

Gebiedsverkenning Aardgasvrij Krommenie



Gebiedsverkenning Aardgasvrij Krommenie

Dit rapport is geschreven door:
Frederique de Groen, Vera Stevers

Delft, CE Delft, juni 2025

Publicatienummer: 2025.240367.119

Opdrachtgever: Gemeente Zaanstad

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn
verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de
projectleider Frederique de Groen (CE Delft)

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft – Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Inhoud

	Inhoud	3
1	Inleiding	5
	1.1 Achtergrond en aanleiding	5
	1.2 Doel van het project	5
	1.3 Methode	5
	1.4 Afbakening	7
	1.5 Leeswijzer	8
2	Duurzaamheid	9
	2.1 CO ₂ -emissies	9
	2.2 Stikstofemissies	13
3	Kosten	15
	3.1 Nationale kosten	15
	3.2 Eindgebruikerskosten	18
	3.3 TCO 30 en 50 jaar	21
	3.4 Gevoeligheid voor prijsverandering	26
4	Uitvoerbaarheid	29
	4.1 Netcongestie	29
	4.2 Ruimte ondergronds in de wijk	32
	4.3 Ruimte bovengronds in de wijk	34
	4.4 Ruimte in de woning	36
	4.5 Uitvoeringscapaciteit	39
5	Betrouwbaarheid	42
	5.1 Betrouwbaarheid bron	42
	5.2 Robuustheid nationale kosten	43
6	Schaalbaarheid	46
	6.1 Snelheid	46
	6.2 Individuele beslisruimte	48
	6.3 Impact geluid op leefomgeving	50
7	Resultaten per buurt	51
	7.1 Score per thema	51
	7.2 Totaalscore	53

8	Conclusies	55
	8.1 Overkoepelend	55
	8.2 Kansen en beperkingen per techniek	56
	Literatuur	58
A	Warmtetechnieken, warmtebronnen en isolatie	61
B	Het CEGOIA-model	71
C	Het CEKER-model	76
D	TCO 30 & 50 jaar	80

1 Inleiding

1.1 Achtergrond en aanleiding

De gemeente Zaanstad heeft het doel om uiterlijk in 2040 klimaatneutraal te zijn. Hierbij hoort ook een aardgasvrij-verwarmde gebouwde omgeving. Krommenie is een van de eerste dorpen, naast Zaandam-Oost, waarbij Zaanstad de stap naar aardgasvrij zet. Deze studie draagt hieraan bij met een technisch-economische gebiedsverkenning van drie aardgasvrije warmtetechnieken: een elektrische lucht-waterwarmtepomp, een middentemperatuurwarmtenet (MT-warmtenet) en een lagetemperatuurwarmtenet (LT-warmtenet).

1.2 Doel van het project

Het doel van dit project is om de gemeente Zaanstad heldere beslisinformatie te verstrekken over de aardgasvrije warmteopties voor de buurten in Krommenie. De beslisinformatie bevat technisch-economische informatie over zestien criteria waarop we de warmteopties beoordelen. Deze informatie is gevat in een afwegingskader.

1.3 Methode

We hebben de volgende stappen doorlopen om te komen tot het afwegingskader:

Data-analyse: in deze stap hebben we de benodigde input voor het afwegingskader verzameld en geanalyseerd. We hebben de nationale kosten berekend met ons [CEGOIA-model](#) en de eindgebruikerskosten met ons [CEKER-model](#). Daarnaast hebben we onderzocht welke overige criteria meegenomen kunnen worden in het afwegingskader. Dit hebben we afgestemd met de gemeente Zaanstad.

Afwegingskader: we hebben alle opgehaalde informatie uit de data-analyse samengebracht in één overzicht van zestien criteria. Deze criteria zijn in te delen in vijf thema's: *duurzaamheid*, *kosten*, *uitvoerbaarheid*, *betrouwbaarheid* en *schaalbaarheid*. Door middel van een weging kunnen de verschillende criteria tegen elkaar afgewogen worden.

We presenteren de resultaten in dit rapport met gelijke weging per thema. De gemeente Zaanstad kan na het project de weging per thema aanpassen met een Excel-tool.¹

Wat is een afwegingskader?

Een afwegingskader is een instrument om de voor- en nadelen van verschillende opties op een systematische manier met elkaar te vergelijken. In ons afwegingskader scoren we verschillende warmtetechnieken op vastgestelde criteria. Zo wordt per criterium inzichtelijk welke warmtetechniek het beste scoort. Het scoringsmechanisme is een schaal van vijf stappen, van -- tot ++. Elk criterium heeft een eigen weging, die het belang van dit criterium weerspiegelt. De warmtetechniek die het beste scoort voor alle criteria is de warmtetechniek die het beste gewogen gemiddelde van de criteria en wegeningen heeft. Het afwegingskader berekent de scores voor de warmtetechnieken op CBS-buurniveau.

Criteria afwegingskader

Een afwegingskader maakt inzichtelijk hoe verschillende warmtetechnieken ten opzichte van elkaar presteren. Voor Krommenie onderzoeken we zestien criteria, in vijf thema's, zie Tabel 1. Voor de uitkomst in hoofdstuk 7 '*Resultaten per buurt*' wegen we de criteria binnen de thema's gelijk. Dit laat de voorkeursoplossing zien zonder dat de keuze van het aantal criteria per thema de uitkomsten beïnvloedt. Het belang en daarmee de weging van de verschillende thema's of criteria is uiteindelijk een politieke keuze.

Tabel 1 – Criteria waarop we de warmtetechnieken beoordelen

Maatschappelijk thema	Criteria
Duurzaamheid	CO ₂ -emissies
	Stikstof
Kosten	Nationale kosten
	Eindgebruikerskosten
	TCO 30 en 50 jaar
	Gevoeligheid prijsstijging
Uitvoerbaarheid	Netcongestie
	Ruimte ondergronds
	Ruimte bovengronds - woning
	Ruimte bovengronds - wijk
	Uitvoeringscapaciteit

¹ De tool bevat alle resultaten per criterium. De gemeente kan alleen de weging per criterium of per thema aanpassen.

Maatschappelijk thema	Criteria
Betrouwbaarheid	Betrouwbaarheid van de bron
	Robuustheid nationale kosten
Schaalbaarheid	Snelheid van implementatie
	Mogelijkheid voor individuele beslissingen
	Impact geluid op de leefomgeving

1.4 Afbakening

Warmtetechnieken

We hebben de volgende warmtetechnieken meegenomen in onze vergelijking:

- Een **elektrische lucht-waterwarmtepomp**: dit is een individuele, elektrische warmteoplossing die op lage temperatuur (30-55°C) verwarmt. Woningeigenaren kunnen zelfstandig overstappen op deze techniek. Een lucht-waterwarmtepomp haalt warmte uit de lucht en gebruikt elektriciteit om de warmte naar een geschikte temperatuur te brengen. In het rapport noemen we deze techniek *luchtwarmtepomp*.
- Een **warmtenet op middentemperatuur**: dit is een collectieve warmteoplossing waarbij leidingen onder de grond warmte naar meerdere huizen brengen. Gebouwen worden verwarmd met water van 55-70°C. Een warmtenet op middentemperatuur kan gebruikmaken van verschillende warmtebronnen, zoals geothermie of aquathermie (met opwaardering). In het rapport noemen we deze techniek *MT-warmtenet*.
- Een **warmtenet op lage temperatuur**: dit is ook een collectieve warmteoplossing en verwarmt gebouwen met water van 30-55°C. Een lagetemperatuurwarmtenet kan gebruikmaken van verschillende bronnen. In dit onderzoek rekenen we met een lagetemperatuurwarmtenet aangesloten op een wko. In het rapport noemen we deze techniek *LT-warmtenet*.

In overleg met de stakeholders zijn deze drie technieken gekozen omdat deze het meest kansrijk werden geacht. Deze inschatting is op basis van de nationale kosten van alle technieken, zekerheid van de energiedragers en de beschikbare bronnen. Bijlage 0 geeft een beschrijving van verschillende warmtetechnieken, -bronnen en de benodigde isolatie. In bijlage A.6 staat een uitgebreidere beschrijving van de keuze van de warmtetechnieken.

Koeling en ventilatie in de warmtetransitie

Voor warmtelevering op lage temperatuur (zoals bij een elektrische warmtepomp of LT-warmtenet) is vaak verbetering van de isolatie nodig. Daarnaast krijgen we te maken met steeds hetere zomers. Deze ontwikkelingen zorgen ervoor dat de vraag naar verkoeling in huis steeds verder toeneemt.

Hitte in de woning kan deels worden voorkomen door zoninstraling te beperken, bijvoorbeeld met zonwering, en door 's nachts goed te ventileren. Daarnaast is het soms ook nog gewenst om de woning actief te koelen, zeker als deze goed geïsoleerd is. Hiervoor kan een airco worden geplaatst, maar ook bepaalde verwarmingssystemen kunnen koelen.

We nemen de behoefte naar actieve koeling en ventilatie mee in de berekening van de kosten voor de criteria: *Nationale kosten*, *Eindgebruikerskosten*, *TCO 30 en 50 jaar* en *Gevoeligheid voor prijsverandering*.

Buurtgrenzen

In dit onderzoek hebben we er bewust voor gekozen de CBS-buurtindeling aan te houden. Dit is een herkenbare indeling voor bewoners en bedrijven en een goed startpunt voor de gemeente Zaanstad om afwegingen te maken. Het kan zijn dat dit uiteindelijk niet de meest ideale indeling is voor een verdeling van bepaalde warmtetechnieken. We adviseren de gemeente om in het gebiedsuitvoeringsplan te onderzoeken of een alternatieve gebiedsindeling wenselijk is.

1.5 Leeswijzer

De thema's en bijhorende criteria in het afwegingskader staan beschreven en per warmtetechniek beoordeeld in hoofdstukken 2 t/m 6. De resultaten per buurt staan in hoofdstuk 7. De conclusies, inclusief kansen en beperkingen per techniek, staan in hoofdstuk 8.

Interpretatie van modelresultaten

Het is van belang om bij de vergelijking tussen de kosten rekening te houden met het feit dat de gepresenteerde kosten een resultaat zijn van modelberekeningen. In iedere modelberekening zit een vorm van onzekerheid. De resultaten zijn dus geen absolute waarheid, maar een schatting op basis van de beschikbare informatie. In de praktijk betekent dit dat modelresultaten nuttig zijn om mee te nemen in de afweging tussen aardgasvrije technieken, maar dat dit geen absolute zekerheid biedt.

| 2 Duurzaamheid

Binnen het thema *duurzaamheid* kijken we naar twee criteria:

1. CO₂-emissies.
2. Stikstofemissies.

Voor elk van de criteria geven we een beschrijving en gaan we in op de manier waarop we de scores hebben bepaald.

2.1 CO₂-emissies

In 2050 moeten volgens nationale doelstellingen zowel de elektriciteitslevering als warmte- en koudelevering volledig klimaatneutraal zijn. Dan zijn alle drie de warmtetechnieken die we bekijken dus even duurzaam. Op weg naar 2050 zijn de warmtetechnieken nog niet volledig klimaatneutraal.

Gemeente Zaanstad streeft ernaar om tussen 2030-2040 klimaatneutraal te zijn.² We vergelijken de duurzaamheid van de verschillende warmtetechnieken daarom voor het jaar 2040. Hierbij houden we rekening met emissies die vrijkomen bij het opwekken van de warmte en daarnaast de emissies van de benodigde materialen voor onder andere de installaties, kabels, leidingen en isolatie.

Hoe zijn de scores bepaald?

Voor scoring van het criterium *CO₂-emissies* gebruiken we de volgende maatstaf:

- ++ Techniek met de laagste uitstoot, óf techniek heeft < 10% verschil in CO₂-uitstoot met techniek met laagste uitstoot.
- + Techniek heeft < 20% verschil in CO₂-uitstoot met techniek met laagste uitstoot.
- +/- Techniek heeft < 30% verschil in CO₂-uitstoot met techniek met laagste uitstoot, óf techniek voldoet aan normen voor uitstoot van broeikasgassen in de WCW.
- Techniek heeft < 40% verschil in CO₂-uitstoot met techniek met laagste uitstoot.
- - Techniek heeft > 40% verschil in CO₂-uitstoot met techniek met laagste uitstoot.

Voor verwarmen en koelen met een **luchtwarmtepomp** is alleen elektriciteit nodig. Uit de berekeningen voor de nationale kosten (zie paragraaf 3.1) volgt per buurt wat het elektriciteitsgebruik is voor verwarmen, koelen en ventileren.

² Coalitieakkoord 2022-2026 '[Slagen Maken](#)'

De CO₂-emissies van het **MT-warmtenet** zijn afhankelijk van de warmtebron die gebruikt wordt. Uit de berekeningen van de nationale kosten komt een warmtenet op geothermie naar voren als optie met de laagste nationale kosten, hier bepalen we de CO₂-uitstoot dan ook van. Niet alle warmte kan door de geothermiebron geleverd worden, er is ook een piekinstallatie nodig.³ Een piekinstallatie kan op (aard-/groen) gas draaien, maar het is ook mogelijk dat de piekvraag met bijvoorbeeld een elektrische warmtepomp wordt ingevuld. Voor de berekening van de CO₂-emissies (en nationale kosten) gaan wij uit van een piekinstallatie op een aard-/groengasmix in 2040. Bij een MT-warmtenet is ook elektriciteit nodig om het water uit de geothermieput te pompen en in het warmtenet rond te pompen.

Een MT-warmtenet is niet geschikt om een woning te koelen, hiervoor moet soms nog extra elektriciteit worden ingezet. Bij woningen die geïsoleerd zijn naar een midden-temperatuurniveau, gaan we ervan uit dat passieve koeling voldoende is. Desondanks zullen sommige huishoudens in de praktijk alsnog een airco aanschaffen. Als woningen verder zijn geïsoleerd, zoals naar een laagtemperatuurniveau, nemen we aan dat een airconditioner wordt gebruikt voor koeling. De gebruikte elektriciteit hiervoor nemen we mee in de berekening van de CO₂-emissies.

Ook voor het **LT-warmtenet** zijn de CO₂-emissies afhankelijk van de warmtebron. We gaan uit van een LT-warmtenet met een wko als bron. Er is elektriciteit nodig om het grondwater op te pompen en naar het beoogde temperatuurniveau op te waarden met een collectieve warmtepomp. Dit kan zowel voor verwarming als voor koeling zijn. Eventueel is er daarnaast nog elektriciteit nodig voor een boiler voor warmtapwater. Voor een LT-warmtenet is geen aparte piekinstallatie nodig, hiervoor wordt de collectieve warmtepomp gebruikt.

Emissies in 2040

We laten de CO₂-emissies van de warmtetechnieken op twee verschillende manieren zien: (1) gemiddelde emissies per woningequivalent (weq) in Krommenie⁴ en (2) de gemiddelde CO₂-uitstoot per GJ geleverde warmte. De emissies per weq geven een totaalbeeld: hoe veel CO₂ stoten de warmtetechnieken uit, rekening houdend met de benodigde isolatiegraad van de warmtetechniek? Aan de andere kant is de gemiddelde CO₂-uitstoot per GJ geleverde warmte makkelijker te vergelijken met bijvoorbeeld de gemiddelde toegestane uitstoot van broeikasgassen voor warmtenetten uit het voorstel Besluit collectieve warmte (Rijksoverheid, 2024).⁵

Het elektriciteits- en warmteverbruik van de verschillende opties volgt uit de nationale kostenberekeningen (zie paragraaf 3.1). De CO₂-emissies van het elektriciteitsgebruik van de luchtwarmtepomp en het LT-warmtenet berekenen we door het elektriciteitsgebruik te

³ Een piekinstallatie is een installatie (bijvoorbeeld een gasketel) die de piekvraag van warmte kan leveren. De piekvraag is het verbruik op het moment waarop de meeste warmte wordt verbruikt, zoals op de koudste winterdag.

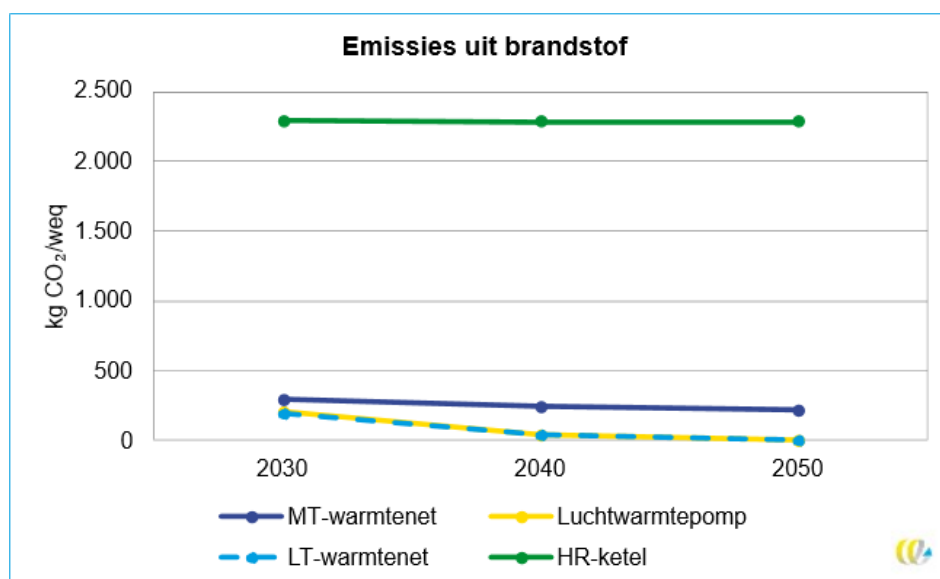
⁴ Een weq is een standardeenheid die staat voor een woning of 130 m² utiliteit.

⁵ De gemiddelde toegestane uitstoot van broeikasgassen hebben we geïnterpoleerd van 15,6 kg CO₂/GJ in 2035 tot 0 kg CO₂/GJ in 2050. In 2040 is dit 10,4 kg CO₂/GJ.

vermenigvuldigen met de emissiefactor voor elektriciteit in 2040.⁶ De CO₂-emissies van het MT-warmtenet bestaan uit emissies van elektriciteits- en gasverbruik.⁷ Emissies door elektriciteitsverbruik berekenen we op dezelfde manier als voor de luchtwarmtepomp en het LT-warmtenet. Emissies door gasverbruik berekenen we door het totale verbruik te vermenigvuldigen met de emissiefactor van een mix van aard- en groengas.⁸ Wij rekenen geen emissies voor bijvangst.

De gemiddelde jaarlijkse emissies per weq voor de drie warmtetechnieken staan in Figuur 1. Het LT-warmtenet en de luchtwarmtepomp hebben in 2040 de laagste CO₂-uitstoot, daarom scoren ze op dit criterium een '++'. De emissies van het MT-warmtenet zijn in 2040 circa zes keer zo hoog als de emissies van het LT-warmtenet. Maar, in vergelijking met de hr-ketel stoten de aardgasvrije technieken 89%-98% minder uit.

Figuur 1 – De gemiddelde jaarlijkse CO₂-emissies per weq uit brandstof voor de drie verwarmings-technieken in 2030, 2040 en 2050. De hr-ketel is meegenomen ter referentie.



De gemiddelde CO₂-uitstoot per GJ geleverde warmte is weergegeven in Figuur 2. Wat opvalt is dat rond 2042 het MT-warmtenet niet meer voldoet aan de toegestane uitstoot van broeikasgassen voor warmtenetten uit het voorstel Besluit collectieve warmte. Als de wetgeving dan van kracht is, moet de piekvoorziening vóór dat moment worden verduurzaamd. Als de piekvoorziening is verduurzaamd, zijn de emissies van het warmtenet een stuk lager. We gaan er in dit afwegingskader van uit dat het MT-warmtenet ten

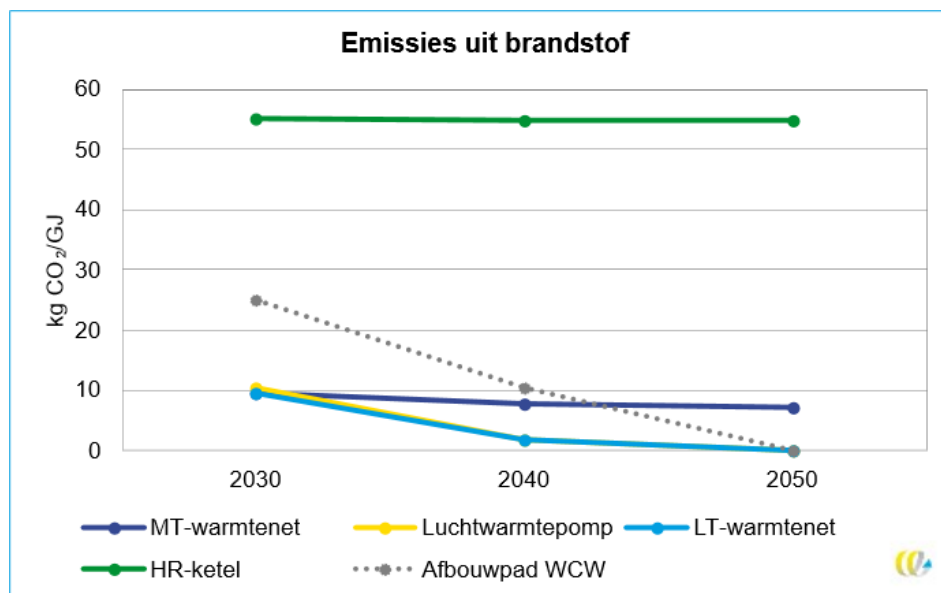
⁶ De emissiefactor voor elektriciteit in 2040 hebben we geëxtrapoleerd vanuit de Klimaat- en Energieverkenning 2024 (PBL, 2024) en is 5,56 kg CO₂/GJ.

⁷ We rekenen met een bijstook van 10% voor een MT-warmtenet. Dit getal komt uit praktijkervaring van HVC.

⁸ De emissiefactor van aardgas, inclusief bijmenging van groengas, in de Klimaat- en Energieverkenning 2024 bij vastgesteld en voorgenomen beleid is 55,1 kg CO₂/GJ in 2030 en 54,9 kg CO₂/GJ in 2035 (PBL, 2024). Bij het bepalen van deze emissiefactoren is ervan uitgegaan dat het groene gas evenredig over al het gasverbruik in Nederland wordt verdeeld. We gaan ervan uit dat de emissiefactor in 2040 hetzelfde is als in 2035.

minste zal voldoen aan de toegestane uitstoot uit het Besluit collectieve warmte. Daarom scoort het MT-warmtenet een '+/-'.

Figuur 2 – De gemiddelde jaarlijkse CO₂-emissies uit brandstof per GJ geleverde warmte voor de drie verwarmingstechnieken in 2030, 2040 en 2050. De hr-ketel is meegenomen ter referentie.



Emissies in 2050: niet langer onderscheidend

Richting 2050 is de verwachting dat de piekinstallatie van een MT-warmtenet zal worden gevoed met een volledig klimaatneutraal gas of door middel van een elektrische warmtepomp. Ook is tegen die tijd de elektriciteitsvoorziening volledig verduurzaamd. Op dat moment is er geen verschil meer tussen de CO₂-uitstoot van de verschillende warmtetechnieken.

Scores

Tabel 2 geeft het overzicht van de scores van de verschillende warmtetechnieken op het criterium CO₂-emissies, gebaseerd op de waarden in 2040.

