

# Verkenning scenario's aardgasvrij Molenvliet

Gemeente Woerden



# Verkenning scenario's aardgasvrij Molenvliet

Gemeente Woerden

Dit rapport is geschreven door:  
Boudewijn Elsinga, Laurens Vergroesen, Marijke  
Meyer, Sherina Soekhlal en Joram Dehens (CE Delft)  
Ivo de Klerk, Geke Smit (MSG Strategies)

Delft, CE Delft, April 2026

Publicatienummer: 25.250346.221

Oprachtgever: Gemeente Woerden

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn  
verkrijgbaar via [www.ce.nl](http://www.ce.nl)

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de  
projectleider Boudewijn Elsinga (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

|          |   |            |
|----------|---|------------|
|          | <b>Samenvatting</b>   | <b>5</b>   |
|          | Onderzochte technieken  | 5          |
|          | Voor- en nadelen van de technieken                            | 7          |
|          | Scenario's voor heel Molenvliet                               | 9          |
|          | Aanbevelingen   | 9          |
|          | <b>Leeswijzer</b>   | <b>11</b>  |
|          | <b>Begrippenlijst</b>   | <b>12</b>  |
| <b>1</b> | <b>Hoe kan Molenvliet aardgasvrij worden?</b>                 | <b>15</b>  |
|          | 1.1 Achtergrond van het onderzoek                             | 15         |
|          | 1.2 Algemene aannames   | 17         |
|          | 1.3 Resultaten en aanbevelingen                               | 18         |
|          | 1.4 Algemene aanbevelingen                                    | 25         |
| <b>2</b> | <b>Inventarisatie van het gebied, gebouwen en warmtevraag</b> | <b>27</b>  |
|          | 2.1 Beschrijving Molenvliet                                   | 27         |
|          | 2.2 Potentie van duurzame warmtebronnen                       | 35         |
| <b>3</b> | <b>Scenario's aardgasvrij Molenvliet</b>                      | <b>37</b>  |
|          | 3.1 Omschrijving scenario's                                   | 37         |
|          | 3.2 Resultaten per scenario                                   | 45         |
| <b>4</b> | <b>Gevolgen scenario's voor woningen en bewoners</b>          | <b>49</b>  |
|          | 4.1 Schematische beschrijving impact woningaanpassing         | 49         |
|          | 4.2 Financiële effecten voorbeeldwoningen                     | 61         |
|          | 4.3 Het perspectief van de woningcorporatie                   | 68         |
|          | 4.4 Gevolgen voor de wijk en het straatbeeld                  | 69         |
|          | <b>Literatuur</b>   | <b>145</b> |
| <b>A</b> | <b>Randvoorwaarden bij de technieken en scenario's</b>        | <b>72</b>  |
| <b>B</b> | <b>Beschrijving van de bronnen en technieken</b>              | <b>92</b>  |
| <b>C</b> | <b>Resultaten per voorbeeldwoning</b>                         | <b>117</b> |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
|          | Jaarlijkse kosten per voorbeeldwoning                 | 117        |
| <b>D</b> | <b>Bijlage verdienmodellen in geval van warmtenet</b> | <b>133</b> |
| <b>E</b> | <b>Kentallen en parameters</b>                        | <b>142</b> |

# Samenvatting

Nederland wil overstappen op duurzame manieren van verwarmen. Dat helpt om het klimaat te beschermen en om minder afhankelijk te zijn van aardgas uit eigen bodem en uit het buitenland. Ook kunnen bewoners daardoor meer grip krijgen op hun energiekosten.

