien deze getallen verder uitgewerkt zijn (estimation class 2, aanbesteding).

- Investeringskosten in de woning: ook de investeringskosten in de woning kennen een gevoeligheid doordat er veel verschil zit in woningtypes. Daarom rekenen wij met een gevoeligheid op de investeringskosten in de woning, namelijk de isolatiekosten, afleversets en warmtepomp (all-electric en hybride). De bandbreedte die wij hanteren is – 30% en + 30%.

Onderzoek specifieke uitgangspunten

- Isolatie maatregelen: wij zien in de resultaten dat de investering in isolatie een aanzienlijk aandeel vormt van de nationale kosten van het all-electric scenario. Als gevoeligheid bekijken wij het effect wanneer we voor alle scenario's deze isolatiekosten meenemen en de kosten stijgen met 30%. Ook bekijken wij het effect wanneer we voor geen van de scenario's deze kosten meenemen omdat bewoners mogelijk autonoom hun woning gaan isoleren waardoor de isolatiekosten geen onderscheidende kosten meer zijn tussen de scenario's. Alle scenario's gaan daarin uit van de warmtevraag passend bij LT-warmte.

- Volloopsnelheid buurtwarmtepompen: het scenario van de buurtwarmtepomp kent een vertraging vanwege e-netcongestie. In de gevoeligheidsanalyse bekijken wij het effect wanneer deze vertraging niet optreedt. Hiervoor hanteren wij het gelijke vollooppad als de individuele warmtepompen.

- Volloopsnelheid WLQ: in het basisscenario gaan we uit van een volloopscenario van 10 jaar vanaf 2029. Door de onzekerheid rondom de uitrol van warmtenetten en de beschikbaarheid van restwarmte in de haven rekenen we in gevoeligheidsanalyse met een volloopscenario van 10 jaar vanaf 2034.

- Aandeel (groen)gas hybride warmtepomp: wij zien in de resultaten dat het gebruik van gas een belangrijke gevoeligheid is. Hierin is het aandeel in levering ook een belangrijk uitgangspunt. Voor het hybride warmtepomp scenario rekenen wij met een aandeel van 35%. Dit aandeel is afhankelijk van het gebruik van de eindgebruiker en kent daarom een grote gevoeligheid. We rekenen in de gevoeligheidsanalyse met een bandbreedte van 15%, namelijk een aandeel van 20% tot 50%.

4.3 Gevoeligheidsanalyse

22-5-2026

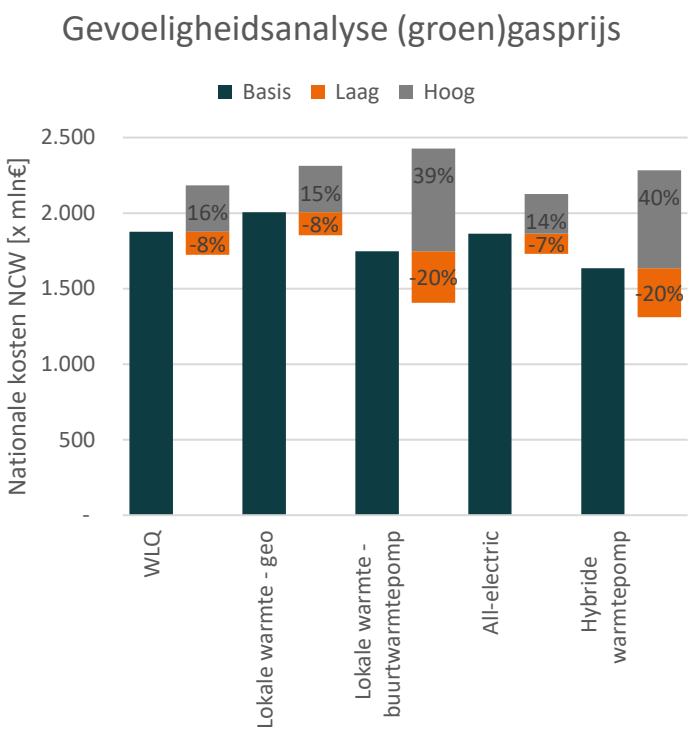
Energieprijzen: *De scenario's lokale buurtwarmtepomp en hybride warmtepomp zijn het gevoeligst voor schommelingen in de energieprijzen.*

De grafieken presenteren de bandbreedte in nationale kosten bij de gevoeligheid van de **(groen)gasprijs en de elektraprijs**. Onderstaande tabel presenteert de gevoeligheid van de **bronkosten voor WLQ**.

- Het buurtwarmtepomp- en hybridescenario zijn het gevoeligste voor de (groen)gasprijs. Deze scenario's gebruiken het grootste aandeel gas. In het buurtwarmtepompscenario komt het relatief hoge gebruik van gas door de vertraagde overstap op het alternatief en het gebruik van (groen)gas als piek- en back-up.
- De gevoeligheid van (groen)gas in het all-electric scenario zit in de tijd voordat de woningen overgaan op een all-electric warmtepomp. In hoofdstuk 2 Scenario's en scope beschrijven wij de ingroeipaden per scenario.
- De scenario's zijn minder gevoelig voor schommelingen in de elektraprijs dan in de gasprijs. Dit komt doordat de nationale kosten voor een kleiner deel bestaan uit elektra kosten, zie pagina 29.
- De gevoeligheid in bronkosten resulteert in een gevoeligheid tussen -1% en 2% op de totale nationale kosten voor het WLQ-scenario.

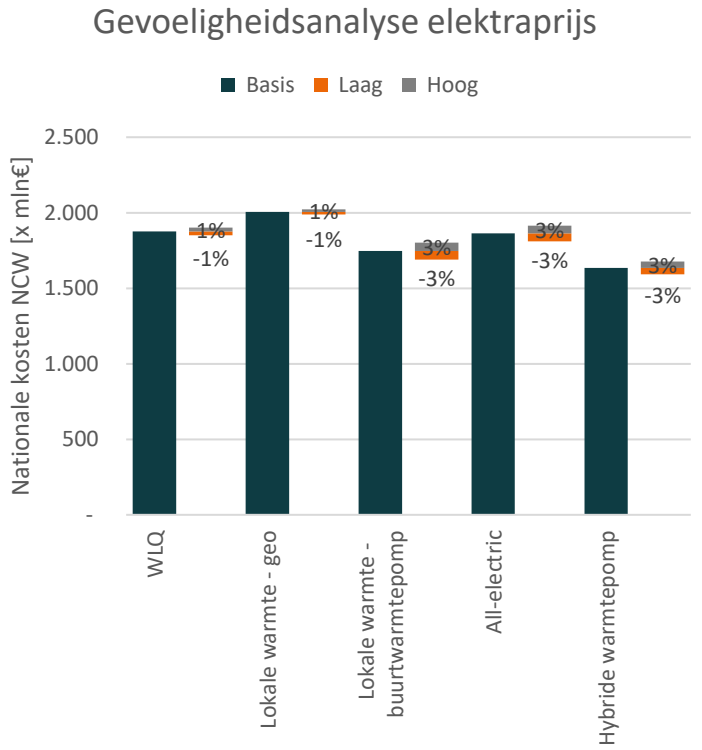
Bronkosten	Laag	Hoog
Bandbreedte	-50%	+100%
Impact nationale kosten WLQ	- € 19 miljoen (-1%)	€ 38 miljoen (2%)

Tabel 4.1: Resultaten gevoeligheidsanalyse bronkosten



Bandbreedte	Laag	Hoog
(Groen)gasprijs	-50%	+100%

Figuur 4.7 en tabel 4.2: Resultaten gevoeligheidsanalyse prijs (groen)gas



Bandbreedte	Laag	Hoog
Elektraprijs	-50%	+50%

Figuur 4.8 en tabel 4.3: Resultaten gevoeligheidsanalyse elektraprijs

4.3 Gevoeligheidsanalyse

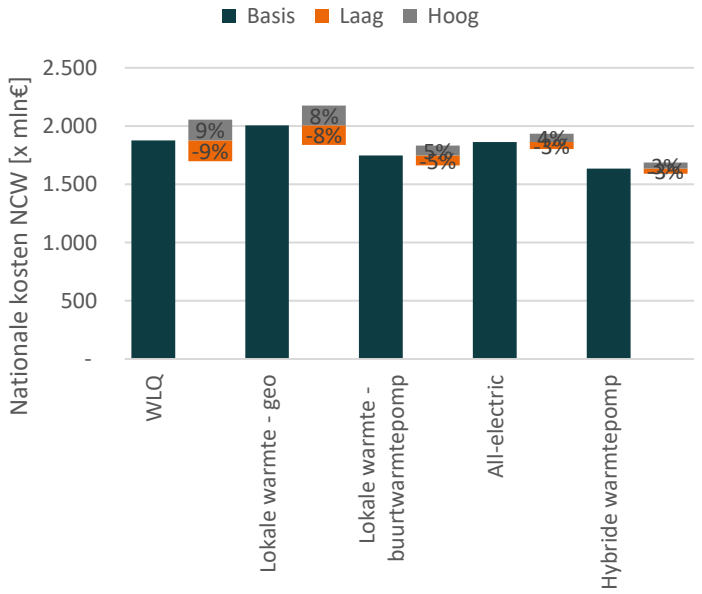
22-5-2026

***Investeringskosten**: Collectieve warmte scenario's zijn het gevoeligst voor investeringskosten in distributienetten, het all-electric scenario is het gevoeligst voor investeringskosten in de woning*

De grafiek presenteert de additionele toename in nationale kosten bij een gevoeligheid op de **investeringskosten in netverzwaring en warmtenetten** en **kosten in de woning**.

- Het WLQ en geothermiescenario kennen de grootste gevoeligheid voor verandering in investeringskosten in distributienetten (warmte en elektra). Dit komt doordat deze scenario's relatief grotere investeringen vragen voor transport en distributie van warmte. Deze investeringskosten zijn hoger dan de investeringskosten voor het verzwaren van het elektranet.
- Het buurtwarmtepompscenario is minder gevoelig voor verandering in investeringskosten omdat de investeringen verder op in de tijd liggen en daardoor verder verdisconteren.
- Het all-electric scenario is het meest gevoelig voor verandering in investeringskosten in de woning. Dit komt met name door de investering in isolatie en warmtepomp.

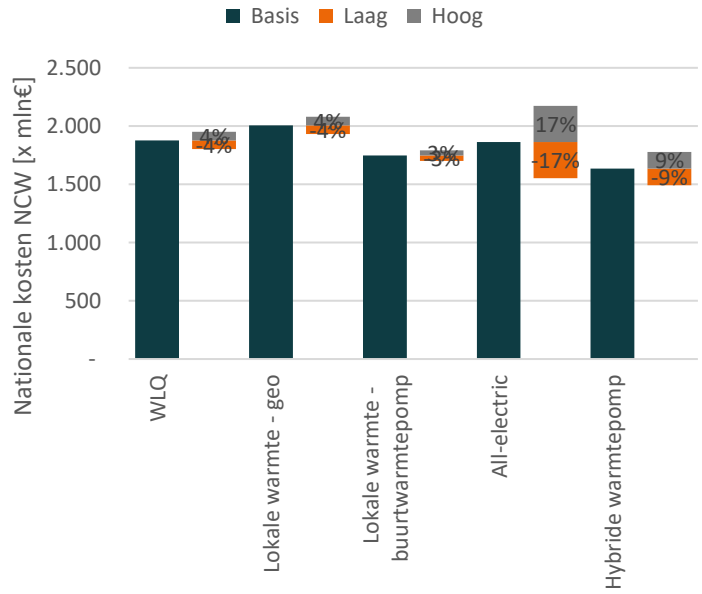
Gevoeligheidsanalyse kosten netverzwaring en warmtenetten



Bandbreedte	Laag	Hoog
Kosten netten	-30%	+30%
Kosten WLQ	-15%	+15%

Figuur 4.9 en tabel 4.4: Resultaten gevoeligheidsanalyse investeringskosten distributienetten

Gevoeligheidsanalyse kosten in de woning



Bandbreedte	Laag	Hoog
Kosten in de woning	-30%	+30%

Figuur 4.10 en tabel 4.5: Resultaten gevoeligheidsanalyse investeringskosten in de woning

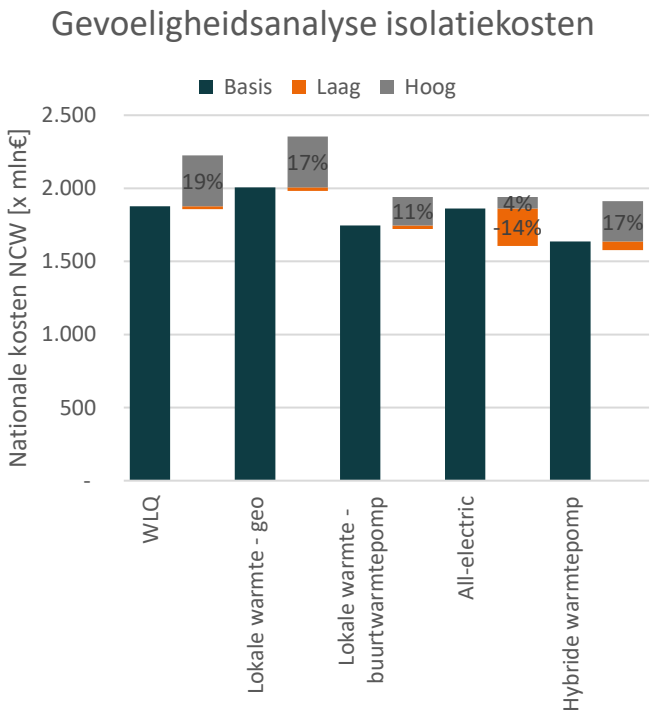
4.3 Gevoeligheidsanalyse

22-5-2026

***Uitgangspunten onderzoek**: Het toevoegen van isolatiemaatregelen of het weglaten van isolatiemaatregelen bij alle scenario's, en het veranderen van de volloopscenario's heeft geen impact op de conclusie, de laagste nationale kosten blijft het hybride scenario*

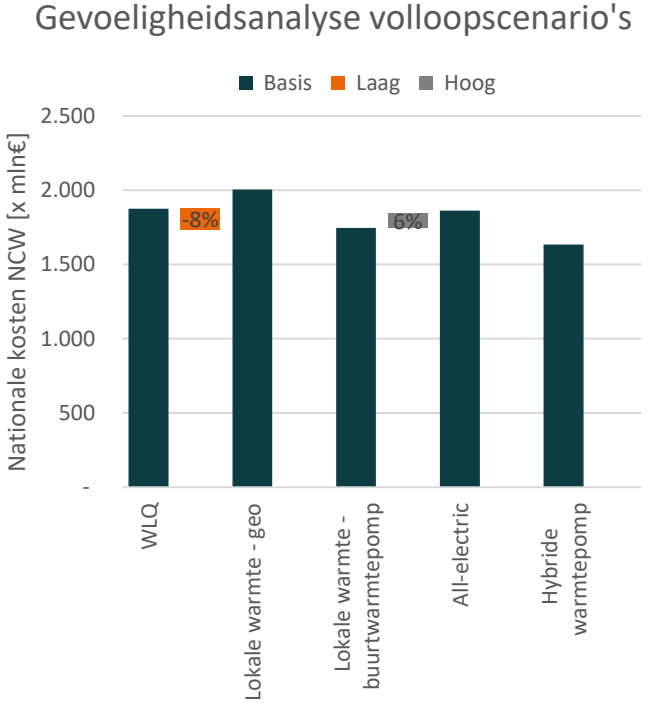
De grafiek presenteert de additionele toename in nationale kosten bij het toevoegen van **isolatiemaatregelen** in alle scenario's en gevoeligheid op de **volloopscenario's van WLQ en de buurtwarmtepomp**.

- Bij het toevoegen van isolatiemaatregelen inclusief een kostenstijging van 30% in alle scenario's komt het geothermiescenario uit op de hoogste nationale kosten. Het hybride warmtepompscenario komt uit op de laagste nationale kosten.
- De nationale kosten voor het buurtwarmtepomp scenario nemen minder toe omdat de investeringskosten van isolatie later in de tijd plaats vinden.
- Nationale kosten in het all-electric scenario nemen met 4% toe wanneer de investeringskosten voor isolatie met 30% toenemen.
- Wanneer er geen vertraging optreedt door netcongestie in het buurtwarmtepomp scenario stijgen de nationale kosten. Dit komt doordat kosten naar voren worden gehaald en daarmee minder verdisconteerd worden in de tijd.
- Een vertraagde volloop van WLQ resulteert in lagere nationale kosten. Dit komt doordat kosten naar achteren worden geschoven en daarmee verder verdisconteerd worden in de tijd.



Bandbreedte	Laag	Hoog
Isolatiekosten	Geen isolatie kosten, wel verlaagd verbruik	Overal isoleren en + 30%

Figuur 4.11 en tabel 4.6: Resultaten gevoeligheidsanalyse isolatiekosten



Bandbreedte	Laag	Hoog
Volloopscenario	Vertraging WLQ	Geen vertraging BWP

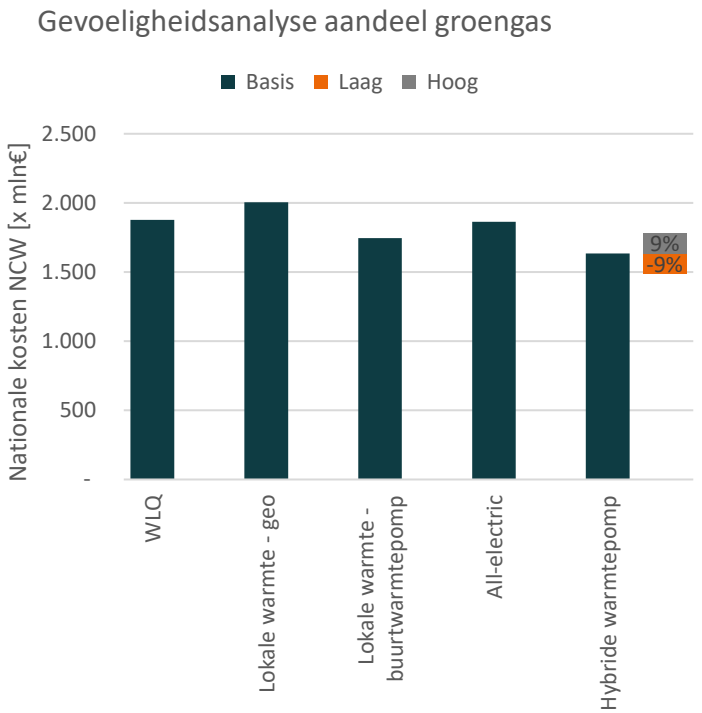
Figuur 4.12 en tabel 4.7: Resultaten gevoeligheidsanalyse volloopscenario's

4.3 Gevoeligheidsanalyse

***Uitgangspunten onderzoek**: het uitbreiden van de scope door meerdere woningen aan te sluiten op WLQ resulteert in een sterkere stijging in nationale kosten bij de overige scenario's.*

De grafiek presenteert de gevoeligheid van het **aandeel (groen)gas** in warmtelevering bij de hybride warmtepomp.

- Het hybride scenario kent een gevoeligheid van circa 9% voor het aandeel (groen)gas. Minder gebruik van (groen)gas resulteert in lagere nationale kosten.



Bandbreedte	Laag	Hoog
Groengas aandeel	-15%	+15%

Figuur 4.13 en tabel 4.8: Resultaten gevoeligheidsanalyse isolatiekosten

FAKTON ENERGY

Haskoning
Enhancing Society Together

22-5-2026

5

Resultaten technische haalbaarheid en ruimtelijke inpasbaarheid

Vergelijking WLQ met alternatieve warmteoplossingen

5. Technische haalbaarheid en ruimtelijke inpasbaarheid

22-5-2026

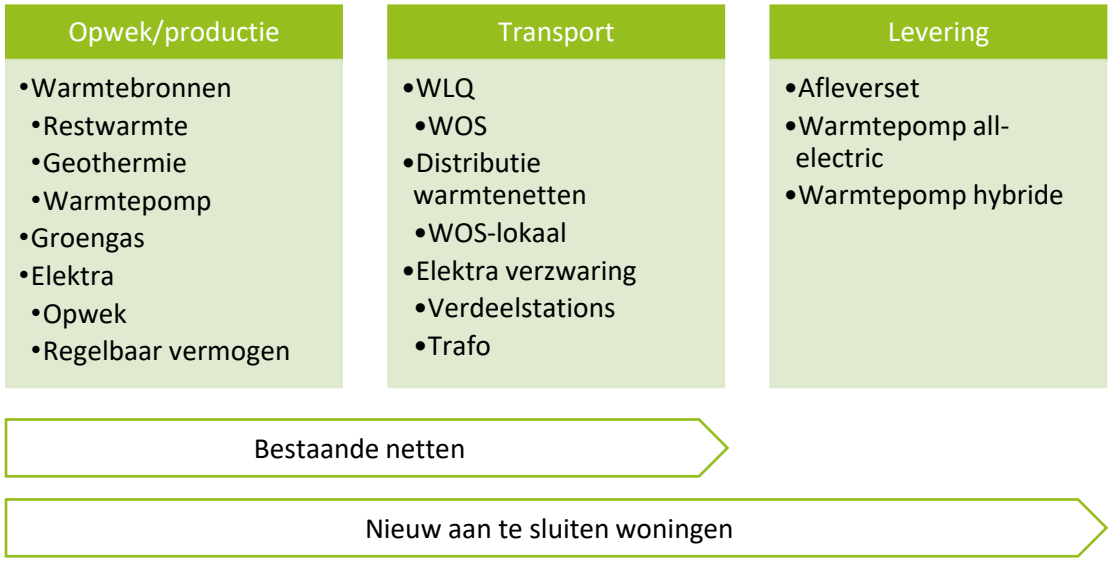
In dit hoofdstuk presenteren wij de resultaten van de analyse van de technische haalbaarheid en ruimtelijke inpasbaarheid van de warmtealternatieven.