Tabel 2 – Scores van de warmtetechnieken op het criterium CO₂-emissies

Warmteoplossing	CO ₂ -emissies
Luchtwarmtepomp	++
MT-warmtenet	+/-
LT-warmtenet	++

2.2 Stikstofemissies

De Nederlandse stikstofuitstoot is per hectare het hoogst van Europa (TNO, 2025). Te veel stikstof is slecht voor de luchtkwaliteit en schaadt de natuur. Vooral de landbouw- en transportsector stoten veel stikstof uit. De verbranding van aardgas stoot ook stikstof uit. Omdat we alleen aardgasvrije verwarmingstechnieken beoordelen, is deze uitstoot hier niet van toepassing.

In dit criterium hebben we gekeken naar de geschatte stikstofuitstoot tijdens de aanlegfase van de drie warmtetechnieken. Dit betreft stikstof die vrijkomt tijdens transport en gebruik van machines voor de aanleg en installatie. Omdat we niet exact weten hoeveel voertuigen vanuit waar naar Krommenie moeten rijden voor het realiseren van de overgang naar aardgasvrije verwarming, gebruiken we een aanname van de benodigde transportbewegingen en inzet van machines per warmtetechniek en de hoeveelheid stikstof die daarbij vrijkomt in de lucht. Het effect van de verschillende warmtetechnieken op de stikstofdepositie in natuurgebieden is niet onderscheidend en nemen we daarom niet mee (Antea Group, 2025).

Hoe zijn de scores bepaald?

Voor scoring van het criterium *stikstofemissies* gebruiken we de volgende maatstaf:

- ++ Geen stikstofuitstoot.
- + Relatief weinig stikstofuitstoot voor realisatie warmtetechniek.
- +/- Gemiddelde stikstofuitstoot voor realisatie warmtetechniek.
- Relatief veel stikstofuitstoot voor realisatie warmtetechniek.
- Relatief heel veel stikstofuitstoot voor realisatie warmtetechniek.

Voor realisatie van **luchtwarmtepompen** moet een huis meestal goed worden geïsoleerd, als dit nog niet het geval is. Een (hoge temperatuur) warmtepomp kan ook slecht(er) geïsoleerde woningen verwarmen, deze hebben wel een hogere elektriciteitsvraag. Verder moet bij goed geïsoleerde woningen het afgiftesysteem worden aangepast als dit nog niet geschikt is om op lage temperatuur te verwarmen en moet de warmtepomp zelf worden geïnstalleerd. Voor al deze stappen zijn bedrijven nodig die naar elk individueel gebouw toe komen. Transportbewegingen kunnen veelal met busjes worden gereden, wat minder uitstoot veroorzaakt dan vrachtwagens (Antea Group, 2025). Transportbewegingen kunnen verminderd worden als er bijvoorbeeld gezamenlijke isolatie- of installatieacties worden opgezet. Ten slotte is ook verzwaring van het elektriciteitsnet en plaatsen van transformatorhuisjes nodig; de aanleg hiervan kan aanvullend voor stikstofuitstoot zorgen.

We nemen aan dat een luchtwarmtepomp relatief een gemiddelde stikstofuitstoot heeft voor de realisatie van de warmtetechniek.

Een **MT-warmtenet** wordt per definitie collectief aangelegd. Er moet een transportleiding worden aangelegd van bron tot aan de wijk/buurt, er moeten warmteoverdrachtstations (WOS) worden aangelegd en distributienetten tot in elke woning. Voor het aanleggen van het leidingnetwerk kan het zijn dat er speciale machines nodig zijn, die ook vervoerd moeten worden naar de wijk/buurt met vrachtwagens (Warmteling, 2025). Bij het aanleggen van het leidingnetwerk moet verkeer omrijden, waardoor er weer meer stikstofemissies vrijkomen van het dagelijkse vervoer. Aan de andere kant hoeven gebouwen die zijn aangesloten op een MT-warmtenet minder geïsoleerd te worden dan als ze verwarmd worden met een lage temperatuur. De benodigde netverzwaring is voor deze techniek ook minder dan voor de andere twee technieken. Ten slotte is de vrijkomende stikstof geconcentreerd op de bronlocatie en bij de overdracht stations (Antea Group, 2025).

We nemen aan dat een MT-warmtenet een relatief gemiddelde stikstofuitstoot heeft voor de realisatie van de warmtetechniek.

Een **LT-warmtenet** heeft soortgelijke benodigde transportbewegingen voor het aanleggen van het warmtenet als het MT-warmtenet. Alleen moeten gebouwen bij een LT-warmtenet ook nog aanzienlijk geïsoleerd worden en zijn er meer boringen voor wko nodig. Daarnaast is ook voor deze techniek verzwaring van het elektriciteitsnet en plaatsing van transformatorhuisjes nodig.

We nemen aan dat een LT-warmtenet relatief veel stikstofuitstoot heeft voor de realisatie van de warmtetechniek.

Scores

Tabel 3 geeft het overzicht van de scores van de verschillende warmtetechnieken op het criterium *stikstofemissies*.

Tabel 3 – Scores van de warmtetechnieken op het criterium *stikstofemissies*

Warmteoplossing	Stikstofemissies
Luchtwarmtepomp	+ / -
MT-warmtenet	+ / -
LT-warmtenet	-

3 Kosten

Binnen het thema *kosten* kijken we naar vier criteria:

1. Nationale kosten.
2. Eindgebruikerskosten.
3. Total Cost of Ownership 30 en 50 jaar.
4. Gevoeligheid voor prijsverandering.

Voor elk van de criteria geven we een beschrijving en gaan we in op de manier waarop we de scores hebben bepaald.

3.1 Nationale kosten

Voor elke techniek berekenen we de nationale kosten, oftewel de financiële kosten voor de maatschappij, zie Figuur 3. Dit zijn alle kosten die gemaakt moeten worden om over te stappen naar een bepaalde duurzame warmtetechniek, onafhankelijk van wie ze betaalt. In de nationale kosten worden bijvoorbeeld ook kosten voor het aanleggen van een warmtenet, de investeringskosten van een warmtebron, het verwijderen van het gasnet en deels het verzwaren van het elektriciteitsnet meegenomen.⁹ Of de nationale kosten indirect ook door de bewoner betaald moeten worden, laten we in dit criterium buiten beschouwing.

⁹ We hebben een indicatie gedaan van de kosten voor netverzwaring op het laagspanningsnet.

Figuur 3 – Nationale kosten



Koeling en ventilatie

Bij de berekening van de nationale kosten van duurzame warmtetechnieken berekenen we ook kosten voor koeling en ventilatie. Bij woningen die niet worden nageïsoleerd of die naar middentemperatuurniveau worden geïsoleerd, gaan we niet uit van actieve koeling. Passieve koeling, bijvoorbeeld door buitenzonwering, helpt om de woning niet te veel op te warmen overdag. Maar, uit een studie van Nieman blijkt dat een woning die is geïsoleerd naar de standaard, zelfs met buitenzonwering, in bijvoorbeeld 2033 niet zal voldoen aan de temperatuuroverschrijdingsgrenswaarde van nieuwbouw (Nieman, 2025). We nemen actieve koeling en ventilatie daarom alleen mee als het huis wordt geïsoleerd om te verwarmen op een laag temperatuurniveau. Bijlage A.4 en A.5 beschrijven de aannames omtrent koeling en ventilatie voor de verschillende warmtetechnieken.

Hoe zijn de scores bepaald?

De nationale kosten per warmtetechniek hebben we berekend met het CEGOIA-model (CE Delft, 2021a), zie ook bijlage B. De nationale kosten van de warmtetechnieken verschillen per buurt.

Voor de scoring van het criterium *nationale kosten* gebruiken we de volgende maatstaf:

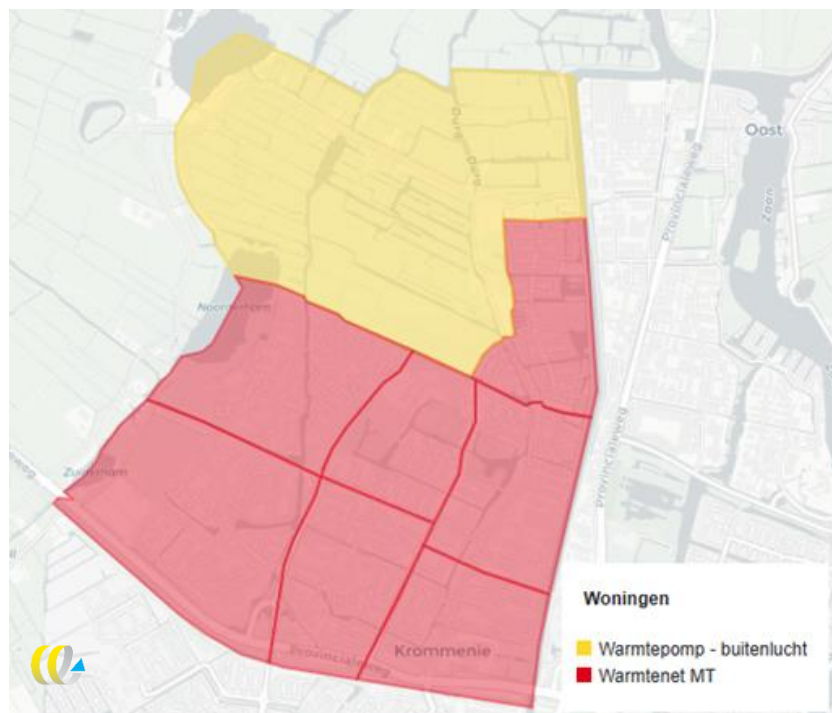
- ++ Techniek heeft laagste kosten of heeft < 10% kostenverschil met techniek met laagste kosten.
- + Techniek heeft tussen de 10-20% kostenverschil met techniek met laagste kosten.
- +/- Techniek heeft tussen de 20-30% kostenverschil met techniek met laagste kosten.
- Techniek heeft tussen de 30-40% kostenverschil met techniek met laagste kosten.
- Techniek heeft > 40% kostenverschil met techniek met laagste kosten.

Hierbij geldt dus: *hoe hoger de score, hoe (relatief) lager de kosten*. Figuur 4 geeft de techniek met de laagste kosten weer op de kaart. Het MT-warmtenet heeft de laagste kosten in alle buurten, behalve Krommeniedijk. Daar heeft de luchtwarmtepomp de laagste nationale kosten, alhoewel voor het MT-warmtenet in Krommeniedijk minder dan 10% hogere nationale kosten berekend zijn. Het LT-warmtenet heeft in alle buurten de hoogste nationale kosten. Het percentuele verschil in nationale kosten tussen de drie warmtetechnieken staat in Tabel 4.

Tabel 4 – Verschil in nationale kosten tussen warmtetechnieken

Buurtnaam	Luchtwarmtepomp	MT-warmtenet	LT-warmtenet
Zuiderhoofdbuurt	15%	Laagste kosten	63%
Noorderhoofdbuurt	35%	Laagste kosten	86%
Snuiverbuurt	23%	Laagste kosten	69%
Rosariumbuurt	26%	Laagste kosten	69%
Zuiderham	46%	Laagste kosten	88%
Noorderham	38%	Laagste kosten	80%
Krommeniedijk	Laagste kosten	8%	66%
Willis	17%	Laagste kosten	69%

Figuur 4 – Warmtetechniek met laagste nationale kosten



Scores

Tabel 5 geeft het overzicht van de scores van de verschillende warmtetechnieken op het criterium *nationale kosten*.

Tabel 5 – Scores van de warmtetechnieken op het criterium *nationale kosten*

Buurtnaam	Luchtwarmtepomp	MT-warmtenet	LT-warmtenet
Zuiderhoofdbuurt	+	++	--
Noorderhoofdbuurt	-	++	--
Snuiverbuurt	+/-	++	--
Rosariumbuurt	+/-	++	--
Zuiderham	--	++	--
Noorderham	-	++	--
Krommeniedijk	++	++	--
Willis	+	++	--

3.2 Eindgebruikerskosten

In de eindgebruikerskosten zitten investeringen, zoals aanpassingen in de woning, inclusief onderhoud, energetische kosten, subsidies en belastingen die de eigenaar/bewoner van een woning moet maken (zie Figuur 5).

Bij een huurwoningen zijn deze kosten verdeeld tussen de huurder en verhuurder. De kosten voor de huurder hangen in grote mate af van tot welk niveau de verhuurder kosten voor investeringen doorrekent in de huurprijs of de servicekosten. Dit verschilt per verhuurder, en is in deze studie niet onderzocht.

Figuur 5 – Eindgebruikerskosten

Eindgebruikerskosten

Dezelfde warmtetechnieken als bij de kosten voor de maatschappij maar ander perspectief: de bewoner



Woningniveau

- Wat voor *iedere* woning de meest voordelige oplossing is.
- Wens om eigen woning betaalbaar, duurzaam en comfortabel te verwarmen.



Hoe zijn de scores bepaald?

De eindgebruikerskosten berekenen we met het CEKER-model (CE Delft, 2021b), zie ook bijlage C. Het resultaat zijn de kosten voor de eindgebruiker op woningniveau voor het jaar 2030.

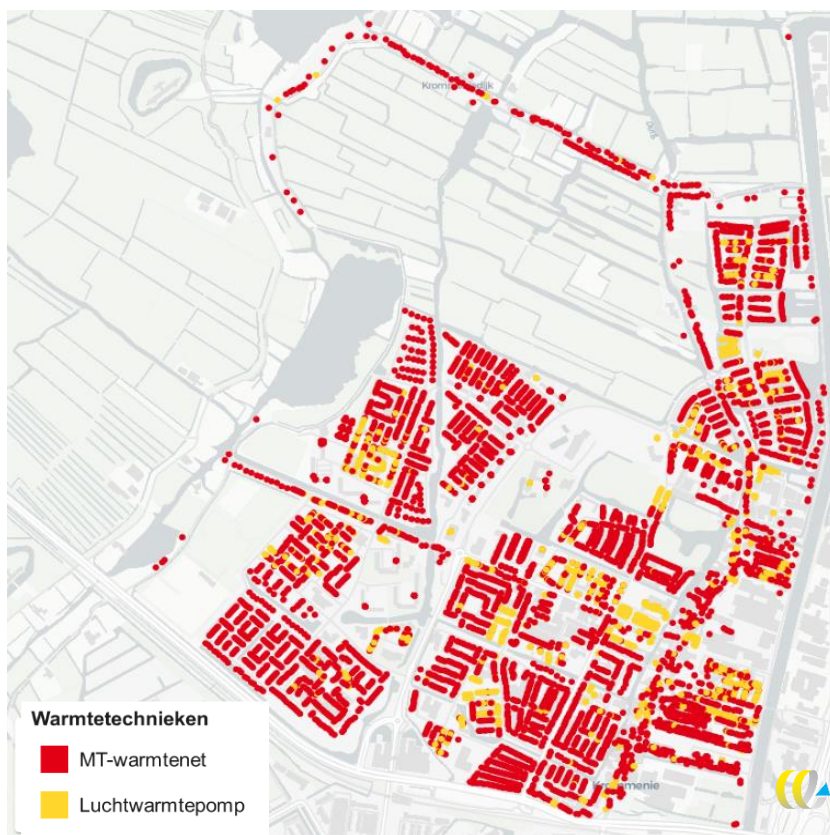
De eindgebruikerskosten zijn in de regel meer onzeker dan de nationale kosten, omdat de tarieven, belastingen en subsidies lastig op voorhand in te schatten zijn. Daarnaast is de 'Bijdrage Aansluit Kosten' (BAK) een belangrijke inputparameter voor de uitkomsten, terwijl deze pas daadwerkelijk berekend kan worden als de ontwikkeling van een warmtenet in een verder stadium is. Wij hebben in deze studie contact gehad met HVC, het warmtebedrijf dat een mogelijk toekomstig warmtenet in Krommenie gaat ontwikkelen. Wij hebben de gebruikte BAK met hen afgestemd. In paragraaf 3.4 hebben we de eindgebruikerskosten berekend met variaties op de BAK.

Voor de scoring van het criterium *eindgebruikerskosten* gebruiken we dezelfde maatstaf als voor nationale kosten, namelijk:

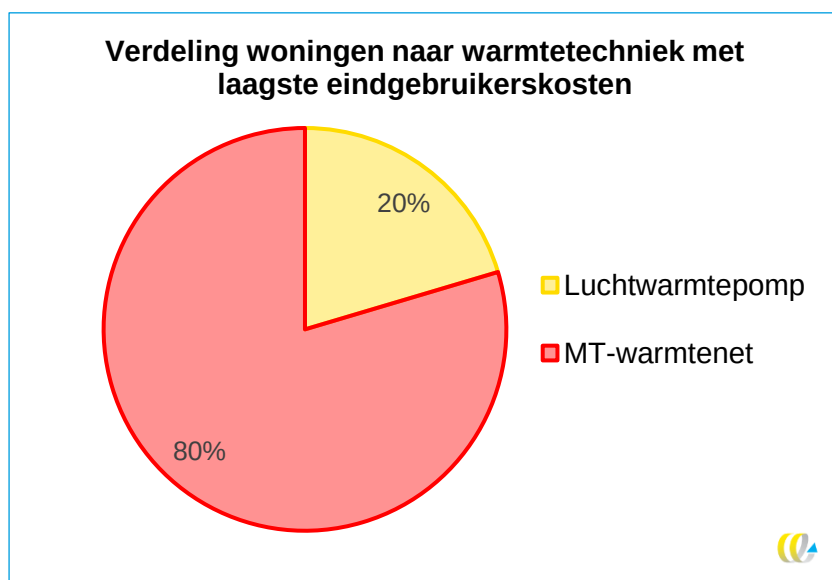
- ++ Techniek heeft gemiddeld < 10% kostenverschil met techniek met laagste kosten.
- + Techniek heeft gemiddeld 10-20% kostenverschil met techniek met laagste kosten.
- +/- Techniek heeft gemiddeld 20-30% kostenverschil met techniek met laagste kosten.
- Techniek heeft gemiddeld 30-40% kostenverschil met techniek met laagste kosten.
- Techniek heeft gemiddeld > 40% kostenverschil met techniek met laagste kosten.

Hierbij geldt dus: hoe hoger de score, hoe (relatief) lager de kosten. Figuur 6 geeft de techniek met de laagste kosten weer op de kaart en Figuur 7 laat de verdeling van het aantal woningen per techniek zien.

Figuur 6 – De warmtetechniek per woning met de laagste eindgebruikerskosten



Figuur 7 – Verdeling van woningen naar warmtetechniek met de laagste eindgebruikerskosten



Scores

Tabel 6 geeft het overzicht van de scores van de verschillende warmtetechnieken op het criterium *eindgebruikerskosten*.

Tabel 6 – Scores van de warmtetechnieken op het criterium *eindgebruikerskosten*

Buurtnaam	Luchtwarmtepomp	MT-warmtenet	LT-warmtenet
Zuiderhoofdbuurt	--	++	--
Noorderhoofdbuurt	-	++	--
Snuiverbuurt	--	++	--
Rosariumbuurt	-	++	--
Zuiderham	--	++	--
Noorderham	--	++	--
Krommeniedijk	--	++	--
Willis	+/-	++	--

3.3 TCO 30 en 50 jaar

Waar het criterium *eindgebruikerskosten* de kosten van verschillende warmtetechnieken van één jaar vergelijkt, kijkt de *Total Cost of Ownership* (TCO) naar de totale kosten van de verschillende verwarmingstechnieken over 30 en 50 jaar. We berekenen deze kosten vanuit de eindgebruikerskosten, zie bijlage C. De TCO omvat niet alleen investeringskosten, maar ook kosten voor installatie, onderhoud, energieverbruik en herinvesteringen. Dit is bijvoorbeeld exclusief de kosten voor de aanleg van een warmtenet, maar wel inclusief de bijdrage aansluitkosten en tarieven die een huishouden betaald voor de warmtenetaansluiting en warmteafname.

Voor het berekenen van de TCO zijn een aantal aannames gedaan. We nemen aan dat de verschillende kosten en subsidies gedurende de 30 en 50 jaar hetzelfde blijven. Ook nemen we aan dat het energiegebruik hetzelfde blijft in die periodes. We weten dat deze kosten, subsidies en energiegebruik wel zullen veranderen, maar we weten niet precies hoe ze gaan veranderen in de komende 30 of 50 jaar. Hierbuiten, maken we een relatieve vergelijking tussen de warmtetechnieken en zijn trends die voor alle technieken hetzelfde gelden niet van invloed op die relatieve vergelijking.

Hoe zijn de scores bepaald?

De afschrijftermijnen, subsidies en financieringsrente zijn verschillend voor de verschillende eigendomsstypes van woningen. De gebruikte afschrijftermijnen staan in Tabel 7. De ISDE-subsidie geldt voor alle eigendomsstypes. Huurwoningen (particulier en sociaal) kunnen extra aanspraak maken op de SAH-subsidie. De gebruikte financieringsrentepercentages staan in Tabel 8.

Tabel 7 – Afschrijftermijnen in jaren, per woning eigendomstype

Onderdeel investeringskosten		Koopwoning	Particuliere huurwoning	Sociale huurwoning
Verwarmingsinstallatie		15	15	15
Isolatie*		20	25	25
Inpandige aanpassingen*		20	25	25
Secundaire installaties	LT-radiatoren*	20	25	25
	Airco	15	15	15
	Elektrisch koken	15	15	15
	Booster warmtepomp	15	15	15

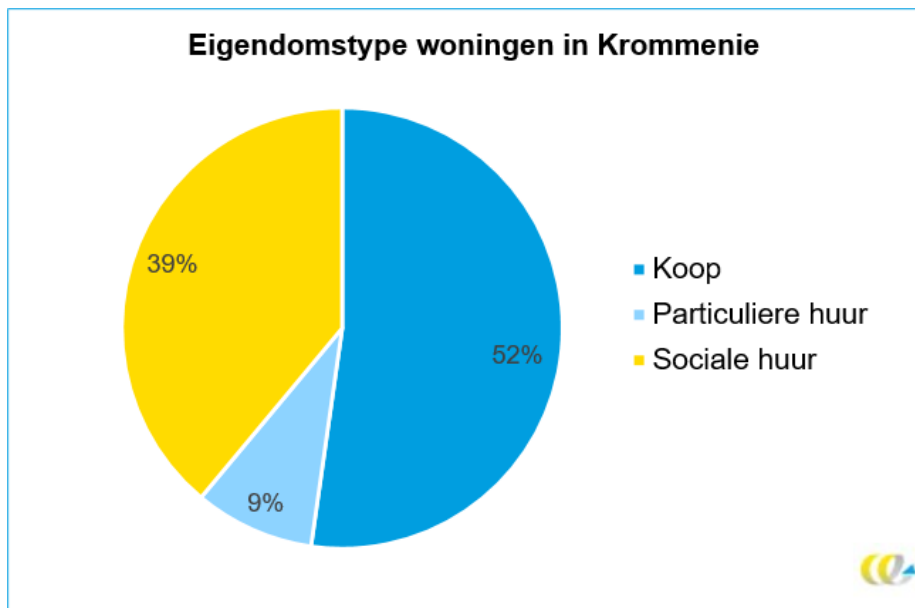
* Het verschil in afschrijftermijn bij deze investeringen komt door het verschil in looptijd van leningen voor koop- en huurwoningen. Wij gaan uit van leningen bij het Warmtefonds voor koopwoningen, bij de NIBC-vastgoedhypotheek voor particuliere huurwoningen en bij het Waarborgfonds Sociale Woningbouw voor sociale huurwoningen.

Tabel 8 – Financieringsrente per woning eigendomstype

Eigendomstype	Rente	Financier
Koop	4%	Warmtefonds
Particuliere huur	5%	NIBC-vastgoedhypotheek
Sociale huur	3%	Waarborgfonds Sociale Woningbouw

We berekenen de TCO voor 30 en 50 jaar per eigendomstype door bovenstaande verschillen, maar ook zodat de gemeente Zaanstad dan wellicht beter haar ondersteuningsacties kan richten op bepaalde doelgroepen. Ongeveer de helft van de woningen in Krommenie is een koopwoning. Er is ook een groot aandeel sociale huur, zie Figuur 8.