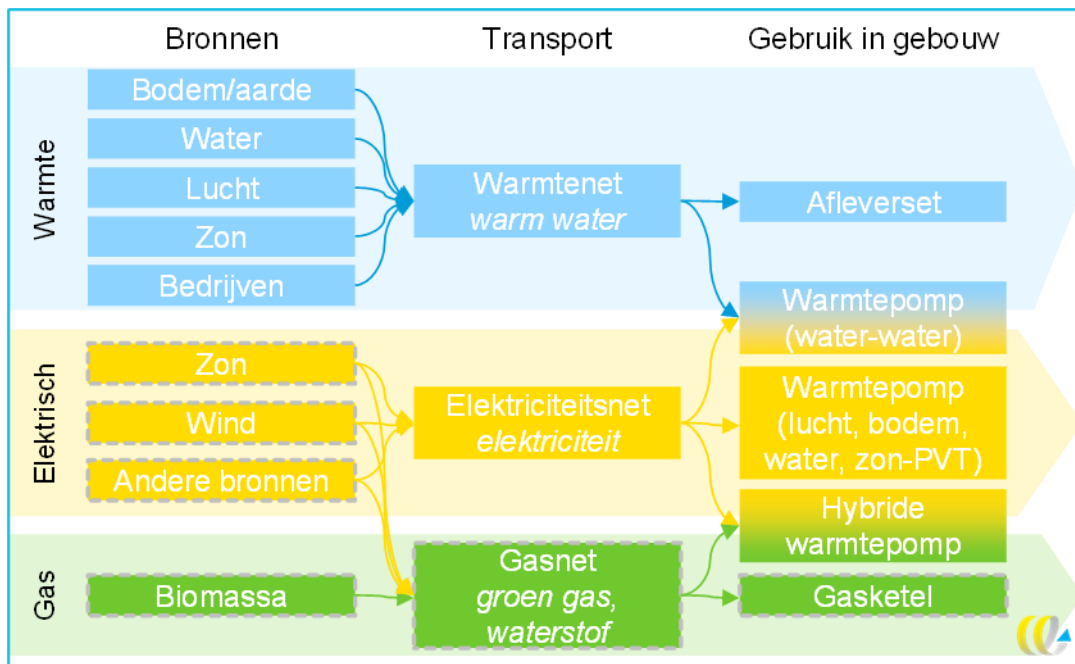
De gemeente Woerden heeft daarom het Warmteprogramma Woerden opgesteld. Daarin staat hoe de gemeente in zes buurten een verkenning zal uitvoeren naar de mogelijkheden van duurzame verwarming, koeling en koken. De eerste verkenning naar aardgasvrij is in de wijk Molenvliet, in het zuidwesten van Woerden. In Molenvliet zijn verschillende mogelijkheden om woningen en gebouwen te verwarmen. Eén mogelijkheid is een warmtenet, dat warmte kan gebruiken uit de rioolwaterzuivering of uit andere bronnen. Ook zijn er technieken per gebouw mogelijk, zoals elektrische warmtepompen.

De gemeente gaat hierover in gesprek met bewoners van Molenvliet. Zij praten mee over de toekomst van hun wijk. Hiervoor is het belangrijk dat er informatie beschikbaar is over de verschillende mogelijkheden. De gemeente heeft daarom aan CE Delft en MSG Sustainable Strategies gevraagd om te onderzoeken wat haalbaar is in Molenvliet. Dit rapport laat de resultaten van dat onderzoek zien. Het geeft informatie over de mogelijkheden om duurzaam te verwarmen en wat die betekenen voor de wijk.