5.1 Technische haalbaarheid

Dit hoofdstuk begint met de resultaten voor technische haalbaarheid voor bestaande warmtenetten (5.1.1) en nieuw aan te sluiten woningen (5.1.2). Onder technische haalbaarheid verstaan wij de mate waarin een scenario met de beschikbare technologieën en ontwerpkeuzes kan worden gerealiseerd en geëxploiteerd. Per onderdeel van een scenario toetsen we de technische haalbaarheid van de opwek/productie van energie, transport van energie en levering. Daarnaast onderzochten wij de impact van netcongestie en vraag naar groengas op de verschillende scenario's.

5.2 Ruimtelijke inpasbaarheid

Vervolgens gaan we in op de ruimtelijke inpasbaarheid. Onder ruimtelijke inpasbaarheid verstaan wij de inpassing van technische onderdelen binnen de beoogde geografische scope van dit onderzoek. Ook hier starten we met een pagina over de bestaande netten (5.2.1) waarbij we de impact van het aansluiten op WLQ uitzetten tegenover de ontwikkeling van geothermie. In de daarop volgende pagina's vergelijken we de scenario's voor nieuw aan te sluiten woningen (5.2.2). We analyseren de scenario's op het gebied van benodigde ruimte voor opwek, transport en levering.



Figuur 5.1: Getoetste onderdelen op technische haalbaarheid en ruimtelijke inpasbaarheid

5.1.1 Technische haalbaarheid - bestaande netten

Technische haalbaarheid bestaande netten

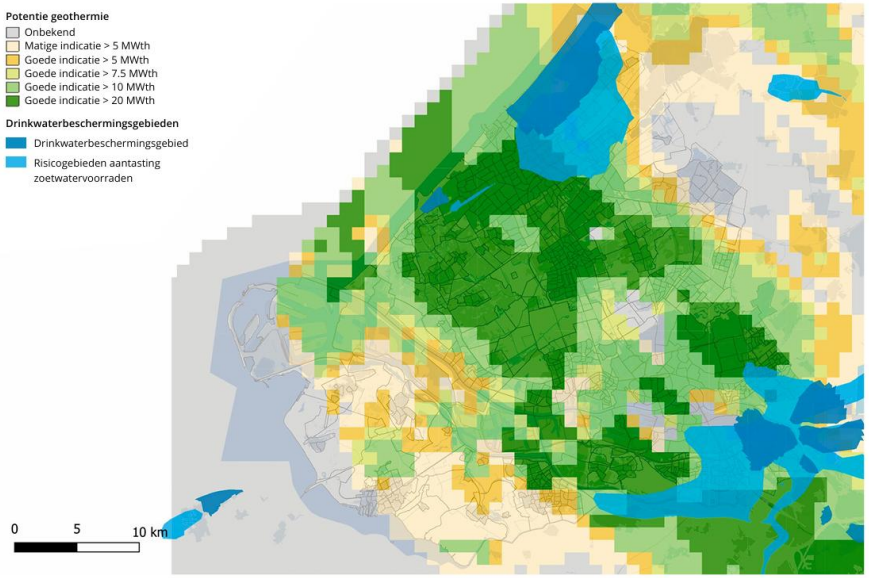
Voor bestaande netten vergeleken wij de technische haalbaarheid van WLQ en restwarmtebronnen met nieuw te ontwikkelen geothermiebronnen.

Technische haalbaarheid bronuitkoppeling in de haven zeer aannemelijk door verregaand ontwikkelstadium; geothermie kent daarin nog ontwikkelrisico's
WLQ kent voor de bestaande warmtenetten de hoogste technische zekerheid. De technische haalbaarheid is zeer aannemelijk door verregaande ontwikkeling op locatie en de warmte-invoeding vanuit havenbronnen is, binnen de gecontracteerde capaciteit. Geothermie is in potentie een robuuste, duurzame basisbron, maar de technische inpassing in bestaande netten is complexer. Hoewel de ondergrondpotentie in de regio toereikend is (RES Rotterdam Den Haag 1.0), kent de ontwikkeling van geothermiebronnen verschillende risico's. Namelijk boorrisico's en exploitatierisico's die locatiespecifiek zijn.

Daarnaast is het temperatuurniveau van geothermie niet in alle gevallen één-op-één passend op de bestaande netten. De bestaande netten kennen namelijk een hoog temperatuur niveau waardoor mogelijk aanvullende opwaardering nodig is. Dit brengt extra elektriciteitsvraag en systeemcomponenten met zich mee.

Beide scenario's gebruiken even veel groen gas
Groen gas is voor beide scenario's in dezelfde ordegrootte nodig voor piek- en back-upvoorzieningen. Dit betekent dat het onderscheid tussen WLQ en geothermie op dit onderdeel beperkt is: beide blijven voor leveringszekerheid in pieksituaties mede afhankelijk van de beschikbaarheid van groen gas (of van alternatieve piekoplossingen die deze vraag in de toekomst kunnen reduceren).

Geothermiescenario vraagt additionele netverzwaring ten opzichte van WLQ-scenario voor aansluiting bronnen. Mogelijk knelpunt vanwege e-netcongestie.
Bij toepassing van geothermie op de bestaande, hoge-temperatuurnetten is mogelijk temperatuur-opwaardering nodig om het gewenste leveringsniveau te halen. Dit gebeurt doorgaans met een (centrale) warmtepomp en leidt tot extra elektriciteitsvraag. Daardoor neemt de benodigde aansluitcapaciteit toe en daarmee het risico dat deze aansluitcapaciteit niet beschikbaar is vanwege e-netcongestie in de regio. Dit vergroot de kans op vertraging in de realisatie.



Figuur 5.2: Potentie geothermie uit de RES

5.1.2 Technische haalbaarheid – nieuw aan te sluiten woningen

22-5-2026

Technische haalbaarheid nieuw aan te sluiten woningen

Voor nieuw aan te sluiten woningen vergelijken wij de scenario's op technische haalbaarheid van de beoogde warmtebronnen en opwek van elektra en groen gas, transport en levering.

Alle onderzochte warmtebronnen zijn technisch haalbaar, maar verschillen in uitwerkings- en randvoorwaarden
Voor nieuw aan te sluiten woningen zijn alle onderzochte warmtebronnen technisch haalbaar. Daarbij hanteren wij voor meergezinswoningen in het geval van de individuele oplossingen (all-electric warmtepomp en hybride warmtepomp) een collectieve configuratie per complex. Wij kijken voor de collectieve bronnen naar een totaal benodigd vermogen van 133 MW (van 115 MW naar 248 MW). Hieronder beschrijven we per bron onze uitkomsten voor technische haalbaarheid.

Warmte-uitkoppeling uit de haven (WLQ-scenario)

- Op basis van de RES constateren wij dat er voldoende bronpotentie is in de Rotterdamse Haven voor de levering van de additionele 133 MW. De RES spreekt namelijk van een totaal tussen 700 en 1.100 MW bronpotentie (RES Rotterdam Den Haag 1.0)
- Wij constateren dat voor de uitkoppeling van restwarmte interesse bestaat, maar dat feitelijke uitkoppeling nog uitdagingen kent. Er is warmte van de juiste temperatuur en in het gewenste vermogen beschikbaar, blijkt uit de Regionale Energie Strategie (RES). Echter gebruiken veel industriepartijen deze warmte bij voorkeur zelf. Kosten voor CO_2-uitstoot stijgen binnen het EU-handelsemissiesysteem ETS en (Europese) regelgeving rond energiebesparing zoals de EED wordt steeds strenger. Daarnaast kent de uitkoppeling van restwarmte een lagere prioriteit ten opzichte van andere activiteiten binnen het primaire proces. De uitkoppeling kan daarbij lastig zijn door versnippering van de warmte en door lastige bereikbaarheid binnen de primaire processen van industriebedrijven.

Geothermie

- Voldoende potentiële broncapaciteit beschikbaar, namelijk 1.000 tot 1.500 MW geothermie (RES Rotterdam Den Haag 1.0)
- De technische haalbaarheid van geothermie voor nieuw aan te sluiten woningen wordt vooral bepaald door de bronpotentie in de ondergrond, inclusief voldoende temperatuur, doorlatendheid en debiet. Een goede match tussen het temperatuurniveau en vermogen van de bron en het beoogde warmtenet en de afgiftesystemen in woningen is noodzakelijk. Wij achten het technisch mogelijk dat voor nieuwe netten geen additionele warmtepomp benodigd is om het juiste temperatuurniveau te realiseren. Voor nieuwe netten gaan we namelijk uit van een middentemperatuurregime.

Buurtwarmtepomp

- Technisch haalbaar en een bewezen techniek, bijvoorbeeld de buurtwarmtepomp in Didam door Firan.
- De technische prestaties van een buurtwarmtepomp voor nieuw aan te sluiten woningen wordt vooral bepaald door de beschikbaarheid en stabiliteit van de warmtebron, het gewenste temperatuurniveau van het warmtenet en het benodigde temperatuurniveau waarmee de woningen verwarmd kunnen worden. Een bron met voldoende vermogen en een passend temperatuurprofiel is randvoorwaardelijk, omdat een lage brontemperatuur direct leidt tot een lager rendement en een hoger benodigd elektrisch vermogen. Daarnaast vraagt het systeem om een zorgvuldig ontworpen distributienet met beheersbare warmteverliezen.

5.1.2 Technische haalbaarheid – nieuw aan te sluiten woningen

Netcongestie vormt risico voor technische haalbaarheid elektrisch gedreven scenario's
De elektrisch gedreven scenario's vragen de meeste additionele netverzwaring en zijn daarmee in de regio Den Haag–Rotterdam–Leiden het meest kwetsbaar voor e-netcongestie. Daarbij geldt dat de feitelijke verzwaring per locatie kan afwijken van de gehanteerde kengetallen, doordat uitkomsten sterk worden beïnvloed door lokale e-netconfiguratie, gelijktijdigheid van vraag, fasering van nieuwbouw en het moment waarop netbeheerdermaatregelen beschikbaar komen. Voor het scenario met een buurtwarmtepomp achten wij het reëel dat in delen van het gebied tot 2035 geen nieuwe aansluitingen mogelijk zijn als gevolg van e-netcongestie, omdat het benodigde aansluitvermogen geconcentreerd op één locatie moet worden ingepast. Na 2035 verwachten de netbeheerders het net verzwaard te hebben waardoor aansluiting weer mogelijk is.

Ook bij geothermie en de WOS'en van WLQ is e-netcongestie een relevant aandachtspunt: afhankelijk van het ontwerp kan extra elektriciteitsvraag ontstaan (onder meer voor hulpinstallaties en eventuele opwaardering), waardoor het verkrijgen van een tijdige en voldoende zware aansluiting onzeker kan zijn en de planning van bronontwikkeling en inbedrijfsname onder druk kan komen te staan.

Distributienetten warmte technisch haalbaar door geconcentreerde warmtevraag binnen de scope
Warmtedistributienetten in de RES-regio Rotterdam Den Haag voor bestaande bouw achten wij technisch haalbaar, zeker in de wijken die in de Startanalyse zijn aangemerkt als warmtenetwijk. Die typering impliceert doorgaans dat er voldoende warmtevraagdichtheid en ruimtelijke samenhang is om een net technisch logisch te dimensioneren (met relatief beperkte leidinglengte per aansluiting en beheersbare warmteverliezen). Voor deze bestaande bouw-wijken blijft het gekozen temperatuurniveau de belangrijkste technische ontwerpkeuze. Wij achten een midden temperatuur niveau technisch haalbaar voor nieuw aan te sluiten woningen die isoleren tot MT-ready niveau.

Hybride doet het grootste beslag op schaars groen gas en vergroot het prijsrisico
Het hybride scenario doet het grootste beslag op schaars groen gas, doordat groen gas op woningniveau wordt ingezet voor piekmomenten en warm tapwater. Het aandeel groen gas voor de totale warmtelevering is groter ten opzichte van collectieve systemen (35% ten opzichte van 10%). Daarmee is dit scenario het meest gevoelig voor onzekerheden in de toekomstige beschikbaarheid en prijs van groen gas. De recente actualisatie van de PBL Startanalyse onderschrijft deze gevoeligheid. Dit betreft een verdelingsvraagstuk tussen verschillende sectoren met een groen gasbehoefte. In lijn met PBL actualisatie van de Startanalyse 2025, is het aannemelijk dat groen gas ingezet gaat worden waar dit het meest kostenefficiënt is. Dit zijn typisch buurten met een lage warmtedichtheid waardoor een alternatief duurder is. Binnen dit onderzoek kijken wij naar een scope waarbij de warmtedichtheid hoog is en waar uit de Startanalyse volgt dat groen gas geen kostenefficiënte inzet heeft. De collectieve warmtescenario's vragen eveneens groen gas maar in een beperkter, voor piek- en back-up. All-electric maakt geen gebruik van groen gas en kent daarmee geen afhankelijkheid van de schaarse beschikbaarheid van groen gas.

Tabel 5.1: Netverzwaring en groen gas vraag per scenario voor enkel nieuw aan te sluiten woningen

	Benodigde netverzwaring	Groen gas vraag
WLQ		10,4 miljoen m^3 per jaar
Geothermie	19 MWe [HS/MS]	10,4 miljoen m^3 per jaar
Buurt warmtepomp	68 MWe [HS/MS]	10,4 miljoen m^3 per jaar
All-electric	100 MWe [HS/MS/LS]	0 m^3
Hybride	62 MWe [HS/MS/LS]	29,1 miljoen m^3 per jaar

5.1.2 Technische haalbaarheid – nieuw aan te sluiten woningen

Alle warmteleveringsopties zijn technisch haalbaar mits deze aansluiten bij temperatuurniveau woning
Zowel voor de all-electric warmtepomp en de hybride warmtepomp hanteren we een collectief concept voor de meergezinswoningen. Een individueel systeem achten wij niet wenselijk voor meergezinswoningen gezien het aantal buitenunits die daarmee gepaard gaan. Voor deze woningen hanteren wij een collectieve warmtepomp per complex en inpandig transport van warmwater richting een afleverset per woning.

All-electric warmtepomp

- Technisch toepasbaar op woningniveau, mits de woning geschikt is voor lage temperatuurverwarming.
- De technische haalbaarheid van een individuele all-electric warmtepomp voor nieuw aan te sluiten woningen wordt vooral bepaald door de warmtevraag van de woning, het benodigde temperatuurniveau van het afgiftesysteem en de kwaliteit van de isolatieschil. Een all-electric systeem presteert het best bij lage aanvoertemperaturen (LT); daarom zijn voldoende isolatie, kierdichting en een passend afgiftesysteem (bij voorkeur vloerverwarming of vergrote radiatoren) cruciaal om comfort te borgen en het elektrisch piekvermogen te beperken. Daarnaast vraagt de tapwatervoorziening om een passende oplossing met voldoende boilerinhoud en een beheerste temperatuurstrategie, inclusief maatregelen tegen legionellarisico's. Ook de elektrische inpassing is bepalend: voor een all-electric warmtepomp heb je in veel van de gevallen een 3x25A aansluiting nodig (Milieu Centraal).

Hybride warmtepomp

- Technisch haalbaar en bewezen techniek. Kan efficiënter hogere temperaturen leveren dan een all-electric warmtepomp door het aandeel CV-ketel.
- De technische prestatie van een individuele hybride warmtepomp wordt vooral bepaald door de mate waarin de woning geschikt is voor verwarming op lagere temperaturen en door de kwaliteit van de integratie tussen warmtepomp en CV-ketel. De warmtepomp levert het grootste deel van de warmtevraag efficiënt als het afgiftesysteem met lage aanvoertemperaturen kan functioneren; wanneer hogere temperaturen nodig blijven, neemt het aandeel van de ketel toe en daalt het totale besparingspotentieel. Daarnaast is voor een hybride warmtepomp geen verzwaarde elektra-aansluiting nodig (Milieu Centraal).

Afleverset

- Technisch toepasbaar op woningniveau, technische optimalisaties afhankelijk van locatie in de woning.
- Het plaatsen van een afleverset in een bestaande woning is technisch doorgaans goed haalbaar. De belangrijkste randvoorwaarden zijn voldoende opstelruimte, een maakbare leidingroute vanaf de woningaansluiting en een afgiftesysteem die past bij het gekozen temperatuurniveau. In de praktijk plaatsen warmtebedrijven de afleverset bij voorkeur zo dicht mogelijk bij de voordeur. Dat is technisch gunstig omdat de netaansluiting daar meestal binnenkomt, de leidinglengtes in de woning kort blijven en aanleg en onderhoud beter uitvoerbaar zijn. Indien de CV-ketel in de huidige situatie niet naast de voordeur hangt maar bijvoorbeeld op zolder, dienen er additionele aanpassingen aan de woning plaats te vinden.

5.2.1 Ruimtelijke inpasbaarheid – bestaande netten

Ruimtelijke inpasbaarheid bestaande netten

Voor bestaande netten vergeleken wij het WLQ-scenario met de additionele benodigde ruimte vraag voor de ontwikkeling van geothermiebronnen.

WLQ is voor bestaande netten ruimtelijk inpasbaar binnen bestaande reserveringen
Levering van restwarmte via WLQ vraagt geen additionele ruimte bovenop wat al is voorzien voor bestaande warmtenetten en voorzieningen. De benodigde bronnen en koppelpunten kunnen in de regel worden ingepast zonder extra bovengrondse ruimteclaims.

Geothermie vraagt extra ruimte voor bron en aanpassingen in elektrasysteem
De ontwikkeling van geothermiebronnen voor de bestaande netten (115 MW) vraagt aanvullende ruimte ten opzichte van het WLQ-scenario. Die extra ruimtevraag hangt samen met de realisatie van geothermiedoubletten en met het aanleggen van verbindingstracés om de geothermiewarmte naar de bestaande distributienetten te transporteren. Waar het WLQ-scenario vooral draait om aansluiten en benutten van bestaande bronnen en infrastructuur, introduceert geothermie nieuwe bronlocaties en de bijbehorende bovengrondse en ondergrondse inpassing.

Daarnaast kent het geothermiescenario een hogere elektriciteitsvraag dan het WLQ-scenario. Dat heeft directe ruimtelijke consequenties, omdat extra elektriciteitsvoorzieningen moeten worden ingepast. Concreet gaat het om aanvullende ruimte voor regelbaar vermogen, om ruimte voor extra opwek die nodig is om het hogere elektriciteitsverbruik te dekken, en om uitbreiding van verdeelstations om de elektriciteitsinfrastructuur passend te maken bij de grotere belasting.

Geen additionele ruimte nodig voor WOS geothermie bij verwijderen WLQ
Het verwijderen van WLQ, maakt ruimte vrij. Een WOS voor het invoeden van geothermie warmte op het distributienet kan op dezelfde plek als bij WLQ. Wij nemen hier dan ook geen additionele ruimtevraag voor mee. Voor het transport van warmte nemen we aan dat deze op een andere plek is dan de huidige WLQ-leiding. Onderstaande tabel presenteert de additionele ruimtevraag van het geothermiescenario ten opzichte van het WLQ-scenario.

De benodigde ruimte voor groen gas productie is gelijk tussen de scenario's
Voor groen gasproductie geldt dat beide scenario's evenveel groen gas gebruiken waardoor zij ook dezelfde ruimtevraag hebben. Een belangrijk deel van deze productie zal naar verwachting plaatsvinden op of nabij agrarische erven. Daarmee is de ruimtelijke inpassing in principe haalbaar, mits tijdig wordt gestuurd op geschikte locaties, netaansluitingen en vergunningverlening.