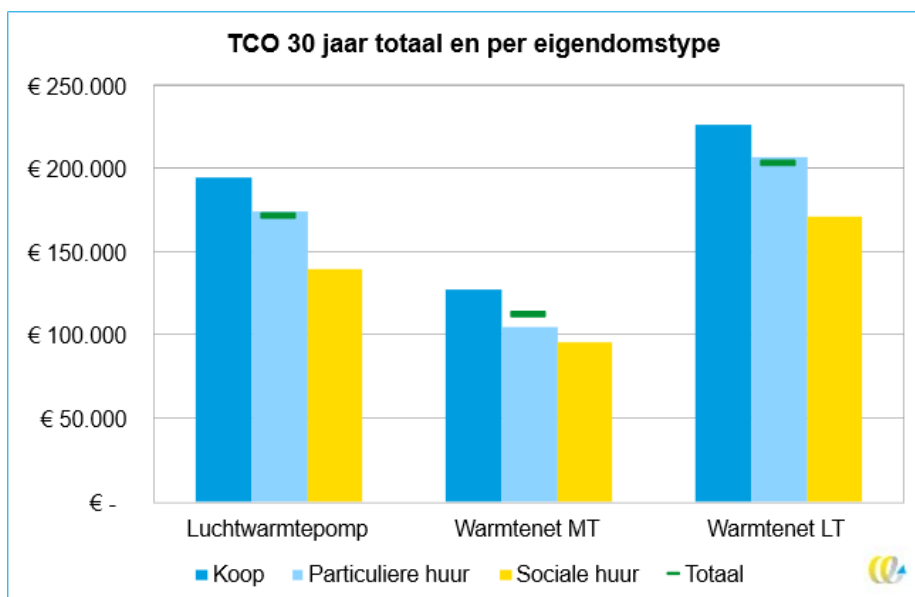
Figuur 8 – Verdeling van eigendomstype van woningen in Krommenie



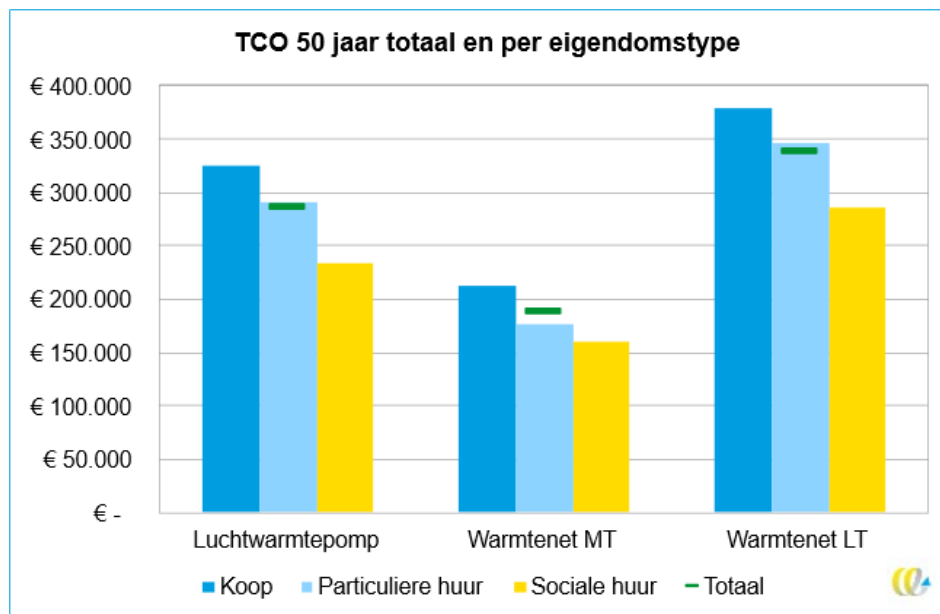
Bron: BAG 2024.

De TCO voor 30 en voor 50 jaar is het laagste voor het MT-warmtenet, daarna voor de luchtwarmtepomp en is het hoogste voor het LT-warmtenet, zie Figuur 9 en Figuur 10. Let op: deze kosten vervangen de huidige uitgaven voor o.a. verwarming, warm tapwater, koeling en bijvoorbeeld vervanging van een cv-ketel, en zijn dus geen extra lasten. In bijlage D staan alle kosten in de TCO voor 30 en voor 50 jaar uitgesplitst in de verschillende soorten investeringen, energiekosten en onderhoudskosten.

Figuur 9 – De TCO voor 30 jaar gemiddeld voor koopwoningen, particuliere huurwoningen, sociale huurwoningen en alle woningen (totaal) in Krommenie



Figuur 10 – De TCO voor 50 jaar gemiddeld voor koopwoningen, particuliere huurwoningen, sociale huurwoningen en alle woningen (totaal) in Krommenie



Voor de scoring van het criterium *TCO* gebruiken we de volgende maatstaf:

- ++ Techniek heeft de laagste kosten of < 10% kostenverschil met techniek met laagste kosten.
- + Techniek heeft 10-20% kostenverschil met techniek met laagste kosten.
- +/- Techniek heeft 20-30% kostenverschil met techniek met laagste kosten.
- Techniek heeft 30-40% kostenverschil met techniek met laagste kosten.
- Techniek heeft > 40% kostenverschil met techniek met laagste kosten.

Scores

Tabel 9 geeft het overzicht van de scores van de verschillende warmtetechnieken op het criterium *TCO* van 30 en 50 jaar. De scores verschillen voor de luchtwarmtepomp per eigendomstype. Dit komt door de verschillende oppervlaktes, woningtypes en huidig isolatieniveau van de koop-, particuliere huur-, en sociale huurwoningen.

Tabel 9 – De TCO van 30 en 50 jaar vertaald in een score voor het afwegingskader. Het gewogen gemiddelde is opgenomen.

Eigendomstype	Luchtwarmtepomp	MT-warmtenet	LT-warmtenet
Koop	--	++	--
Particuliere huur	-	++	--
Sociale huur	+/-	++	--
Gewogen gemiddelde	-	++	--

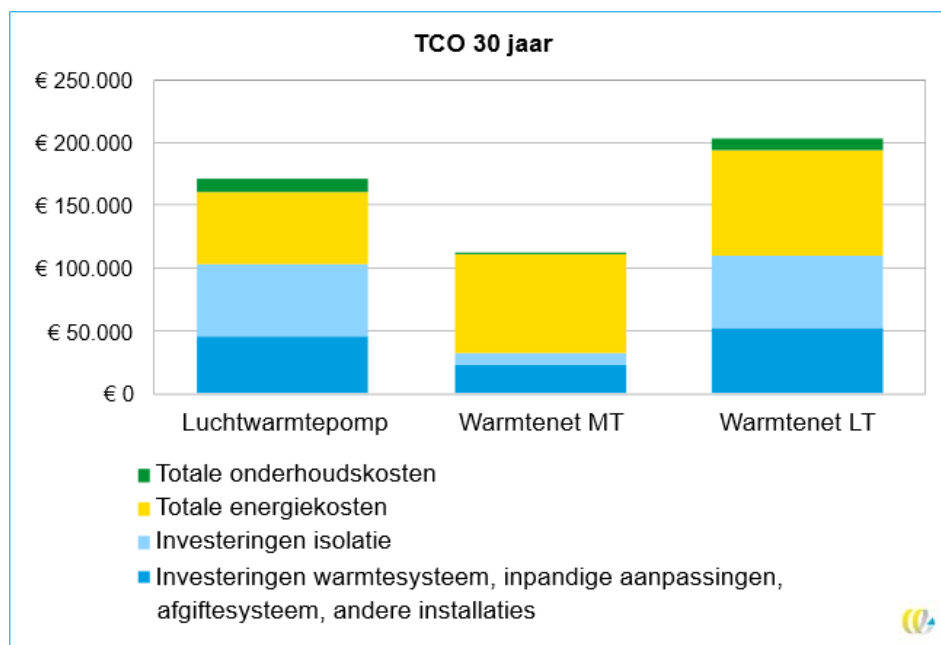
Rechtvaardigheid: hoge investeringen en lage energiekosten of vice versa

De gemeente Zaanstad streeft ernaar dat de transitie naar aardgasvrije verwarming rechtvaardig is. Er zijn verschillende manieren om naar rechtvaardigheid in de warmtetransitie te kijken. Een van die manieren is het verdelingsprincipe. De WRR heeft onderzocht dat als de verdeling van klimaatkosten niet als rechtvaardig wordt ervaren, het draagvlak voor klimaatbeleid onder druk komt te staan (WRR, 2023). In dit onderzoek heeft de WRR tien verdelingsprincipes onderzocht, zoals 'de vervuiler betaalt' en het principe van verdelen op basis van draagkracht.

In deze gebiedsverkenning aardgasvrij Krommenie kijken we naar criteria op basis waarvan de gemeente Zaanstad keuzes kan maken voor verschillende warmtetechnieken. Hoe de gemeente rechtvaardigheid mee wil nemen in haar weg naar een aardgasvrij Krommenie, is nog niet ver genoeg uitgewerkt om een criterium mee op te stellen. We hebben wel een gesprek gevoerd over rechtvaardigheid in een stakeholderoverleg met de gemeente, HVC, Parteon en Liander. Hieruit kwam voort dat het begrip 'rechtvaardigheid' verder geoperationaliseerd moet worden in de gemeente en dat we in dit onderzoek kunnen helpen met het aanleveren van de verdeling van kosten voor verschillende warmtetechnieken.

De TCO voor de drie warmtetechnieken bestaat uit investeringen, energiekosten en onderhoudskosten, zie Figuur 11. De verdeling van de eenmalige kosten (investeringen) en maandelijkse kosten (energie- en onderhoudskosten) kan helpen om het verdelingsprincipe van rechtvaardigheid te kwantificeren. Grote eenmalige kosten vooraf, bijvoorbeeld voor het na-isoleren van een woning of een hoge BAK, kunnen voor (eigenaar-) bewoners en bedrijven een barrière vormen om mee te kunnen in de warmtetransitie. De luchtwarmtepomp en het LT-warmtenet hebben relatief hoge investeringskosten. Hoge(re) maandlasten kunnen voor mensen die bijvoorbeeld al in energiearmoede leven ook onbetaalbaar zijn. Het MT-warmtenet en het LT-warmtenet hebben allebei hogere maandlasten dan de luchtwarmtepomp. De maandlasten, ofwel energiekosten, van de luchtwarmtepomp zijn met de huidige energieprijzen vaak lager dan van iemand die met een hr-ketel op aardgas verwarmt.

Figuur 11 – De TCO voor 30 jaar gemiddeld voor een woning in Krommenie, verdeeld in investeringen, energiekosten en onderhoudskosten. In bijlage D staan de waardes van de TCO voor 30 en 50 jaar van de drie warmtetechnieken, op dezelfde manier uitgesplitst.



3.4 Gevoeligheid voor prijsverandering

Omdat de toekomstige eindgebruikerskosten onzeker zijn (zie paragraaf 3.2) hebben we een gevoeligheidsanalyse toegepast op de berekening. Door te variëren in verschillende kostenposten onderzoeken we in hoeverre de techniek met de laagste eindgebruikerskosten afhankelijk is van mogelijke prijsveranderingen.

We variëren de volgende kostenposten:

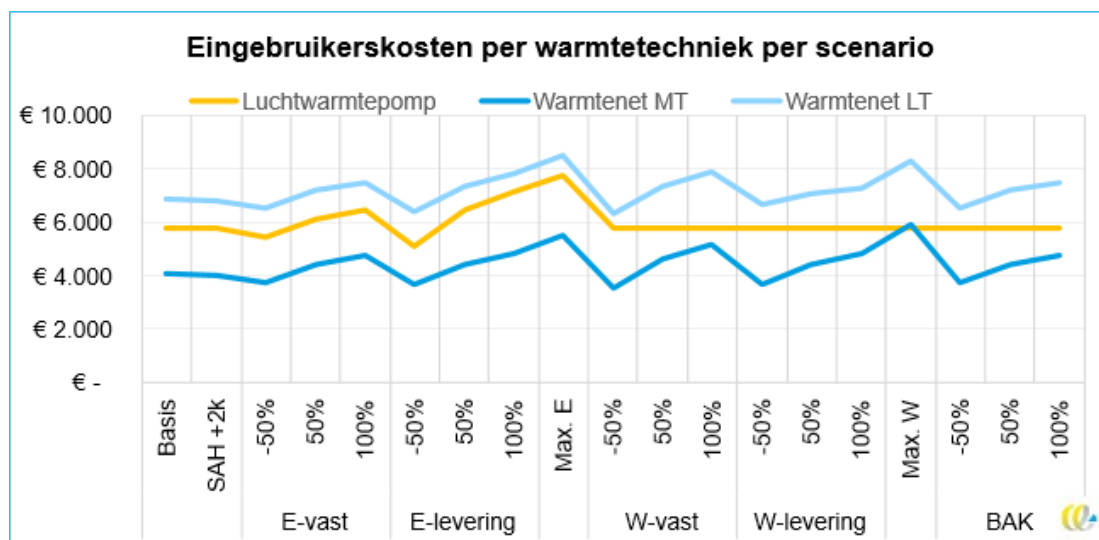
- Subsidie: afkoop vastrecht warmte voor huurwoningen (t.a.v. SAH-subsidie);
- Elektriciteit: leveringstarief en vastrecht;
- Warmte: leveringstarief en vastrecht;
- Bijdrage aansluitkosten (BAK).

Voor de subsidie op de afkoop van het vastrecht hanteren we twee scenario's: € 0 en € 2.000, waarbij dit laatste bedrag neerkomt op € 200 per jaar in tien jaar tijd. De kosten voor elektriciteit, warmte en BAK variëren we met -50%, +50% en +100% van de standaardkosten. Daarnaast analyseren we twee scenario's voor elektriciteit en warmte waarin zowel de kosten voor het vastrecht als het leveringstarief met 100% stijgen.

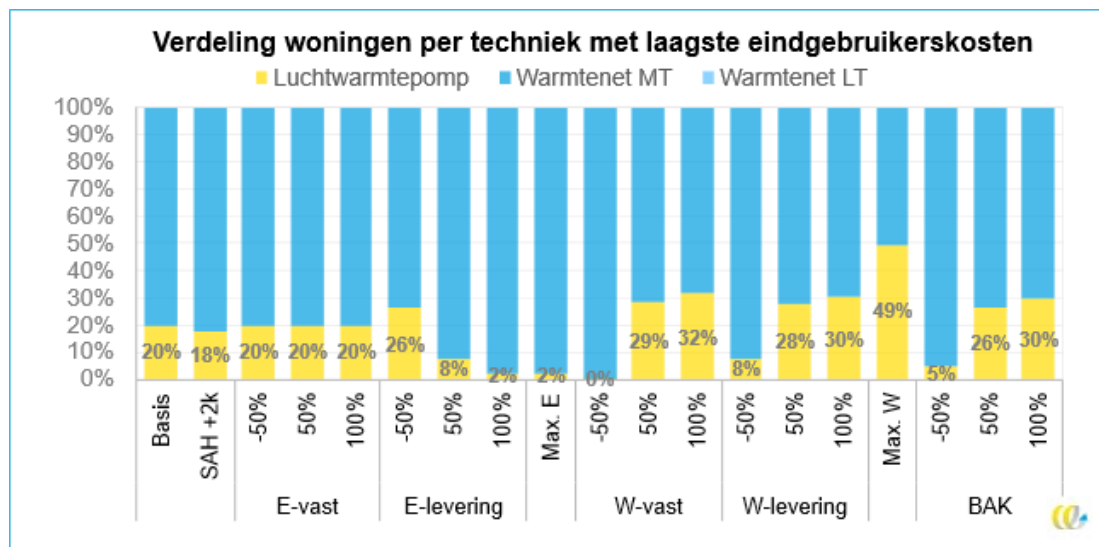
Figuur 12 laat het effect van de prijsveranderingen op de eindgebruikerskosten per jaar zien. In Figuur 13 is de verdeling van woningen naar met techniek met de laagste eindgebruikerskosten te zien. In bijna alle scenario's heeft het MT-warmtenet voor heel

Krommenie gemiddeld de laagste kosten voor de eindgebruiker. Alleen als zowel het vastrecht als de leveringskosten van warmte zouden verdubbelen zijn de eindgebruikers gemiddeld iets lager voor een luchtwarmtepomp.

Figuur 12 – Resultaat prijsveranderingen op gemiddelde eindgebruikerskosten per jaar¹⁰



Figuur 13 – Verdeling woningen per techniek met laagste eindgebruikerskosten per scenario¹⁰



¹⁰ Toelichting scenario's: SAH + 2k: subsidie SAH verhoogd met € 2.000. E-vast: variatie vastrecht elektriciteit, E-levering: variatie leveringstarief elektriciteit, Max. E: 100% stijging vastrecht en leveringstarief elektriciteit. W-vast: variatie vastrecht warmte, W-levering: variatie leveringstarief warmte, Max. W: 100% stijging vastrecht en leveringstarief warmte. BAK: variatie bijdrage aansluitkosten.

Hoe zijn de scores bepaald?

We bepalen de scores door per warmtetechniek te kijken naar het percentage woningen in een buurt waarbij de techniek de laagste eindgebruikerskosten oplevert. We middelen de percentages voor alle scenario's om tot één waarde per techniek per buurt te komen.

Voor de scoring van het criterium *gevoeligheid voor prijsverandering* gebruiken we de volgende maatstaf:

- ++ Techniek heeft gemiddeld bij > 90% van de woningen de laagste eindgebruikerskosten.
- + Techniek heeft gemiddeld bij > 70% van de woningen de laagste eindgebruikerskosten.
- +/- Techniek heeft gemiddeld bij > 50% van de woningen de laagste eindgebruikerskosten.
- Techniek heeft gemiddeld bij > 30% van de woningen de laagste eindgebruikerskosten.
- Techniek heeft gemiddeld bij < 30% van de woningen de laagste eindgebruikerskosten.

Scores

Tabel 10 geeft het overzicht van de scores van de verschillende warmtetechnieken op het criterium *gevoeligheid voor prijsverandering*.

Tabel 10 – Scores van de warmtetechnieken op het criterium *gevoeligheid voor prijsverandering*

Buurtnaam	Luchtwarmtepomp	MT-warmtenet	LT-warmtenet
Zuiderhoofdbuurt	--	+	--
Noorderhoofdbuurt	-	+ / -	--
Snuiverbuurt	--	+	--
Rosariumbuurt	--	+	--
Zuiderham	--	++	--
Noorderham	--	++	--
Krommeniedijk	--	+	--
Willis	--	+	--

4 Uitvoerbaarheid

Binnen het thema *uitvoerbaarheid* kijken we naar vijf criteria:

1. Netcongestie.
2. Ruimte ondergronds in de wijk.
3. Ruimte bovengronds in de wijk.
4. Ruimte in de woning.
5. Uitvoeringscapaciteit.

Voor elk van de criteria geven we een beschrijving en gaan we in op de manier waarop we de scores hebben bepaald.

4.1 Netcongestie

Veel verduurzaming gaat door middel van elektrificatie. Hierdoor gebruiken we met elkaar steeds meer elektriciteit en wordt ook de hoeveelheid elektriciteit die we op piekmomenten nodig hebben steeds groter. Dit heeft gevolgen voor het elektriciteitsnet. Netbeheerders moeten grote investeringen doen om het net te verzwaren, zodat ze aan de toenemende vraag kunnen blijven voldoen. Op dit moment neemt de vraag zo snel toe dat het voor netbeheerders lastig bij te houden is. Dit leidt tot netcongestie. In Krommenie is hier al sprake van en aardgasvrije warmtetechnieken kunnen dit in verschillende mate verergeren.

Hoe zijn de scores bepaald?

We beoordelen de warmtetechnieken op het criterium *netcongestie* in twee stappen:

- We berekenen het gemiddelde piekvermogen van de warmtetechnieken per buurt. We scoren de warmtetechnieken ten opzichte van elkaar op een vijfpuntschaal. Hoe lager het piekvermogen, hoe hoger de warmtetechniek scoort.
- De buurten die op korte termijn bij Liander op de planning staan voor netverzwaring, scoren bij alle technieken een ++ (hoogste score). Uiteindelijk worden de elektriciteitsnetten in alle buurten toekomstbestendig gemaakt, maar wanneer dit gebeurt is nog onbekend.

We berekenen het gemiddelde piekvermogen op basis van kengetallen uit het SDE++ (PBL, 2025a) en de Startanalyse (PBL, 2025b) voor de twee warmtenetvarianten. Het piekvermogen van de luchtwarmtepomp berekenen we op basis van piekvermogens

voor verschillende woningtypes en woonoppervlaktes. Deze kengetallen zijn recentelijk¹¹ overeengekomen met Liander. Het berekende piekvermogen van de verwarmings-technieken per buurt staat in Tabel 11.

De tabel laat de vermogensvraag zien onafhankelijk van op welk deel van het net deze vraag terecht komt (hoog-, midden- of laagspanning). Voor het MT-warmtenet rekenen we met de vermogensvraag van een geothermiebron met een piekinstallatie op (groen)gas of vergelijkbaar. Voor het LT-warmtenet rekenen we met een aquathermie/wko-bron in combinatie met een collectieve warmtepomp.

Tabel 11 – Indicatie elektrisch piekvermogen (kWp) per buurt voor de drie verwarmingstechnieken.

Buurt	Luchtwarmtepomp	MT-warmtenet	LT-warmtenet
Krommeniedijk	690	40	330
Noorderham	2.940	160	1.350
Noorderhoofdbuurt	2.200	120	1.090
Rosariumbuurt	1.190	70	590
Snuiverbuurt	2.310	130	1.120
Willis	1.950	100	900
Zuiderham	2.980	170	1.410
Zuiderhoofdbuurt	2.080	120	1.010

Disclaimer vermogensvraag

- Deze vermogensvraag is niet direct terug te rekenen naar de vraag per woning omdat een buurt is opgebouwd uit verschillende woningtypes en daarnaast rekening moet worden gehouden met gelijktijdigheid.
- De vermogensvraag in de tabel is enkel de vraag van de warmtetechniek, niet van de hele woning. Op basis van deze vermogensvraag kan daarom niet altijd iets worden gezegd over de knelpunten in het elektriciteitsnet.
- De tabel laat niet zien op welk deel van het net de vraag terecht komt. Voor een warmtenet geldt dat de collectieve voorzieningen doorgaans een vraag uitoefenen op het middenspanningsnet, wat gunstig uit kan pakken voor het laagspanningsnet. Individuele technieken oefenen de vermogensvraag uit op het laagspanningsnet, wat dan ook weer gevolgen heeft voor het midden- en hoogspanningsnet.

¹¹ Op het moment van schrijven is CE Delft bezig met een onderzoek voor de provincie Noord-Holland. Dit onderzoek zal binnenkort openbaar gemaakt worden.

Netverzwaring

In de Handreiking Lokaal Programmeren van Liander voor de gemeente Zaanstad (2025) staat dat een aantal buurten in Krommenie op de planning staat vanaf 2025. Hiervoor moeten zogenoemde buurtrealisatieplannen gemaakt worden, waarna Liander met de netverzwaring zelf aan de slag kan. Het gaat om de Rosariumbuurt, Noorderhoofdbuurt en Zuiderham. Voor deze buurten nemen wij aan dat, na uitvoering van de buurtaanpak, netcongestie en ook de hoogte van het piekvermogen van de warmtetechnieken niet tot problemen zullen leiden op buurtniveau.