## Onderzochte technieken

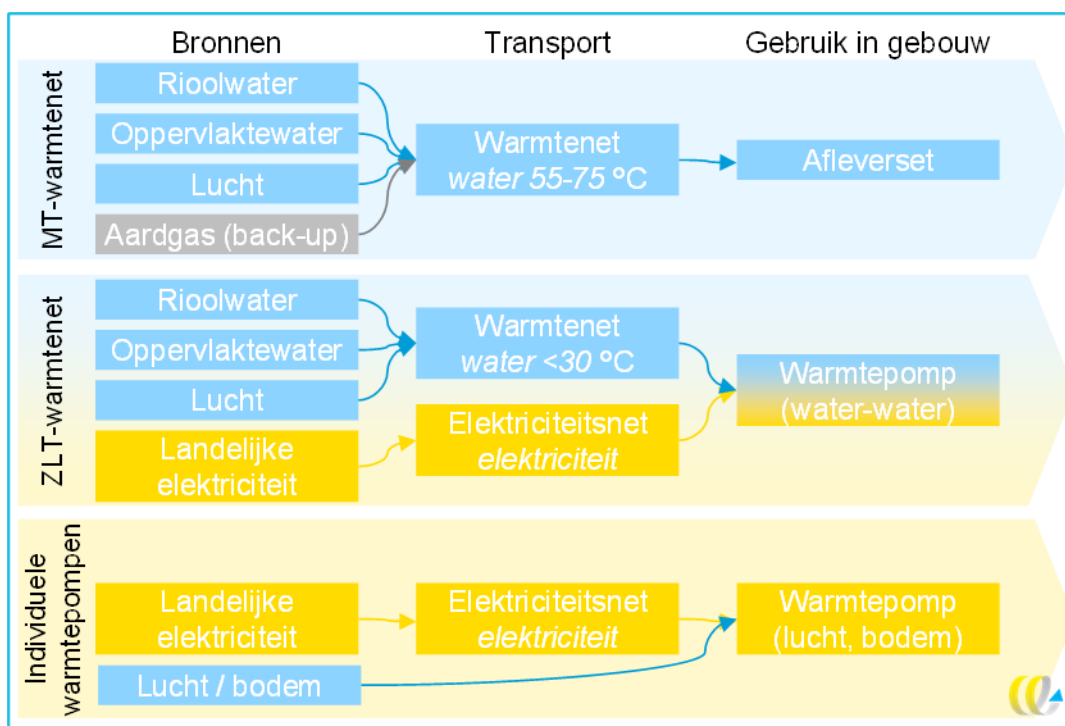
We hebben gekeken naar hoe de wijk er nu uitziet en hoe deze verwarmd kan worden. Er zijn verschillende technieken om gebouwen zonder aardgas te verwarmen. Elke techniek gebruikt een energiebron, middelen om de energie te vervoeren en een systeem dat de warmte binnen in het gebouw gebruikt. In Figuur 1 op de volgende pagina staan de belangrijkste duurzame technieken. De opties met een grijze rand hebben we niet onderzocht, de andere wel. In de figuur is niet alles weergegeven wat er bij een techniek kan komen kijken, zoals het isoleren van het huis en de overstap op elektrisch koken.

Figuur 1 – Schema van de onderzochte technieken. Onderdelen met een grijze rand zijn niet onderzocht.



Uit alle opties hebben we drie technieken gekozen om verder te onderzoeken. Dit zijn technieken die realistisch zijn in Molenvliet en die duidelijk van elkaar verschillen. Deze technieken zijn hieronder in Figuur 2 te zien. Bij de eerste techniek wordt er ook warmte opgeslagen onder en boven de grond, bij de tweede onder de grond.

Figuur 2 – Schema van de technieken die zijn gebruikt voor de scenario's



## Voor- en nadelen van de technieken

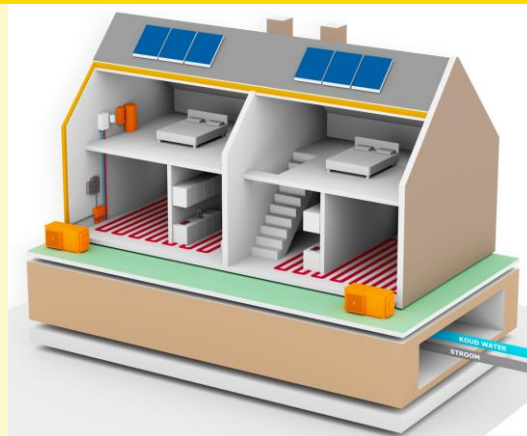
Elke techniek heeft gevolgen voor bewoners en voor de wijk. Het gaat dan bijvoorbeeld over wat de technieken kosten en hoeveel ruimte ze innemen. Hieronder vatten we de gevolgen van de drie technieken samen, zoals de gevolgen van de overstap naar deze techniek, vergeleken met verwarming met een cv-ketel. De precieze gevolgen verschillen tussen woningen.

De kosten en baten en de duurzaamheid van de technieken staan hier nog niet vermeld. Die behandelen we verderop in het document.

### Techniek 1: Individuele warmtepompen

#### Veranderingen in de woning:

- Geen cv-ketel en aardgasaansluiting.
- Een warmtepomp met een opslagvat voor warm water.
- Vaak een buitenunit naast of op de woning (hangt af van het soort warmtepomp).
- Goede isolatie, ventilatie en LT-afgifte nodig.
- Elektrisch fornuis en zwaardere aansluiting elektriciteit in meterkast.