Tabel 5.2: Ruimtevraag geothermie voor bestaande netten

Bestaande netten	Additionele ruimtevraag geothermie
Bron warmte	30.000 m^2 – na realisatie 6.000 m^2 6 doubletten van circa 5.000 m^2 per geothermiedoublet Na realisatie – 1.000 m^2 per doublet
Transport warmte	Transporttracé tussen geothermiebron en distributienet
Opwek elektra	Geothermie vraagt om circa 32 miljoen kWh/jaar extra elektra opwek: dit staat gelijk aan 2,2 offshore windturbines, 11 wind turbines op land of 110 hectare zonnepark
Regelbaar vermogen	Geothermie vraagt om circa 44 MW extra regelbaar vermogen met een ruimtevraag gelijk aan ongeveer 4.200 m^2
Verdeelstation [HS/MS]	Geothermie vraagt om circa 1.500 m^2 extra verdeelstation ruimte

5.2.2 Ruimtelijke inpasbaarheid – nieuw aan te sluiten woningen

Ruimtelijke inpasbaarheid nieuw aan te sluiten woningen

Voor nieuw aan te sluiten woningen vergelijken wij op de komende pagina's de verschillende scenario's op ruimtelijke inpasbaarheid van de warmtebronnen, het transport en de levering van warmte.

Restwarmtebronnen in de haven: in veel gevallen inpasbaar op industrieterreinen
Ruimtelijke inpasbaarheid van uitkoppeling van restwarmtebronnen in de haven wordt bepaald door de beschikbare ruimte en functionele inrichting van haventerreinen. Dit zijn vaak grotere kavels met brede routes en minder ruimtedruk, waardoor doorgaans plek te vinden is voor een uitkoppelstation en een leidingtracé. Op intensief gebruikte industrieterreinen kan dit lastiger zijn door ruimteclaims en logistiek, maar de inpassing is in principe flexibel en voorbeelden laten zien dat het ruimtelijk inpasbaar is.

WOS WLQ: locaties in principe gekozen en daardoor inpasbaar
In de openbare ruimte vraagt het ontsluiten van de restwarmte een WOS om WLQ aan te sluiten op het lokale distributienet. Deze WOS wordt geplaatst bij een T-stuk van WLQ. Voor de nieuw aan te sluiten woningen vraagt dit drie additionele WOS'en. De locaties van de T-stukken van WLQ zijn zo gekozen dat er ook ruimte is voor de inpassing van de WOS'en. Door efficiënte inrichting, en eventueel het toevoegen van bouwlagen, kan de benodigde ruimte voor een WOS afnemen. We achten de drie benodigde WOS'en van maximaal 500 m^2 per stuk daarmee inpasbaar.

Geothermiebronnen: grotere ruimtevraag per put, klein aantal benodigde locaties en flexibele locatiekeuze
Voor de nieuw aan te sluiten woningen is het nodig om circa 8 doubletten te realiseren. Dit kan mogelijk op minder dan 8 boorlocaties wanneer de ondergrond en ruimte dit toelaat. In totaal is de ruimtebehoefte circa 40.000 m^2 als we uitgaan van 8 boorlocaties.

Ruimtelijke inpasbaarheid van geothermieputten wordt bepaald door een beperkt aantal benodigde locaties (circa 8) met per locatie een relatief grote ruimtevraag (circa 5.000 m^2). Deze 5.000 m^2 betreft het tijdelijke ruimtebeslag en de veiligheids- en milieuafstanden in de boorfase. Na realisatie betreft de benodigde ruimte vraag 500 tot 1.000 m^2 per put.

De inpassing is flexibel voor locatiekeuze door de hoge geothermiepotentie in de regio. Bovendien hoeft de put niet binnen de wijk te liggen en kunnen locaties buiten de schaarse stedelijke ruimte gevonden worden.

Tabel 5.3: Ruimtevraag warmtebronnen nieuw aan te sluiten woningen

Ruimtevraag	Warmtebron
WLQ	1.500 m^2 (3x WOS-Tstuk) + Haven
Geothermie	40.000 m^2 (8 x 5.000 m^2) – na realisatie 8.000 m^2
Buurtwarmtepomp	Onderdeel van lokale WOS

5.2.2 Ruimtelijke inpasbaarheid – nieuw aan te sluiten woningen

Groengas opwek: geen inpassingsvraagstuk bij import
De verschillende scenario's vragen in verschillende mate groen gas voor de productie van warmte. Deze vraag naar groen gas kan in Nederland geproduceerd worden of worden geïmporteerd. Indien we groen gas importeren vraagt dit geen additionele ruimte binnen Nederland.

Indien het groen gas binnenlands geproduceerd gaat worden resulteert dit in een additioneel ruimte beslag. De installaties bestaan in de basis uit drie onderdelen: vergisting, gasopwerking en netinvoeding. Het grootste ruimtebeslag wordt gevormd door de vergisters (ronde tanks van 20–30 meter diameter), opslagsilo's en digestaat bassins. De productie locaties kunnen verspreid worden over meerdere locaties. Wij achten deze ruimte inpasbaar op agrarische erven.

Het hybride scenario heeft de grootste groengas vraag, namelijk circa 29,1 miljoen m^3 per jaar. Dit resulteert in een inpassingsvraag van circa 3 hectaren. De hoeveelheid groengas vraag in dit scenario is afhankelijk van het rendement van de hybride warmtepomp. Bij een efficiënter gebruik van de warmtepomp, bijvoorbeeld 75% elektrisch en 25% groengas, daalt de groengasvraag naar 20 miljoen m^3 en de ruimtevraag naar 2,5 hectaren. De collectieve scenario's gebruiken ook groengas, gemiddeld 10,4 miljoen m^3 per jaar. Hiervoor is een productielocatie nodig van circa 2 hectaren.

Tabel 5.4: Ruimtevraag groen gas productie voor nieuw aan te sluiten woningen

Ruimtevraag	Groen gas vraag	Ruimtevraag
WLQ	10,4 miljoen m^3 per jaar	20.000 m^2
Geothermie	10,4 miljoen m^3 per jaar	20.000 m^2
Buurtwarmtepomp	10,4 miljoen m^3 per jaar	20.000 m^2
All-electric		
Hybride	29,1 miljoen m^3 per jaar	30.000 m^2

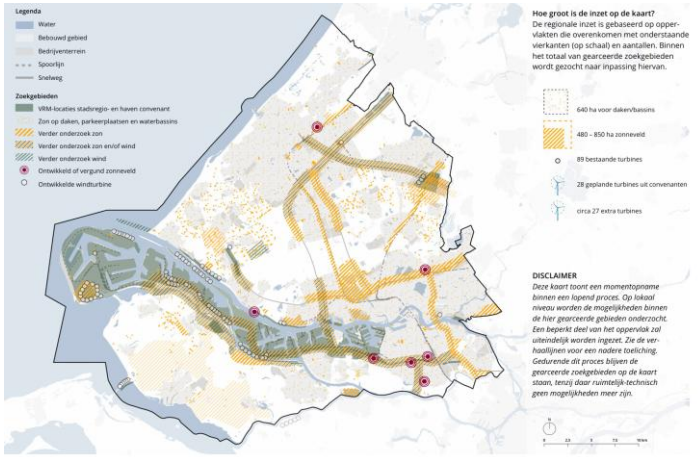
Figuur 5.5: Voorbeeld productielocatie groen gas

5.2.2 Ruimtelijke inpasbaarheid – nieuw aan te sluiten woningen

Elektra opwek: inpasbaar als wind op zee
De verschillende scenario's gebruiken elektra voor de levering van warmte. Het referentiescenario is hierin gebruik van WLQ, aansluitend bij uitgangspunten van de RES. Vanuit het uitgangspunt van het ministerie dat vraag en aanbod van elektra in balans moeten zijn en ook zo ontwikkeld wordt, gaan wij er vanuit dat er geen structurele overcapaciteit beschikbaar is. Extra elektravraag ten opzichte van het WLQ-scenario betekent extra bronnen, en daarmee een extra ruimtelijke claim. Deze opwek kan ingevuld worden als zon, wind op land of wind op zee.

Binnen de regio is die extra opwek in de vorm van zon en wind op land bovenop het huidige RES-bod waarschijnlijk niet inpasbaar. De RES-locaties voor zon en wind zijn immers al geselecteerd op basis van landschappelijke draagkracht en maatschappelijke inpasbaarheid en zijn daardoor in hoge mate "ingevuld" en begrensd. Dit geldt in het bijzonder voor de RES-regio Rotterdam–Den Haag, waar de verstedelijking groot is en de beschikbare ruimte schaars. Om deze reden hebben wij deze ruimtelijke inpassing niet gekwantificeerd.

Wind op zee is mogelijk wel inpasbaar. De ambitie voor de realisatie van wind op zee nam afgelopen jaren (2022-2025) af van 50 GW naar 40 GW in 2040. Er is reeds ruimte gereserveerd om 50 GW te plaatsen. De bijstelling van 40 GW creëert binnen de nationale programmering ruimte om de voorliggende extra elektriciteitsvraag te accommoderen. Op basis hiervan achten wij de benodigde aanvullende elektriciteitsopwekking ruimtelijk inpasbaar, mits deze via wind op zee wordt gerealiseerd. Deze stroom vraagt vervolgens distributie langs verschillende verdeelstations. Op de volgende pagina beschrijven wij de ruimtelijke impact hiervan.



Figuur 5.6: Zoekgebieden duurzame elektriciteitsproductie in RES-regio Rotterdam-Den Haag (RES 1.0)

Tabel 5.5: Ruimtevraag additionele elektriciteitsopwekking

Scenario's	Additionele elektra opwek
WLQ	
Geothermie	0,5 windmolens op zee
Buurt warmtepomp	5 windmolens op zee
All-electric	4 windmolens op zee
Hybride	3 windmolens op zee

5.2.2 Ruimtelijke inpasbaarheid – nieuw aan te sluiten woningen

Regelbaar vermogen (RV): één locatie keuze met flexibiliteit buiten schaarse stedelijke ruimte
De scenario's vragen additioneel regelbaar vermogen om het additionele elektragebruik op te vangen in periodes van onvoldoende duurzame energie. Dit resulteert in een extra ruimtebeslag zoals gepresenteerd in onderstaande tabel. Wij hanteren het uitgangspunt voor additioneel regelbaar vermogen van 100 m^2 / MW. Het buurtwarmtepompscenario vraagt de meeste ruimte voor additioneel regelbaar vermogen.

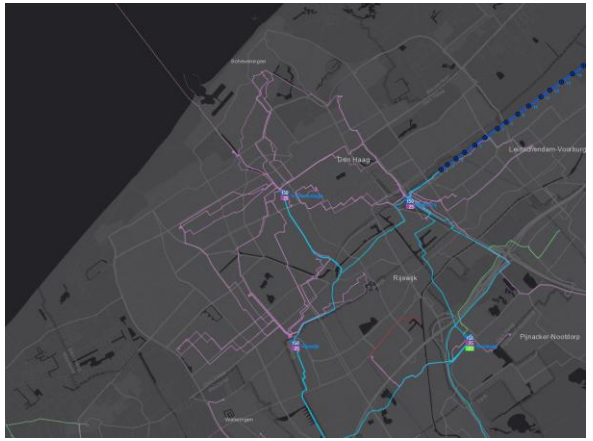
De ruimtelijke inpasbaarheid van regelbaar vermogen wordt bepaald door het vinden van een geschikte locatie binnen de regio. Het is niet noodzakelijk dat deze locatie binnen de schaarse stedelijke ruimte gevonden dient te worden. Daarnaast is onze inschatting dat het benodigde vermogen op één locatie gerealiseerd kan worden.

Verdeelstations: beperkte flexibiliteit met locatiekeuze binnen schaarse stedelijke ruimte
Door de benodigde netverzwaring in de alternatieve scenario's is er ook uitbreiding nodig van verdeelstations. De netbeheerders geven aan dat de huidige verdeelstations aan de maximale capaciteit zitten waardoor er nieuwe locaties gezocht moeten worden voor de uitbreiding. Wij hanteren het uitgangspunt voor een gemiddeld verdeelstation van 2.800 m^2 voor 80 MVA. Dit resulteert in een extra ruimtebeslag zoals gepresenteerd in nevenstaande tabel. Het all-electric scenario vraagt de meeste ruimte voor additionele verdeelstations.

De ruimtelijke inpasbaarheid van deze verdeelstations wordt bepaald door het vinden van een geschikte locatie binnen schaarse stedelijke ruimte. Daarnaast zijn deze locaties beperkt flexibel doordat locatiekeuze gebonden is aan netvlakken en locatie van verzwaring. Tot slot is het nog niet te zeggen op hoeveel plekken de uitbreiding van de verdeelstations nodig is, dit is wederom afhankelijk van de netvlakken en locatie van verzwaring.

De tabel presenteert een bandbreedte in m^2, de bovenkant van de bandbreedte matcht met de gehanteerde uitgangspunten voor netverzwaring. Echter bevat deze een gevoeligheid, zo is er voor de all-electric warmtepomp meetdata beschikbaar waar de benodigde verzwaring 50% lager uitvalt dan de planningswaarde van netbeheerders. Om die reden presenteren wij een bandbreedte naar beneden van 50%.

Figuur 5.7: Locaties HS/MS-verdeelstations in Den Haag



Ruimtevraag	Benodigde verzwaring	Ruimtevraag verdeelstation	Benodigd vermogen RV	Ruimtevraag RV
WLQ				
Geothermie	19 MWe [HS/MS]	350 - 700 m^2	19 MVa	950 - 1.900 m^2
Buurtwarmtepomp	68 MWe [HS/MS]	1.200 - 2.400 m^2	65 MVa	3.250 - 6.500 m^2
All-electric	100 MWe [HS/MS/LS]	1.750 - 3.500 m^2	60 MVa	3.000 - 6.000 m^2
Hybride	62 MWe [HS/MS/LS]	1.100 - 2.200 m^2	56 MVa	2.800 - 5.600 m^2

Tabel 5.6: Ruimtevraag verdeelstations en regelbaar vermogen

5.2.2 Ruimtelijke inpasbaarheid – nieuw aan te sluiten woningen

Lokale WOS en trafohuisjes: vergelijkbare ruimtevraag in schaarse stedelijke ruimte, trafohuisjes minder flexibel
Onderdeel van betrouwbaar transport zijn voor warmte lokale warmteoverdrachtstations en voor elektra trafohuisjes. De ruimtelijke inpassing wordt bepaalt door de schaarse stedelijke ruimte. De ruimteopgave is in orde van grootte vergelijkbaar tussen een WOS lokaal en een trafohuisje. Beide voorzieningen vragen per stuk een ruimte van ca. 35 m^2. De tabel laat zien dat de hybride oplossing de minste ruimte vraagt. All-electric vraagt de meeste ruimte.

Een WOS is ruimtelijk vaak makkelijker in te passen dan een trafohuisje, omdat een WOS doorgaans flexibeler te positioneren is en regelmatig inpandig kan worden geplaatst (bijvoorbeeld in een kelder, plint of bestaande technische ruimte binnen een complex). Warmteleveranciers beschrijven expliciet dat bij bestaande gebouwen een geschikte ruimte voor het aflever-/onderstation in het gebouw kan worden gezocht of gecreëerd (Richtlijn Bestaande Bouw Ruimte voor afleverstation IWAS | Vattenfall Warmte)

Trafohuisjes kennen vaak zwaardere bouwkundige randvoorwaarden: voor inpandige transformatorruimten worden in de praktijk eisen genoemd zoals brandwerendheid (bijvoorbeeld 60 minuten of meer, afhankelijk van situatie), een kabelkelder, voorzieningen rond olieopvang/vloeistofdichtheid en specifieke eisen aan vloer/constructie en doorvoeren. Dat maakt inpandige inpassing vaker complex en locatiekeuze minder vrij dan “een willekeurige beschikbare ruimte” in een complex (1764247097-inrichten-inpandige-transformatorruimten-april-2024.pdf) .

Buurtwarmtepompen: grotere ruimtevraag per station, gelijk aantal benodigde locaties binnen schaarse stedelijke ruimte
Bij buurtwarmtepompen wordt het gewenste temperatuur niveau in de wijk opgewekt, namelijk met warmtepompen en voor de piek- en back up met gasketels. De ruimtelijke inpasbaarheid van buurtwarmtepompen wordt bepaald door het gelijk aantal benodigde locaties als de lokale WOS’en in de collectieve scenario’s (circa 135) met per locatie een grotere ruimtevraag (200 m^2). Dit betreft zowel de warmtepomp inclusief het warmteoverdrachtstation en benodigde trafo.

De inpassing is beperkt flexibel omdat dit concept leunt op lokale opwek binnen schaarse stedelijke ruimte. Indien mogelijk kunnen deze buurtwarmtepompen binnen in een complex geïnstalleerd worden. Aandachtspunten bij de inpasbaarheid zijn geluidseisen in de omgeving.

Tabel 5.7: Ruimtevraag geothermie trafohuisjes en lokale WOS voor nieuw aan te sluiten woningen

Ruimtevraag binnenstedelijk	Warmte (WOS lokaal)	Trafohuisjes
WLQ	5.000 m^2 (135x35m^2)	
Geothermie	5.000 m^2 (135x35m^2)	
Buurt warmtepomp	27.000 m^2 (135 x 200 m^2)	
All-electric		6.050 m^2 (173x35m^2)
Hybride		3.600 m^2 (104x35m^2)

5.2.2 Ruimtelijke inpasbaarheid – nieuw aan te sluiten woningen

Ondergrondse infrastructuur: warmteleidingen doen groter beslag op beperkte ruimte in de ondergrond
Collectieve warmte vraagt additioneel ondergronds ruimtebeslag voor warmtetransport (gemiddelde tracébreedte circa 0,75 m). Ruimtelijke inpasbaarheid van warmtenetten wordt bepaald door de (met name binnenstedelijk) schaarse en al intensief benutte ondergrond met kabels en leidingen. Het all-electric en hybride scenario vermijden warmtetransport in de ondergrond maar zetten hier een verzwaring van de elektra kabels tegenover. Met name bij verzwaring tot op laagspanningsniveau gaat het vaak om kabels onder de stoep, waar in stedelijk gebied al veel andere kabels en leidingen liggen.

Figuur 5.8: Gegeneerde foto ter vergelijking ondergrondse impact warmte en elektra

In de woning: collectieve warmte vraagt minder ruimte in en rond de woning dan individuele oplossingen
Op woningniveau zijn de collectieve warmtescenario's het meest compact: de aansluiting op een warmtenet vraagt circa 0,5 m² voor een afleverset. Het formaat van een afleverset is vergelijkbaar met een CV-ketel en vraagt daardoor nauwelijks extra ruimte. Bij individuele oplossingen neemt de ruimtevraag in en om de woning toe, met circa 2 m² per woning bij all-electric en circa 1 m² per woning bij hybride, onder meer door extra binnenruimte en de plaatsing van een buitenunit. Een buitenunit kan zo ingepast worden dat deze weinig ruimtelijke impact heeft door bijvoorbeeld plaatsing op het dak of aan de gevel.

Figuur 5.9 Ruimtelijke inpassing warmteoplossingen in woning (v.l.n.r.): Afleverset, buitenunit warmtepomp, collectieve aansluiting

FAKTON ENERGY

Haskoning
Enhancing Society Together

22-5-2026

6

Resultaten systeemoverwegingen en overige criteria

Vergelijking WLQ met alternatieve warmteoplossingen

6. Resultaten systeemoverwegingen en overige criteria

Naast een vergelijking van de scenario's op nationale kosten, ruimtelijke inpasbaarheid en technische haalbaarheid bekijken wij de scenario's ook vanuit een breder systeemperspectief. De scope van ons onderzoek is beperkt tot een aantal wijken binnen de regio en binnen het energiesysteem van Provincie Zuid-Holland. In dit hoofdstuk duiden wij kwalitatief een aantal overwegingen die een bredere scope inbeeld brengen. Daarbij presenteren wij ook overige criteria voor de afweging tussen de verschillende scenario's.

In 6.1 beschrijven wij de volgende systeemoverwegingen:

- Perspectief vanuit de netbeheerder
- Perspectief gezamenlijke ontwikkeling WLQ en geothermie – Samenland
- Perspectief in stand houden van het gasnet
- Perspectief afhankelijkheid van bronnen

In 6.2 presenteren wij de volgende criteria voor de afweging tussen de scenario's:

- CO_2 reductie
- Gasverbruik

6.1 Systeemoverwegingen

Perspectief netbeheerder: Als de beoogde lijn collectieve warmte is, adviseren de netbeheerders om deze lijn vast te houden, gezien de enorme groei in elektriciteitsvraag en hun enorme opgave het net bijbehorend te laten meegroeien.