Een kanttekening hierbij is echter dat Liander in Krommenie enkel verantwoordelijk is voor het laag- en middenspanningsnet. Ook het hoogspanningsnet heeft op veel plekken haar maximale capaciteit bereikt, dit heeft consequenties ten aanzien van uitvoer in Krommenie. TenneT is beheerder van het hoogspanningsnet. Deze spanningsniveaus hebben invloed op elkaar; congestie op het hoogspanningsnet kan ook de congestie op het laag- en middenspanningsnet beïnvloeden. In heel Noord-Holland zijn congestieproblemen op het hoogspanningsnet. TenneT verwacht dat de uitbreiding van het elektriciteitsnet in het zuiden van Noord-Holland gereed is tussen 2031 en 2033 en in het noorden van Noord-Holland klaar is tussen 2034 en 2036 (TenneT, 2024).

Voor scoring van het criterium *netcongestie* gebruiken we de volgende maatstaf:

- ++ Geen impact op of hinder van netcongestie óf als de buurt vanaf 2025 op de planning staat voor netverzwaring.
- + Weinig impact op of hinder van netcongestie.
- +/- Kleine impact op of hinder van netcongestie.
- Middelgrote impact op of hinder van netcongestie.
- Grote impact op of hinder van netcongestie.

Scores

Tabel 12 geeft de score per warmtetechniek weer op het criterium *netcongestie*.

Tabel 12 – De score per warmtetechniek op het criterium *netcongestie*

Buurtnaam	Luchtwarmtepomp	MT-warmtenet	LT-warmtenet
Zuiderhoofdbuurt	-	++	+
Noorderhoofdbuurt ¹²	++	++	++
Snuiverbuurt	-	++	+
Rosariumbuurt ¹²	++	++	++
Zuiderham ¹²	++	++	++
Noorderham	-	++	+
Krommeniedijk	--	++	+/-
Willis	-	++	+/-

¹² Staat op de planning voor netverzwaring. Aannee dat de hoogte van het piekvermogen van de warmtetechnieken hierna niet tot problemen zal leiden in deze buurt.

4.2 Ruimte ondergronds in de wijk

De voorzieningen voor een warmtetechniek kunnen ruimte vragen in de ondergrond. Het gaat dan bijvoorbeeld over de aanleg van leidingen voor een warmtenet of verzwaring van de elektra-infrastructuur. De aanleg van deze kabels en leidingen kan bemoeilijkt worden als er weinig ruimte beschikbaar is in de ondergrond.

Hoe zijn de scores bepaald?

Voor scoring van de *ruimte ondergronds in de wijk* gebruiken we de volgende maatstaf:

- ++ Ruimte in de ondergrond nodig, en deze is beschikbaar.
- + Ruimte in de ondergrond nodig, en deze is zeer waarschijnlijk beschikbaar.
- +/- Ruimte in de ondergrond nodig, en deze is waarschijnlijk beschikbaar.
- Ruimte in de ondergrond nodig en het is onzeker of de ruimte beschikbaar is.
- - Ruimte in de ondergrond nodig en het is zeer onzeker of de ruimte beschikbaar is.

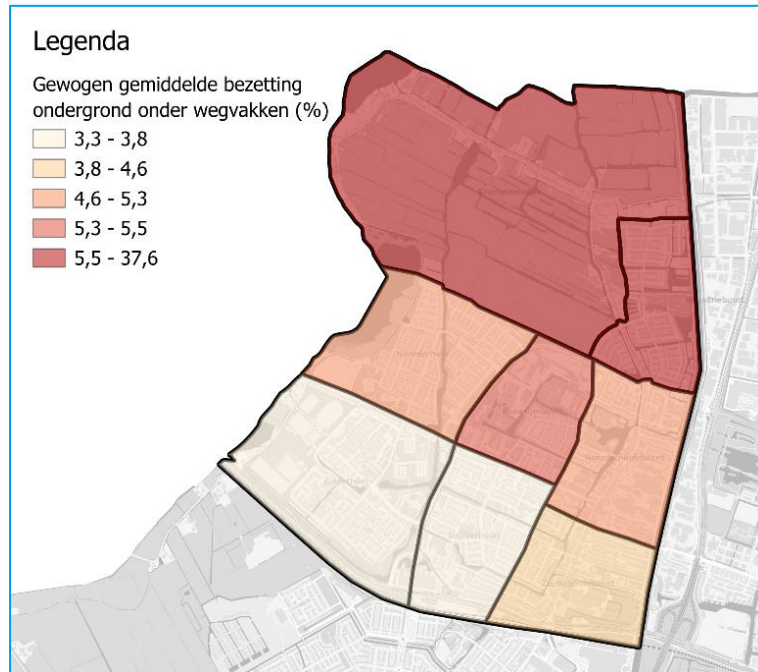
Voor een warmtepomp is minder ruimte nodig in de ondergrond. Een toename van warmtepompen kan er wel voor zorgen dat het elektriciteitsnet verzaamd moet worden. Hiervoor moet de straat open, en het zal op plaatsen leiden tot zwaardere en meer kabels, maar heeft een beperkter effect ondergronds dan een warmtenet.

Voor een warmtenet is vaak wel extra ruimte in de ondergrond nodig (CE Delft, 2019). Of dit een probleem is bepalen we met behulp van de uitkomst van de ondergrondse ruimtekkaart van de gemeente Zaanstad. In deze kaart kijken we naar drukte in de ondergrond onder de wegvakken.¹³ Deze kaart presenteert per wegvak een bezettingsgraad (%) in de ondergrond. De gemeente heeft de bezetting bepaald op basis van de oppervlaktes van boomkruinen (x1,5 voor verspreiding van boomwortels), kabels en leidingen (vanuit Klic-melding-data) en ondergrondse afvalcontainers in de wegvakken. Deze kaart is 2D en kijkt niet naar hoe diep kabels, leidingen, boomwortels, e.d. liggen. Ook nemen we het type verharding van de wegvakken niet mee. Voor de inpassing van een warmtenet moet nog verdiepend onderzoek worden gedaan, waarbij ook rekening gehouden wordt met onder andere bodemvervuiling en verzakking van funderingen.

We hebben een gewogen gemiddelde genomen van de bezetting in de ondergrond onder de wegvakken, om zo te komen tot een bezetting in de ondergrond per CBS-buurt. In Figuur 14 staat de uitkomst hiervan.

¹³ Wegvakken met de volgende functies: rijbaan regionale weg; rijbaan regionale weg: verbindingsweg; rijbaan regionale weg: verkeersdrempel; rijbaan lokale weg; rijbaan lokale weg: verkeersdrempel; rijbaan autoweg; woonerf; inrit; voetgangersgebied; overweg; fietspad; voetpad; ov-baan.

Figuur 14 – Gewogen gemiddelde van de bezetting in de ondergrond onder wegvakken, op basis van het oppervlak en % bezetting van de wegvakken



Bron: Bewerking op de ruimtekaart van de gemeente Zaanstad, 2025.

Scores

Tabel 13 geeft de score per warmtetechniek weer op het criterium *ruimte ondergronds in de wijk*.

Tabel 13 – De score per warmtetechniek op het criterium *ruimte ondergronds in de wijk*

Buurtnaam	Luchtwarmtepomp	MT-warmtenet	LT-warmtenet
Zuiderhoofdbuurt	++	+/-	+/-
Noorderhoofdbuurt	++	--	--
Snuiverbuurt	++	++	++
Rosariumbuurt	++	--	--
Zuiderham	++	+	+
Noorderham	++	-	-
Krommeniedijk	++	--	--
Willis	++	--	--

4.3 Ruimte bovengronds in de wijk

De voorzieningen voor de verschillende warmtetechnieken nemen openbare ruimte in. Het gaat dan bijvoorbeeld om een warmteoverdrachtsstation (Mulatu et al.) voor een warmtenet of een middenspanningsruimte (MSR) die gebouwd moet worden om aan de elektriciteitsvraag van de warmtepomp te voldoen.

Hoe zijn de scores bepaald?

Wanneer de extra benodigde ruimte veel is, is lastig te bepalen. We delen de verschillende warmtetechnieken daarom ten opzichte van elkaar in. De warmtetechniek die de meeste extra ruimte nodig heeft, krijgt de laagste score van '- -'. De warmtetechniek die de minste extra ruimte nodig heeft, krijgt de hoogste score van '+ +'. De warmtetechnieken worden verder beoordeeld ten opzichte van het ruimtegebruik van de warmtetechniek met de minst benodigde ruimte.

Voor scoring van de *ruimte bovengronds in de wijk* gebruiken we de volgende maatstaf:

- ++ Techniek met minst benodigde ruimte of < 10% meer ruimte nodig dan de warmtetechniek met minst benodigde ruimte.
- + 10-20% meer ruimte nodig dan de warmtetechniek met minst benodigde ruimte.
- +/- 20-30% meer ruimte nodig dan de warmtetechniek met minst benodigde ruimte.
- 30-40% meer ruimte nodig dan de warmtetechniek met minst benodigde ruimte.
- - Meer dan 40% meer ruimte nodig dan de warmtetechniek met minst benodigde ruimte.

Middenspanningsruimtes (MSR)

Een toename van warmtepompen kan ervoor zorgen dat een verzwaring van het elektriciteitsnet nodig is. Dat gaat gepaard met het plaatsen van nieuwe middenspanningsruimtes (MSR) (CE Delft, 2023b). Of en hoeveel nieuwe MSR's nodig zijn, is afhankelijk van het aantal warmtepompen, de huidige beschikbare capaciteit op het elektriciteitsnet en andere ontwikkelingen die invloed hebben op het elektriciteitsnet, zoals toename van zonnepanelen en elektrische auto's. We hebben het nieuw te plannen MSR's per buurt en per warmteoplossing overgenomen uit de buurtanalysetool van Liander.¹⁴ Dit is voor nu de beste te nemen indicatie voor het aantal bijkomende MSR's.

Nieuwe MSR's hebben een ruimtelijke impact van 3 x 3 m voor het station zelf, plus ruimte eromheen voor veiligheid en om het huisje te kunnen betreden bij onderhoudswerkzaamheden. De totaal benodigde ruimte is circa 27,5 [25-30] m² per MSR (Liander, 2024).

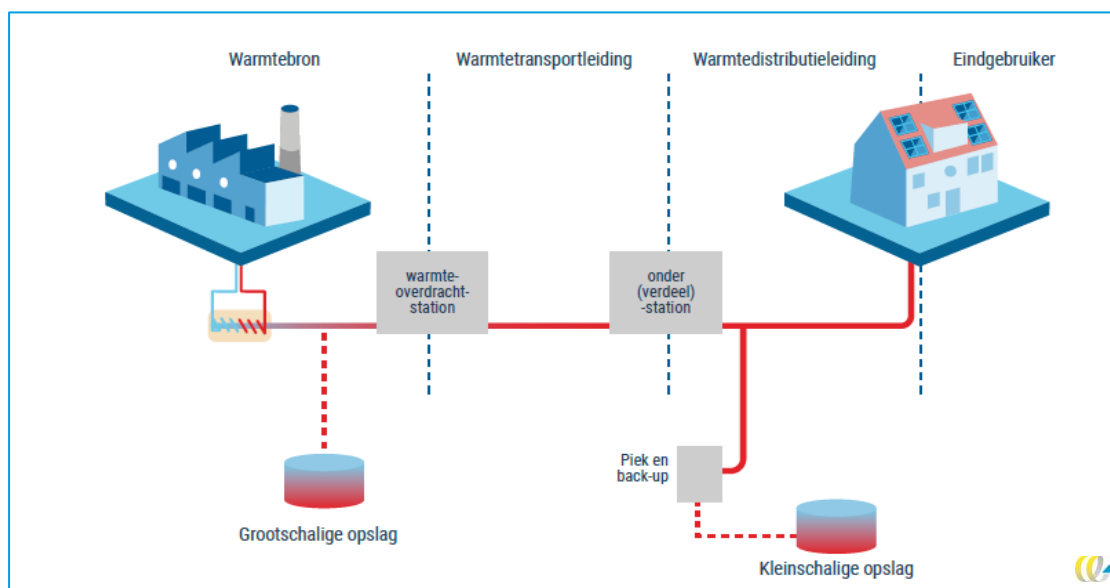
¹⁴ In de buurtanalysetool van Liander staat per buurt een prognose voor het aantal nieuwe MSR's als de hele buurt overgaat op all-electric warmtepompen en als de hele buurt overgaat op een HT en MT-warmtenet. We hebben de buurtanalysetool in april 2025 geraadpleegd.

Warmteoverdrachtstation en verdeelstations

Een warmtenet heeft een warmteoverdrachtstation (WOS) (Mulatu et al.) en verdeelstations nodig, zie Figuur 15. Een WOS is een gebouw in de wijk met een installatie die grootschalige warmte overdraagt aan het distributienet (het net dat door de buurt loopt) (WarmingUp, 2020). Voor een WOS is ongeveer 25 x 35 m nodig per 10.000 woningen of woningequivalenten utiliteit. Voor een verdeelstation is ongeveer 4 x 4 m nodig per 500 woningen of weq. Afhankelijk van het type warmtenet is ook ruimte nodig voor de piekinstallatie, een collectieve warmtepomp of een warmtebuffer. Voor de piekinstallatie is 25 m² nodig per 10.000 woningen of weq (Eneco, 2021).

Bij een LT-warmtenet, of een MT-warmtenet die gebruik maakt van een laagtemperatuur-warmtebron, zijn ook een buurtwarmtepomp en eventueel een warmtebuffer nodig. Voor een buurtwarmtepomp is 30 x 40 m nodig voor 15.000-25.000 woningen. Voor een warmtebuffer is 200 x 200 m per 20.000 woningen nodig (Eneco, 2021).

Figuur 15 – Opbouw warmtenet

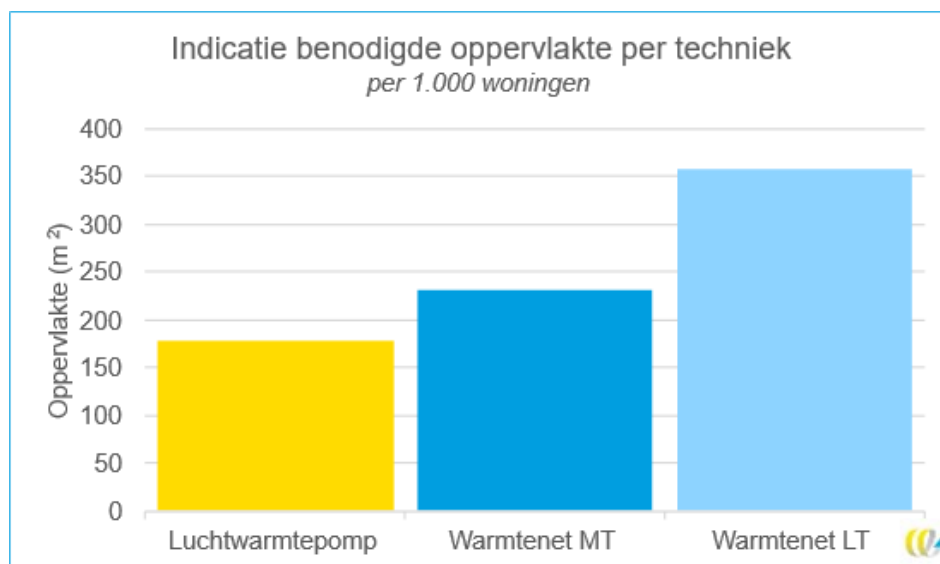


Bron: CE Delft (2023a).

In dit onderzoek hebben we op basis van bovenstaande kentallen een indicatie van de benodigde bovengrondse ruimte per warmtetechniek gemaakt. De grootste hoeveelheid ruimte in de wijk wordt ingenomen door een WOS en een buurtwarmtepomp, maar hiervan is er in beide gevallen waarschijnlijk maar hooguit één nodig voor heel Krommenie (ruim 9.100 weq). We bepalen daarom de gemiddelde benodigde bovengrondse oppervlakte van de warmtetechnieken voor heel Krommenie en vergelijken deze onderling.

Figuur 16 laat de indicatie van de benodigde oppervlakte van de verschillende warmtetechnieken zien. Hierin is te zien dat voor alle technieken een boel extra ruimte nodig is. Voor een LT-warmtenet is dit het meeste, omdat hier zowel de WOS als de MSR's nodig zijn.

Figuur 16 – Indicatie benodigde bovengrondse oppervlakte per warmtetechniek



Scores

Tabel 14 geeft de scores per warmtetechniek weer op het criterium *ruimtebeslag* in de bovengrond.

Tabel 14 – De score per warmtetechniek op het criterium *ruimte bovengronds in de wijk*

Warmteoplossing	Stikstofemissies
Luchtwarmtepomp	++
MT-warmtenet	+/-
LT-warmtenet	--

4.4 Ruimte in de woning

Net als een gasketel, nemen duurzame warmtetechnieken ruimte in beslag in de woning. De hoeveelheid ruimte die nodig is per warmtetechniek, verschilt. Hoeveel ruimte een warmtetechniek nodig heeft in de woning staat weergegeven in Tabel 15.

Een luchtwarmtepomp bestaat uit een buitenunit (ventilator) en een binnenunit (warmtewisselaar en voorraadvat), zie ook Figuur 17. De binnenunit heeft ruimte nodig in de woning, bijvoorbeeld op de plek waar nu de cv-ketel staat, als daar ruimte is voor extra installaties. Voor het opslaan van warm water voor ruimteverwarming kan er namelijk ook een buffervat nodig zijn.

Hiernaast moet ook de woning geïsoleerd worden. Of dit ruimte kost, hangt af hoe er geïsoleerd kan worden. Met name isolatie aan de binnenzijde van de woning (dak of muur) leidt tot ruimteverlies. Voor woningen zonder spouw, waar geen isolatie aan buitenzijde van de woning mogelijk is, zal de isolatie aan de binnenzijde moeten gebeuren.

Bij een **MT-warmtenet** is alleen een afleverset nodig die warm water afneemt en koud water teruggeeft aan het warmtenet, zie Figuur 17. De warmte die uit de afleverset komt, moet van de afleverset (bijvoorbeeld in de meterkast) naar de plek waar de warmte door de woning wordt verspreid (bijvoorbeeld daar waar de cv-ketel hing). Dat betekent dat er een leiding in huis moet worden aangelegd.

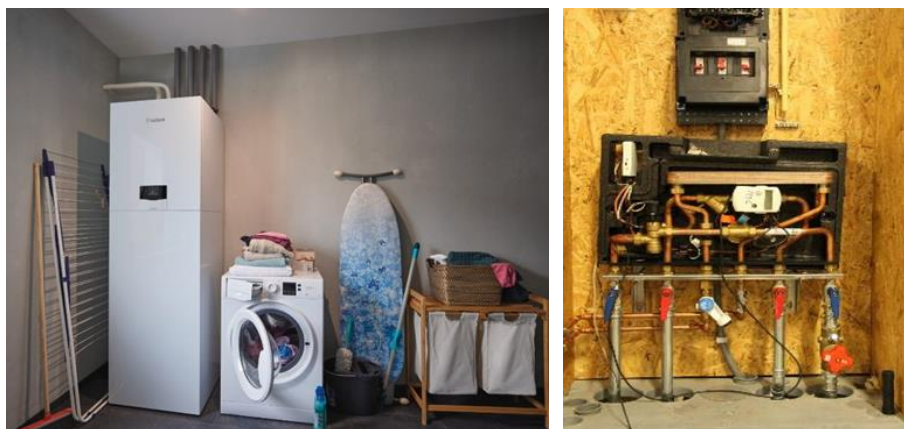
Bij een **LT-warmtenet** is er naast een afleverset ook een boiler nodig in de woning om heet water voor de douche en de keuken te kunnen leveren. De ruimtelijke impact in de woning ligt hiermee tussen een warmtepomp en een warmtenet op middentemperatuur in. Ook hier is met name ruimte nodig in de meterkast, en er zijn mogelijk nieuwe leidingen in de woningen richting de cv-ketel. Net zoals bij een warmtepomp moet een huis goed geïsoleerd worden, zie hiervoor het kopje 'Warmtepomp'.

Tabel 15 – Overzicht ruimtegebruik van verschillende warmtetechnieken in de woning, exclusief isolatie

Warmtetechniek	Component	Benodigde ruimte (m ²)	Locatie	Opmerkingen
Luchtwarmtepomp	Binnenunit (met boiler)	0,42 m ²	Zolder, schuur, garage	Ruimteverwarming en warmtapwater
	Buffervat (optioneel)	1,0 m ²	Binnen	Opslag voor ruimteverwarming
	Buitenunit	0,64 m ²	Dak, schuur of buitenmuur	Leidingen nodig tussen binnen- en buitenunit
MT-warmtenet	Afleverset	0,12 m ²	Meterkast	Leidingen van meterkast naar cv-ketel (meestal op zolder)
LT-warmtenet	Afleverset	0,12 m ²	Meterkast	Leidingen van meterkast naar cv-ketel (meestal op zolder)
	Boiler	1,0 m ²	Binnen	Verplicht voor warmtapwater

Bron: CE Delft (2021c).

Figuur 17 – Links: Een binnenunit van een warmtepomp met boiler; Rechts: Een afleverset.



Bron: (links) Vaillant GmbH (lopend); (rechts) CE Delft.

Hoe zijn de scores bepaald?

De scores zijn bepaald aan de hand van de ruimte die een techniek in neemt, in relatie tot het formaat van de woning. Hoe meer procentuele ruimte een techniek in de woning inneemt, hoe lager de score.

Voor scoring van de *ruimte in de woning* gebruiken we de volgende maatstaf:

- ++ Relatief zeer weinig ruimte nodig in de woning.
- + Relatief weinig ruimte nodig in de woning.
- +/- Relatief gemiddelde ruimte nodig in de woning.
- Relatief veel ruimte nodig in de woning.
- Relatief zeer veel ruimte nodig in de woning.

Tabel 16 laat de gemiddelde oppervlakte van de woning per buurt zien en daarnaast de relatieve ruimte die de verschillende warmtetechnieken in de woning innemen.

Luchtwarmtepompen nemen de grootste hoeveelheid ruimte in. Echter, hoe groter de woningen, hoe minder dit een probleem hoeft te zijn.

Tabel 16 – Gemiddelde woningoppervlakte per buurt

Buurtnaam	Gem. oppervlakte woning in m ²	Relatieve ruimte warmtetechniek		
		Luchtwarmtepomp	Warmtenet MT	Warmtenet LT
Zuiderhoofdbuurt	98	1,5%	0,1%	0,5%
Noorderhoofdbuurt	87	1,6%	0,1%	0,6%
Snuiverbuurt	98	1,5%	0,1%	0,5%
Rosariumbuurt	81	1,8%	0,1%	0,6%
Zuiderham	120	1,2%	0,1%	0,4%
Noorderham	102	1,4%	0,1%	0,5%
Krommeniedijk	142	1,0%	0,1%	0,3%
Willis	135	1,1%	0,1%	0,4%

Scores

Tabel 17 geeft de score per warmtetechniek weer op het criterium *ruimte in de woning*.