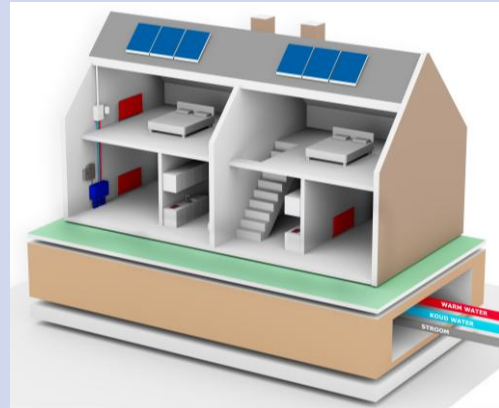
#### Voor- en nadelen:

- Lagere energierekening.
- Kan de woning vaak ook koelen.
- Het overstapmoment is flexibeler
- Hogere investeringskosten vooraf.
- Ruimte in de wijk nodig voor extra elektriciteitshuisjes.
- Vraagt meer ruimte in en om de woning.
- Sterker elektriciteitsnet nodig in en naar de wijk.
- De meeste soorten warmtepompen maken buiten geluid.

## Techniek 2: MT-warmtenet

### Veranderingen in de woning:

- Geen cv-ketel en aardgasaansluiting.
- *Er zijn geen (kosten voor) isolatiemaatregelen meegenomen.*
- Aansluiting op warmtenet (afgifteset in meterkast).
- Leidingwerk tussen meterkast en plek van vroegere cv-ketel.
- Elektrisch fornuis en zwaardere aansluiting elektriciteit in meterkast.



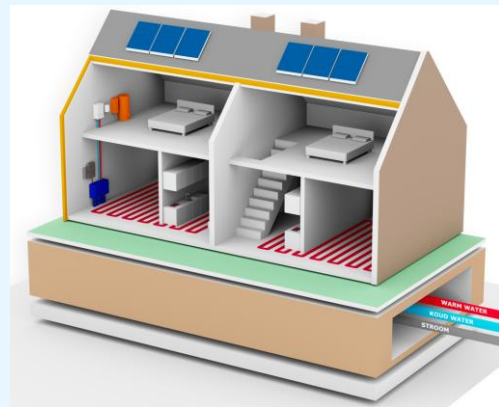
### Voor- en nadelen:

- *Relatief weinig aanpassingen aan de woning en beperkte investering nodig.*
- *Wel isoleren draagt bij aan lagere energiekosten.*
- Leidingwerk in de woning.
- Ruimte in de wijk nodig voor warmtestations.
- Effect van graafwerkzaamheden op bomen.
- Moeilijk om het warmtenet later aan te passen.
- Sterker elektriciteitsnet nodig naar de wijk toe.
- Voor warmte is er maar één energiebedrijf. Dat wordt publiek.

## Techniek 3: ZLT-warmtenet

### Veranderingen in de woning:

- Geen cv-ketel en aardgasaansluiting.
- Aansluiting op warmtenet (afgifteset in meterkast).
- Een water-waterwarmtepomp met opslagvat voor warm water.
- Leidingwerk tussen meterkast en warmtepomp.
- Goede isolatie, ventilatie en LT-afgifte nodig.
- Elektrisch fornuis en zwaardere aansluiting elektriciteit in meterkast.



### Voor- en nadelen:

- *Lagere energierekening.*
- *Kan de woning ook koelen.*
- *Hogere investeringskosten vooraf.*
- *Vraagt meer ruimte in de woning.*
- *Ruimte in de wijk nodig voor warmtestations en extra elektriciteitshuisjes.*
- Effect van graafwerkzaamheden op bomen (minder dan bij MT-net).
- Sterker elektriciteitsnet nodig in en naar de wijk.
- Voor warmte is er maar één energiebedrijf. Dat wordt publiek.