Perspectief netbeheerder

De netbeheerders leggen de elektriciteits- en gasnetten in Nederland aan en beheren ze. Zij zijn daarmee een belangrijke bron voor de beschouwing van het hele energiesysteem en van de effecten van ingrepen aan verschillende energiedragers op andere energiedragers in het integraal samenhangende systeem. De netbeheerders onderstrepen het grote belang van andere energiedragers in het systeem dan elektriciteit, gegeven de enorme groei in elektriciteitsvraag die we nog voor de boeg hebben de komende decennia en de enorme opgave die de netbeheerders hebben om het net te laten meegroeien met deze ontwikkeling. Als verwarming van woningen met collectieve warmte de beoogde lijn is, is het advies van de netbeheerder om deze lijn vast te houden. Onderstaand de letterlijke tekst van de netbeheerder hierover.

'Op de as Dordrecht- Rotterdam–Den Haag–Leiden kan de energietransitie alleen betaalbaar en uitvoerbaar blijven als collectieve warmte op grote schaal van de grond komt. Voor een netbeheerder is het slagen van dit deel van de warmtetransitie een randvoorwaarde om een toekomstbestendig energiesysteem te kunnen borgen en elektriciteitsnet niet nóg zwaarder te belasten dan nu al het geval.
Als collectieve warmte niet of later van de grond komt, wordt elektrificatie automatisch de default keuze. Dan ontstaan er individuele beslissingen (individuele (hybride) warmtepompen) die voor het net niet planbaar zijn: veel kleine aansluitingen, verspreid in tijd en ruimte. Bovendien zijn deze installaties momenteel niet of beperkt stuurbaar[1], waardoor de piekvraag harder stijgt dan momenteel in de prognoses van de netbeheerders voor deze dichtbebouwde gebieden is opgenomen. Dat verergert netcongestie.

In dichtbebouwde regio met beperkte ruimte betekent dat dat netbeheerders meer moeten verzwaren dan nu is gepland: meer kabels, meer transformatorvermogen en extra hoofd- en verdeelstations op plekken waar dat ruimtelijk het lastigst is. Dat vergroot congestie en wachtrijen. Congestie is mede ontstaan doordat alternatieven, zoals collectieve warmte, biogas, CCS en waterstof trager van de grond komen dan gepland. Onnodige elektrificatie en extra congestie organiseren is daarmee onverstandig als er een betrouwbaar en betaalbaar alternatief voorhanden is in de vorm van collectieve warmte.

Een keuze voor de snelle realisatie van collectieve warmtenetten verlicht de druk op het elektriciteitsnet en is een haalbare en betaalbare voorziening. Warmteoplossingen kunnen we gebiedsgericht ontwerpen en zijn daarom goed planbaar. Een warmtenet heeft voor de piekvraag en de installaties altijd een elektriciteitsvraag, maar deze is beperkt tot aantal grote aansluitpunten in plaats van een versnipperde hoeveelheid aan individuele aansluitingen. Daarbij biedt warmte, met name via buffers, ook de kans om deze netbewust te ontwerpen en aan te sturen door de vraag te verschuiven en pieken te dempen. Op systeem en collectief niveau is dat veel beter voor het net dan het individuele alternatief. Dat zien we ook met collectieve warmtesystemen voor netbewuste nieuwbouw. Het verlagen van de piekbelasting op het net, maakt de netverzwaringen kleiner, gerichter en beter te faseren.

Daar komt een keteneffect bij: als warmtenetten onvoldoende snel van de grond komen en individuele elektrificatie laat "uitwaaieren", ondermijnt dat de businesscase van warmtenetten in juist die wijken waar ze maatschappelijk het meest doelmatig zijn. Dan verdwijnt een instrument dat netbelasting kan beperken en stapelen de kosten zich op. In de termen uit KIES: zonder keuzes wordt het systeem onnodig duur en niet maakbaar, nemen risico's op stranded assets en misinvesteringen toe, en blijven partijen langer in de wachtrij waardoor verduurzaming en groei vertragen.

Op dit moment wordt in de investeringen voor het (hoogspannings)net rekening gehouden met het doorgaan van collectieve warmte. In het geval dat collectieve warmte niet van de grond komt, zal dit extra druk leggen op de opgave van de netbeheerders om het elektriciteitsnet te verzwaren, omdat er, bovenop de verzwaringen, extra verzwaard moet worden om het ontbreken van collectieve warmte op te vangen. De vraag rijst of - in de wetenschap van de enorme druk op het net en de netuitbreidingen – een dergelijke investeringen in het net overwogen moet worden. Vanuit die optiek is er geen realistisch en haalbaar alternatief voor collectieve warmte in de regio Dordrecht-Rotterdam-Den Haag en Leiden.

Voor de netbeheerder is de strategische boodschap daarom helder: gemeenten moeten vasthouden aan de ingezette koers en de realisatie van warmtenetten moet de komende jaren van de grond komen om een optimale balans tussen investeringen in elektriciteit, warmte en (eventueel) duurzame gassen in het energiesysteem te borgen.'

[1] De stuurbaarheid door de netbeheerder (directe aansturing achter de meter) van warmtepompen is momenteel beperkt door: 1) Technisch: ontbreken van breed toegepaste standaarden en uniforme koppelingen (EMS/boiler/vloerverwarming), installaties niet altijd online. 2) Juridisch/organisatorisch: netbeheerders kunnen/mogen in de praktijk niet achter de meter sturen; data-toegang, privacy en toestemming zijn randvoorwaarden. Nuance: warmtepompen zijn wél flexibel inzetbaar op huishoudniveau: gebruikers (of een EMS/marktpartij) kunnen vraag verschuiven via slim/vooruit verwarmen. Vanaf 2029 maken dynamische nettarieven die prikkel financieel relevanter.

6.1 Systeemoverwegingen

Perspectief gezamenlijke ontwikkeling WLQ en geothermie – Samenland

Perspectief gezamenlijke ontwikkeling WLQ met restwarmte en geothermie

De ontwikkeling van WLQ en geothermie gezamenlijk resulteert in een hogere dekkingsgraad en lagere kosten per woning.
In het onderzoeksrapport *Collectieve warmtevoorziening RES Rotterdam Den Haag, verdieping en verkenning met scenario's* onderzocht Haskoning het verschil tussen twee scenario's voor de gehele RES-regio. Hiermee is de scope groter dan dit onderzoek en nemen wij deze resultaten mee om het systeemperspectief te duiden. De berekende scenario's zijn:

- Eiland: lokale warmtenet ontwikkelingen met lokale bronnen.
  In het Eilandscenario ontwikkelen warmteclusters zich autonoom. Elk cluster organiseert de eigen warmtevoorziening op basis van lokale bronnen, met name geothermie en restwarmte. Warmte-uitwisseling tussen clusters is beperkt. Dit scenario sluit aan bij een aanpak waarin gemeenten en lokale partijen vooral binnen de eigen grenzen optimaliseren en regionale afstemming slechts beperkt nodig achten. De consequentie is dat de kosten en prestaties sterk per cluster kunnen verschillen, omdat elk cluster afhankelijk is van de lokale bronmix en lokale netkosten.

- Samenland: regionale samenwerking en regionale uitkoppeling bronnen.
  In het Samenlandscenario worden warmteclusters in samenhang ontwikkeld. De regio organiseert een regionale warmtetransportstructuur (WLQ) en zet grootschalige bronnen regionaal optimaal in. Een belangrijk verschil is dat Samenland relatief veel gebruik maakt van restwarmte uit het haven- en industriecomplex (HIC) Rotterdam, die via transportinfrastructuur naar gebieden met een tekort aan lokale bronnen kan worden gebracht. Door deze regionale koppeling ontstaat bovendien een portfolio-effect: clusters met lagere en hogere kosten kunnen beter worden uitgemiddeld, wat bijdraagt aan betaalbaarheid en stabiliteit van de businesscase.

De resultaten van het onderzoek laten zien dat het Samenland scenario resulteert in een hogere dekkingsgraad en een lagere onrendabele top per woning. Vanuit systeemperspectief faciliteert WLQ daarmee een robuust warmtesysteem in de RES-regio met meerdere bronnen en uitwisseling tussen warmteclusters waarin WLQ en geothermie elkaar versterken.

Resultaat dekkingsgraad

- Eiland: dekt 68% van de totale warmtevraag in 2050
- Samenland: dekt 80% van de totale warmtevraag in 2050

Resultaat onrendabele top per scenario

- Eiland (zonder warmtepompen): € 3.900 per gebouw
- Samenland: € 2.900 per gebouw
- Besparing door Samenland te kiezen: € 1.000 per woning/gebouw

Om Eiland qua aantal aansluitingen vergelijkbaar te maken met Samenland, heeft het rapport een variant gemaakt waarbij Eiland wordt aangevuld met 175.000 individuele warmtepompen.

- Eiland (met warmtepompen, voor gelijke dekking): € 5.400 per gebouw
- Samenland: € 2.900 per gebouw
- Besparing door Samenland te kiezen: € 2.500 per woning/gebouw

6.1 Systeemoverwegingen

Perspectief in stand houden van gasnet en perspectief afhankelijkheid van bronnen

Perspectief in stand houden gasnet

Het bestaande gasnet in stand houden voor groen gas is een systemische afweging, omdat de infrastructuur er al ligt en de uitvoeringscapaciteit schaars is.
Het in stand houden en gericht benutten van het bestaande gasnet voor groen gas is een systemische afweging in de inrichting van het totale energiesysteem. Juist omdat de infrastructuur al aanwezig is, kan inzet van het gasnet bijdragen aan een transitiepad dat uitvoerbaar blijft binnen de huidige schaarste aan mensen, materialen en vergunningsruimte.

Hergebruik van bestaande infrastructuur verlaagt nu maatschappelijke uitvoeringsdruk
Nieuwe warmtenetten en forse verzwaring van het elektriciteitsnet vragen beide om langdurige planvorming, intensieve vergunningstrajecten en grootschalige werkzaamheden in de openbare ruimte. Netbeheerders en overheid benadrukken tegelijkertijd dat de uitbreiding en versnelling van energie-infrastructuur nu al wordt begrensd door onder meer vergunningen, ruimtelijke inpassing en uitvoeringscapaciteit, terwijl de druk op het elektriciteitsnet door netcongestie sterk toeneemt (netbeheernederland.nl)

In stand houden van gasnet in gebieden waar een alternatief voor handen is kan in de toekomst resulteren in hogere kosten voor de eindgebruiker bij schaarse beschikbaarheid van groen gas
Het in stand houden van het gasnet in gebieden waar een volwaardig alternatief beschikbaar is (bijvoorbeeld een passend warmtenet of een goed uitvoerbare all-electric oplossing) leidt op termijn tot hogere kosten voor de eindgebruiker, juist omdat groen gas schaars blijft. Die schaarste betekent dat de molecule zelf relatief duur is en dat het gasnet vooral in stand wordt gehouden voor een steeds kleinere groep gebruikers.

Tegelijkertijd blijven veel kosten van het gasnet vast: beheer, onderhoud, vervanging en storingsdienst moeten grotendeels doorgaan, ook als het totale gasvolume en het aantal aansluitingen afneemt. Daardoor worden die vaste kosten over minder afnemers verdeeld en stijgen de kosten per aansluiting.

Perspectief afhankelijkheid van bronnen

Geothermie en buurtwarmtepompen hebben als primair doel het produceren en leveren van warmte en kennen daardoor minder tegenstrijdige belangen dan restwarmte
Geothermie en buurtwarmtepompen zijn in de kern een warmteproductietechnologie: het primaire doel is het produceren en leveren van warmte aan afnemers (veelal via een warmtenet). Daarmee hebben geothermie en buurtwarmtepompen, in vergelijking met restwarmte, minder last van tegenstrijdige belangen tussen het primaire proces van de bronhouder en de warmtevraag van de gebouwde omgeving.

Bij restwarmte ligt dat anders. Restwarmte is per definitie een afvalproduct van een primair (industrieel) proces: de warmte is er omdat er productie plaatsvindt, niet omdat warmte leveren het bedrijfsdoel is. Dat maakt de beschikbaarheid van restwarmte in sterke mate afhankelijk van de continuïteit van het primaire proces, het moment waarop de industrie investeert in procesaanpassingen en de strategische keuzes die bedrijven maken (bijvoorbeeld efficiencymaatregelen, elektrificatie, CCS/CCU, of herinrichting van productieketens). TNO wijst er expliciet op dat de leveringszekerheid van industriële restwarmte op de lange termijn onzeker kan zijn, omdat de efficiëntie en inrichting van industriële processen verandert (tno.nl). PBL onderstreept daarnaast dat de omvang van restwarmte bij industrieclusters weliswaar kansen biedt, maar onzeker is, onder andere omdat de industrie restwarmte mogelijk zelf steeds efficiënter gaat benutten (pbl.nl).

6.2 Overige criteria

De snelheid waarin overgestapt kan worden op een duurzaam alternatief, is sterk bepalend voor het CO_2 -afbouwpad. Door snelle opschaling hebben collectieve alternatieven via een warmtenet (WLQ en geothermie) het steilste afbouwpad richting CO_2 -neutraliteit.

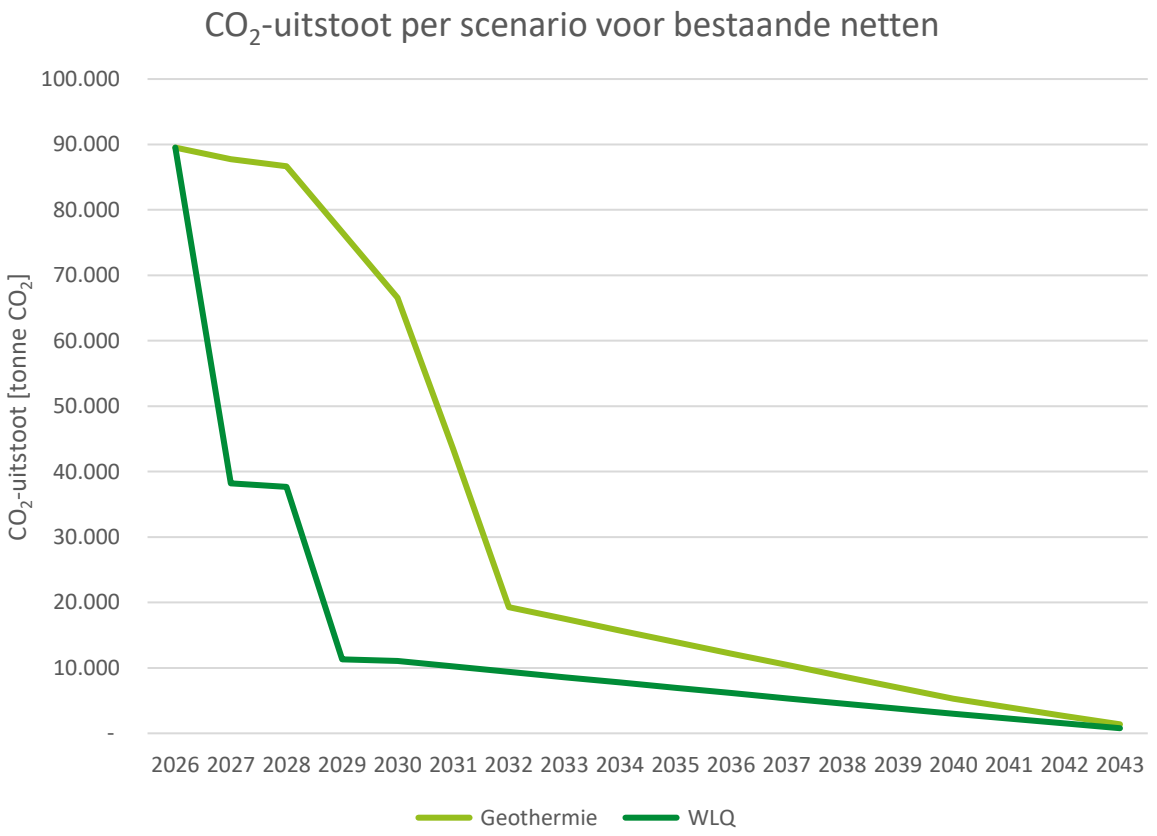
In dit hoofdstuk beschrijven wij de analyse van CO_2-uitstoot en gasverbruik per scenario. De totale CO_2-uitstoot in een scenario is het resultaat van de CO_2 die vrijkomt door gebruik van (fossiele) energiedragers binnen het warmtesysteem. Systeem- en ketenemissies zijn niet meegenomen in deze analyse.

Resultaten CO_2-uitstoot

Voor de bestaande netten leidt het WLQ-scenario tot de snelste CO_2-reductie
De figuur toont de ontwikkeling van de CO_2-uitstoot per scenario voor de bestaande netten. In het WLQ-scenario daalt de uitstoot eerder, doordat de geplande aansluitmomenten op de bestaande netten al in 2027 en 2029 plaatsvinden.

In het geothermie-scenario treedt de reductie later op, omdat de benodigde geothermiebronnen eerst nog moeten worden ontwikkeld, zoals beschreven in de scenario-uitwerking in Bijlage III.

Uiteindelijk convergeren beide scenario's naar 0 kg CO_2-uitstoot in 2043, mede als gevolg van de veronderstelde verdere verduurzaming van het elektriciteitsnet en de inzet van groengas.



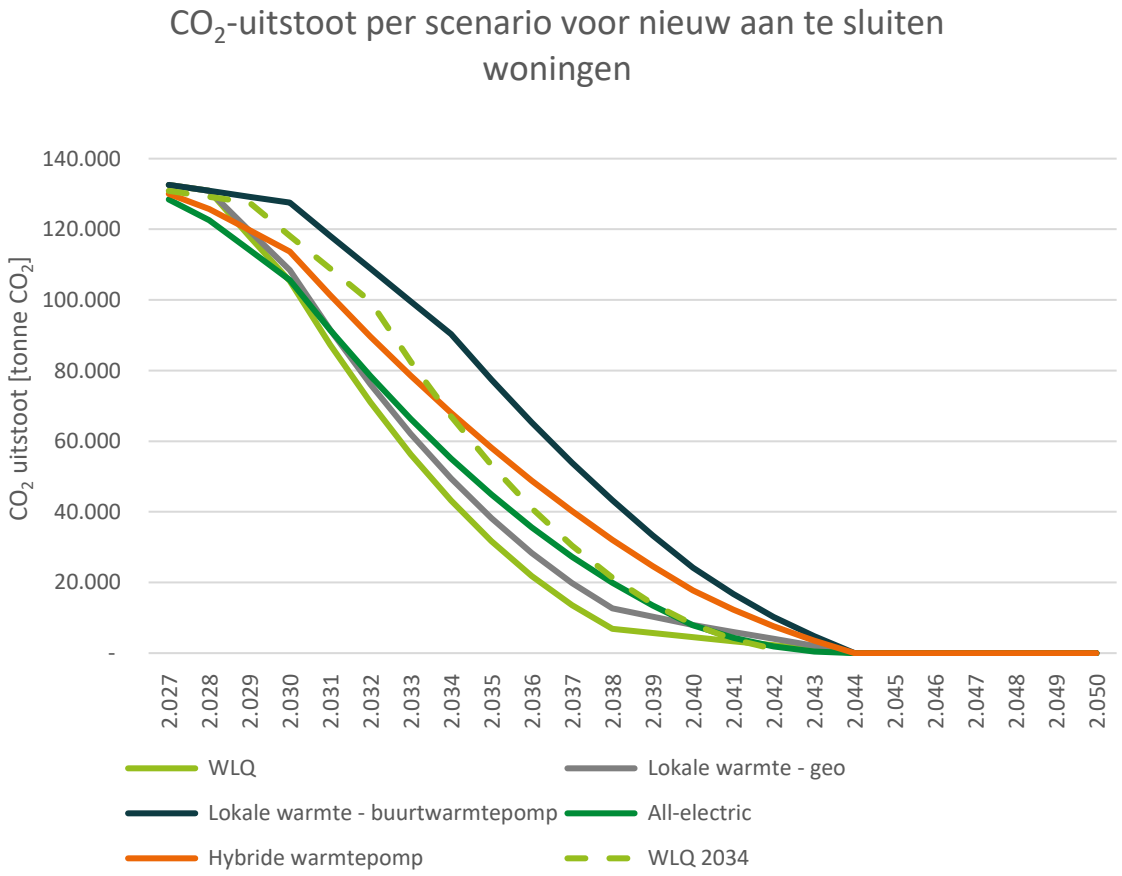
Figuur 6.1: Resultaten analyse CO_2 afbouwpaden – bestaande netten

6.2 Overige criteria

De volloopsnelheid is sterk bepalend voor het afbouwpad richting CO_2-neutraliteit
De snelheid waarmee een warmtescenario in de eerste 10 jaar naar CO_2-neutraliteit toegroeit is grotendeels afhankelijk van de snelheid waarmee woningen op de warmtetechniek aangesloten worden (de volloopsnelheid). Zie *hoofdstuk 1 Scope en scenario's* voor een overzicht van de volloop per warmtescenario. Na de eerste tien jaar neemt de invloed van de volloopsnelheid af en bepalen vooral de verduurzaming van elektriciteit, de bijmengverplichting van groen gas, en het resterende gebruik van piek/back-up en ketels het verdere verloop. In de grafiek zien we daarom dat de curves geleidelijk naar elkaar toe bewegen richting 2044, het moment dat er geen CO_2 meer beschikbaar is voor de gebouwde omgeving.