Tabel 17 – De score per warmtetechniek op het criterium *ruimte in de woning*

Buurtnaam	Luchtwarmtepomp	MT-warmtenet	LT-warmtenet
Zuiderhoofdbuurt	--	++	+
Noorderhoofdbuurt	--	++	+
Snuiverbuurt	--	++	+
Rosariumbuurt	--	++	+
Zuiderham	-	++	++
Noorderham	-	++	+
Krommeniedijk	+/-	++	++
Willis	+/-	++	++

4.5 Uitvoeringscapaciteit

Voor een succesvolle uitvoering van de warmtetransitie is het noodzakelijk dat er voldoende uitvoeringscapaciteit beschikbaar is. Afhankelijk van de gekozen warmtetechniek zijn diverse partijen betrokken en varieert de benodigde capaciteit in omvang en timing. Zowel bij warmtenetten als warmtepompen is er op nationaal niveau een tekort aan arbeidskrachten. In deze paragraaf belichten we de benodigde uitvoeringscapaciteit voor warmtenetten en warmtepompen.

Voor de realisatie van een **warmtenet** is uitvoeringscapaciteit nodig voor:

- *Organisatie vanuit de gemeente:* Voordat een warmtebedrijf een warmtenet kan aanleggen, moet de gemeente keuzes maken over de locaties, de startpunten en welk warmtebedrijf de werkzaamheden mag gaan uitvoeren. Ook zijn er vergunningen nodig voor de levering van warmte via een warmtenet.
- *Organisatie vanuit een warmtebedrijf:* Het warmtebedrijf moet voldoende uitvoeringscapaciteit hebben om de ligging van het netwerk, kosten voor gebruikers en benodigde aanpassingen in woningen te bepalen.
- *De aanleg van warmtenetten:* De aanleg vraagt uitvoeringscapaciteit van arbeidskrachten. Door onzekerheid over regulering van de afgelopen jaren zijn er weinig gespecialiseerde aannemers en onvoldoende praktisch geschoolde arbeidskrachten (Berenschot, 2024). Daarnaast is er in veel gevallen ook (deels) netverzwaring nodig, vooral als er warmtepompen worden gebruikt in de warmtenetconfiguratie.
- *(Vergaande) isolatie:* Voor een LT-warmtenet is voldoende isolatie van het gebouw essentieel. Bij een HT- of MT-warmtenet is er doorgaans minder en soms zelfs helemaal geen extra isolatie nodig. Wanneer isolatie wel noodzakelijk blijkt, vereist dit extra uitvoeringscapaciteit.

- *Veranderingen in de woning:* Arbeidskrachten zijn nodig voor de installatie van een afleverset. Daarbij komt eventueel de installatie van LT-radiatoren of vloerverwarming en aanpassingen van de meterkast.

Voor de realisatie van **luchtwarmtepompen** is uitvoeringscapaciteit nodig voor:

- *(Vergaande) isolatie:* Warmtepompen vereisen hoge isolatie-eisen, doorgaans meer dan bij HT- of MT-warmtenetten. Voor deze isolatiewerkzaamheden is uitvoeringscapaciteit van arbeidskrachten nodig.
- *Veranderingen in de woning:* Arbeidskrachten zijn nodig voor aanpassingen in de woning, zoals LT-radiatoren of vloerverwarming en aanpassingen in de meterkast.
- *Installatie en onderhoud van de warmtepomp:* Specialistische arbeidskrachten zijn nodig voor de installatie en onderhoud van warmtepompen.
- *Netverzwaring:* Voor netverzwaring is er capaciteit van de netbeheerder, uitvoerders en gemeente nodig. Ook zonder warmtepompen zal netverzwaring waarschijnlijk nodig zijn, bijvoorbeeld door de groei in zonne-energie en elektrische auto's. Voor warmtepompen is veelal meer netverzwaring vereist dan bij een MT-warmtenet.

Hoe zijn de scores bepaald?

Er zijn verschillende methodes om de benodigde uitvoeringscapaciteit per warmtetechniek te bepalen. In 2024 heeft Berenschot een onderzoek gedaan naar het plan voor het warmtenet in Den Haag en vergelijken hiervoor de benodigde uitvoeringscapaciteit van verschillende technieken. Hierin wordt gesteld dat opschaling van de productiviteit en de scholing bij een HT/MT-warmtenet meer aandacht vereist, maar dat all-electric warmtepompen vaak een hogere complexiteit met zich meebrengen. De conclusie is dat de uitvoeringscapaciteit voor de technieken vergelijkbaar is (Berenschot, 2024).

Op basis van het werkgelegenheidsmodel (CE Delft, 2022) komen we tot een vergelijkbare conclusie. Aanvullend blijkt dat de behoefte aan uitvoeringscapaciteit voor warmtepompen en LT-warmtenetten wat lager is in wijken waar al een hoog isolatieniveau is bereikt. De uitvoeringscapaciteit voor een LT-warmtenet wordt wat hoger ingeschat dan die voor een HT- of MT-warmtenet, vanwege strengere isolatie-eisen en de behoefte aan andere warmteafgiftesystemen, zoals LT-radiatoren.

Voor scoring van de *uitvoeringscapaciteit* gebruiken we de volgende maatstaf:

- ++ Kleine hoeveelheid uitvoeringscapaciteit nodig.
Bijvoorbeeld luchtwarmtepomp in buurten met zeer kleine tot geen isolatieopgave.
- + Ondergemiddelde hoeveelheid uitvoeringscapaciteit nodig.
Bijvoorbeeld luchtwarmtepomp in buurten met relatief kleine isolatieopgave.
- +/- Gemiddelde hoeveelheid uitvoeringscapaciteit nodig.
Bijvoorbeeld luchtwarmtepomp in buurten met gemiddelde isolatieopgave en MT-warmtenet.
- Bovengemiddelde hoeveelheid uitvoeringscapaciteit nodig.
Bijvoorbeeld luchtwarmtepomp in buurten met grote isolatieopgave en LT-warmtenet.
- Grote hoeveelheid uitvoeringscapaciteit nodig.
Bijvoorbeeld LT-warmtenet in buurten met grote isolatieopgave.

Scores

Tabel 18 geeft de scores per warmtetechniek weer op het criterium *uitvoeringscapaciteit*.

Tabel 18 – De score per warmtetechniek op het criterium *uitvoeringscapaciteit*

Buurtnaam	Luchtwarmtepomp	MT-warmtenet	LT-warmtenet
Zuiderhoofdbuurt	-	+ / -	--
Noorderhoofdbuurt	+ / -	+ / -	-
Snuiverbuurt	+ / -	+ / -	-
Rosariumbuurt	-	+ / -	--
Zuiderham	+ / -	+ / -	-
Noorderham	+ / -	+ / -	-
Krommeniedijk	+ / -	+ / -	-
Willis	+	+ / -	+ / -

5 Betrouwbaarheid

Binnen het thema *betrouwbaarheid* kijken we naar twee criteria:

1. Betrouwbaarheid bron.
2. Robuustheid nationale kosten.

Voor elk van de criteria geven we een beschrijving en gaan we in op de manier waarop we de scores hebben bepaald.

5.1 Betrouwbaarheid bron

Voor een betrouwbare warmtevoorziening is het essentieel dat zowel de techniek zelf als de bron van warmte of energie waarop deze techniek draait betrouwbaar is. In dit criterium beschouwen we de betrouwbaarheid van de bron. Hoe betrouwbaar een warmtebron is, hangt af van meerdere factoren – bijvoorbeeld hoe vaak die bron al succesvol is toegepast voor verwarming.

Hoe zijn de scores bepaald?

Voor scoring van de *betrouwbaarheid van de bron* gebruiken we de volgende maatstaf:

- ++ De bron van de warmtetechniek is bewezen zeer betrouwbaar.
- + De bron van de warmtetechniek is bewezen betrouwbaar.
- +/- De bron van de warmtetechniek is bewezen betrouwbaar in een aantal situaties.
- Het is onbewezen dat de bron van de warmtetechniek betrouwbaar is.
- - De bron van de warmtetechniek is niet betrouwbaar.

De **luchtwarmtepomp** gebruikt elektriciteit en daarnaast warmte uit de buitenlucht om te verwarmen. We gaan ervan uit dat er doorgaans voldoende warmte uit de buitenlucht beschikbaar is om te verwarmen. Als dit niet het geval is, dan gaat het elektrische element in de warmtepomp aan.¹⁵ Daarnaast is de warmtepomp een zeer bewezen techniek. Desondanks sommige huiseigenaren problemen hebben met het vinden van een onderhoudsbedrijf voor hun warmtepomp (VEH, 2024), groeit het aantal warmtepompen in Nederland gestaag. Het Warmtepomp trendrapport 2024/2025 geeft aan dat er in 2024

¹⁵ Veel warmtepompen zijn voorzien van een elektrisch element. Als deze aan staan voor bijverwarming, hebben ze een grote vermogensvraag. Als veel woningen in dezelfde straat een warmtepomp hebben die tegelijkertijd met het elektrische element bijverwarmen, kan dit bijdragen aan netcongestie.

668.000 warmtepompen opgesteld staan in Nederland (DNE Research, 2025). Daarom krijgt deze techniek de score ‘+ +’.

Het **MT-warmtenet** haalt warmte uit geothermie. In Nederland zijn nu 24 gerealiseerde warmtenetten op geothermie (Geothermie Nederland, 2025). Een groot deel hiervan levert warmte aan de glastuinbouw. In Nederland wordt geothermie voor de gebouwde omgeving nog relatief weinig toegepast, maar in grote steden zoals Parijs, München, Milaan en Reykjavik wordt het al een lange tijd gebruikt voor ruimteverwarming. Daarnaast is geothermie constant beschikbaar, onafhankelijk van weersomstandigheden of seizoensgebonden schommelingen. Daarom krijgt deze techniek de score ‘+ +’.

Het **LT-warmtenet** haalt warmte uit een wko, dat het opwaardeert met een centrale warmtepomp. De wko kan worden geregenereerd door aquathermie. Inmiddels zijn er meer dan 3.300 open wko-systemen en ruim 70.000 gesloten bodemenergiesystemen in gebruik (NPLW, 2025). In de nieuwbouwwoningen geldt bodemenergie tegenwoordig als de standaardoplossing voor duurzame warmte (en koude). Echter, voor bestaande bouw is een wko-net met regeneratie door aquathermie nog niet vaak gerealiseerd. Daarom krijgt deze techniek de score ‘+’.

Scores

Tabel 19 geeft de scores per warmtetechniek weer op het criterium *betrouwbaarheid bron*.

Tabel 19 – De score per warmtetechniek op het criterium *betrouwbaarheid bron*

Warmteoplossing	Betrouwbaarheid bron
Luchtwarmtepomp	+ +
MT-warmtenet	+ +
LT-warmtenet	+

5.2 Robuustheid nationale kosten

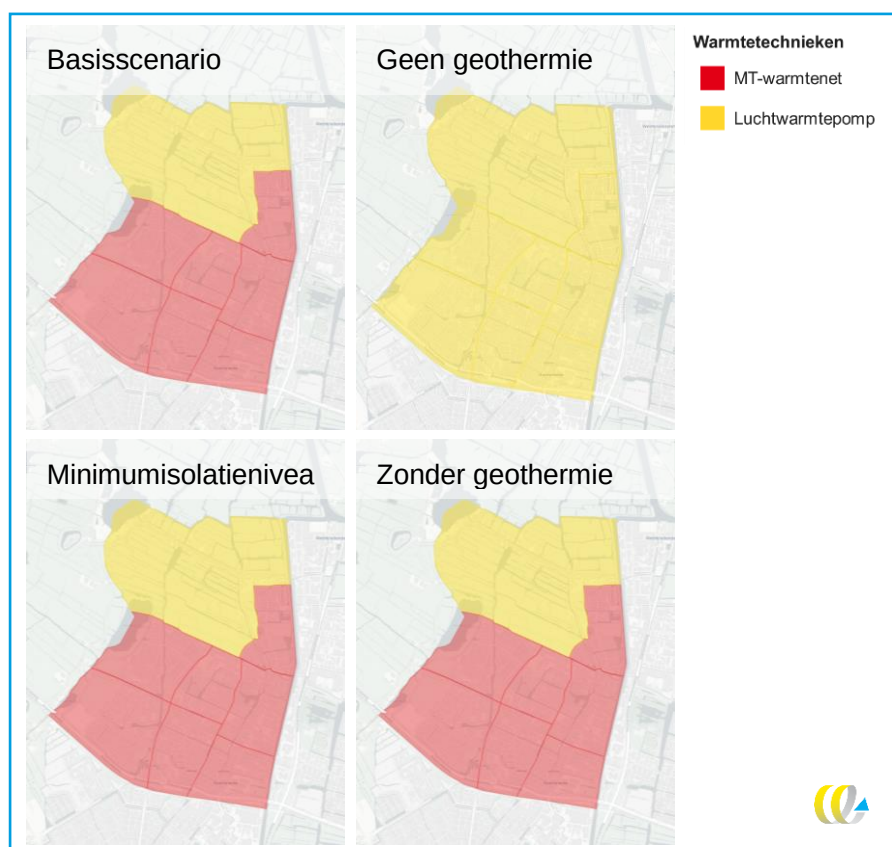
De nationale kosten per warmtetechniek hebben we berekend met het CEGOIA-model (CE Delft, 2021a), zie ook bijlage B. De nationale kosten van de warmtetechnieken verschillen per buurt. Er zijn meerdere scenario's doorgerekend, waarbij rekening is gehouden met de onzekerheden in de toekomstsituatie en modelberekening. Als een warmtetechniek de laagste nationale kosten heeft in meerdere scenario's kan dit gezien worden als een robuustere uitkomst. De scenario's zijn afgestemd met de gemeente Zaanstad en betrokken stakeholders.

We hebben de volgende vier scenario's doorgerekend:

1. **Basisscenario:** met standaard modelaannames, met alle warmtebronnen (geothermie, aquathermie en wko) beschikbaar.
2. **Geen geothermie:** geothermie is niet beschikbaar als bron.
3. **Minimumisolatieniveau:** alle woningen en utiliteitsgebouwen isoleren minimaal naar de vooroorlogse standaard.¹⁶
4. **Zonder geothermie leercurve:** in het basisscenario is aangenomen dat geothermie goedkoper wordt over de tijd, door innovaties en ontwikkelingen in de geothermie-sector. In dit scenario nemen we aan dat geothermie niet goedkoper wordt.

In Figuur 18 worden de resultaten van de vier scenario's weergegeven. De figuren laten een veelal consistent beeld zien. In Krommeniedijk heeft de luchtwarmtepomp de laagste nationale kosten in alle scenario's. In de rest van de buurten heeft het MT-warmtenet in drie scenario's de laagste nationale kosten. De luchtwarmtepomp heeft de laagste nationale kosten in alle buurten als er geen geothermie beschikbaar is. Deze uitkomsten zijn gebruikt om de robuustheid van de nationale kosten te scoren.

Figuur 18 – CEGOIA-resultaten voor vier scenario's



Bron: Screenshot CEGOIA-webtool.

¹⁶ Zie: [RVO](#).

Hoe zijn de scores bepaald?

Voor scoring van de ‘robustheid’ gebruiken we de volgende maatstaf:

- ++ Meer dan drie scenario’s met dezelfde laagste kosten techniek.
- + Meer dan twee scenario’s met dezelfde laagste kosten techniek.
- +/- Meer dan één scenario met dezelfde laagste kosten techniek.
- Techniek heeft in één scenario de laagste kosten.
- - Techniek heeft nooit de laagste kosten.

Scores

Tabel 20 geeft de scores per warmtetechniek weer op het criterium *robustheid*.

Tabel 20 – De score per warmtetechniek op het criterium *robustheid*

Buurtnaam	Luchtwarmtepomp	MT-warmtenet	LT-warmtenet
Zuiderhoofdbuurt	-	+	--
Noorderhoofdbuurt	-	+	--
Snuiverbuurt	-	+	--
Rosariumbuurt	-	+	--
Zuiderham	-	+	--
Noorderham	-	+	--
Krommeniedijk	++	--	--
Willis	-	+	--

6 Schaalbaarheid

Binnen het thema *schaalbaarheid* kijken we naar drie criteria:

1. Snelheid.
2. Individuele beslisruimte.
3. Impact geluid op de leefomgeving.

Voor elk van de criteria geven we een beschrijving en gaan we in op de manier waarop we de scores hebben bepaald.

6.1 Snelheid

De tijd die nodig is om aardgasvrije warmte te realiseren, hangt voor een deel af van het organisatie en participatietraject en voor een tweede deel van de benodigde fysieke aanpassingen. Voor de fysieke aanpassingen zijn twee zaken belangrijk: (1) het aanleggen van de infrastructuur die nodig is voor een bepaalde techniek en (2) de aanpassingen en isolatie van gebouwen.

Gemiddeld genomen nemen projecten om nieuwe **warmtenetten** aan te leggen tussen de vijf en de acht jaar in beslag (CE Delft, 2021d; TNO, 2024) van begin tot eind. Hierbij moet rekening gehouden worden met:

- Er gaat relatief veel tijd zitten in de *organisatie en participatie* vooraf. Hieronder vallen zaken zoals vergunningsaanvragen, planning en ontwerp. Participatie is essentieel, omdat een warmtenet alleen zinvol is wanneer het merendeel van de bewoners bereid is aan te sluiten. Voor woningcorporaties geldt daarbij dat 70% van de huurders akkoord moet gaan (Aedes, 2025). Voor buurten met veel particulier bezit zal de doorlooptijd naar verwachting langer zijn, omdat er meer tijd nodig is om tot een overeenkomst tussen bewoners, warmteleverancier en gemeente te komen.
De gemiddelde *aanlegduur* van zijleidingen en distributieleidingen in een woonwijk bedraagt circa 3 tot 6 weken per straat. Dit is te wijten aan de noodzaak om tijdens de werkzaamheden rekening te houden met bestaande leidingen en ervoor te zorgen dat de woningen te allen tijde toegankelijk blijven.
- Voor een LT-warmtenet is voldoende *isolatie* van het gebouw essentieel. Bij een MT-warmtenet is er doorgaans minder en soms zelfs helemaal geen extra isolatie nodig. Wanneer veel isolatie nodig is, vraagt dit extra tijd. Daarnaast moeten afleversets in de woningen worden geïnstalleerd.

De realisatietermijn van **luchtwarmtepompen** in een buurt kan erg verschillen. Er moet rekening gehouden worden met:

- Voor warmtepompen is veelal netverzwaring nodig, de doorlooptijd hiervan varieert sterk en hangt voor een groot deel af van het type en aantal elektriciteitsstations dat gerealiseerd moet worden (Netbeheer Nederland, 2019). Voor een MS-LS-station kan dit binnen een jaar gerealiseerd worden; dit loopt echter op naar ruim 5 jaar naarmate de stations groter worden.
- Om gebouwen geschikt te maken voor een warmtepomp, is goede *isolatie* noodzakelijk. De doorlooptijd van isolatie hangt vooral af van natuurlijke renovatiemomenten, aangezien de isolatiewerkzaamheden zelf slechts enkele weken duren. Het tempo van isoleren en andere aanpassingen is afhankelijk van de eigendomssituatie en het gebouwtype. Als een gebouw in bezit is van een verhuurder, kunnen vele woningen in één keer worden aangepakt, wat de doorlooptijd versnelt. Daarnaast gaan aanpassingen in de woning sneller bij gestapelde bouw, waar mogelijkheden voor blokverwarming zijn.

Hoe zijn de scores bepaald?

Voor de scoring per buurt op het criterium *snelheid* gebruiken we de volgende maatstaf:

- ++ Realisatie van de warmtetechniek kost relatief zeer weinig tijd.
- + Realisatie van de warmtetechniek kost relatief weinig tijd.
- +/- Realisatie van de warmtetechniek kost gemiddeld tijd.
- Realisatie van de warmtetechniek kost relatief veel tijd.
- - Realisatie van de warmtetechniek kost relatief zeer veel tijd.

Als basis geven we de realisatietijd van een MT-warmtenet een neutrale score '+/-'. Ten tweede doen we de aanname dat warmtepompen iets sneller gerealiseerd kunnen worden in een buurt; deze geven we de daarom de standaard score '+'. Van een LT-warmtenet verwachten we dat de realisatie wat langer is, omdat hier naast de aanleg van het net ook isolatie bij nodig is, deze scoren we standaard met waarde '-'.

De score voor de realisatietijd stellen we vervolgens per buurt bij, afhankelijk van:

- De isolatieopgave: hoe kleiner de opgave, hoe korter de realisatietijd.
- Het percentage gestapelde bouw en het percentage huurwoningen: hoe hoger het aandeel gestapeld en hoe hoger het aandeel huur, hoe korter de realisatietijd.

Scores

Tabel 21 geeft de scores per warmtetechniek weer op het criterium *snelheid*.

Tabel 21 – De score per warmtetechniek op het criterium *snelheid*

Buurtnaam	Luchtwarmtepomp	MT-warmtenet	LT-warmtenet
Zuiderhoofdbuurt	+ / -	+ / -	--
Noorderhoofdbuurt	+	+ / -	-
Snuiverbuurt	+	+ / -	-
Rosariumbuurt	+	+ / -	-
Zuiderham	+	+ / -	-
Noorderham	+	+ / -	-
Krommeniedijk	+ / -	-	--
Willis	+	+ / -	-

6.2 Individuele beslisruimte

Dit criterium gaat over de (on)mogelijkheid om als individu zelfstandig de beslissing te nemen om over te stappen naar een bepaalde warmtetechniek en over de keuzevrijheid van energieleverancier.

Hoe zijn de scores bepaald?

We hebben gekeken naar een drietal vragen per warmtetechniek:

- Heeft het individu zelf de keuze in energie/warmteleverancier?
- Kan het individu zelfstandig de beslissing nemen om over te stappen naar deze warmtetechniek?
- Is er onder de onderzochte warmtetechnieken een alternatieve techniek beschikbaar om de woning aardgasvrij te verwarmen?

Voor scoring van de 'individuele beslisruimte' gebruiken we de volgende maatstaf:

- ++ Volledige keuzevrijheid bij energieleveranciers en warmtetechniek.
- + Ruime keuzevrijheid bij energieleverancier en warmtetechniek.
- +/- Gedeeltelijke keuzevrijheid bij energieleverancier of warmtetechniek.
- Minimale keuzevrijheid bij energieleverancier of warmtetechniek.
- Geen keuzevrijheid in energieleveranciers en bij warmtetechniek.

Bij individuele technieken, zoals de **luchtwarmtepomp**, hebben individuen, ofwel gebouweigenaren, altijd de keuze voor de energie en warmteleverancier. Daarnaast heeft het individu ook de mogelijkheid om zelfstandig de beslissing te nemen om over te stappen naar deze warmtetechniek. De derde vraag ligt genuanceerder: het individu heeft alleen een alternatieve keuze zolang er nog gas stroomt. Dan kan de woning op de huidige niet-

aardgasvrije manier verwarmd worden. Als aardgas in een bepaald gebied wordt afgesloten en hier geen warmtenet wordt ontwikkeld, dan heeft het individu, binnen de onderzochte technieken, echter geen alternatieve keuze dan voor een warmtepomp te kiezen. We beoordelen de keuzevrijheid van deze techniek daarom als ‘ruim’ en geven de score ‘+’.

Bij het **MT-** en **LT-warmtenet** hebben individuen ook de keuze in de energie- of warmteleverancier. Warmtebedrijven zullen hen een aanbod doen voor aansluiting op het warmtenet. Volgens de WCW¹⁷ is er echter ook de optie om dit aanbod af te slaan en een duurzame individuele oplossing te zoeken. Zo hebben ze twee opties: individueel of collectief van het aardgas af. Voor de tweede vraag geldt dat het individu niet *zelfstandig* kan zorgen dat er een warmtenet wordt aangelegd naar de woning van het individu of een ander gebouw en hierop over kan stappen. Ten slotte als antwoord op de laatste vraag, als er een warmtenet wordt aangelegd, kan het individu wel voor een individuele warmte-techniek kiezen als het individu niet op het warmtenet wil aansluiten. We beoordelen de keuzevrijheid van deze techniek daarom ook als ‘ruim’ en geven de score ‘+’.