## Scenario's voor heel Molenvliet

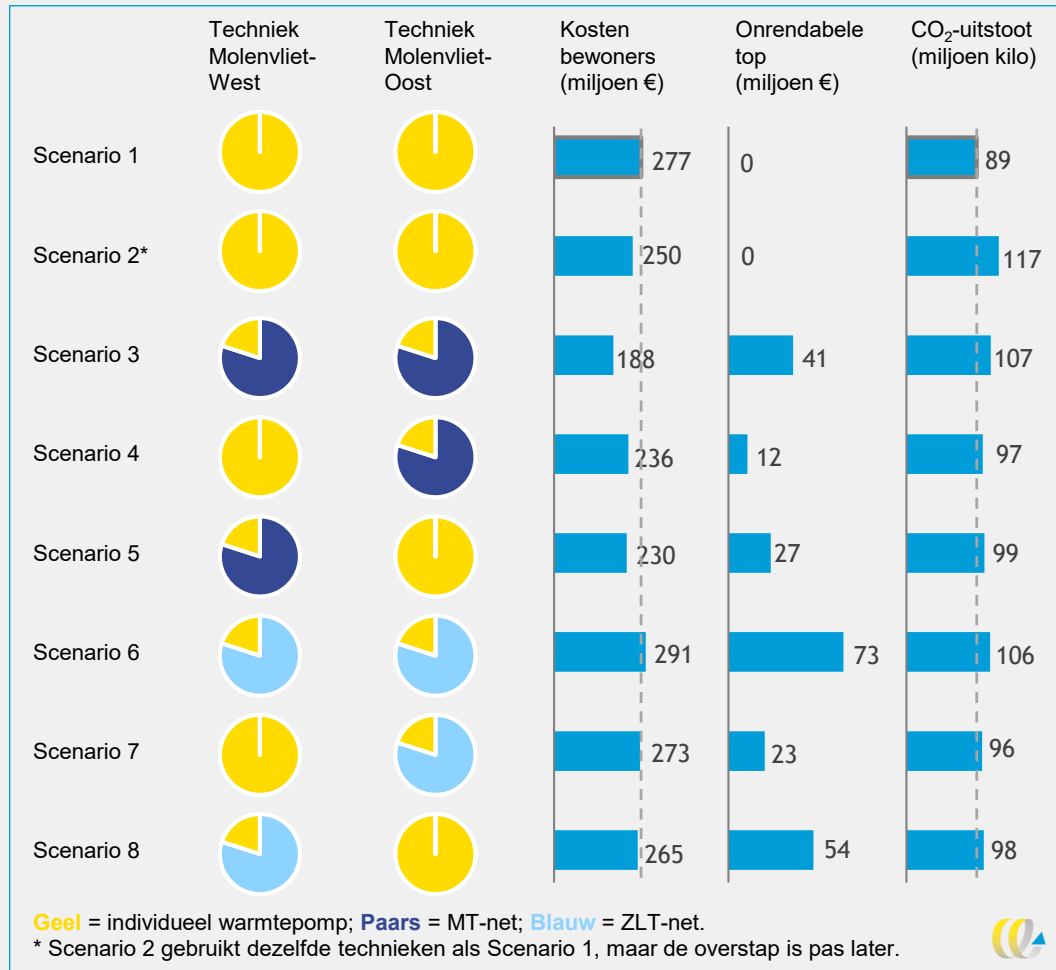
We hebben ook onderzocht wat de technieken kosten en opleveren. Daarvoor hebben we verschillende manieren doorgerekend om heel Molenvliet te verwarmen met de drie technieken. Dit noemen we scenario's. We hebben acht scenario's doorgerekend met combinaties van de drie technieken. In Figuur 3 op de volgende pagina is te zien hoe deze scenario's eruitzien en wat de resultaten ervan zijn.

## Aanbevelingen

Dit onderzoek laat zien dat er verschillende manieren zijn om Molenvliet zonder aardgas te verwarmen. Al deze opties hebben voor- en nadelen. Welke techniek het beste past bij de wijk hangt dus af van hoe belangrijk bewoners, de gemeente en andere organisaties de voor- en nadelen vinden. De gemeente zal dit samen met de bewoners verder bespreken. Dit onderzoek biedt daarvoor aanknopingspunten.