Gevoeligheid volloop WLQ: *De groene gestippelde lijn presenteert een vertraagde volloop van WLQ, start in 2034 en vervolgens een volloop van 10 jaar. Bij een vertraging van de uitkoppeling van restwarmte via WLQ reduceert het scenario later CO_2. Alle scenario's kennen een gevoeligheid van volloop op de totale CO_2 uitstoot waarbij de collectieve scenario's afhankelijk zijn van collectieve sturing op het volloop.*

Voor nieuw aan te sluiten woningen daalt de uitstoot van CO_2 het snelst in de scenario's restwarmte via WLQ en lokale geothermie
In de grafiek rechts zien we dat het CO_2-afbouwpad het steilst verloopt wanneer woningen aansluiten op een warmtenet dat wordt gevoed door restwarmte via WLQ of lokale geothermie. Doordat de transitie met buurtwarmtepompen pas later op gang komt, loopt dit scenario achter op de andere warmteoplossingen. De individuele oplossingen scoren minder goed waarbij all-electric leidt tot minder uitstoot dan het hybride scenario. *Op de volgende slide gaan we in op de CO_2-uitstoot als gevolg van verduurzaming van gas en elektra.*



Figuur 6.2: Resultaten analyse CO_2 afbouwpaden – nieuw aan te sluiten woningen

6.2 Overige criteria

De verduurzaming van elektriciteit en de bijmenging van groen gas spelen een rol in alle scenario's
We veronderstellen dat de emissiefactor van elektriciteit tot 2030 daalt in lijn met de recente trend en de nationale klimaatdoelstellingen. Daarna bouwt de emissiefactor lineair af naar nul in 2040. Voor gas rekenen we eerst met emissiereductie door de bijmengverplichting en daarna met een lineaire verduurzaming richting 100% groen gas in 2044. Dit zien we terug in de grafiek op de vorige pagina: naarmate de emissiefactoren dalen, lopen de afbouwpaden van de verschillende warmtescenario's steeds meer naar elkaar toe richting 2044.

De effectieve extra CO_2-uitstoot door alternatieven voor WLQ te kiezen, loopt op tot enkele honderdduizenden tonnen CO_2-equivalenten
In de tabel hiernaast (tabel 6.1) staat de totale CO_2-uitstoot van de warmteoplossing en de extra CO_2-uitstoot ten opzichten van het basisscenario. De buurtwarmtepompen leiden tot de meeste uitstoot met name als gevolg van de late start van de transitie door e-netcongestie. Geothermie stoot enkele duizenden tonnen CO_2 meer uit dan WLQ als gevolg van een lagere efficiëntie en daardoor een hoger elektraverbruik. Individuele oplossingen hebben een langzamere transitie dan WLQ en Geothermie en zijn afhankelijk van de verduurzaming van gas en elektra. De getallen in de tabel zijn gebaseerd op de gehanteerde vollooppaden zoals beschreven in 2.2.

Gevoeligheid volloop WLQ: *Bij vertraging van het gehanteerde volloopscenario van WLQ stijgt de CO_2 uitstoot. Tabel 6.2 presenteert de CO_2 uitstoot van het WLQ scenario met een vertraagde volloop, 10 jaar vanaf 2034 (zoals gepresenteerd in grafiek 6.2). Alleen het buurtwarmtepompscenario stoot in deze situatie meer CO_2 uit. In het algemeen resulteert een vertraging van overstap naar een duurzaam alternatief in hogere CO_2 uitstoot. Vertraging in de alternatieve scenario's verandert de vergelijking met het WLQ-scenario ook.*

Tabel 6.1: Resultaten CO_2-uitstoot per scenario over looptijd van 30 jaar

	Rest-warmte via WLQ	Geothermie	Buurt-warmte-pomp	All-electric warmte-pomp	Hybride warmte-pomp
Totaal [ton CO_2]	1.004.176	1.068.445	1.434.899	1.086.311	1.240.329
CO_2-uitstoot ten opzichte van het WLQ scenario [ton CO_2]	0	64.269	430.722	82.135	236.152

*Tabel 6.2: Resultaten CO_2-uitstoot per scenario over looptijd van 30 jaar – **vertraging WLQ naar 2034***

Gevoeligheid	Rest-warmte via WLQ	Geothermie	Buurt-warmte-pomp	All-electric warmte-pomp	Hybride warmte-pomp
Totaal [ton CO_2]	1.338.017	1.068.445	1.434.899	1.086.311	1.240.329
CO_2-uitstoot ten opzichte van het WLQ scenario [ton CO_2]	0	-269.572	96.881	-251.706	-97.689

6.2 Overige criteria

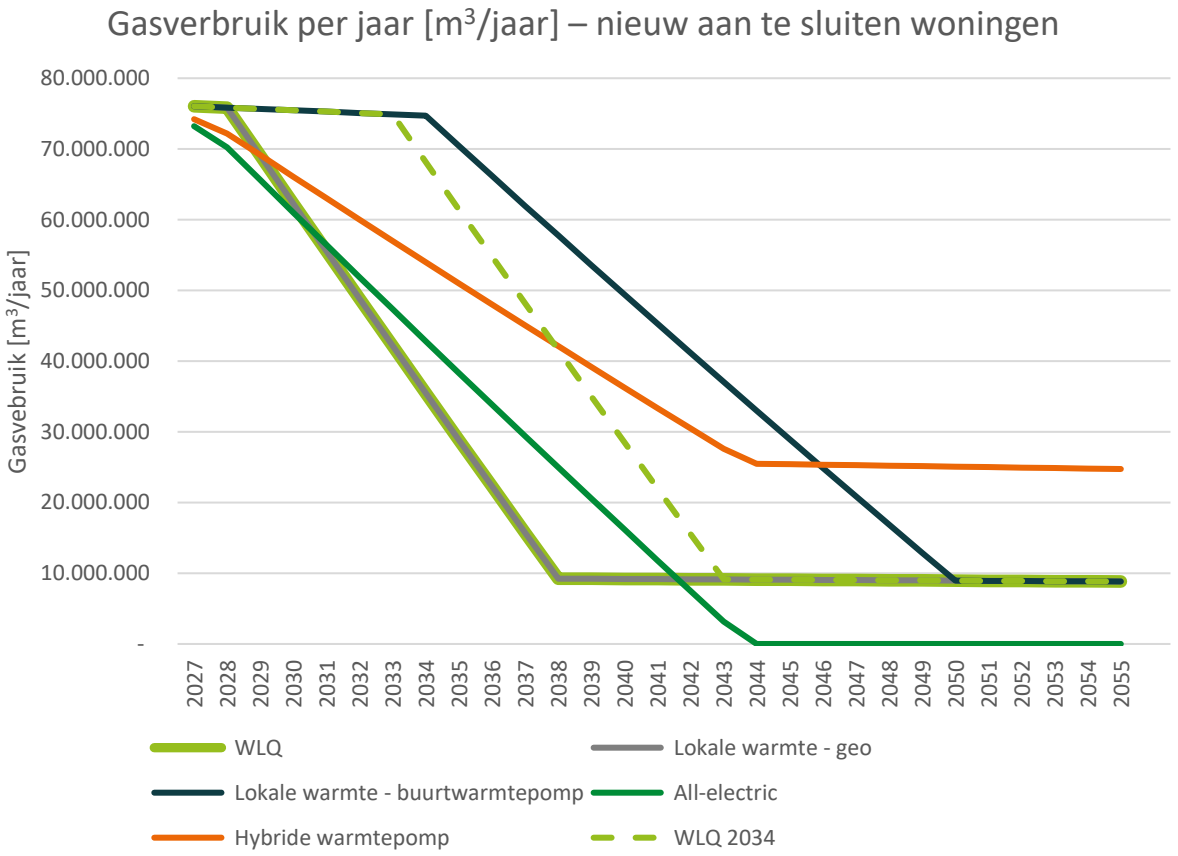
Resultaten gasverbruik

All-electric resulteert in laagste afhankelijkheid van gas in 2050, hybride het hoogste
In de scenario's restwarmte via WLQ en lokale warmte met geothermie daalt het gasverbruik sterk zodra woningen aansluiten. Daarna resteert slechts gas voor piek- en back-up. Het buurtwarmtepompscenario bouwt het gasverbruik later af door e-netcongestie, maar komt op hetzelfde niveau uit als de overige collectieve oplossingen. In het all-electric scenario verdwijnt gasverbruik na overstap volledig. Het hybride scenario wijkt af: de cv-ketel blijft een vast onderdeel van de oplossing voor een deel van de warmtevraag en voor piekmomenten. Daardoor blijf het gasverbruik in dit scenario over de hele periode duidelijk hoger dan all-electric, WLQ en geothermie.

De lijnen voor WLQ en geothermie vallen in de grafiek samen, omdat in beide scenario's wordt uitgegaan van dezelfde hoeveelheid ingekocht gas. Eventuele gasbijvangst bij geothermie is niet opgenomen, aangezien dit geen invloed heeft op de weergegeven afhankelijkheid van gasinkoop.

De volloopsnelheid bepaalt het afbouwpad van het gasverbruik
In lijn met de grafieken op de vorige pagina's van dit hoofdstuk, daalt het gasverbruik vooral door de snelheid waarmee woningen van de cv-ketel overstappen op een alternatief. In de eerste jaren ligt het gasverbruik in de scenario's nog dicht bij elkaar, omdat veel woningen nog aardgas gebruiken. Zodra de volloop op gang komt, lopen de paden uiteen en wordt zichtbaar welk scenario het gasverbruik het snelst terugdringt.

Gevoeligheid volloop WLQ: *De groene gestippelde lijn presenteert een vertraagde volloop van WLQ, start in 2034 en vervolgens een volloop van 10 jaar. Bij een vertraging van de uitkoppeling van restwarmte via WLQ reduceert het scenario later het gasverbruik. Alle scenario's kennen een gevoeligheid van volloop op het totale gasverbruik, waarbij de collectieve scenario's afhankelijk zijn van collectieve sturing op het volloop.*



Figuur 6.3: Gasverbruik per jaar per scenario

FAKTON ENERGY

Haskoning
Enhancing Society Together

22-5-2026

Bijlagen

Vergelijking WLQ met alternatieve warmteoplossingen

FAKTON ENERGY

Haskoning
Enhancing Society Together

22-5-2026

Wijkkeuze langs tracé WLQ

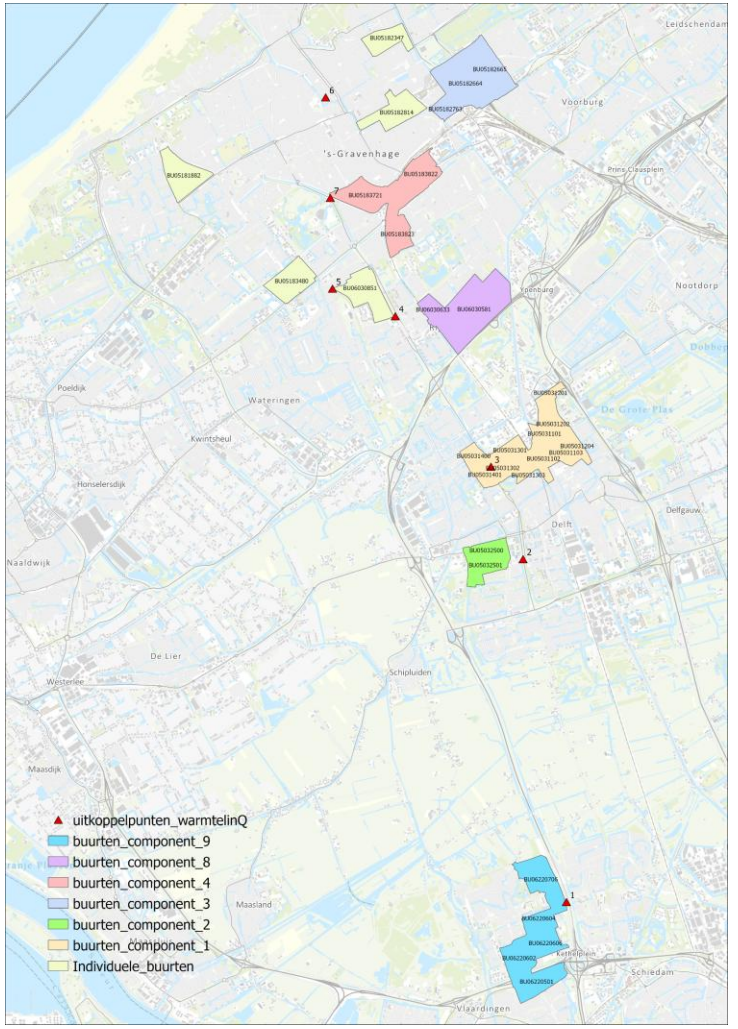
Vergelijking WLQ met alternatieve warmteoplossingen

I. Wijkkeuze langs tracé WLQ

Op basis van Startanalyse waar voorkeurstechnologie collectieve warmte is.

De wijkselectie voor de verdere volloop van WarmtelinQ is gebaseerd op een ruimtelijke clustering van kansrijke buurten langs het tracé tussen Rotterdam, Delft, Rijswijk, Den Haag en Leiden. In de figuren zijn de geselecteerde buurten gegroepeerd in samenhangende componenten (component 1 t/m 9), aangevuld met enkele individuele buurten. De uitkoppelpunten van WarmtelinQ vormen hierbij de logische voedingspunten voor de onderliggende distributienetten. Wij bepaalden de clusters op basis van:

- **Ruimtelijke logica langs het tracé:** Langs het volledige tracé is gekozen voor buurten die binnen logische aansluitafstand van een uitkoppelpunt liggen en daarnaast ruimtelijk aaneengesloten zijn, zodat efficiënte distributienetten kunnen worden ontwikkeld, voldoende warmtevraagdichtheid hebben om systeemtechnisch en economisch rendabel te zijn en volgens de Startanalyse zijn aangeduid met voorkeurstechnologie S2D (collectieve warmte). Hierdoor ontstaat een aaneengesloten ontwikkelstructuur van zuid naar noord, waarbij per uitkoppelpunt één of meerdere clusters kunnen worden ontsloten.
- **Systeemmatige onderbouwing:** De gekozen wijkclusters zorgen gezamenlijk voor een logische verdeling van warmtevraag over meerdere uitkoppelpunten, optimale benutting van de transportcapaciteit, beperking van transportverliezen door compacte distributiegebieden, gefaseerde en realistische volloop van het systeem en aansluiting bij de Startanalyse (S2D) inclusief wijken met bestaande of gedeeltelijke warmtenetten.



Kaart van gekozen clusters langs tracé WLQ Rotterdam-Den Haag

I. Wijkkeuze langs tracé WLQ

Op basis van Startanalyse waar voorkeurstechnologie collectieve warmte is.

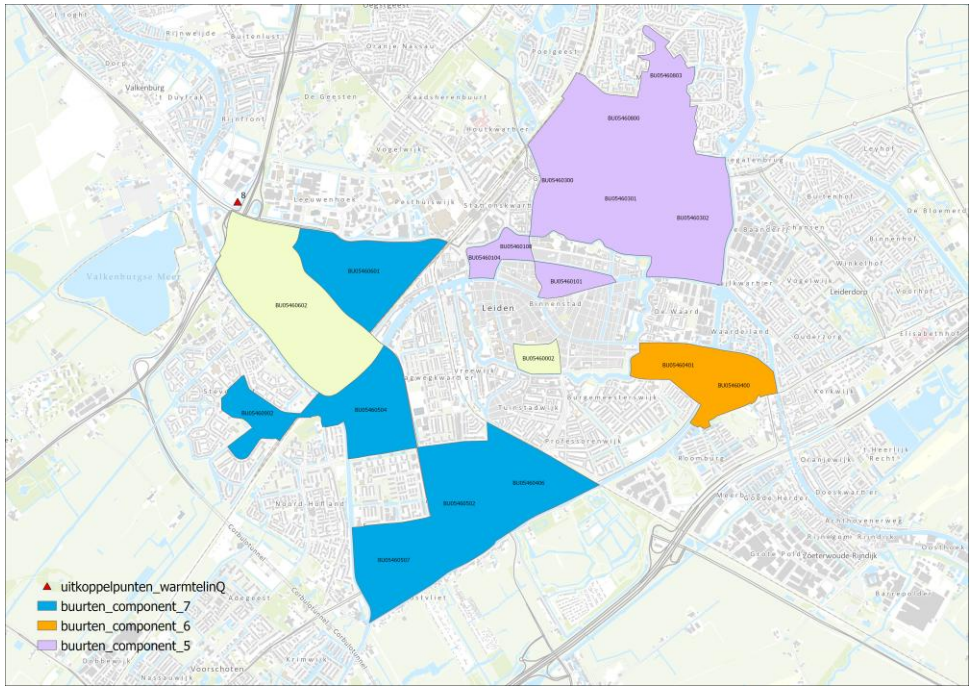
Door de beschreven selectieprocedure op de vorige pagina komen we op de volgende vier clusters:

- **Vlaardingen/Schiedam (component 1)**
  In het zuidelijk deel van het tracé is een compact cluster geselecteerd rond het uitkoppelpunt nabij Vlaardingen/Schiedam. Deze buurten vormen een logisch eerste aansluitgebied vanwege directe nabijheid tot de transportleiding. Dit cluster kan relatief zelfstandig functioneren en vormt een robuuste basisbelasting op het systeem.

- **Delft en Rijswijk (componenten 2 en 3)**
  Rond Delft en Rijswijk zijn meerdere samenhangende buurten geselecteerd die ruimtelijk aansluiten op de uitkoppelpunten in dit gebied. De gekozen buurten vormen compacte ontwikkelgebieden met voldoende dichtheid en uitbreidingspotentieel. Door clustering wordt de distributielengte per woning beperkt en ontstaat een efficiënte netwerkstructuur.

- **Den Haag: meerdere stedelijke clusters (componenten 4, 8 en 9)**
  In Den Haag is gekozen voor meerdere stedelijke clusters:
    - Een centraal cluster (component 4) met aaneengesloten buurten rond een uitkoppelpunt in het stedelijk gebied.
    - Een oostelijk cluster (component 8) met duidelijke ruimtelijke samenhang.
    - Een noordelijk cluster (component 9) nabij de kustzone.
    - Daarnaast zijn enkele individuele buurten geselecteerd die op basis van ligging en warmtevraagdichtheid zelfstandig kansrijk zijn.

- **Leiden: grootschalige en complementaire clusters (componenten 5, 6 en 7)**
  In Leiden is de wijkkeuze opgebouwd uit drie duidelijk te onderscheiden clusters:
    - Component 5: een noordelijk cluster met sterke interne samenhang en duidelijke begrenzing.
    - Component 6: een oostelijk cluster dat ruimtelijk compact is en logisch ontsloten kan worden vanuit een uitkoppelpunt.
    - Component 7: een omvangrijk zuidelijk cluster met meerdere aaneengesloten buurten, geschikt voor grootschalige aansluiting.
    - Daarnaast is een kleinere, centrale buurt afzonderlijk opgenomen vanwege haar strategische ligging. De Leidse selectie laat zien dat is gekozen voor substantiële, ruimtelijk samenhangende gebieden in plaats van versnipperde aansluitingen. Dit versterkt de netefficiëntie en maakt gefaseerde uitrol mogelijk.



Kaart van gekozen clusters langs tracé WLQ in Leiden

FAKTON ENERGY

Haskoning
Enhancing Society Together

22-5-2026

Scenario overschrijdende uitgangspunten

Vergelijking WLQ met alternatieve warmteoplossingen

II. Scenario overschrijdende uitgangspunten

22-5-2026

Kosten van e-netcongestie en netverzwaring [1/3]

Opgenomen kosten en impact van e-netcongestie in onze analyse

- Warmtealternatieven doen in verschillende mate een beroep op e-netcapaciteit in zowel transport als opwek. Wij bepalen deze impact op basis van bronnen en in afstemming met de netbeheerders.
- Warmtevoorziening leidt tot een extra elektriciteitsvraag met een relatief hoge gelijktijdigheid ten opzichte van reguliere kleinverbruikersvraag. De opgenomen netverzwaring in de tabel betreft de planningswaarden voor netbeheerders en verschillen daarmee van daadwerkelijke meetgegevens zoals uit het CE Delft laat in *Warmten(i)et vastgelopen* rapport volgt.
- Gegeven een situatie met e-netcongestie, werkt deze extra transport- en productievraag door in netverzwaring en in de behoefte aan extra regelbaar vermogen voor piekvraag en systeembalans. Deze additionele kosten nemen wij mee in de nationale kosten analyse (zie volgende pagina).
- E-netcongestie kent de directe systeemkosten die uit netverzwaring en regelbaar vermogen volgen, en leidt indirect tot welvaartsschade door gemiste economische groei. Ecorys benadert dit via een kengetal per niet-geconsumeerde MWh. Deze component nemen wij niet mee, omdat dit geen directe kasuitgaven betreft en daarmee geen nationale kosten zijn.
- De tabel hiernaast geeft een overzicht van de benodigde extra verzwaring per warmteoplossing ten opzichte van het nul-alternatief (collectieve warmte met WLQ).
- De benodigde verzwaring speelt op hoogspanning en middenspanning (HS/MS) voor collectieve oplossingen en hoogspanning, middenspanning en laagspanning (HS/MS/LS) voor individuele oplossingen.
- De impact van deze aannames op ons model lichten we toe op de volgende pagina.