Scores

Tabel 22 geeft de scores per warmtetechniek weer op het criterium *beslisruimte*.

Tabel 22 – De score per warmtetechniek op het criterium *individuele beslisruimte*

Warmteoplossing	Individuele beslisruimte
Luchtwarmtepomp	+
MT-warmtenet	+
LT-warmtenet	+

¹⁷ Wet collectieve warmte. Deze treedt naar verwachting op 1 januari 2026 in werking, afhankelijk van de behandeling door de Tweede en Eerste kamer.

6.3 Impact geluid op leefomgeving

Veel apparaten in huis maken geluid, zo kan ook de warmtetechniek geluid maken. Wanneer dit voor geluidshinder zorgt, kan dit iets zijn om mee te wegen in de keuze voor een warmtetechniek.

Hoe zijn de scores bepaald?

Voor scoring van de 'impact op de leefomgeving' gebruiken we de volgende maatstaf:

- ++ Warmtetechniek leidt niet tot toename geluid.
- + Warmtetechniek leidt amper tot toename geluid.
- +/- Warmtetechniek leidt tot een kleine toename van geluid.
- Warmtetechniek leidt tot een middelgrote toename van geluid.
- Warmtetechniek leidt tot een grote toename van geluid.

Een lucht-waterwarmtepomp heeft een buitenunit. De ventilator en compressor in de buitenunit maken geluid wanneer de warmtepomp draait. Dit kan leiden tot geluidshinder. Uit een onderzoek van Milieu Centraal blijkt dat zeven van de tien eigenaren nooit geluids-overlast ervaart (Milieu Centraal, 2025). Er is echter ook een deel dat wel overlast ervaart. Eén op de zes eigenaren ervaart 's nachts geluidsoverlast en één op de acht overdag. Bij 7% van de eigenaren ervaren de burens overlast. Maar er zijn manieren om geluids-overlast te voorkomen: door bijvoorbeeld een geluidskast en dempende pootjes te gebruiken en een warmtepomp te kiezen die minder geluid maakt. Ook is het belangrijk om een slimme plek voor de buitenunit uit te kiezen om overlast te voorkomen en kunnen de tijden waarop de warmtepomp draait eventueel worden ingesteld om overlast te minimaliseren. Een goede installateur kan hierover adviseren (Milieu Centraal, lopend-b).

Een warmtenet veroorzaakt, na de realisatie, geen significant geluid. De installaties in de woning maken grofweg evenveel geluid als de huidige cv-ketel. Dit geldt voor alle configuraties van een warmtenet.

Scores

Tabel 23 geeft de scores per warmtetechniek weer op het criterium *impact op de leefomgeving*.

Tabel 23 – De score per warmtetechniek op het criterium *impact op de leefomgeving*

Warmtetechniek	Impact geluid
Luchtwarmtepomp	+ / -
MT-warmtenet	+ +
LT-warmtenet	+ +

| 7 Resultaten per buurt

In dit hoofdstuk geven we de resultaten uit het afwegingskader weer. We laten de scores van de warmtetechnieken op de verschillende thema's uit het afwegingskader zien. We bepalen de meest kansrijke warmtetechniek per buurt door het gewogen gemiddelde te nemen van al die scores.

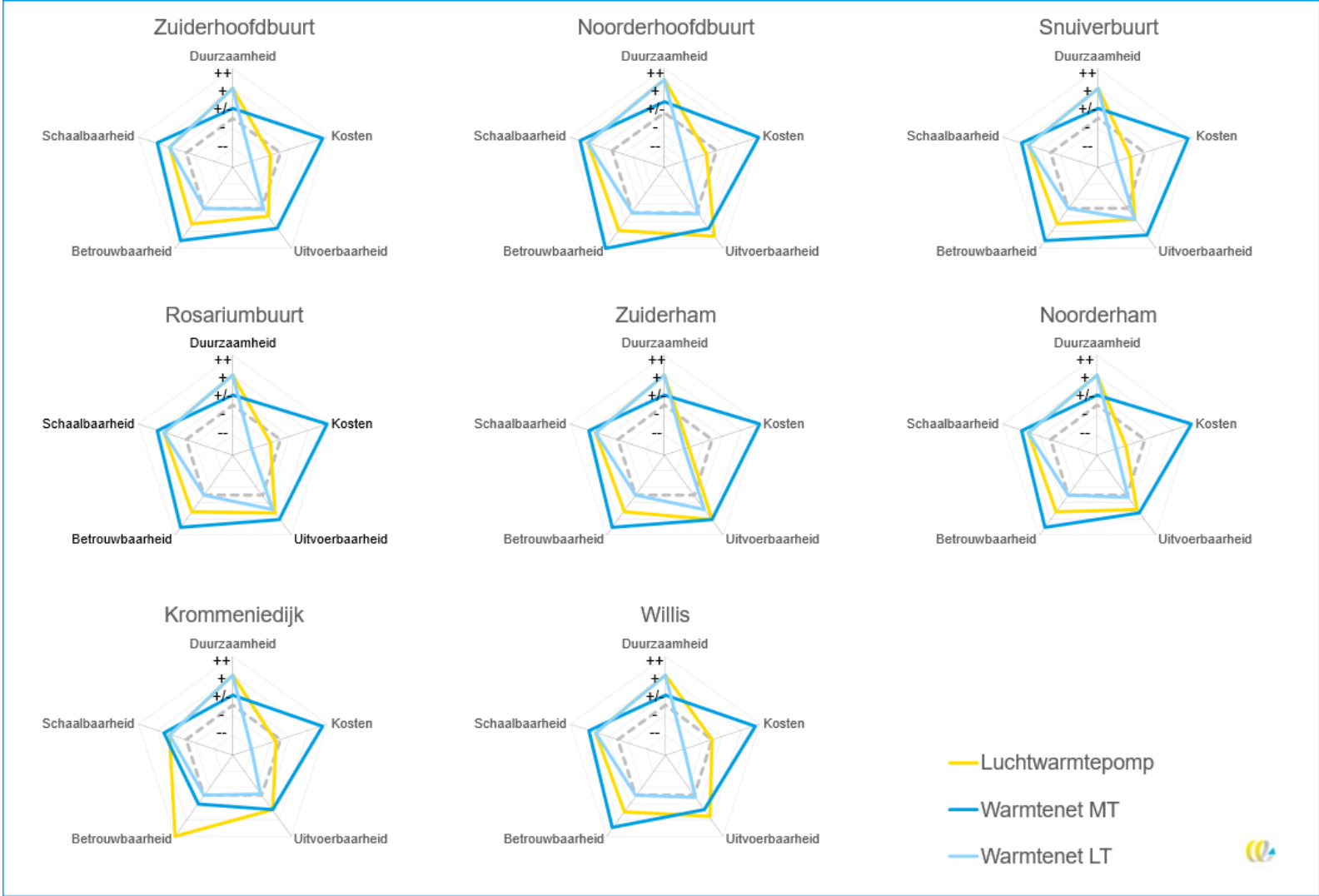
7.1 Score per thema

Figuur 19 laat per buurt de gemiddelde score zien uit de thema's van het afwegingskader. Voor de criteria binnen één thema hebben we een gelijke weging gehanteerd.

Hoe groter het oppervlak binnen de lijn in de grafiek, hoe beter de warmtetechniek scoort. In de resultaten zien we terug dat een MT-warmtenet in vrijwel alle buurten het beste scoort op het thema *kosten* en in een aantal buurten ook op het thema *betrouwbaarheid*. In Krommeniedijk is echter een duidelijke voorkeur voor een luchtwarmtepomp in dit laatste thema, wat te wijten is aan het criterium *robuustheid*. Een luchtwarmtepomp heeft in alle buurten de hoogste score voor het thema *duurzaamheid*.

Het thema *schaalbaarheid* is in veel buurten redelijk gelijk voor een middentemperatuur-warmtenet en een luchtwarmtepomp. Het thema *uitvoerbaarheid* scoort het hoogst bij een MT-warmtenet voor een deel van de buurten en voor een ander deel een lucht-warmtepomp. Dit hangt af van een combinatie van factoren, zoals ruimte in de ondergrond, bovengrond en netcongestie.

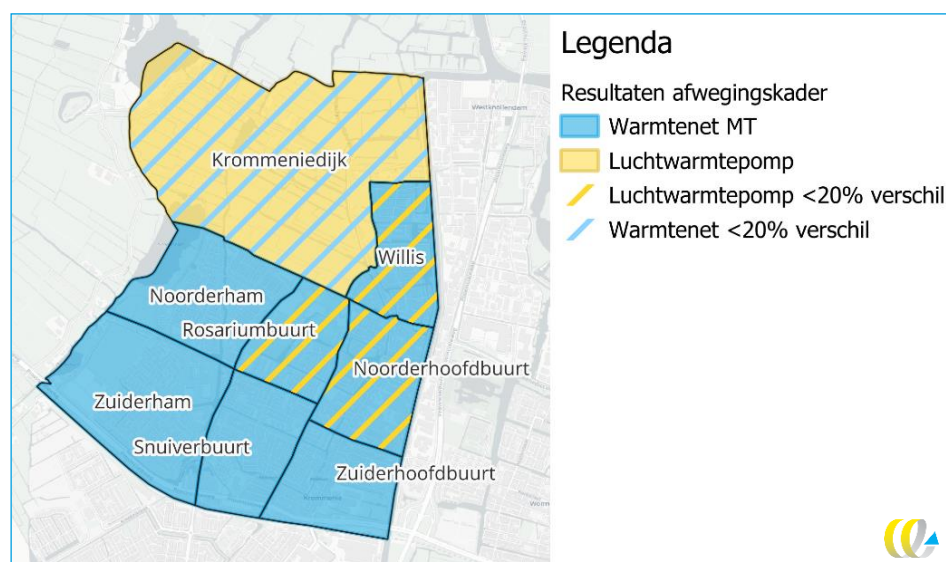
Figuur 19 – Resultaat per buurt en per thema uit het afwegingskader



7.2 Totaalscore

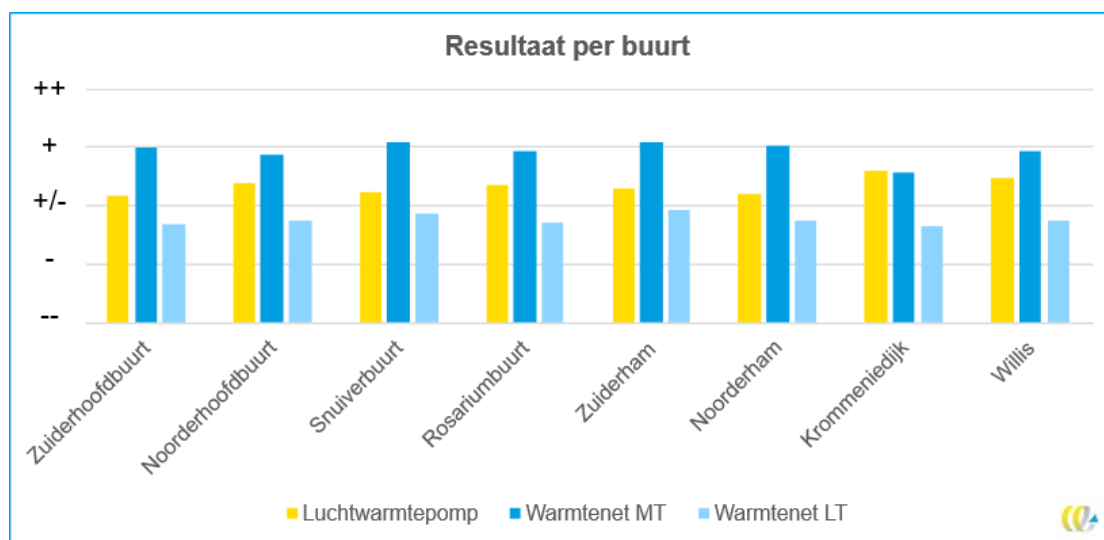
Om vervolgens tot de meest kansrijke warmtetechniek te komen, kunnen we de scores van de verschillende thema's combineren. Figuur 20 laat het resultaat zien als we alle thema's dezelfde geweging meegeven. Voor de buurten Zuiderhoofdbuurt, Snuiverbuurt, Zuiderham en Noorderham geldt dat een warmtenet op middentemperatuur duidelijk als meest kansrijke techniek uit het afwegingskader komt. Voor de buurten Noorderhoofdbuurt, Rosarium en Willis scoort een MT-warmtenet beter dan een lucht-warmtepomp, maar is dit verschil relatief klein. Voor de buurt Krommeniedijk komt een lucht-warmtepomp als meest kansrijk naar voren, maar ook hier is het verschil tussen de twee technieken klein. Een LT-warmtenet heeft in geen van de buurten de voorkeur.

Figuur 20 – Resultaten afwegingskader. De kleur geeft de warmtetechniek aan die het beste scoort. Als de score dicht bij elkaar ligt (< 20%) geeft de smalle arcering aan welke techniek daarna het beste scoort.



In Figuur 21 is de totaalscore per buurt voor de drie technieken weergegeven. Voor een groot deel van de buurten geldt dat het verschil tussen de MT-warmtenet of een lucht-warmtepomp vrij klein is. Met name voor de buurt 'Krommeniedijk' is het verschil klein, ook in 'Rosariumbuurt' en 'Noorderhoofdbuurt' en 'Willis' is het verschil tussen de twee technieken minder dan 20%.

Figuur 21 – Resultaat afwegingskader



Disclaimer resultaten

Een belangrijke kanttekening bij deze resultaten is dat de weging van de verschillende thema's de voorkeursteknik per buurt kan doen veranderen. Het belang en daarmee de weging van de verschillende thema's is uiteindelijk een politieke keuze en verdient de aandacht gedurende het vervolg van dit traject. Dit kan bijvoorbeeld worden besproken tijdens het participatietraject en in gesprekken met overige belanghebbenden.

Beschikbaarheid geothermie

De goedkoopste beschikbare bron voor een MT-warmtenet in Krommenie is geothermie. Een onzekerheid omtrent een MT-warmtenet op geothermie is de beschikbare capaciteit van een geothermieput. De *theoretische* beschikbaarheid van geothermie binnen de grenzen van Krommenie is 165.000 GJ (zie bijlage A.2.1). De warmtevraag van de vier buurten met een duidelijke voorkeur voor het MT-warmtenet, inclusief verliezen, is bijna 134.500 GJ. Er is binnen Krommenie *theoretisch* genoeg warmte beschikbaar voor deze buurten, maar niet veel meer. Er kan echter ook gezocht worden naar een locatie voor een grotere regionale bron buiten Krommenie die meer potentie biedt. Vervolgonderzoek is nodig om te bepalen of hier voldoende geothermie potentie beschikbaar is voor Krommenie en omstreken.

8 Conclusies

8.1 Overkoepelend

Het doel van dit onderzoek is om de gemeente Zaanstad te helpen in het verstrekken van heldere beslisinformatie over de aardgasvrije warmteopties in Krommenie. De beslisinformatie bevat vijf thema's: *duurzaamheid*, *kosten*, *uitvoerbaarheid*, *betrouwbaarheid* en *schaalbaarheid*. We beoordelen drie warmtetechnieken, MT-warmtenet, LT-warmtenet en een luchtwarmtepomp aan de hand van deze vijf thema's.

Zowel het MT-warmtenet en de warmtepomp scoren goed op de verschillende thema's. Over het algemeen doet de luchtwarmtepomp het goed op het thema *duurzaamheid* en het MT-warmtenet op de thema's *kosten* en *betrouwbaarheid*. Deze verschillen per thema kunnen een onderbouwing vormen voor de keuze voor de één of andere techniek. De kansen en beperkingen per techniek worden verder uitgelicht in de volgende paragraaf.

Door middel van een afwegingskader kunnen we een voorkeurstechiek per buurt in Krommenie aanwijzen. Bij een gelijke weging tussen de thema's komt in vier buurten (Zuiderhoofdbuurt, Snuiverbuurt, Zuiderham en Noorderham) het MT-warmtenet overtuigend als beste naar boven. In drie buurten (Noorderhoofdbuurt, Rosarium en Willis) scoort een MT-warmtenet hoger dan een warmtepomp, maar is dit verschil klein. In Krommeniedijk is een warmtepomp de voorkeurstechiek, maar ook hier is het verschil klein. Een LT-warmtenet komt in geen één buurt als beste naar voren.

Voor een groot deel van de buurten geldt dat de verschillen tussen de twee hoogst scorende technieken in het afweegkader klein zijn. Een alternatieve weging van de thema's zal tot andere voorkeurstechieken leiden. We adviseren de gemeente om met alle belanghebbenden, zoals bewoners, bedrijven, woningcorporaties, netbeheerders en warmtebedrijven, in gesprek te gaan over de waarde en de weging van de verschillende thema's. Een belangrijke afweging hierin is de rechtvaardigheid van de warmtetransitie en bijbehorende kosten voor bewoners.

8.2 Kansen en beperkingen per techniek

Luchtwarmtepomp



Een warmtepomp scoort positief op verschillende criteria binnen thema's *duurzaamheid*, *schaalbaarheid* en *uitvoerbaarheid*. Qua *duurzaamheid* is met name de CO₂-uitstoot van een luchtwarmtepomp lager dan die van een warmtenet. Daarnaast presteert de warmtepomp goed op de snelheid van implementatie. Op het gebied van *uitvoerbaarheid* scoort de warmtepomp hoog, vanwege de beperkte impact op de beschikbare ruimte in de ondergrond en ruimte in de wijk.



Er zijn ook nadelen. Voor een groot deel van de buurten is een luchtwarmtepomp niet de goedkoopste optie, zowel qua nationale kosten als qua eindgebruikerskosten. Dit is met name te wijten aan de isolatieopgave, die vraagt om hoge investeringen van de bewoners of verhuurder. Ook neemt een warmtepomp relatief veel ruimte in het huis in beslag. Daarnaast kan een warmtepomp negatieve impact hebben op de leefomgeving, de buitenunit moet slim worden gekozen en geplaatst om geluidsoverlast te voorkomen of er kan gekozen worden voor een geluiddempende kast.

Een ander belangrijk nadeel is dat een keuze voor warmtepompen veel meer stroom vraagt dan een keuze voor een MT-warmtenet. Dit kan de problematiek rondom netcongestie versterken.

MT-warmtenet



Een MT-warmtenet heeft verschillende voordelen: het heeft de laagste kosten voor bewoners, is ook minder gevoelig voor prijsverandering, neemt de minste ruimte in de woning in en een kleinere impact op het elektriciteitsnet. In grote delen van Krommenie is het MT-warmtenet de goedkoopste optie. Dit geldt zowel voor de kosten voor de hele maatschappij (nationale kosten) als voor de kosten voor de bewoner. Bewoners hebben lagere kosten, omdat minder isolatie nodig is.



Toch zijn er ook nadelen. Hoewel bewoners minder geld hoeven uit te geven aan isolatie, zijn de maandelijkse energiekosten in de huidige kostenstructuur voor een warmtenet wel hoger. Een warmtenet vraagt daarbij ook veel ruimte in de ondergrond en in de wijk. Bovendien is de gemiddelde voorbereidings-/ontwikkeltijd van een warmtenet gemiddeld 5 tot 8 jaar, terwijl met warmtepompen direct gestart kan worden. Hiervoor moet er bovendien een partij zijn die het warmtenet in ontwikkeling wil nemen.

Wet- en regelgeving omtrent warmtenetten onduidelijk

Nieuwe wet- en regelgeving zorgt momenteel voor veel onduidelijkheid over hoe warmtenetten in de toekomst gebouwd moeten worden. Door deze onzekerheid worden er nu maar weinig warmtenetten aangelegd. Zowel warmtebedrijven als gemeenten zijn nog bezig hun rol onder de nieuwe wetgeving in te vullen. Ook is niet bekend wat de gevolgen van deze ontwikkelingen gaan zijn op de kosten van warmtenetten voor bewoners. Daardoor kunnen de conclusies in dit rapport nog veranderen.

LT-warmtenet



Een LT-warmtenet scoort minder goed op de criteria dan de andere technieken. Toch biedt het meerdere voordelen. Dit type warmtenet kan gebruik maken van duurzame bronnen, zoals oppervlaktewater en aquifers (wko). Verder is alleen elektriciteit nodig om de warmte te vervoeren en verder op te warmen. Er is geen buitenunit nodig, dus is er ook geen risico op geluidsoverlast. Daarnaast is de impact op het elektriciteitsnet lager dan dat van luchtwarmtepompen.



Aan de andere kant is een LT-warmtenet voor nu wel de duurdere optie. De woningen moeten namelijk goed geïsoleerd worden én er moeten kosten gemaakt worden voor de aanleg en afname van het warmtenet. Verder is een LT-warmtenet voor nu lastig te realiseren vanwege dezelfde onduidelijkheid rondom warmtenetten en doordat grote warmtepompen wegens netcongestie niet aangesloten kunnen worden op het elektriciteitsnet.

Voor de toekomst kan een LT-warmtenet toch interessant zijn, vooral als woningen verder geïsoleerd worden en er geen ruimte is voor warmtepompen in de woningen.