Als er een keuze gemaakt is over de verwarming van de wijk, kan de gemeente een plan maken voor de uitvoering. Daarvoor zijn er nog vervolgvragen, bijvoorbeeld over mogelijke effecten op oppervlaktewater, de ruimte in de bodem en het geluid van mogelijke installaties. Dit soort onderwerpen zijn belangrijk om verder te onderzoeken zodra er een keuze is gemaakt over de verwarming van de wijk.

Figuur 3 – Overzicht van de scenario's en de doorgerekende resultaten. De stippellijn hoort bij de resultaten van Scenario 1, om de andere scenario's mee te kunnen vergelijken.



### Toelichting op de scenario's en resultaten

- **Technieken:** de grafiek laat zien welk deel van de wijk uiteindelijk wordt aangesloten op welke warmte-techniek: individuele warmtepompen, het MT-warmtenet en het ZLT-warmtenet. Dat kan verschillen tussen Molenvliet-West en Oost. Het gaat steeds om 20, 80 of 100% van de wijk.
- **Kosten bewoners:** de grafiek laat zien wat bewoners van Molenvliet tussen nu en 2050 in totaal zouden betalen voor hun verwarming. Dit bestaat uit: hun energierekening, investeringen in de woning (na subsidie) en onderhoud. Bij huurwoningen tellen we ook de kosten van verhuurders mee. Bij het MT-net zijn geen kosten voor isolatie meegenomen; bij een ZLT-net en warmtepompen wel.
- **Onrendabele top:** de grafieken laten de onrendabele top zien. Dit zijn extra kosten die nodig zijn om woningen aan te sluiten op een warmtenet. Wie dat gaat betalen, staat nog niet vast. Dit kan bijvoorbeeld de landelijke overheid zijn, de gemeente en/of bewoners. Het is aannemelijk dat (een deel van) de onrendabele top alsnog voor rekening komt van de woningeigenaar, in de vorm van een eenmalige aansluitbijdrage (BAK).

- **CO<sub>2</sub>-uitstoot:** de grafieken laten zien hoeveel CO<sub>2</sub> er zou worden uitgestoten tot en met 2050. Die uitstoot komt van cv-ketels, zolang die nog gebruikt worden, en van de vervangende technieken om te verwarmen. Als overal cv-ketels gebruikt blijven worden, is de uitstoot ongeveer 9 miljoen ton per jaar en komt de cumulatieve uitstoot op 218 miljoen kilo CO<sub>2</sub>. Voor het MT-net is nog steeds aardgas nodig als noodvoorziening.
- **Deelnamepercentage warmtenet:** voor het warmtenet is het uitgangspunt dat 80% van de bewoners in korte tijd besluit om mee te doen met het warmtenet. Als het aantal deelnemers lager ligt dan moeten de kosten voor het warmtenet over minder deelnemers worden verdeeld.