Additionele netverzwaring per scenario

Scenario	Additionele netverzwaring op netniveau (piekcapaciteit per woning incl. gelijktijdigheid)	Additioneel regelbaar vermogen t.o.v. netverzwaring
WLQ = 0-alternatief	0 kWe	n.v.t.
Geothermie	**Excl. warmtepomp** (voor nieuwe netten): 0,3 kWe (HS/MS) **Incl. warmtepomp** (voor bestaande netten): 0,7kWe (HS/MS)	100% 95%
Buurtwarmtepompen	1,1 kWe (HS/MS)	95%
All-electric	1,6 kWe (HS/MS/LS)	60%
Hybride	1 kWe (HS/MS/LS)	90%

Bron verzwaring: CE-Delft (verzwaring) , CE-Delft en Motivaction, RVO, expert judgement Haskoning en validatie met netbeheerder Liander en Stedin

Bron regelbaar vermogen: Kalavasta (2026)

NB. De aannames zoals we ze hanteren baseerden we op beschikbare literatuur en valideerden deze in meerdere iteraties met de netbeheerders zodat we gedragen uitgangspunten hanteren die voor een systeemanalyse zoals deze aansluiten bij de huidige opvattingen over netcongestie. Eventueel voortschrijdende inzichten bij netbeheerders of innovaties in technieken nemen we niet mee.

II. Scenario overschrijdende uitgangspunten

22-5-2026

Kosten van e-netcongestie en netverzwaring [2/3]

Impact van e-netcongestie in ons onderzoek

- **Tragere transitie en ETS-kosten.** Als een alternatief additionele verzwaring vereist op niveaus waar dat niet mogelijk is, vindt implementatie later plaats; tot dat moment wordt langer met gas gestookt en treden extra ETS-kosten op.
    - Congestie op het hoogspanningsnet in de geografische scope loopt tot Q4 2034 op basis van input van de netbeheerders.
    - Tot die tijd gaan wij ervan uit dat nieuwe aansluitingen voor buurtwarmtepompen niet realiseerbaar zijn.
    - Aansluitingen voor collectieve warmte (bijv. WOS voor WLQ en aansluitingen voor geothermie-installaties) achten wij wel mogelijk, omdat wij ervan uitgaan dat hiervoor capaciteit reeds is gereserveerd of beschikbaar blijft in de komende jaren.
    - De individuele groei van all-electric en hybride is beperkt te sturen door de netbeheerder. Huishoudens kunnen namelijk besluiten een warmtepomp te installeren als hun eigen aansluiting groot genoeg is. Wij gaan ervan uit dat huishoudens die de overstap naar hybride of all-electric overwegen, hier de juiste aansluiting voor hebben en modelleren deze groei daarom als lineair.
- **Additionele netverzwaring (LS/MS/HS).** Wij nemen de extra investeringskosten voor netverzwaring mee en de ruimtelijke impact.
    - Dit betreft de: kabels, transformatorhuisjes en verdeelstations.
    - Deze kosten zijn direct toerekenbaar aan het benodigde extra vermogen als gevolg van de extra capaciteitsvraag van de warmteoplossing. De investeringskosten zijn opgenomen in de tabel.

Investeringskosten netverzwaring

Netaanpassingen Elektra	Aanname (pj 2025)	Bron (gevalideerd door netbeheerders)
Netverzwaring HS/MS/LS	€ 1.113.419	CE_Delft
Netverzwaring HS/MS	€ 688.235	CE_Delft

II. Scenario overschrijdende uitgangspunten

Kosten van e-netcongestie en netverzwaring [3/3]

- **Additioneel regelbaar vermogen.** Wij nemen de investeringen in additioneel regelbaar vermogen mee en de ruimtelijke impact hiervan.
    - Het regelbaar vermogen vervult een rol op langdurige piekvraagmomenten en het balanceren van het netwerk. STEGs zijn een voorbeeld van regelbaar vermogen en vullen de vraag in als er langdurig geen andere bronnen beschikbaar zijn, zoals gedurende dunkelflautes.
    - Batterijen in het energiesysteem vangen kortdurende pieken op. Het regelbaar vermogen hoeft die pieken niet te leveren, maar het net moet ze wel transporteren. Daardoor is minder regelbaar vermogen nodig dan de netverzwaring die wij aannemen. Op pagina 63 staan de gehanteerde afslagen op de additionele verzwaring om tot het benodigde regelbaar vermogen te komen. Wij gaan uit van een autonome ontwikkeling van batterijen.
    - We rekenen hiervoor met €1.400 / MW op basis van een studie van Common Futures in opdracht van Netbeheer Nederland en EBN.
    - We hanteren 100m^2/MW voor ruimtelijke inpassing van het regelbaar vermogen (zie hoofdstuk ruimte inpasbaarheid).

- **Additionele investeringen in basisvermogen nemen we expliciet niet mee, ruimtelijke inpasbaarheid wel.** We gaan ervan uit dat het extra basisvermogen geen significant effect heeft op de elektraprijs behalve op piekmomenten.
    - Deze piekmomenten nemen we mee met investeringen in regelbaar vermogen i.p.v. een verhoogde elektraprijs (Zie bijlage II, kostprijs elektra).
    - De benodigde investeringen voor basislast die toe te rekenen zijn aan de extra elektravraag, verdienen zichzelf terug door de verkoop van elektra en veranderen niet de elektraprijs.
    - De kosten voor het extra elektraverbruik zijn daarmee de nationale kosten toe te schrijven aan de warmteoplossing.
    - We maken wel inzichtelijk wat de ruimtelijke inpasbaarheid is van de benodigde extra basislast. Deze impact drukken we uit aantallen verschillende soorten opwek.

II. Scenario overschrijdende uitgangspunten

22-5-2026

Kostprijs van elektra

Elektriciteitsprijs gebaseerd op de KEV 2025

- Wij hanteren voor elektriciteit een prijspad op basis van de Klimaat en Energie Verkenning (KEV 2025) als uitgangspunt voor de kosten van extra elektriciteitsverbruik in de scenario's.
- Als referentie hanteren wij hierbij een elektriciteitsprijs van € 0,073 per kWh in 2030 (KEV 2025), waarbij in het model het KEV-prijspad wordt gevolgd over de looptijd.
- Na 2030 indexeren we de KEV-prijs met de algemeen geldende indexatie (2%)

Geen prijsfeedback door extra vraag (afbakening)

- Wij nemen geen effect op de elektriciteitsprijs mee van de extra elektriciteitsvraag uit de scenario's, omdat wij aannemen dat deze extra vraag te klein is om het nationale KEV-prijspad merkbaar te beïnvloeden.

Belastingen, heffingen en nettarieven (nationale kosten)

- Wij nemen geen energiebelastingen/heffingen en nettarieven op als kostencomponent in de elektriciteitsprijs in deze nationale kostenanalyse, omdat dit primair overdrachtsbetalingen betreft en geen additionele nationale kosten.

Netinvesteringen en regelbaar vermogen (niet in elektraprijzen)

- De nationale kosten die samenhangen met extra elektriciteitsvraag, zoals netinvesteringen en additioneel regelbaar vermogen, nemen wij separaat mee onder de uitgangspunten en monetarisering van e-netcongestie en systeemkosten (zie aparte slide), zodat elektriciteitsprijs en systeeminvesteringen niet worden vermengd.

II. Scenario overschrijdende uitgangspunten

Kostprijs van (groen)gas

Definitie en rol in de nationale kostenanalyse

- Wij hanteren voor groen gas als uitgangspunt een basisbedrag voor de SDE++ en dus expliciet niet de kosten die gepaard gaan met het creëren van productiecapaciteit.
- Wij zien dat subsidies de prijs voor individuele partijen kunnen verlagen, maar dat dit geen effect heeft op de nationale kosten, omdat subsidies binnen een nationale kostenanalyse als overdrachtsbetalingen worden beschouwd en daarom niet als kostenreductie worden meegenomen.

Certificaten en ingroeipad (bijmengen → 100% groen in 2044)

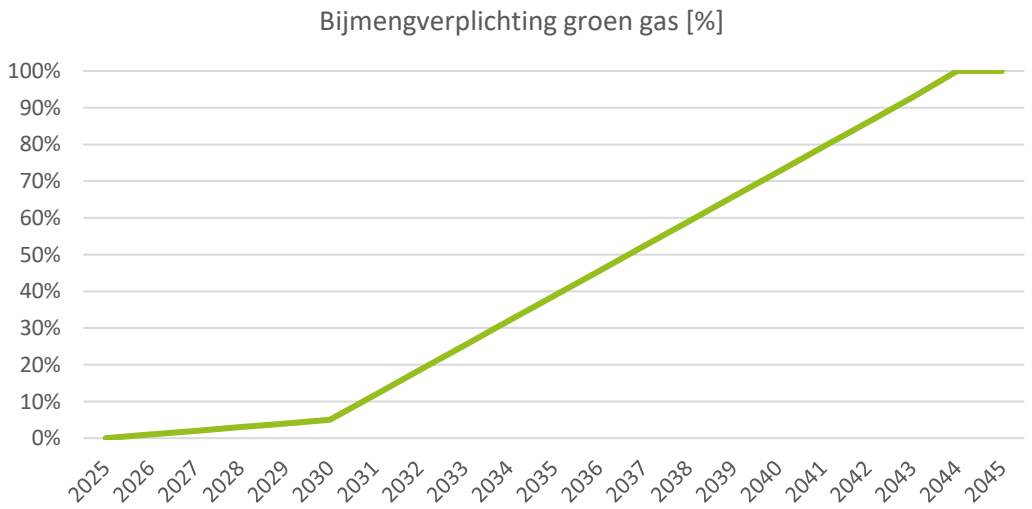
- We gaan uit van een administratief systeem van certificeren voor het borgen van de herkomst van het groene gas. De productie van groen gas hoeft dus expliciet niet in de regio plaats te vinden.
- Wij nemen een ingroeipad aan waarbij het gasnet in 2044 volledig op groen gas draait; startpunt is 5% bijmenging van groen gas in het bestaande net in 2027. Het ingroeipad is weergegeven in de grafiek hiernaast.

Prijs en indexatie groen gas

- Wij bepalen de prijs van groen gas op basis van de SDE++ en vertalen dit, op basis van de calorische bovenwaarde (HHV), naar een prijs per m^3.
- Dit resulteert in een groen gasprijs van € 1,49 per m^3 (prijspeil 2025). Basisbedrag SDE++ (0,1523 euro/kWh * 9,8 kWh/m^3).
- We indexeren de prijs met de algemeen gehanteerde 2% per jaar

Aardgasprijs en bijmenging voor rekenwaarde nationale kosten

- We hanteren een aardgasprijs op basis van de KEV2025, deze indexeren we.
- De uiteindelijke rekenprijs in het model baseren we op de prijzen van aardgas en groen gas gecorrigeerd voor de bijmenging in het net.



Figuur 17: Aandeel groen gas in aardgasmix over tijd

II. Scenario overschrijdende uitgangspunten

ETS-kosten

ETS-kosten als onderdeel van de nationale kosten

- Wij maken expliciet onderscheid tussen **ETS1** en **ETS2**, omdat beide systemen op andere sectoren aangrijpen en verschillende prijzen hebben en daarmee anders in de scenariovergelijking worden verwerkt. Daarnaast geldt dat de prijs voor een ETS1 certificaat niet gelijk is aan de prijs voor een ETS2 certificaat.
- Wij passen ETS2 en een deel van ETS1 hiermee toe als financiële kostenpost die het kostenverschil tussen fossiele en niet-fossiele opties beïnvloedt. Wij voorkomen dubbeltelling door indirecte ETS-kosten via energieprijzen niet als aparte post mee te nemen.

Wij hanteren de volgende ETS-kosten:

- **ETS1 op elektra verbruik**: wij hanteren voor de elektraprijs de prognoses vanuit de KEV. Deze prognoses zijn inclusief de ETS1 kosten voor de productie van elektriciteit. ETS1 kosten voor het verbruik van elektriciteit zit daarmee verwerkt in de elektraprijs.
- **ETS1 voor gasverbruik collectieve warmte**: voor het gasverbruik van de piek-/back-upinstallaties van collectieve warmtesystemen hanteren wij het uitgangspunt dat deze binnen het ETS1 systeem vallen, gezien het gaat om grootschalige installaties. Voor de inschatting van deze kosten baseren wij ons ook op de KEV prognoses.
- **ETS-kosten voor restwarmte expliciet niet**: wij gaan er vanuit dat alle CO_2-uitstoot van de restwarmteproducent toekomt aan het primaire proces. Daarnaast gaan we er vanuit dat eventuele ETS-voordelen die de restwarmteproducent krijgt als gevolg van het leveren van de restwarmte, door vloeien naar het warmtebedrijf. Dit is een kostenverschuiving en resulteert dus niet in nationale kosten.
- **ETS2 voor gasverbruik door huishoudens**: Voor ETS2 nemen wij de kosten op voor het verstoken van aardgas in de gebouwde omgeving. Dit gebeurd in alle scenario's vóór de overstap naar duurzame warmte in de CV-ketel en in het scenario hybride warmtepomp ook na de overstap. Voor het ETS2-prijspad baseren wij ons op de Klimaat- en Energieverkenning (KEV) 2025 van PBL en op de informatie over ETS2-prijzen van de Nederlandse Emissieautoriteit. Als anker nemen wij voor ETS2 een prijs van € 57 per ton CO_2 in 2030 (prijspeil 2025), waarna wij deze prijs indexeren voor de verdere modelhorizon.

Prijspeil en inflatiecorrectie

- Voor ETS1-prijzen hanteren we de KEV 2025 voor 2024 en 2030 en interpoleerden deze. Na 2030 corrigeren we voor inflatie op basis van de algemeen geldende 2% indexatie in het model .
- Wij corrigeren ETS2-prijzen naar het gehanteerde prijspeil met een CPI-gebaseerde inflatiecorrectie, zodat ETS2-consistent is met de overige prijsreeksen in het model.

Emissiesysteemgrens en groen gas

- ETS2-kosten worden in de analyse gekoppeld aan directe verbrandingsemissies van aardgas; groen gas wordt overeenkomstig behandeld als 0-emissie en krijgt daarmee geen ETS2-kosten in de berekening. Het uitgangspunt hierbij is dat het groen gas voldoet aan de RED-eisen, in lijn met de Nederlandse Emissie Autoriteit.

II. Scenario overschrijdende uitgangspunten

Warmtevraag en isolatiemaatregelen

22-5-2026

Warmtevraag en isolatiemaatregelen

- Wij baseren onze warmtevraag en benodigde isolatiemaatregelen op de SETuP tool van Haskoning. Op basis van BAG-gegevens (2026), energielabels (2024) en woningtypologie bepaalt de tool de warmtevraag binnen het onderzochte gebied.
- In het basisscenario hanteren wij een gemiddelde warmtevraag van de woningen van 35 GJ per jaar. Dit sluit aan bij de warmtevraag wanneer de woningen gereed zijn voor MT-verwarming. Wij gaan ervanuit dat de woningen autonoom isoleren tot het niveau van MT-verwarming. Dit zijn hiermee geen onderscheidende kosten binnen de nationale kostenanalyse.
- In het all-electricscenario rekenen wij met isolatiekosten naar de RVO-standaard, geschikt voor LT-verwarming. De isolatiemaatregelen en bijbehorende kosten bepalen wij op basis van de gebouwtypologie en het bouwjaar per pand in het gebied. Per woningtype en bouwjaar bepalen wij toepasbare maatregelen om tot de Standaard te isoleren. De gemiddelde kosten per woning voor isoleren naar de Standaard vanaf MT-ready niveau achten wij € 5.368 per woning.
- De warmtevraag na isolatie baseren wij op de RVO-standaard en passend bij de gebouwtypologie in de geselecteerde wijken. De stap van MT-ready naar LT-ready resulteert in een gemiddelde energiebesparing van circa 12% over de totale woningvoorraad binnen de scope van deze studie.
- Wij hanteren geen isolatiekosten voor woningcorporatiewoningen binnen de scope. Woningcorporaties zijn verplicht te isoleren naar de RVO-standaard voor LT-verwarming waardoor dit geen onderscheidende kosten zijn tussen de scenario's. Binnen de scope van ons onderzoek is 24% van de woningen woningcorporatie bezit.

Warmtevraag

Energievraag	Waarde	Bron (gevalideerd door warmtebedrijven)
Gemiddelde warmtevraag woningen binnen scope geschikt voor MT-verwarming	35 GJ/jaar	SETuP-analyse Haskoning
Waarvan tapwatervraag	*6 GJ/jaar*	
Waarvan ruimteverwarming	*29 GJ/jaar*	
Gemiddelde warmtevraag na isolatiemaatregelen naar de RVO-standaard voor LT-verwarming	30,8 GJ/jaar	SETuP-analyse Haskoning
Waarvan tapwatervraag	*6 GJ/jaar*	
Waarvan ruimteverwarming	*24,8 GJ/jaar*	
Afname warmtevraag na isolatie maatregelen, gemiddeld binnen scope	12%	SETuP-analyse Haskoning
Afname warmtevraag door opwarming aarde (correctie graaddagen)	0,25 %/jaar	expert judgement/CE-Delft

FAKTON ENERGY

Haskoning
Enhancing Society Together

22-5-2026

Scenario's uitgangspunten

Vergelijking WLQ met alternatieve warmteoplossingen

1. Bestaande netten op WLQ

22-5-2026

Toelichting op hoofdlijnen
In dit scenario gaan de bestaande warmtenetten (41.177 woningen) over op restwarmte via WarmtelinQ (WLQ) als basisbron. Dit scenario vormt het standaard-/referentiescenario voor de vergelijking met alternatieven voor de bestaande netten.

Beoogde techniek
WLQ levert warmte op een hoog temperatuurniveau (circa 120°C), waardoor de bestaande netten de warmte vrijwel volledig direct kunnen benutten zonder opwaardering met warmtepompen. Wij hanteren WLQ als basislast en vullen de resterende warmtevraag in met piek- en back-up.

- **Warmtebronnen**
  De WLQ-warmte is gebaseerd op restwarmte uit de Rotterdamse haven. Hiervoor gaan wij uit van warmtelevering door de reeds gecontracteerde AVR en Shell.

- **Piek- en back-up**
  Gasgestookte voorzieningen vervullen de rol van piek/back-up. We nemen aan dat deze in de tijd verduurzamen met groen gas. Wij gaan ervan uit dat de piek- en back-upfaciliteiten die de bestaande netten nu ondersteunen, ook bij levering via WLQ volstaan, waardoor wij hiervoor geen additionele investeringen opnemen. Wij hanteren een inzet van 10% voor de piek- en back-upinstallaties voor de levering van warmte. Dit is relatief laag ten opzichte van de 15% die standaard gehanteerd wordt omdat in de bestaande netten reeds buffers worden gerealiseerd die het aandeel gas terugdringen.

- **Distributie**
  WLQ sluit aan op de bestaande distributienetten. Omdat wij in alle collectieve varianten uitgaan van warmtevoorziening via een warmtenet, nemen wij kosten voor bestaande infrastructuur (zoals afleversets, leidingen, pompstations en regulier onderhoud) niet op als onderscheidende kostenpost. Deze kosten veronderstellen wij aanwezig en zij beïnvloeden de vergelijking tussen collectieve varianten daarom niet.

Overzicht van de kosten
Wij behandelen investeringen in WLQ die nodig zijn om enkel de bestaande netten te voeden (115 MW) als sunk costs omdat deze al gedaan ofwel gecommitteerd zijn. Wij nemen daarom in deze scenariobeschrijving geen additionele investeringskosten op voor WLQ en de uitkoppeling van restwarmtebronnen. In dit scenario rekenen we enkel met de operationele kosten om WLQ te draaien op 115 MW en bijbehorende energiekosten voor piek- en backup.