Literatuur

- Aedes. (2025). De 70 procent-regeling.
- Antea Group. (2025). *Milieueffectrapport beleidsnota warmte en warmteprogramma gemeente utrecht*.
- Berenschot. (2024). *De keuze voor warmtenetten of andere warmteoplossingen*.
- CBS. (2019). *Kerncijfers wijken en buurten 2019*.
www.cbs.nl/nl-nl/maatwerk/2019/31/kerncijfers-wijken-en-buurten-2019
- CE Delft. (2019). *Energiestrategie Haarlem*.
- CE Delft. (2021a). CEGOIA. CE Delft. <https://ce.nl/method/cegoia/>
- CE Delft. (2021b). *CEker kosten voor eindgebruikers rekenmodel, methode*. CE Delft.
<https://ce.nl/method/ceker/>
- CE Delft. (2021c). *Factsheets warmtetechnieken voor bewoners*.
<https://www.ce.nl/warmtetechnieken>
- CE Delft. (2021d). *Technisch-economische analyse Voorschoten*.
- CE Delft. (2022). *Arbeidsvraag in de energietransitie*.
- CE Delft. (2023a). *Factsheet warmte. Achtergrondinformatie per warmtebron. Versie november 2023*.
- CE Delft. (2023b). *Impact van de warmtetransitie op het lokale elektriciteitsnet*.
- DNE Research. (2025). *Nationaal warmtepomp trendrapport*.
- Eneco. (2021). *Brief van Eneco aan de gemeente Utrecht d.d. 05-03 -2021: Zienswijze ruimtelijke strategie utrecht 2040 (inspraakreactie)*. Eneco.
<https://online.ibabs.eu/ibabsapi/publicdownload.aspx?site=Utrecht&id=251bf966-a002-498c-9d90-8cd96f86ce5c>
- Geothermie Nederland. (2025). *Locaties op de kaart*. Geothermie Nederland.
<https://geothermie.nl/geothermie/locaties-op-kaart/>
- IF Technology. (2022). *Publieksrapportage - Potentieonderzoek geothermie Noord-Holland/provincie Flevoland*. IF Technology.
https://www.noord-holland.nl/Onderwerpen/Klimaat_Energie/Duurzame_energie/Duurzame_warmte/Documenten/Potentieonderzoek_geothermie_Noord_Holland_en_Flevoland_Publieksrapportage.pdf
- Liander. (2024). *Hoe ziet een elektriciteitshuisje eruit?* Liander.
<https://www.liander.nl/elektriciteitshuisjes/hoe-ziet-een-elektriciteitshuisje-eruit>
- Milieu Centraal. (2025). *Hoe tevreden zijn mensen met hun warmtepomp?*
- Milieu Centraal. (lopend-a). *Hybride warmtepomp*. Milieu Centraal.
<https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/duurzaam-verwarmen-en-koelen/hybride-warmtepomp/>

- Milieu Centraal. (lopend-b). *Warmtepomp: Duurzaam elektrisch verwarmen*. Milieu Centraal. <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/duurzaam-verwarmen-en-koelen/warmtepomp-duurzaam-elektrisch-verwarmen/>
- Ministerie van BZK. (2020). *Brief aan de Tweede Kamer d.d. 28 september 2020 m.b.t. Stand van zaken Klimaatakkoord Gebouwde Omgeving*. Tweede Kamer der Staten-Generaal.
- Ministerie van EZK. (2020a). *Kamerbrief over kabinetsvisie Waterstof*. <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-44c87a40-bac0-42ec-ae91-eb81c87e2186/pdf>
- Ministerie van EZK. (2020b). *Routekaart Groen Gas*. Ministerie van Economische Zaken en Klimaat.
- Mulatu, A., Gerlagh, R., Rigby, D., & Wossink, A. (2010). Environmental regulation and industry location in europe. *Environmental and Resource Economics*, 45(4), 459-479. <https://doi.org/10.1007/s10640-009-9323-3>
- Netbeheer Nederland. (2019). *Basisinformatie over energie-infrastructuur. Opgesteld voor de regionale energie strategieën*. https://www.netbeheernederland.nl/_upload/Files/Basisdocument_over_energie-infrastructuur_143.pdf
- Nieman. (2025). *Verduurzaming woningen moet beter afgestemd op groeiend hitteprobleem*.
- NPLW. (2025). *Bodemenergie*.
- PBL. (2024). *Klimaat- en energieverkenning (KEV) 2024*.
- PBL. (2025a). *Eindadvies basisbedragen SDE++ 2025*.
- PBL. (2025b). *Startanalyse aardgasvrije buurten - 2025*. Planbureau voor de Leefomgeving. <https://startanalyse.pbl.nl/>
- Rijksoverheid. (2024, 22 april 2024). *Voorstel Besluit collectieve warmte*. <https://www.internetconsultatie.nl/bcw/b1>
- RVO. (2011). *Voorbeeldwoningen 2011*. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.
- TenneT. (2024). *Congestieonderzoek Noord-Holland. Analyse naar beschikbare transportcapaciteit voor afname van elektriciteit onder toepassing van congestiemanagement*.
- ThermoGIS. (lopend). *Het principe van geothermie*. <https://www.thermogis.nl/het-principe-van-geothermie>
- TNO. (2024). *Organisatiemodellen en samenwerkingsvormen onder de Wcw*. <https://www.binnenlandsbestuur.nl/ruimte-en-milieu/tno/organisatiemodellen-en-samenwerkingsvormen-onder-de-wcw>
- TNO. (2025). *Wat is stikstof en hoe krijgen we er grip op?*
- Vaillant GmbH. (lopend). *Lucht-water warmtepomp arotherm pure*. <https://www.vaillant.nl/consument/producten/arotherm-pure-warmtepomp-102848.html>

- VEH. (2024). *Veel huiseigenaren hebben problemen met onderhoud warmtepomp*. Vereniging Eigen Huis.
<https://www.eigenhuis.nl/nieuws/veel-huiseigenaren-hebben-problemen-met-onderhoud-warmtepomp>
- WarmingUp. (2020). *Definities warmtebranche*.
- Warmteling. (2025). *Aanlegmethoden*.
- WRR. (2023). *Rechtvaardigheid in klimaatbeleid: Over de verdeling van klimaatkosten*.

A Warmtetechnieken, warmtebronnen en isolatie

A.1 Warmtetechnieken

In deze paragraaf geven we een overzicht van de technieken die geschikt zijn voor een aardgasvrije warmtevoorziening. De factsheets op www.warmtetechnieken.nl gaan uitgebreider in op de verschillende warmtetechnieken. De beschrijvingen gaan uit van de huidige stand van de techniek.

Voor alle aardgasvrije warmtetechnieken geldt voor het koken dat er moet worden overgeschakeld op elektrisch koken. Inductiekoken is de meest zuinige vorm van elektrisch koken.

A.1.1 Individuele warmtetechnieken

Elektrische warmtepomp



Een elektrische warmtepomp is een individuele elektrische warmteoplossing. Gebouweigenaren kunnen zelfstandig overschakelen op deze techniek. De luchtwarmtepomp, de bodemwarmtepomp en de PVT-warmtepomp¹⁸ zijn de bekendste typen warmtepompen. Deze warmtepompen gebruiken warmte uit de lucht, bodem en zonnewarmte en brengen dit met behulp van elektriciteit naar een temperatuurniveau dat geschikt is voor het verwarmen van gebouwen en tapwater. Doordat warmtepompen voornamelijk energie uit de lucht of bodem gebruiken en een kleiner deel elektriciteit, hebben ze een hoger rendement dan de hr-ketel. Voor het toepassen van een reguliere elektrische warmtepomp moet een woning of utiliteitsgebouw zeer goed worden geïsoleerd, naar een isolatieniveau van 50 kWh/m². Dit is met name kostbaar bij vooroorlogse bouw. Ook moeten de radiatoren worden vervangen door

¹⁸ PVT-panelen zetten licht om in elektriciteit (photovoltaïsch) en warmte (thermisch).

vloerverwarming of LT-radiatoren. Wanneer een groep gebouwen overschakelt naar een elektrische oplossing, kan het zijn dat het elektriciteitsnet moet worden verzwaard.

Daarnaast is er ontwikkeling in de hogetemperatuurwarmtepomp. Dit is een oplossing waarbij de temperatuur vergelijkbaar is als bij een cv-ketel, waardoor er geen verregaande isolatie nodig is en bestaande radiatoren gebruikt kunnen worden. Hogetemperatuurwarmtepompen hebben echter een grotere impact op het elektriciteitsnet, waardoor dit extra verzwaard moet worden. Dit brengt extra maatschappelijke kosten met zich mee. Vanwege de huidige onzekerheid rondom de kosten en de netimpact, nemen we deze techniek niet mee als oplossing op buurniveau.

De luchtwarmtepomp maakt gebruik van de buitenlucht. De ventilator (buitenunit) die nodig is voor een luchtwarmtepomp, maakt geluid. De bodemwarmtepomp is duurder dan de luchtwarmtepomp om aan te leggen, maar is wel energiezuiniger. PVT-panelen worden op het dak geplaatst en leveren zowel warmte als elektriciteit.

Hybride warmtepomp



De hybride warmtepomp combineert een elektrische warmtepomp met de hr-ketel op gas. De elektrische warmtepomp kan voor ongeveer de helft van de warmtebehoefte zorgen. Dit gaat zeer efficiënt, omdat de warmtepomp energie haalt uit de omgeving, bijvoorbeeld uit de buitenlucht. De energie wordt gebruikt voor ruimteverwarming en/of warmtapwaterbereiding. Ongeveer een vijfde van de tijd springt de hr-ketel bij op momenten dat de warmtepomp niet voldoende warmte kan leveren, bijvoorbeeld wanneer het buiten koud is en/of er (veel) warmtapwater nodig is. Hoe hoger het isolatieniveau van het gebouw, hoe minder vaak de hr-ketel hoeft bij te springen, en hoe groter de vermindering van het (aard)gasverbruik.

Momenteel is het niet zinvol om een hybride warmtepomp te plaatsen in een slecht geïsoleerd gebouw (Milieu Centraal, lopend-a). In zo'n gebouw zal de warmtepomp minder vaak de warmte leveren: de hr-ketel moet vaak bijspringen om het gebouw voldoende warm te krijgen. Echter, tegenwoordig zijn er ook hr-ketels beschikbaar die 'warmtepomp-ready' zijn. Deze kunnen eenvoudig worden aangesloten op een warmtepomp, wat ze geschikt maakt voor installatie als tussenstap richting een hybride oplossing. In een matig geïsoleerd gebouw (dubbelglas, spouwmuurisolatie en 5-7 cm vloerisolatie en dakisolatie) levert een hybride warmtepomp zowel besparing op de energierekening als CO₂-reductie op. Bij een goed tot zeer goed geïsoleerd gebouw (minimaal Label B) is het verstandiger om direct over te stappen op een volledig elektrische warmtepomp.

Een hybride warmtepomp is nog niet aardgasvrij: deze gebruikt aardgas op die momenten dat de hr-ketel bijspringt. Op de langere termijn (verwacht wordt zeker na 2030), kunnen groengas of groene waterstof dit aardgas mogelijk vervangen. Op dat moment is het mogelijk om zonder CO₂-uitstoot te verwarmen met een hybride warmtepomp. Het is echter nog zeer de vraag of, en zo ja wanneer, deze gassen beschikbaar komen (zie ook paragraaf A.3). Het is mogelijk om een hybride warmtepomp om te bouwen naar een

volledig elektrische warmtepomp. De woning of het utiliteitsgebouw moet dan echter voldoen aan de eisen voor een elektrische warmtepomp, namelijk een isolatieniveau van minstens 50 kWh/m², vloerverwarming of LT-radiatoren en een voldoende zware elektriciteitsaansluiting.

A.1.2 Collectieve warmtetechnieken (warmtenetten)

MT-warmtenet



Voor een middentemperatuur (MT) warmtenet is ook een nieuwe infrastructuur nodig. Een MT-warmtenet heeft een temperatuur van tussen de 55°C en 75°C en wordt meestal gevoed met LT-bronnen, waarna de temperatuur wordt opgewerkt met een collectieve warmtepomp.

Voorbeelden van LT-bronnen zijn ondiepe geothermie (tot 1.250 meter diep, met een temperatuur van 15-40°C) en aquathermie. Bij aquathermie wordt warmte onttrokken aan water, zoals oppervlaktewater of afvalwater. Dit is doorgaans in combinatie met een wko (warmte-koudeopslag). Door het omhoog brengen van de temperatuur van het water in het warmtenet met een collectieve elektrische warmtepomp, is het water dat bij de woningen en overige gebouwen aankomt warm genoeg voor het verwarmen van HT-radiatoren en tapwater. Een MT-warmtenet kan ook een warmtebron van hogere temperatuur hebben, zoals geothermie¹⁹ of de retourleiding van een HT-warmtenet. De gebouwen moeten voorverwarmen met een MT-warmtenet. Deze moeten wel een redelijk isolatieniveau hebben (70 kWh/m²), maar niet zo goed als bij een LT-warmtenet. De geleverde temperatuur is immers hoger, waardoor de woningen sneller opwarmen. CEGOIA is zo gemodelleerd dat de piekinstallatie van het MT-warmtenet draait op duurzaam gas.

LT-warmtenet



Ook voor een (zeer)lagetemperatuur (ZLT/LT) warmtenet is een nieuwe infrastructuur nodig. Bij een LT-warmtenet gaat het om warmte met een temperatuur tussen de 30 en 55°C. Een ZLT-warmtenet, of bronnet, heeft een temperatuur van maximaal 30°C. Bij een ZLT-warmtenet moet de temperatuur van de warmte nog omhoog gebracht worden met een individuele warmtepomp in het gebouw. LT-warmtebronnen zijn bijvoorbeeld warmte uit koel- en vrieshuizen, waterzuiveringsinstallaties en datacenters of aquathermie. Gebouwen moeten zeer goed worden geïsoleerd, namelijk naar een isolatieniveau van 50 kWh/m². Daarnaast moet worden overgeschakeld op een LT-afgiftesysteem (bijvoorbeeld vloerverwarming of LT-radiatoren) en is er een aparte voorziening nodig voor warmtapwater.

¹⁹ Afhankelijk van de diepte kan geothermie warmte leveren van 70-90°C.

A.2 Warmtebronnen

In deze paragraaf beschrijven we welke warmtebronnen beschikbaar zijn in Krommenie en omgeving. Deze warmtebronnen kunnen collectieve warmtenetten van warmte voorzien.

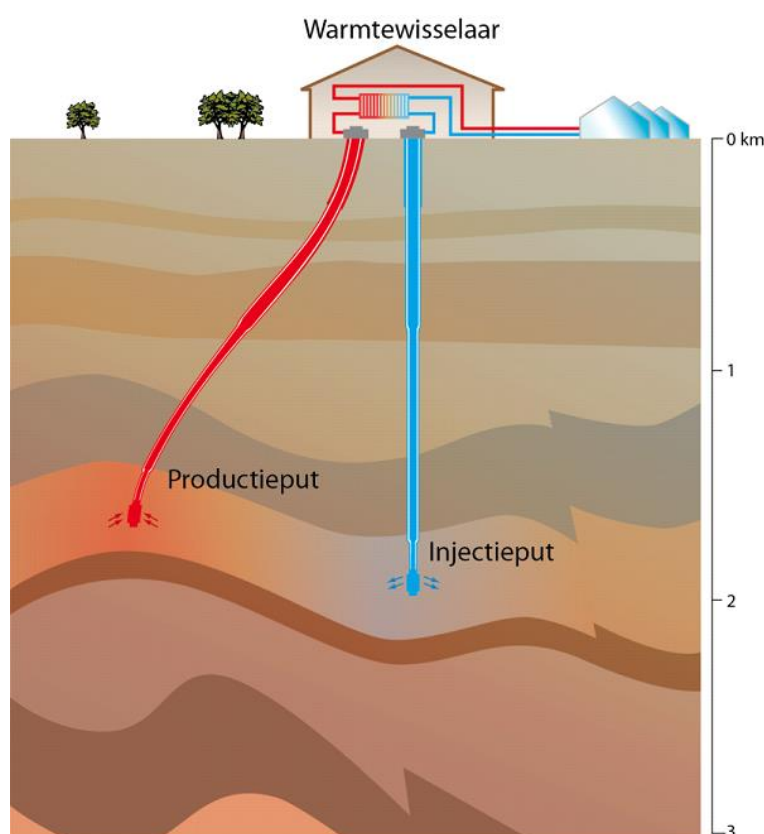
A.2.1 Geothermie

Diepe aardwarmte, geothermie, levert warmte op temperaturen van 60-80°C.

Een geothermiedoublet maakt de aardwarmte beschikbaar aan het oppervlak met een warmtewisselaar. Figuur 22 toont het principe van een geothermiedoublet, bestaande uit een productieput en een injectieput van enkele kilometers diep.

Geothermie is een grootschalige collectieve bron die een distributienet met veel woningen van warmte kan voorzien (vuistregel minimaal 5 MWth).

Figuur 22 – Principeschets geothermie



Bron: (Thermogis, lopend).

If Technology heeft in opdracht van de provincie Noord-Holland een onderzoek uitgevoerd naar de potentie voor geothermie (If Technology, 2022). Uit dit onderzoek komen de volgende conclusies naar voren (p.40):

A.2.2 Aquathermie

Bij aquathermie, of TEO (thermische energie uit oppervlaktewater), wordt er energie uit het oppervlaktewater onttrokken om de gebouwen te voorzien van warmte. Voordat de warmte uit het water naar de gebouwen gaat, wordt het opgeslagen in een wko. Het oppervlaktewater wordt in de zomer afgekoeld door de warmte op te slaan in een wko. In de winter kan de warmte worden geleverd aan de woningen. Het systeem kan op eenzelfde wijze ook koude leveren aan de woningen in de zomer.

A.2.3 Wko

Voor de gebiedsverkenning Aardgasvrij Krommenie gebruiken we de wko in combinatie met aquathermie en als losse bron (een wko-net). Voor seizoensopslag van warmte en koude kan men gebruikmaken van een aquifer in de bodem. Dit is een waterhoudende zand/steenlaag in de ondergrond waar de warmte (of koude) in opgeslagen kan worden. Een wko-systeem (warmte- en koudeopslag) maakt hiervan gebruik. Zomers wordt er warm water de grond in gepompt en wordt koud water onttrokken. In de winter wordt de zomerwarmte weer uit de grond opgepompt en wordt de koude voor de zomer teruggepompt. Vaak gebeurt dit in combinatie met een warmtepomp. Hiermee is deze techniek dus vooral interessant als er zowel een warmte- als koudevraag is, en dus vooral geschikt voor kantoren en meerdere, goed geïsoleerde woningen. Bij een wko-systeem zijn de vaste kosten relatief hoog, waardoor het wenselijk is om deze over zo veel mogelijk verbruik (warmte en koude) te delen. Deze optie is dan ook vooral geschikt voor groot-schaliger systemen en minder goed voor een enkele woning.

Een wko kan met een open of gesloten systeem worden gerealiseerd. Afhankelijk van de bodemgesteldheid is een open of gesloten systeem efficiënter.

De mogelijkheid om een wko toe te passen, hangt af van onder andere deze aspecten:

- De bodem moet geschikt zijn. Dit is voor grote delen van Nederland het geval.
- Er moet rekening gehouden worden met verbod- en restrictiegebieden. In de verbodsgebieden wordt er drinkwater gewonnen. In de restrictiegebieden geldt er specifiek provinciaal beleid voor de toepassing van bodemenergie. Dit geldt dus voor toepassing van een wko en voor toepassing van een bodemwarmtepomp.

In Krommenie zijn er geen verbod- en restrictiegebieden. Wel moet er rekening gehouden worden met eventuele bodemvervuiling.

A.3 Beschikbaarheid van gasvormige energiedragers

Groengas en waterstof zijn energiedragers die op termijn aardgas mogelijk kunnen vervangen als brandstof voor de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving. Groengas en waterstof zullen zeker tot 2030 echter geen significante rol kunnen spelen in de verduurzaming van de gebouwde omgeving (Ministerie van BZK, 2020b).

Ook de toekomstige beschikbaarheid en prijs van deze gassen is zeer onzeker, waardoor waterstof en groengas ook na 2030 voor de gebouwde omgeving naar verwachting alleen een logische optie zijn als er geen andere reële warmtealternatieven voorhanden zijn (NPLW, lopend).

Groengas



Groengas wordt geproduceerd uit biogas. Biogas is brandbaar gas uit biomassa. Biogas kan niet rechtstreeks gebruikt worden in bestaande installaties op aardgas, hiervoor moet het eerst opgewerkt worden naar aardgaskwaliteit. Dit is groengas. Het gemakkelijkst voor de bewoners en gebouweigenaren is als aardgas wordt vervangen door groengas. Groengas heeft dezelfde kwaliteit als aardgas, dus zijn er geen aanpassingen nodig aan het gebouw of aan de infrastructuur. Wel is het, vanuit het oogpunt van comfort en energiebesparing, wenselijk dat het gebouw enigszins is geïsoleerd. Groengas kan worden gebruikt in de HR-ketel of de hybride warmtepomp.

De potentiële groengasproductie in de regio, maar ook de (inter)nationale potentie, ligt ver onder de huidige aardgasvraag. In het Klimaatakkoord heeft de groengassector het streven uitgesproken om in Nederland 70 PJ groengas te produceren in 2030. Dit is een zeer klein gedeelte van de huidige aardgasvraag. Het is nog onbekend of deze ambitie gehaald wordt, maar groengas zal sowieso een schaars product blijven. Daarnaast is het lastig om al toekomstbestendig groengas te alloceren aan bepaalde wijken. In lijn met de Routekaart Groen Gas ligt het daarom voor de hand om de warmtetransitie niet te beginnen met het inzetten van groengas (Ministerie van EZK, 2020).

Waterstofgas



Waterstof komt niet op grote schaal als molecuul in de natuur voor, maar kan worden geproduceerd uit aardgas, waarbij CO₂ vrijkomt, maar kan ook klimaat-neutraal zijn. Dit kan door CO₂ af te vangen en op te slaan ('blauwe waterstof') of door waterstof direct te produceren uit duurzame elektriciteit of vergassing van biomassa ('groene waterstof'). Voor omschakeling naar verwarming op 100% waterstof dient de cv-ketel te worden vervangen door een brandstofcel, of door een hr-ketel of hybride warmtepomp die op waterstof kan draaien. In de gebouwen hoeft, behalve de installatie en eventueel de leidingen, niets aangepast te worden. Wel moeten de

leidingen van het huidige aardgasnet geschikt worden gemaakt voor waterstof. Dit houdt in dat bepaalde onderdelen moeten worden vervangen of soms zelfs het hele net, als de technische staat van de leidingen onvoldoende is. Er is nog bijna geen praktijkervaring met het gebruik van waterstof voor verwarming van gebouwen of het transport ervan in bestaande gasleidingen.

Waterstof opgewekt uit duurzame elektriciteit heeft in Nederland een beperkt productiepotentieel. De ambitie is om in 2030 250-350 kton aan waterstof te produceren. Dit is 30-40% van de hoeveelheid waterstof die nu in Nederland wordt gemaakt uit aardgas voor gebruik in de industrie. De Rijksoverheid (Ministerie van EZK, 2020a), maar ook natuurorganisatie Natuur en Milieu²⁰ hebben aangegeven waar waterstof het meest zinvol kan worden ingezet. Dit is allereerst in de industrie en voor het zwaar transport omdat hiervoor geen goede alternatieven voorhanden zijn.

Het is mogelijk om waterstofgas bij te mengen bij (groen)gas. Op dat moment is deze optie technisch gelijk aan de optie groengas die hiervoor beschreven staat.

A.4 Benodigde isolatie, aanpassing radiatoren en ventilatie voor warmtetechnieken

Hier gaan we in op de isolatiemaatregelen die nodig zijn om een huis prettig te kunnen verwarmen met de warmtetechnieken die we in dit hoofdstuk hebben omschreven. De isolatiemaatregelen in de volgende paragrafen geven een eerste beeld van wat er nodig is qua isolatie. In de praktijk zullen de benodigde isolatiemaatregelen verschillen per woning en kan het benodigde isolatieniveau op verschillende manieren bereikt worden.

Maatregelen om te verwarmen op middentemperatuur

Om op middentemperatuur (maximaal 70°C) te verwarmen, hoeven woningen die na 1975 gebouwd zijn meestal niet extra geïsoleerd te worden. Voor woningen die vóór 1975 gebouwd zijn, is het nodig om minimaal de ramen te isoleren met HR++-glas. Daarnaast zijn er ventilatieroosters nodig om de woning goed te blijven ventileren. In sommige woningen moeten de bestaande radiatoren mogelijk worden aangepast.

Voor een echt toekomstbestendige woning, kunnen woningeigenaren aanvullende isolatiemaatregelen overwegen. Bijvoorbeeld het isoleren van het dak of de vloer, een isolerende deur of extra kozijnisolatie.

²⁰ [Waterstof: de waterstofladder | Natuur & Milieu](#)

Maatregelen om te verwarmen op lage temperatuur

Om op lage temperatuur (maximaal 50°C) te verwarmen, is vaak extra isolatie nodig. Woningen die na 2005 zijn gebouwd, zijn vaak al geschikt voor verwarming op lage temperaturen. Woningen die na 1992 zijn gebouwd, hebben alleen isolatie nodig voor ramen en deuren. Voor woningen van vóór 1992 is waarschijnlijk isolatie nodig bij het dak, de gevel, de vloer, de ramen en de deuren. Voor woningen van vóór 1945 is een voorzetwand beter dan spouwmuurisolatie, als dat mogelijk is. Verder moet er in alle woningen een ventilatiesysteem zijn om de lucht in de woning gezond te houden. Ook moeten bestaande radiatoren vervangen worden voor vloerverwarming of lagetemperatuur radiatoren.

A.5 Koeling

In de meeste woningen in Nederland zit geen koelinstallatie. Hoe beter je een woning gaat isoleren, hoe hoger de behoefte wordt om in de zomer te koelen.