- **Isolatiekosten**
  Bij de bestaande netten gaan wij uit van isolatie van woningen naar MT-ready. Inpandig voldoen de woningen ook. Dit is het standaarduitgangspunt en wij nemen hiervoor geen nationale kosten mee.

- **Herinvesteringen**
  Herinvesteringen volgen uit de reguliere vervangingsopgave binnen warmtenetten en woningcomponenten. Wij nemen deze herinvesteringen in de vergelijking niet op als onderscheidende meerkosten tussen collectieve varianten voor bestaande netten.

- **Impact op netbelasting**
  WLQ levert warmte zonder grootschalige additionele elektrificatie in de warmtevoorziening van deze bestaande netten. De netbeheerder gaat in de huidige planning uit van de inzet van WLQ. We hanteren hierom geen extra benodigde netverzwaring als gevolg van de inzet van WLQ.

Ingroeipad
Op basis van de uitgangspunten van WarmtelinQ start de warmtelevering in 2027 en groeit deze door tot een volledige levering van 115 MW in 2029 voor de bestaande warmtenetten.

2. Bestaande netten op geothermie

22-5-2026

Toelichting op hoofdlijnen
In dit scenario gaan de bestaande warmtenetten (41.177 woningen) over op geothermie als basislastbron, met aanvullende piek- en back-upvoorzieningen. De referentie voor de vergelijking is het WarmtelinQ-scenario (WLQ). Eventuele boetebetalingen voor het afbreken van de bestaande contracten van Vattenfall en Eneco voor het gebruik van WLQ nemen wij niet mee in deze analyse, omdat dit geldoverdrachten zijn en geen nationale kosten.

Beoogde techniek
Geothermie fungeert in dit scenario als enige basislastbron voor de bestaande netten en voorziet daarmee in de 115 MW die Vattenfall en Eneco voor dit doel bij WLQ contracteerden. De bestaande netten vragen een hoger temperatuurniveau dan de geothermiebron direct kan leveren. Daarom gaan wij uit van opwaardering met (collectieve) warmtepompen, waardoor de COP (12) lager uitvalt dan in een situatie waarin geothermiewarmte direct op een lager-temperatuurnet kan worden ingevoegd.

- **Warmtebronnen**
  De warmtebron is geothermie. Voor de eigenschappen van de bron baseren wij ons op de SDE++ categorie *Diepe geothermie ≥ 12 MWth (basislast), warmtenet op hoge temperatuur*. Wij werken de beschikbaarheid en locatie van bronnen en de ruimtelijke inpasbaarheid van boorlocaties verder uit op de aparte slide over ruimtelijke inpassing.

- **Piek- en back-up**
  Gasgestookte voorzieningen vervullen de rol van piek/back-up. We nemen aan dat deze in de tijd verduurzamen met groen gas. Wij gaan ervan uit dat de piek- en back-upfaciliteiten die de bestaande netten nu ondersteunen, ook bij overschakeling naar geothermie volstaan, waardoor wij hiervoor geen additionele investeringen opnemen. Wij hanteren een inzet van 10% voor de piek- en back-upinstallaties voor de levering van warmte omdat in de bestaande netten reeds buffers worden gerealiseerd die het aandeel gas terugdringen.

- **Distributie**
  Geothermie sluit aan op de bestaande distributienetten. Omdat wij in alle collectieve varianten uitgaan van warmtevoorziening via een warmtenet, nemen wij kosten voor bestaande infrastructuur (zoals afleversets, leidingen, pompstations en regulier onderhoud) niet op als onderscheidende kostenpost. Deze kosten veronderstellen wij aanwezig en zij beïnvloeden de vergelijking tussen collectieve varianten daarom niet. We nemen wel de transportkosten mee om geothermie aan te sluiten op de bestaande warmtenetten.

Overzicht van de kosten
Wij nemen in dit scenario investeringen mee voor geothermiebronnen en voor het transport van warmte naar de distributienetten. Ook hanteren we kosten voor het verwijderen van WLQ, hiervoor gaan we uit van 50% van de initiële investering en een looptijd van 2 jaar voor het verwijderen.

- **Isolatiekosten**
  Bij de bestaande netten gaan wij uit van isolatie van woningen naar MT-ready. Inpandig voldoen de woningen ook. Dit is het standaarduitgangspunt en wij nemen hiervoor geen nationale kosten mee.

- **Herinvesteringen**
  Herinvesteringen nemen we mee voor de kosten die volgen uit de bron. De reguliere vervangingsopgave binnen warmtenetten en woningcomponenten nemen wij niet op als onderscheidende meerkosten tussen collectieve varianten voor bestaande netten.

- **Impact op netbelasting**
  Door opwaardering met warmtepompen heeft dit scenario meer impact op het elektranet dan WLQ en leidt het tot extra verzwaring. Wij lichten deze netimpact en de bijbehorende systeemeffecten toe op de aparte slide over e-netcongestie.

Ingroeipad
De geothermiebronnen die de WLQ-warmte vervangen moeten nog ontwikkeld worden. Het ontwikkelen van geothermiebronnen bij zekere afname is mogelijk in een periode van 4–7 jaar (op basis van input EBN). Wij schatten in dat in 2032 de benodigde 115 MW aan geothermiebronnen gerealiseerd is. Dit resulteert in een vertraging van de verduurzaming ten opzichte van WLQ als bron. De nationale kosten die hieruit volgen zijn de extra CO_2 -kosten die optreden doordat in de overgangsperiode langer fossiele warmte nodig blijft om de bestaande netten (volledig) te blijven leveren.

A. Nieuwe netten op WLQ

22-5-2026

Toelichting op hoofdlijnen
In dit scenario gaan wij uit van nieuw aan te sluiten woningen (62.194 woningen) en verduurzamen deze door restwarmte via WarmtelinQ (WLQ) te leveren aan nieuw aan te leggen distributienetten. Dit scenario resulteert in een volloop van WLQ tot 248 MW. Het aardgasnet voorziet op dit moment nog in de warmtevraag van deze woningen. Dit scenario vormt het standaard-/referentiescenario voor de vergelijking met alternatieven voor de nieuw aan te sluiten woningen.

Beoogde techniek
WLQ levert warmte op een hoog temperatuurniveau (circa 120°C). Wij hanteren WLQ als basislast en vullen de resterende warmtevraag in met piek- en back-up. Voor de nieuw aan te sluiten woningen gaan wij uit van additioneel WLQ-vermogen van 133 MW, bovenop de levering aan de bestaande warmtenetten.

- **Warmtebronnen**
  De WLQ-warmte is gebaseerd op restwarmte uit de Rotterdamse haven, die via uitkoppeling en transport beschikbaar komt voor levering aan de nieuw aan te sluiten woningen. De precieze selectie van deze bronnen is buiten de scope van dit onderzoek. Wij nemen de investeringen mee voor de uitkoppeling van bronnen in de haven en voor de uitbreiding van WLQ naar 248 MW, waaronder additionele WOS'en.

- **Piek- en back-up**
  Gasgestookte voorzieningen vervullen de rol van piek/back-up. We nemen aan dat deze in de tijd verduurzamen met groen gas. Omdat het om nieuw aan te sluiten woningen gaat, nemen wij voor piek- en back-up de benodigde investeringen en herinvesteringen mee. Wij hanteren een inzet van 10% voor de piek- en back-upinstallaties voor de levering van warmte omdat wij kosten opnemen voor buffering.

- **Distributie**
  Wij leggen voor de nieuw aan te sluiten woningen nieuwe distributienetten aan en sluiten deze aan op WLQ. Wij nemen hiervoor de investeringen in distributie-infrastructuur mee, inclusief de benodigde overdracht, afleversets en inpandige aanpassingen in woningen.

Overzicht van de kosten
Voor dit scenario nemen wij additionele investeringskosten mee voor (1) kosten nodig voor uitbreiding van WLQ richting 248 MW t.o.v. 115 MW bestaande uit extra leiding en WOS'en, (2) uitkoppeling van restwarmte in de haven en de bouw van piek- en back-upinstallaties, (3) aanleg van distributienetten in de nieuwe gebieden, (4) het verwijderen van het bestaande gasnet, en (5) woning gebonden kosten voor aansluiting, afleverset en inpandige aanpassingen. Wij nemen geen kosten mee voor elektrisch koken, omdat wij dit als autonome ontwikkeling behandelen. Wij nemen daarnaast de bijbehorende operationele kosten mee, waaronder de energiekosten voor pompen van WLQ.

- **Isolatiekosten**
  Wij hanteren als uitgangspunt dat woningen in de nieuw aan te sluiten woningen isoleren naar MT-ready. Wij nemen hiervoor geen additionele kosten mee, omdat wij isolatie als autonome ontwikkeling behandelen en niet als onderscheidende kostenpost binnen dit scenario.

- **Herinvesteringen**
  Wij nemen herinvesteringen mee voor nieuwe assets die wij in dit scenario realiseren, waaronder piek- en back-upinstallaties en warmtenet infrastructuur, conform de gehanteerde levensduren en vervangingscycli in het model.

- **Impact op netbelasting**
  WLQ levert warmte zonder grootschalige additionele elektrificatie in de warmtevoorziening van deze nieuwe netten. De netbeheerder gaat in de huidige planning uit van de inzet van WLQ. We hanteren hierom geen extra benodigde netverzwaring als gevolg van de inzet van WLQ.

Ingroeipad
We gaan uit van een volloop van WLQ op basis van de uitgangspunten zoals zij in hun businesscase hanteren. Dit betekent start volloop in 2029 bovenop de vraag voor bestaande netten en lineaire volloop tot 2038. Dit volloopscenario is geen gegeven en vraagt duidelijke sturing vanuit de gemeenten op collectieve warmte en het inzetten van de WGIW.

B. Nieuwe netten op geothermie

22-5-2026

Toelichting op hoofdlijnen
In dit scenario voorziet geothermie via een collectief warmtenet de nieuw aan te sluiten woningen (62.194 woningen) van warmte. Het aardgasnet voorziet op dit moment nog in de warmtevraag van deze woningen.

Beoogde techniek
Geothermie fungeert in dit scenario als basislastbron voor de nieuwe netten en voorziet daarmee in een warmtevraag van 133 MW. Wij nemen aan dat nieuwe aansluitingen kunnen worden ingericht op middentemperatuur, waardoor geothermiewarmte direct kan worden ingevoegd. Wij veronderstellen daarom geen opwaardering met warmtepompen, en hanteren een hogere COP (22,8) op basis van SDE-uitgangspunten.

- **Warmtebronnen**
  De warmtebron is geothermie. Voor de eigenschappen van de bron baseren wij ons op de SDE++ categorie *Diepe geothermie 12-20 MWth (basislast).* Wij werken de beschikbaarheid en locatie van bronnen en de ruimtelijke inpasbaarheid van boorlocaties verder uit op de volgende pagina over ruimtelijke inpasbaarheid van geothermie in Den Haag en Leiden en in het hoofdstuk over ruimtelijke inpasbaarheid en technische haalbaarheid.

- **Piek- en back-up**
  Wij vullen piek en back-up in met gasgestookte voorzieningen en nemen aan dat deze in de tijd verduurzamen met groen gas. Omdat het om nieuw aan te sluiten woningen gaat, nemen wij voor piek- en back-up de benodigde investeringen en herinvesteringen mee. Wij hanteren een inzet van 10% voor de piek- en back-upinstallaties voor de levering van warmte omdat wij kosten opnemen voor buffering.

- **Distributie**
  Wij leggen voor de nieuw aan te sluiten woningen nieuwe distributienetten aan. In tegenstelling tot het WLQ-scenario nemen wij geen additionele WOS'en voor WLQ mee, maar nemen wij investeringen mee voor (1) ontwikkeling van geothermiebronnen en (2) de benodigde transportleidingen van bron naar distributienet. Daarnaast nemen wij de investeringen mee voor aansluiting, afleversets en inpandige aanpassingen in woningen.

Overzicht van de kosten
Voor dit scenario nemen wij additionele investeringskosten mee voor (1) geothermieontwikkeling, (2) transportleidingen van bron naar distributienet, (3) aanleg van distributienetten in de nieuwe gebieden, (4) het verwijderen van het gasnet, en (5) woninggebonden kosten voor aansluiting, afleverset en inpandige aanpassingen. Wij nemen geen kosten mee voor elektrisch koken, omdat wij dit als autonome ontwikkeling behandelen. Wij nemen daarnaast de bijbehorende operationele kosten mee, waaronder de energiekosten voor de geothermiebronnen.

- **Isolatiekosten**
  Wij hanteren als uitgangspunt dat woningen in de nieuw aan te sluiten woningen isoleren naar MT-ready. Wij nemen hiervoor geen additionele kosten mee, omdat wij isolatie als autonome ontwikkeling behandelen en niet als onderscheidende kostenpost binnen dit scenario.

- **Herinvesteringen**
  Wij nemen herinvesteringen mee voor nieuwe assets die wij in dit scenario realiseren, waaronder piek- en back-upinstallaties, broninstallaties en warmtenet infrastructuur, conform de gehanteerde levensduren en vervangingscycli in het model.

- **Impact op netbelasting**
  Omdat wij in dit scenario uitgaan van directe invoeding op middentemperatuur, vraagt de warmtevoorziening geen structurele opwaardering met warmtepompen. De impact op de elektriciteitsnetbelasting blijft daardoor beperkt ten opzichte van varianten waarin wel opwaardering nodig is. Zie hiervoor de slide over e-netcongestie.

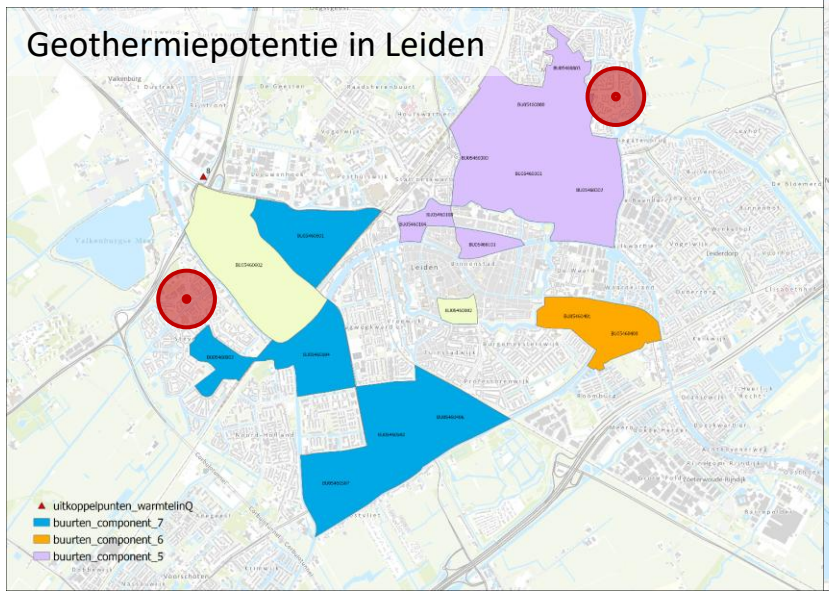
Ingroeipad
Wij gaan ervan uit dat geothermie voor nieuw aan te sluiten woningen op tijd operationeel is om dezelfde volloop te hanteren zoals we doen bij de volloop van WLQ buiten de bestaande netten. De eerste warmtelevering uit de bron start dan in 2029 en loopt lineair vol tot de volledige 133MW voor nieuwe netten in 2038. Om dit volloopscenario te behalen achten wij het benodigd om op gemeentelijk niveau duidelijk te sturen op collectieve warmte en het inzetten van de WGIW.

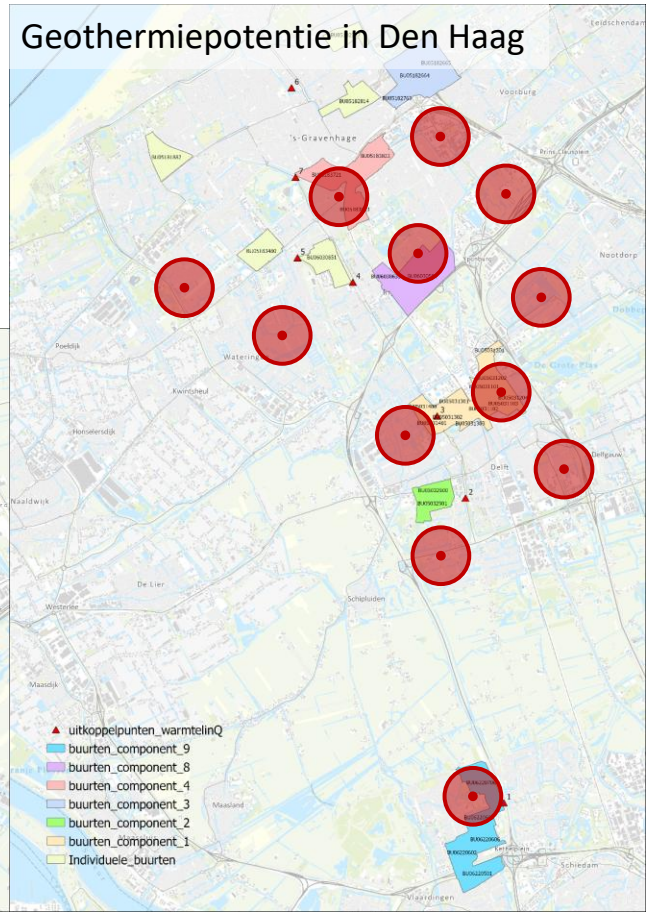
B. Nieuwe netten op geothermie

22-5-2026

Inpassing geothermie in Den Haag en Leiden

- In Den Haag zijn voor de levering aan de bestaande warmtenetten drie geothermische doubletten benodigd. Hiervoor zijn in het verleden reeds ontwikkellocaties aangewezen. Op basis van ondergrondanalyses van EBN wordt de geologische potentie in (delen van) Den Haag als geschikt beschouwd voor meerdere doubletten. Voor de levering aan nieuwe warmtenetten, zoals voorzien in het referentiescenario, zijn in Den Haag aanvullend nog drie doubletten benodigd.
- In Leiden zijn in totaal vier doubletten nodig om circa 78 MWth aan basislast te kunnen leveren aan zowel bestaande als nieuwe warmtenetten.
- Daarnaast is in Delft, Rijswijk en Vlaardingen elk één geothermisch doublet voorzien voor levering aan nieuw te realiseren warmtenetten.
- Omdat de exacte boorlocaties in deze fase nog niet vastliggen, is als uitgangspunt gehanteerd dat per geothermieboring gemiddeld circa 1 kilometer transportleidingtracé benodigd is om de bronnen aan te sluiten op de bestaande of nieuw aan te leggen warmtenetten.





C. Nieuwe netten op lokale buurtwarmtepomp

22-5-2026

Toelichting op hoofdlijnen
In dit scenario voorzien buurtwarmtepompen de nieuw aan te sluiten woningen (62.194 woningen) van warmte. De warmteopwek vindt plaats op wijk- of buurtniveau, waarna warmte via een warmtenet aan woningen wordt geleverd. Het aardgasnet voorziet op dit moment nog in de warmtevraag van deze woningen.

Beoogde techniek
De buurtwarmtepomp waardeert warmte uit een laagtemperatuurbron op met behulp van elektriciteit (COP 3,0). Wij gaan uit van lucht-water-warmtepompen als standaardinvulling, waarbij het systeem functioneert als een middentemperatuursnet. Wij nemen aan dat woningen binnen dit scenario voldoen aan het standaard isolatie-uitgangspunt en nemen geen aanpassing van het afgiftesysteem mee.

- **Warmtebronnen**
  De primaire techniek is een buurtwarmtepomp op basis van buitenlucht. In de praktijk kunnen, afhankelijk van de locatie, ook andere bronnen worden ingezet, zoals aquathermie, WKO of lokale restwarmte.

- **Piek- en back-up**
  We gaan uit van piek en back-up met gasgestookte voorzieningen en nemen aan dat deze in de tijd verduurzamen met groen gas. Omdat het om nieuw aan te sluiten woningen gaat, nemen wij voor piek- en back-up de benodigde investeringen en herinvesteringen mee. Wij hanteren een inzet van 10% voor de piek- en back-upinstallaties voor de levering van warmte omdat wij kosten opnemen voor buffering.

- **Distributie**
  Wij gaan uit van de ontwikkeling van nieuwe distributienetten in de warmtenetgebieden, gekoppeld aan een compacte energiecentrale in of nabij de wijk. Wij nemen hiervoor investeringen mee voor het distributienet en voor woninggebonden componenten, waaronder aansluiting, afleverset en inpandige aanpassingen. Wij nemen geen kosten mee voor elektrisch koken, omdat wij dit als autonome ontwikkeling behandelen.

Overzicht van de kosten
Voor dit scenario nemen wij additionele investeringskosten mee voor (1) de buurtwarmtepompinstallaties (wijk-/buurtniveau), (2) aanleg van distributienetten, (3) woninggebonden kosten voor aansluiting en afleverset, (4) piek- en back-upinstallaties en (5) het verwijderen van het gasnet. Wij nemen geen kosten mee voor elektrisch koken, omdat wij dit als autonome ontwikkeling behandelen. Wij nemen daarnaast de bijbehorende operationele kosten mee, waaronder de energiekosten voor de warmtepompen.

- **Isolatiekosten**
  Wij hanteren als uitgangspunt dat woningen in de nieuw aan te sluiten woningen isoleren naar MT-ready. Wij nemen hiervoor geen additionele kosten mee, omdat wij isolatie als autonome ontwikkeling behandelen en niet als onderscheidende kostenpost binnen dit scenario.

- **Herinvesteringen**
  Wij nemen herinvesteringen mee voor nieuwe assets die wij in dit scenario realiseren, waaronder de buurtwarmtepompinstallaties, piek- en back-upinstallaties, afleversetten, en warmtenetinfrastructuur, conform de gehanteerde levensduren en vervangingscycli in het model.

- **Impact op netbelasting**
  Buurtwarmtepompen leiden tot een substantiële extra elektriciteitsvraag en vragen daarom extra netverzwaring op MS- en HS-niveau, maar niet op LS-niveau.

Ingroeipad
Wij laten het ingroeipad voor buurtwarmtepompen starten in 2035, omdat e-netcongestie de benodigde nieuwe aansluitingen vóór dat moment beperken. Wij hanteren vervolgens een lineaire ingroei tot 2050. Dit is op basis van natuurlijke overstapmomenten gebaseerd op een CV-levensduur van 15 jaar.

D. Nieuwe woningen all-electric

22-5-2026

Toelichting op hoofdlijnen
In dit scenario gaan wij er voor nieuw aan te sluiten woningen (62.194 woningen) vanuit dat de warmtevoorziening niet via een warmtenet plaatsvindt, maar via een individuele all-electric-oplossing. Woningen stappen daarbij over op een volledig elektrische warmtepomp voor ruimteverwarming en tapwater. Het aardgasnet voorziet op dit moment nog in de warmtevraag van deze woningen.

Beoogde techniek
Wij gaan uit van een individuele all-electric warmtepomp met een thermisch vermogen van 7 kWth en een COP van 4,0. Voor meergezinswoningen gaan we uit van een collectieve warmtepomp binnen het complex. Omdat all-electric een lager temperatuurniveau voor ruimteverwarming levert, gaan wij uit van aanvullende maatregelen aan de woning om dit technisch en comfortmatig haalbaar te maken.

- **Warmtebronnen (beschikbaarheid en locatie)**
  De warmtebron is de omgevingslucht (individuele lucht/water-warmtepomp). Beschikbaarheid is daarmee in beginsel niet locatiegebonden, maar de praktische toepasbaarheid hangt samen met woningkenmerken. Zie hiervoor het hoofdstuk over technische haalbaarheid & ruimtelijke inpasbaarheid.

- **Piek- en back-up**
  Wij gaan uit van een volledig elektrische invulling van piek en back-up. Wij nemen dus geen gasgestookte piek- en back-upvoorzieningen mee in dit scenario.

- **Distributie**
  Wij gaan uit van geen ontwikkeling van distributienetten voor warmte in deze gebieden. De warmtevoorziening vindt volledig plaats op woningniveau via individuele installaties.

Overzicht van de kosten
Wij nemen in dit scenario woninggebonden investeringen mee voor (1) de all-electric warmtepomp, (2) de benodigde isolatiemaatregelen en woningaanpassingen en (3) de investeringen in netverzwaring en extra regelbaar vermogen en (4) het verwijderen van het gasnet. We baseren deze kosten op de RVO-kostenkentallen en CE Delft Vesta MAIS. Wij nemen geen kosten mee voor elektrisch koken, omdat wij dit als autonome ontwikkeling behandelen. Wij nemen daarnaast de bijbehorende operationele kosten mee, waaronder de energiekosten voor de warmtepompen.

- **Isolatiekosten**
  Wij gaan uit van isolatie naar de RVO-standaard voor LT-verwarming voor de particulieren woningeigenaar (75,8%). Woningcorporatie woningen zijn verplicht om te isoleren naar de RVO-standaard voor LT-verwarming . Hierdoor zien wij deze kosten niet als onderscheidende kosten. Voor de particulieren hanteren isolatiemaatregelen van € 5.368 per aansluiten en aanpassing van het afgiftesysteem voor EGW van € 5.663 en MGW van €4.134 (prijspeil 2025). Wij nemen aan dat deze kosten noodzakelijk zijn voor technische toepasbaarheid.

- **Herinvesteringen**
  Wij nemen herinvesteringen mee voor de warmtepomp en voor de systeemvoorzieningen die samenhangen met extra regelbaar vermogen, conform de gehanteerde levensduren en vervangingscycli.

- **Impact op netbelasting**
  All-electric leidt tot een extra elektriciteitsvraag. Wij lichten de impact van warmtepompen op het elektranet en onze aannames over e-netcongestie toe op de gelijknamige slide.

Ingroeipad
Wij hanteren een lineaire ingroei van het huidige niveau naar volledige toepassing in 2043. Vanaf 2029 mogen huishoudens geen CV-ketel meer installeren (beoogde normering) en verwachten wij dat zij op een natuurlijk moment overstappen op een alternatief. Een gemiddelde levensduur van een CV-ketel is 15 jaar, waardoor de laatste woning in 2043 kan overstappen (2029 + 15 jaar).

E. Nieuwe woningen hybride met groen gas

22-5-2026

Toelichting op hoofdlijnen
In dit scenario gaan wij er voor nieuw aan te sluiten woningen (62.194 woningen) vanuit dat de warmtevoorziening niet via een warmtenet plaatsvindt, maar via een individuele hybride oplossing. Woningen gebruiken daarbij een warmtepomp voor het grootste deel van de warmtevraag en een gasketel voor het resterende deel en voor piekvraag. Het aardgasnet voorziet op dit moment nog in de warmtevraag van deze woningen.

Beoogde techniek
Wij gaan uit van een individuele hybride warmtepomp met een thermisch vermogen van 3 kWth en een COP van 3,6. De aanvullende warmte komt uit een CV-ketel met een rendement van 90% HHV. Wij hanteren als vaste aanname dat de warmtepomp 78% de ruimtewarmtevraagvolume levert en dat de CV-ketel 22% levert. De CV-ketel levert de volledige tapwatervraag. De totale warmtevraag levering met de warmtepomp komt daarmee uit op 65%.

- **Warmtebronnen**
  De warmtebron voor het elektrische deel is de omgevingslucht (individuele lucht/water-warmtepomp). Het aanvullende deel komt uit gas, waarbij de fysieke levering plaatsvindt via het bestaande gasnet. We gaan uit van de beschikbaarheid van groen gas en lichten dit verder toe bij de scenario-overstijgende uitgangspunten en in het hoofdstuk over technische haalbaarheid en ruimtelijke inpasbaarheid.

- **Piek- en back-up**
  De CV-ketel levert piekvermogen en back-up binnen de woning. Wij nemen geen separate collectieve piek- en back-upvoorzieningen mee, omdat de piek- en back-upfunctie onderdeel is van de individuele hybride installatie.

- **Distributie**
  Wij gaan uit van geen ontwikkeling van distributienetten voor warmte in deze gebieden. De warmtevoorziening vindt volledig plaats op woningniveau via individuele installaties.

Overzicht van de kosten
Wij nemen woninggebonden investeringen mee voor de hybride warmtepomp en de CV-ketel, inclusief de benodigde installatie- en inpandige werkzaamheden conform de gehanteerde kostenaannames. Ook nemen we een investering mee voor het instandhouden van het gasnet en verzwaring van het elektranet. Wij nemen geen kosten mee voor elektrisch koken, omdat wij dit als autonome ontwikkeling behandelen. Daarnaast nemen wij energiekosten mee voor zowel elektriciteit (warmtepomp) als gas (ketel), conform de uitgangspunten op de slides over elektriciteitsprijzen, groen gas en CO_2 -prijs.

- **Isolatiekosten**
  Wij hanteren voor dit scenario het standaard isolatie-uitgangspunt voor woningen en nemen hiervoor geen additionele kosten op, omdat isolatie in dit scenario geen onderscheidende kostenpost vormt binnen de gekozen scenario-opzet.

- **Herinvesteringen**
  Wij nemen herinvesteringen mee voor de hybride warmtepomp en de CV-ketel conform de gehanteerde levensduren en vervangingscycli in het model.

- **Impact op netbelasting**
  Hybride leidt tot extra elektriciteitsvraag en vraagt daarom netverzwaring van 1,0 kWe per woning. Wij lichten de netimpact verder toe op de slide over e-netcongestie en elektriciteitsprijzen.

Ingroeipad
Wij hanteren een lineaire ingroei van het huidige niveau naar volledige toepassing in 2043. Vanaf 2029 mogen huishoudens geen CV-ketel meer installeren (beoogde normering) en verwachten wij dat zij op een natuurlijk moment overstappen op een alternatief. Een gemiddelde levensduur van een CV-ketel is 15 jaar, waardoor de laatste woning in 2043 kan overstappen (2029 + 15 jaar).

III. Scenario uitgangspunten

22-5-2026

Investeringen

Woningaanpassingen / all-electric/hybride	Aanname (pj 2025*)	Bron (kostenkentallen RVO (filter; woningbouw/eengezinswoning/middel/enkelvoudige aanpak) https://regelhulpenvoorbedrijven.nl/kostenkentallen/
Hybride warmtepomp	€ 5.688	WB199 | Hybride warmtepomp bijplaatsen bij HR107-combi ketel: Totaal bouwkosten incl opslag
Gasketel per woning	€ 2.547	WB163 | HR-107 combiketel i.p.v. HR-107 combiketel: Totaal bouwkosten incl opslag
All-electric warmtepomp - EGW	€ 13.440	WB149b | Warmtepomp lucht combi - Buitenopstelling (ind.) i.p.v. HR-combiketel - Eengezinspand - Totaal bouwkosten incl opslag
All-electric warmtepomp - MGW	€ 13.440	WB149b | Warmtepomp lucht combi - Buitenopstelling (ind.) i.p.v. HR-combiketel - Meergezinspand - Totaal bouwkosten incl opslag
Kosten afleverset	€ 4.021	WB046 | Aansluiting op warmtenet i.p.v. VR-ketel en keukengeiser: Totaal bouwkosten incl opslag
Isolatiemaatregelen naar de RVO-standaard voor LT-verwarming (gemiddeld)	€ 5.368	Setup methodiek zonder indexatie vanaf peiljaar, komt overeen met RVO kostendatabase zie tab 'Isolatiekosten SETup'
Aanpassing afgiftesysteem EGW	€ 5.663	WB065 | Paneelradiatoren met convector T=35-55 i.p.v. paneelradiatoren : Totaal bouwkosten incl opslag
Aanpassing afgiftesysteem MGW	€ 4.134	WB065 | Paneelradiatoren met convector T=35-55 i.p.v. paneelradiatoren : Totaal bouwkosten incl opslag

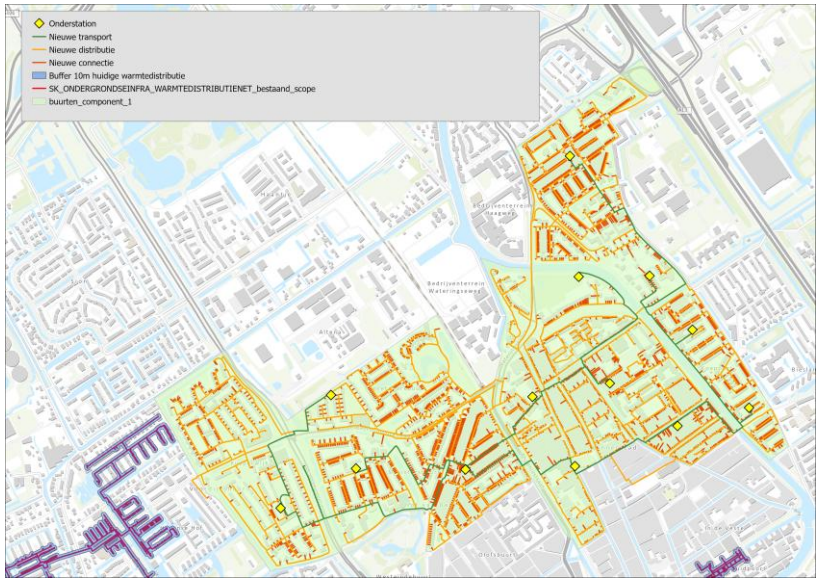
* Peiljaar, geïndexeerd van beschikbaar jaartal met CPI.

III. Scenario uitgangspunten

22-5-2026

Investeringen

De investeringen in het distributienet berekenden wij middels de SetUp tool. Hieruit volgde de benodigde aantal leidingmeters per DN-maat passend bij de benodigde warmtevraag in het gebied. Onderstaande afbeelding geeft een voorbeeld van een uitgewerkt leidingtracé. De tabel presenteert de gehanteerde investeringsgetallen per DN-maat.



Investeringen distributienet	Aanname (€/m pp 2025)	Investeringen distributienet	Aanname (€/m pp 2025)
DN25	€ 543	DN300	€ 2.942
DN32	€ 561	DN350	€ 3.285
DN40	€ 572	DN400	€ 3.793
DN50	€ 866	DN450	€ 4.242
DN65	€ 972	DN500	€ 5.013
DN80	€ 982	DN600	€ 5.704
DN100	€ 1.121	DN700	€ 8.283
DN125	€ 1.179	DN800	€ 8.540
DN150	€ 1.599	DN900	€ 9.584
DN200	€ 2.045	DN1000	€ 10.628
DN250	€ 2.409		

bron: CE Delft Warmtenetten in Vesta MAIS Update berekeningsmethoden & Verdieping op de actualisatie van de startanalyse
https://startanalyse.pbl.nl/system/files/document/2025-02/pbl-2025-Concept-Verdiepend-rapport-Startanalyse-2025-5630.pdf
gevalideerd met kengetallen uit sector

III. Scenario uitgangspunten

FAKTON ENERGY Haskoning Enhancing Society Together

22-5-2026

Investeringen en ruimtelijke inpassing

Collectieve warmte	Aanname (pj 2025*)	Bron
Uitkoppeling restwarmte [€/MWth]	€ 249.796	Startanalyse PBL
Geothermie (bestaande netten) [€/MWth]	€ 2.536.275	€/MW – gevalideerd met EBN op basis van - Diepe geothermie ≥ 12 MWth (basislast), warmtenet op hoge temperatuur - SDE++ 2026 - 6000 vollasturen
Geothermie (nieuwe netten) [€/MWth]	€ 1.685.294	€/MW – gevalideerd met EBN op basis van - Diepe geothermie 12-20 MWth (basislast) - SDE++ 2026 - 6000 vollasturen
Tracé uitkoppeling geo	€ 3.793.000	1 KM per bron, van DN400, we hebben in totaal 14 bronnen voor scenario 2B. Voor alleen bestaande netten (scenario 2) zijn het er 6.
Schaalvoordeel bij grootschalige geothermieontwikkeling	20%	EBN-interview – hanteren we in scenario 2B (grootschalig geo)
Buurtwarmtepomp [€/MWth]	€ 1.400.000	DBDH; A-EW; ScienceDirect
Alle investering die nodig zijn om WLQ op 115 MW te houden	€ 0	Businesscase WLQ
Benodigde buffers om naar 10% piek/backup te komen voor nieuwe netten [€/MW]	€ 159.444	CE Delft
WOS *Waarvan piekketel* *Waarvan gebouw met hulpinstallaties*	€ 317.825 € 158.381 € 159.444	Expert judgement Startanalyse PBL
WOS (lokaal)	€ 100.000	Expert judgement
Aantal lokale WOS bij collectief	135	Setup methodiek Haskoning

III. Scenario uitgangspunten

22-5-2026

Investeringen

Netaanpassingen Gas	Aanname (pj 2025)	Bron (gevalideerd door netbeheerders)
LD gasnet vervangen	€ 406	Startanalyse PBL
Aantal meters gasnet in scope	7,5 meter aansluiting per woning	op basis van distributieleiding en aansluitleiding meters ontwerp Haskoning
LD gasnet verwijderen	€ 111	Startanalyse PBL
Verwijderen aansluiting laagbouw	€ 1.288	Startanalyse PBL
Verwijderen aansluiting hoogbouw	€ 509	Startanalyse PBL

WLQ-specifiek	Aanname (pj 2025)	Bron
Verwijderen warmtelinq	50%-capex	Expert judgement

* Peiljaar, geïndexeerd van beschikbaar jaartal met CPI.

III. Scenario uitgangspunten

22-5-2026

Levensduur

Levensduur	Technisch	Herinvestering (% van initiele investering) - na 15 jaar	Bron
Warmtepomp	15	75%	Expert judgement
HR-ketel	15	100%	Expert judgement
Schilverbetering gebouwen	50	0%	Expert judgement
LT afgiftesysteem	30	0%	Expert judgement
Wijkdistributie warmtenet	50	0%	Expert judgement
Inpandig werk wnet	30	10%	Expert judgement
Piek/Back-up wnet (piekketel)	15	100%	Expert judgement
Piek/Back-up wnet (gebouw)	50	0%	Expert judgement
Netverzwaring	50	0%	Expert judgement
Gasnet vervanging	50	0%	Expert judgement
Bronuitkoppeling haven	15	20%	Expert judgement
Warmtelinq	50	0%	Expert judgement
Afleverset	15	50%	Expert judgement
CV ketel	15	100%	Expert judgement
Lokale WOS	30	0%	Expert judgement
Geothermie	30	0%	Expert judgement
Buurtwarmtepomp	15	50%	Expert judgement
Additioneel regelbaar vermogen	15	30%	Expert judgement
Buffers	15	20%	Expert judgement

III. Scenario uitgangspunten

22-5-2026

Opex

OPEX	Aanname [%-capex]	Bron
OPEX WarmtelinQ	Op basis van businesscase WLQ	Businesscase WLQ
OPEX WOS Warmtelinq	2.720 €/MW	Businesscase WLQ
OPEX Geothermie	5%	Expert judgement
OPEX Restwarmte	2%	Expert judgement
OPEX Piekgasketels	2%	Expert judgement
OPEX Buffers	1%	CE-Delft
OPEX Restwarmte uitkoppeling	2%	Expert judgement
OPEX buurtwarmtepomp	2%	Expert judgement
OPEX extra regelbaar vermogen	2%	Expert judgement
OPEX distributienetten	1,5%	Expert judgement
OPEX lokale WOSsen	2%	Expert judgement
OPEX afleversets	1%	Expert judgement
OPEX warmtepomp individueel	1,5%	Expert judgement
OPEX cv ketel	2%	Expert judgement
Beheerkosten warmteaansluiting	€ 80/aansluiting per jaar	Expert judgement
Beheerkosten Gasaansluiting	€ 40/aansluiting per jaar	Expert judgement

III. Scenario uitgangspunten

22-5-2026

Rendementen en energie

Rendementen en verliezen	Aanname	Bron
Gemiddeld percentage warmteverlies	25%	Expert Judgement
Rendement Back-up gasketels	90%	Joint Research Center - European Comission; o.b.v. HHV
COP buurtwarmtepomp	3,0	Startanalyse PBL; obv dT=65
Vermogen individueel all-electric - EGW	7	Expert judgement Haskoning, gemiddeld warmtepompvermogen. range loopt uit een tussen 5-15 kWth voor kleine grote woningen, gemiddeld gezien relatief oude/kleine woningen in gebied
COP warmtepomp	4,0	Startanalyse PBL; Haskoning: afslag van 0,25 voor warm tapwater
Vermogen individueel hybride - WP	3,0	CE Delft_Factsheet_Luchtwarmtepomp, CE Delft_Factsheet_Hybridewarmtepomp
COP hybride warmtepomp - elektrisch deel	3,6	Startanalyse PBL
COP hybride warmtepomp - gas deel	90%	Joint Research Center - European Comission
COP GEO (bestaande netten)	12	Gebaseerd op referentieproject EBN
COP GEO (nieuwe netten)	22,8	Diepe geothermie 12-20 MWth (basislast) - SDE++ 2026 - 6000 vollasturen & gevaldieerd met EBN

Vermogensverdeling	Aanname	Bron
Aandeel totale volume vraag door wp bij hybride installatie	65%	Startanalyse PBL i.c.m. afslag voor tapwater van 6 GJ
Aandeel basislast collectieve netten	90%	Startanalyse PBL i.c.m. buffering o.b.v. interviews warmtebedrijven
Basislast/pieklast-ratio bij warmtevraag	2,5	Expert judgement Haskoning