Het CEGOIA-model (zie bijlage B) gaat uit van een bepaalde koudevraag per schillabel voor de woningen en per functie van utiliteitsbouw. Wij gaan ervan uit dat een woning een koudevraag heeft als het naar lagetemperatuurniveau is geïsoleerd. Als er een koudevraag is, wordt deze ingevuld met een splitsysteem, tenzij de gebruikte warmtetechniek ook in de koudevraag kan voorzien. De technieken die in een koudevraag kunnen voorzien zijn de elektrische luchtwarmtepomp, bodemwarmtepomp, wko, en aquathermie in combinatie met wko.

A.5.1 Splitsysteem

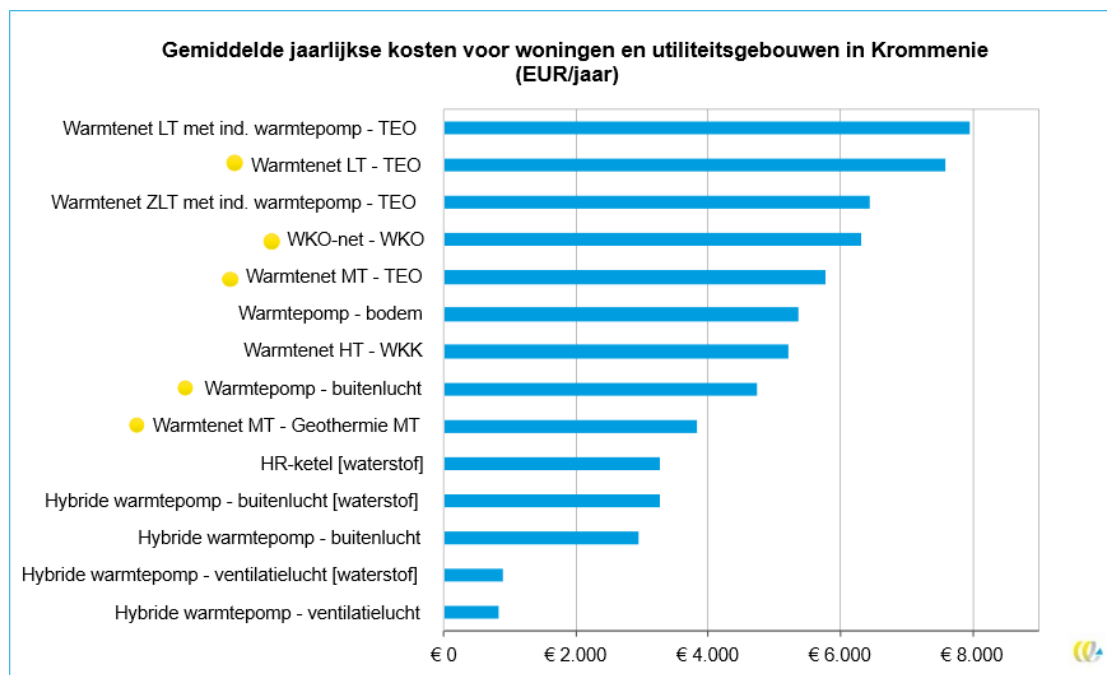
Het splitsysteem is de meest voorkomende vorm van airconditioning. Een splitsysteem bestaat uit een binnen- en buitenunit, die met twee dunne koelleidingen aan elkaar verbonden worden. Hij onttrekt warmte uit de lucht en blaast de koude lucht de ruimte in. Er zijn diverse binnenunitmodellen beschikbaar, die op de muur, vloer en plafond geïnstalleerd kunnen worden. Een splitsysteem is vooral geschikt voor het koelen van één ruimte, zoals een slaap-, woon- of werkkamer. Het splitsysteem wordt daarom vaak geplaatst in particuliere woningen.

A.6 Keuze van verwarmingstechnieken

We hebben met CEGOIA de nationale kosten berekend van een grote set aan aardgasvrije verwarmingstechnieken, zie Figuur 25. De goedkopere verwarmingstechnieken gebruiken groengas of waterstof. Door de onzekerheid van deze brandstoffen en benodigde infrastructuur, zie paragraaf A.3, hebben we deze technieken niet meegenomen in het afwegingskader. Voor de keuze van de drie verwarmingstechnieken hebben we een

indicatieve stemming gedaan in een stakeholderoverleg met de gemeente Zaanstad, HVC, Parteon en Liander. Hierna hebben we in overleg met de opdrachtgever, de gemeente Zaanstad, gekozen om de luchtwarmtepomp, het MT-warmtenet en het LT-warmtenet te onderzoeken. De uitkomsten hiervan staan in Figuur 26.

Figuur 25 – Gemiddelde nationale kosten voor woningen en utiliteitsgebouwen in Krommenie. De warmtetechniek-bron combinaties met gele stip zijn uiteindelijk meegenomen in het afwegingskader.



Figuur 26 – Uitkomsten indicatieve stemming via Mentimeter in het stakeholderoverleg op 13 februari 2025



B Het CEGOIA-model

B.1 Doel

CEGOIA berekent de totale nationale kosten van een klimaatneutrale warmtevoorziening voor de gebouwde omgeving. De berekeningen worden gemaakt op buurtniveau. CEGOIA geeft een transparante doorrekening van welke combinatie van isolatie en warmtetechniek in een buurt de laagste kosten over de keten heeft.

B.2 Wat zijn nationale kosten?

Nationale kosten zijn de totale kosten voor de maatschappij van alle maatregelen die nodig zijn om over te stappen op een aardgasvrije warmtetechniek, ongeacht wie die kosten betaalt. Dit zijn de kosten over de gehele keten:

- **Productie:** kosten voor het in gebruik nemen van warmtebronnen.
- **Distributie:** kosten voor het eventueel aanleggen van een warmtenet, verzwaren en onderhouden van het elektriciteitsnet, aanpassen en onderhouden of verwijderen van het gasnet.
- **Gebouwmaatregelen:** kosten voor de warmte-installatie en isolatiemaatregelen.
- **Consumptie:** inkoop van energie (zoals elektriciteit en warmte).

Belastingen, heffingen en subsidies zijn niet meegenomen in de nationale kosten, omdat het hierbij gaat om verschuiving van kosten en niet een daadwerkelijke toe- of afname van kosten voor de maatschappij.

B.3 Berekeningen op buurtniveau

CEGOIA maakt berekeningen op buurtniveau (CBS-indeling), waarbij de karakteristieken van een buurt worden gebruikt als input voor het model.

Buurteigenschappen die worden meegenomen voor de berekening van kosten voor woningen zijn:

- bouwjaar;
- energiegebruik;
- huidige infrastructuur van de energievoorziening;
- type woning;
- oppervlak;
- bebouwingsdichtheid;
- eigendom (particulier/corporatie).

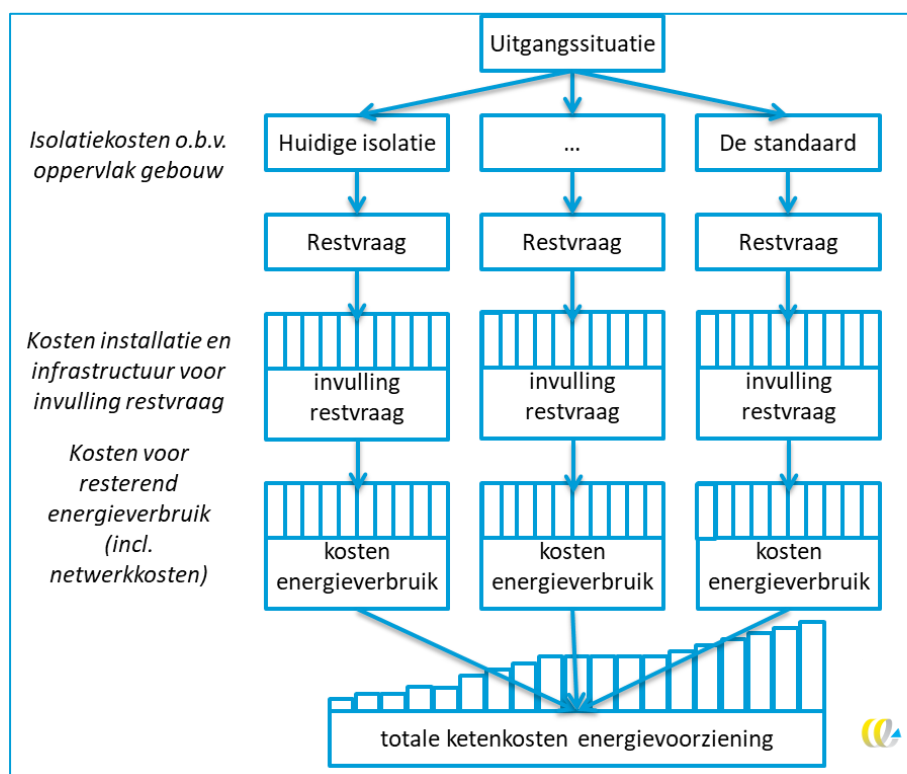
Buurteigenschappen die worden meegenomen voor de berekening van kosten voor utiliteit zijn:

- bouwjaar;
- energiegebruik;
- functie (kantoor, school, zorg, etc.);
- oppervlak.

B.4 Totale ketenkosten voor alle mogelijke combinaties van techniek en isolatieniveau

CEGOIA berekent de totale ketenkosten voor alle mogelijke combinaties van technieken en isolatieniveaus in het model. Een schematisch overzicht van de berekeningen aan woningen is weergegeven in Figuur 27.

Figuur 27 – Berekening woningbouw op hoofdlijnen



Per buurt start CEGOIA vanuit de huidige situatie. Een buurt heeft een bepaalde gemiddelde isolatiegraad van de woningen. De isolatiegraad wordt ingeschat aan de hand van het bouwjaar en type van de woningen. Het model berekent vervolgens de kosten en bijbehorende besparing op de warmtevraag voor drie verschillende isolatiepakketten (Minimaal MT, de vooroorlogse standaard en de naoorlogse standaard).

Vervolgens berekent CEGOIA voor ieder isolatieniveau (huidig + drie verbeterstappen) wat het kost om de bijbehorende energievraag in te vullen met alle verschillende warmte-opties. Hierbij worden de kosten van de installatie en mogelijke aanpassingen in de woningen meegenomen en ook de energiekosten. Ten slotte worden ook de netkosten berekend die nodig zijn voor de warmtetechniek, bijvoorbeeld een warmtenet of een verzaamd elektriciteitsnet.

Voor utiliteit gaat de berekening op dezelfde manier, alleen wordt uitgegaan van de huidige situatie en twee verbeterstappen in isolatie die kunnen worden gemaakt.

B.5 Van investering naar jaarlijkse kosten

Om een vergelijking te kunnen maken tussen de kosten van de verschillende technieken, worden alle investeringen omgerekend naar jaarlijkse kosten en opgeteld bij de onderhoudskosten en energiekosten. Het omrekenen van de investeringen naar jaarlijkse kosten wordt gedaan door middel van een specifieke discontovoet en een afschrijftermijn. Er wordt hierdoor ook rekening gehouden met het doen van vervangingsinvesteringen.

B.6 Combinatie berekening woningen en utiliteit

In CEGOIA worden aparte berekeningen gemaakt voor het gedeelte woningbouw en utiliteitsbouw in dezelfde buurt, maar de uitkomsten moeten uiteindelijk wel op elkaar aansluiten. Het is bijvoorbeeld niet logisch om in een gemixte buurt een warmtenet aan te leggen voor de utiliteitsgebouwen en de woningen over te laten stappen op pompen.

Het model legt de uitkomsten van de woningbouw en utiliteitsbouw naast elkaar en zorgt ervoor dat er dezelfde energie-infrastructuur is in de hele buurt. Een uitzondering hierop zijn een (verzwaard) elektriciteitsnet en een wko-net. Deze drie verschillende energie-infrastructuren mogen binnen een buurt wel worden gecombineerd. Een voorbeeld hiervan is dat de woningen een verzwaard elektriciteitsnet krijgen en de utiliteit een wko-net.

B.7 Kostenoptimalisatie per gebied gegeven beschikbare bronnen

Na de kostenberekening van alle mogelijke combinaties (isolatieniveau en warmte-techniek) per buurt wordt een eindbeeld bepaald door een kostenoptimalisatie over het hele gebied. Dit gebied kan bijvoorbeeld een gemeente, een regio of een provincie zijn. Bij deze optimalisatie rekent het model uit welke verdeling van beschikbare warmte-bronnen en energiedragers over de buurten leidt tot de laagste nationale kosten voor het hele gebied.

B.8 Wat zit er niet in het model?

Een model is altijd een versimpeling van de werkelijkheid. Om de resultaten van de analyse goed te interpreteren, is het van belang om te weten dat het model, onder andere, geen rekening houdt met het volgende:

- De ruimtelijke inpasbaarheid van verschillende warmteoplossingen.
- Huidige status van installaties in gebouwen en de energie-infrastructuur.²¹
- Schaalvoordelen die ontstaan als een warmtenet groter wordt.
- Organisatorische uitvoerbaarheid (de ene oplossing is organisatorisch eenvoudiger te realiseren dan de ander).
- De kosten van de transportleiding tussen de warmtebron en de buurten waarin de warmte wordt toegepast. Er wordt geen tracé bepaald.

²¹ Denk hierbij aan of de installatie al aan het einde van zijn levensduur is of dat de infrastructuur al economisch is afgeschreven.

C Het CEKER-model

De eindgebruikerskosten zijn alle kosten die een bewoner of pandeigenaar betaalt voor de omschakeling naar aardgasvrij verwarmen. De eindgebruikerskosten verdelen we in twee categorieën: investeringskosten en doorlopende kosten. De investeringskosten bestaan onder andere uit de aanschaf van installaties en isolatie. Onder de doorlopende kosten vallen de kosten voor energie en onderhoud. Daarnaast zijn er subsidies en belastingen. Om de technieken onderling te kunnen vergelijken, rekenen we de totale kosten om naar jaarlijkse kosten. De jaarlijkse kosten van investeringen worden berekend op basis van de marktrente en afschrijvingstermijn die voor de eindgebruiker van toepassing is.

Het belangrijkste verschil met de nationale kosten, is dat de eindgebruikerskosten rekening houden met alle kosten en opbrengsten die specifiek zijn voor de eindgebruiker, wat betekent dat deze ook tarieven, belastingen en subsidies omvatten. De eindgebruikerskosten geven inzicht in de rekening die de eindgebruiker uiteindelijk betaalt bij verschillende warmtetechnieken. Deze informatie kan worden gebruikt bij de discussie over de betaalbaarheid van de energietransitie.

De jaarlijkse kosten geven weer hoeveel het jaarlijks kost om een gebouw te verwarmen. De jaarlijkse kosten omvatten doorlopende kosten voor energie en onderhoud én de kosten die gepaard gaan met investeringen in isolatie en installaties, zoals afschrijvings- en rentekosten.

Interpretatie van modelresultaten

Het is van belang om bij de vergelijking tussen de kosten rekening te houden met het feit dat de gepresenteerde kosten een resultaat zijn van modelberekeningen. In iedere modelberekening zit een vorm van onzekerheid. De resultaten zijn dus geen absolute waarheid, maar een schatting op basis van de best beschikbare informatie. In de praktijk betekent dit dat modelresultaten nuttig zijn om mee te nemen in de afweging tussen aardgasvrije technieken, maar dat dit geen absolute zekerheid biedt. Het is dus van belang om met die bril de resultaten te interpreteren.

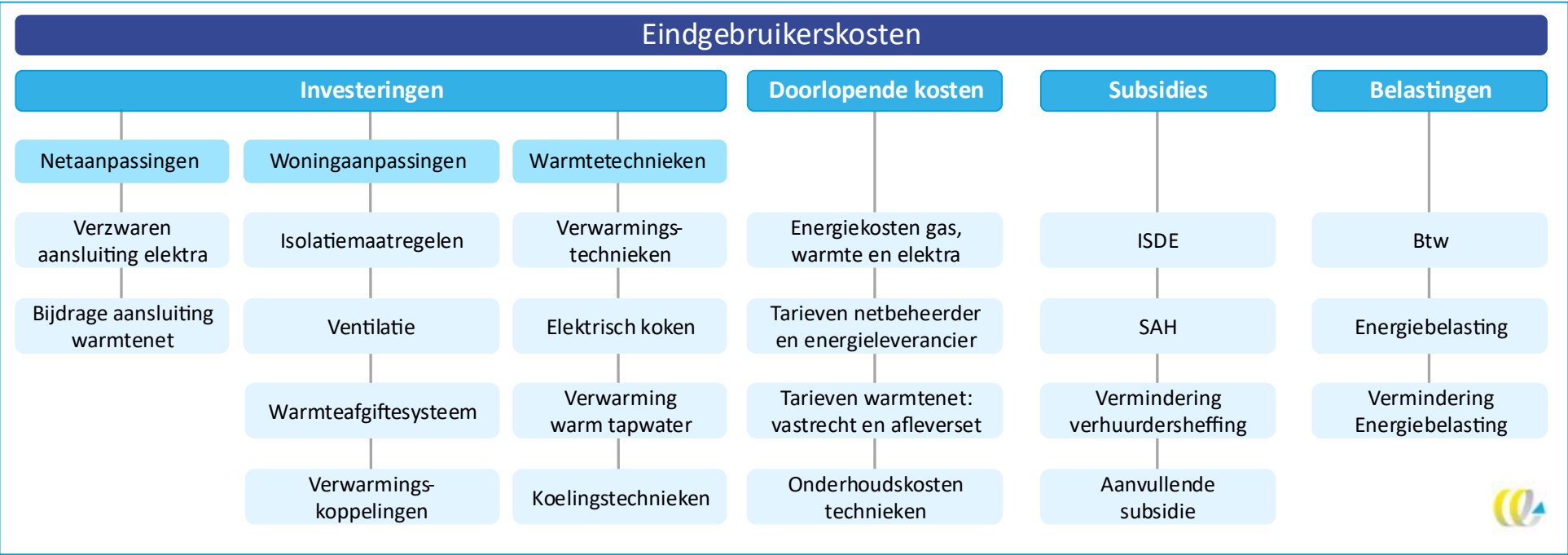
C.1 Methode

De modelberekening bestaat uit de volgende stappen:

1. **Inventarisatie woningen:** Het gebied dat we beschouwen bestaat uit een verzameling van verschillende typen woningen, uit verschillende bouwjaren, en met verschillende isolatieniveaus. Daarnaast bestaan er ook verschillende vormen van eigenaarschap: koopwoningen, particuliere huurwoningen en sociale huurwoningen.
2. **Kostenberekening:** Voor elke woning (type, bouwjaar, label en eigenaarschap) is berekend wat de eindgebruikerskosten zijn voor een specifieke warmtetechniek.
3. **Resultaten op gebiedsniveau:** De resultaten van de kostenberekening op woningniveau worden gecombineerd met de inventarisatie van de woningen. Hieruit kunnen gemiddelden en inzichten berekend worden.

Figuur 28 geeft een overzicht van de verschillende kostencomponenten die worden meegenomen in het CEKER-model van CE Delft. Voor iedere woning en techniekcombinatie wordt gekeken welke kostencomponenten relevant zijn.

Figuur 28 – Overzicht kostencomponenten CEKER-model



C.1 Woningcategorieën

Voor de gebouwgebonden investeringen baseren we ons op de karakteristieken van de voorbeeldwoningen 2011 opgesteld door RVO (2011). De volledige woningvoorraad wordt opgedeeld in categorieën van voorbeeldwoningen, zie Tabel 24. Een voorbeeld van één categorie is een *“Tussenwoning gebouwd tussen 1965-1974 met een energielabel C in de sociale huursector”*.

Tabel 24 – Opbouw categorieën voorbeeldwoningen

Woningtype	Bouwjaar	Energielabel	Eigenaarschap
Appartement	t/m 1945	A	Koop
Tussenwoning	1946-1964	B	Particuliere huur
Hoekwoning	1965-1974	C	Sociale huur
Vrijstaand	1975-1991	D	
2-1 kap	1992-2005	E	
	na 2006	F	
		G	

Het aantal woningen met een bepaald woningtype, bouwjaar en energielabel bepalen we aan de hand van het Kadaster en openbare gegevens over energielabels voor iedere woning (CBS, 2019). Op woningniveau is het eigenaarschap van de woning niet openbaar bekend. Het aantal woningen verdelen we daarom evenredig met de percentages van eigenaarschap per buurt.

Bewoner-eigenaren dragen zowel de kosten voor de investeringen als de doorlopende kosten zoals de energierekening. Voor huurders geldt vaak dat een gedeelte van de investeringen wordt gedaan door de verhuurder. Echter, niet alle investeringen worden door de verhuurder gedaan. Hoe verhuurders de investeringen doorberekenen in de huurprijs is op voorhand niet te zeggen.

D TCO 30 & 50 jaar

Tabel 25 – Total cost of ownership 30 jaar, gemiddeld per woning in Krommenie

	Luchtwarmtepomp	MT-warmtenet	LT-warmtenet
Totale investeringen	€ 97.246	€ 29.963	€ 103.293
<i>Verwarmingsinstallatie</i>	€ 28.398	€ 10.100	€ 14.778
<i>Isolatie</i>	€ 53.645	€ 7.935	€ 53.645
<i>Overige installaties en gebouwaanpassingen*</i>	€ 15.202	€ 11.929	€ 34.870
Totale energiekosten	€ 57.663	€ 79.220	€ 85.191
<i>Elektriciteitskosten variabel</i>	€ 56.865	€ 26.769	€ 41.521
<i>Elektriciteitskosten vast</i>	€ 19.716	€ 19.716	€ 19.716
<i>Warmtekosten variabel</i>	N.v.t.	€ 20.850	€ 12.069
<i>Warmtekosten vast</i>	N.v.t.	€ 30.803	€ 30.803
<i>Belastingteruggave</i>	€ -18.918	€ -18.918	€ -18.918
Totale onderhoudskosten	€ 10.899	€ 1.768	€ 9.294
Totaal	€ 165.807	€ 110.951	€ 197.777

* Inpandige aanpassingen, LT-radiatoren, een airco als er naar LT-niveau wordt geïsoleerd en de warmtetechniek levert geen koude, elektrisch koken en zo nodig een booster warmtepomp.

Tabel 26 – Total cost of ownership 50 jaar, gemiddeld per woning in Krommenie

	Luchtwarmtepomp	MT-warmtenet	LT-warmtenet
Totale investeringen	€ 162.076	€ 49.939	€ 172.154
<i>Verwarmingsinstallatie</i>	€ 47.330	€ 16.833	€ 24.629
<i>Isolatie</i>	€ 89.409	€ 13.225	€ 89.409
<i>Overige installaties en gebouwaanpassingen*</i>	€ 25.337	€ 19.881	€ 58.116
Totale energiekosten	€ 96.105	€ 132.033	€ 141.984
<i>Elektriciteitskosten variabel</i>	€ 94.776	€ 44.616	€ 69.201
<i>Elektriciteitskosten vast</i>	€ 32.860	€ 32.860	€ 32.860
<i>Warmtekosten variabel</i>	N.v.t.	€ 34.750	€ 20.116
<i>Warmtekosten vast</i>	N.v.t.	€ 51.338	€ 51.338
<i>Belastingteruggave</i>	€ -31.531	€ -31.531	€ -31.531
Totale onderhoudskosten	€ 18.164	€ 2.946	€ 15.490
Totaal	€ 276.345	€ 184.918	€ 329.628

* Inpandige aanpassingen, LT-radiatoren, een airco als er naar LT-niveau wordt geïsoleerd en de warmtetechniek levert geen koude, elektrisch koken en zo nodig een boosterwarmtepomp.