# Leeswijzer

- **Begrippenlijst:** hierin staan veelgebruikte technische termen en afkortingen uitgelegd.
- **Hoofdstuk 1:** in dit hoofdstuk beginnen we met de onderzoeksthema's en de uitgangspunten. Dan volgen de resultaten, zowel in getal als breder onderbouwd, en vervolgens de aanbevelingen.
- **Hoofdstuk 2:** hier beschrijven we de locatie van de wijk, de situatie van de woningen en de meest voor de hand liggende duurzame warmtebronnen.
- **Hoofdstuk 3:** hier beschrijven we de verschillende scenario's die we voor de wijk hebben doorgerekend. We laten zien hoe ze zijn opgebouwd en wat de resultaten zijn. Daarbij gaat het om de kosten en baten en de CO<sub>2</sub>-uitstoot.
- **Hoofdstuk 4:** de scenario's hebben gevolgen voor de woningen in Molenvliet. We laten zien wat er gemiddeld voor nodig is om de woningen klaar te maken voor de verschillende onderzochte warmtetechnieken. We tonen de bijbehorende kosten op woningniveau, zodat bewoners een beeld kunnen vormen van de belangrijkste verschillen tussen de scenario's. We gaan hier ook in op de gevolgen van de scenario's voor de buitenruimte. Wat is er bijvoorbeeld bovengronds zichtbaar na de eventuele overstap?
- **Literatuur:** hier vermelden we welke bronnen we gebruikt hebben voor dit onderzoek.
- **Bijlage A:** hier bespreken we de fysieke en operationele randvoorwaarden voor de aanleg van een eventueel warmtenet. De nadruk ligt op de uitdagingen in de ondergrond. Daarbij hebben we aandacht voor de beschikbare ruimte en de complexiteit van de ruimtelijke inpassing in de wijk. Bijvoorbeeld als het gaat om bomen en het riool. We bespreken ook externe factoren, zoals de ruimte op het elektriciteitsnet, en de benodigde vergunningen.
- **Bijlage B:** hierin staat een toelichting bij de onderzochte lokale warmtebronnen rondom Molenvliet en hoe kansrijk die zijn. Daarnaast beschrijven we de technieken voor warmteopslag en de technieken om de warmte in de woning te kunnen gebruiken. Deze bijlage sluit af met context vanuit de provincie Utrecht en enkele voorbeelden van moderne duurzame warmtenetten.
- **Bijlage C** geeft een overzicht van de investeringskosten en de jaarlijkse energiekosten voor de verschillende voorbeeldwoningen die we in Hoofdstuk 4 bespreken.
- **Bijlage D** bevat de uitwerking van het verdienmodel (businesscase) van de mogelijke warmtenetten en wat dit zou betekenen voor de kosten per aangesloten woning.

# Begrippenlijst

Tabel 1 – Begrippenlijst

| Term                        | Betekenis/uitleg   |
|-----------------------------|--|
| Aerothermie                 | Het winnen van warmte uit de buitenlucht (atmosfeer) met behulp van een warmtepomp. Dit wordt het meest toegepast bij lucht-water- of lucht-lucht-warmtepompen.  |
| All-electric                | Toevoeging voor een warmtepompsysteem dat puur op elektriciteit werkt om warmte uit een bron op te waarden voor gebruik.   |
| Aquathermie                 | Het winnen van warmte uit water (oppervlaktewater, afvalwater, drinkwater) met behulp van een warmtepomp. Dit is een duurzame bron voor stadsverwarming of wijkverwarming.   |
| ATES                        | Afkorting voor Aquifer Thermal Energy Storage, een Engelse term voor warmte-koudeopslag (wko) in een waterhoudende laag (aquifer) onder de grond.  |
| Basis-, midden- en pieklast | Dit beschrijft hoe de totale warmtevraag van een verwarmingssysteem (zoals een warmtenet) over het jaar wordt ingevuld. De <i>basislast</i> is de constante, minimale vraag die 24/7 nodig is en wordt gedekt door de meest duurzame en efficiënte bronnen (bijvoorbeeld restwarmte of geothermie). De <i>middenlast</i> is de extra warmte die nodig is tijdens het grootste deel van het stookseizoen. De <i>pieklast</i> is de maximale, kortstondige vraag tijdens de koudste momenten en wordt gedekt door snelle, flexibele bronnen om leveringszekerheid te garanderen. |
| Biomassa                    | Organisch materiaal uit reststromen of landbouw, zoals houtafval, mest, gft-afval of energiegewassen. Dit materiaal kan worden verbrand of vergist om energie (warmte of gas) op te wekken.  |
| Bodemwarmte                 | Het winnen van warmte uit de ondiepe ondergrond (enkele tientallen tot honderden meters diep), meestal in combinatie met een warmtepomp. Dit wordt vaak gebruikt voor individuele woningen of kleinere projecten.  |
| Businesscase                | Verdienmodel. De optelsom van kosten en baten horend bij een bepaalde afschrijvings-termijn.   |
| CAPEX                       | Afkorting voor Capital Expenditures (kapitaalluitgaven). Dit zijn de eenmalige, grote investeringen die nodig zijn voor de aanschaf, aanleg en bouw van een systeem of infrastructuur (bijvoorbeeld de aanleg van het warmtenet zelf).   |
| Cv-ketel/<br>cv-systeem     | De letters 'cv' staan hier voor centrale verwarming: het verwarmen van een woning met een centrale warmtebron en afgifte van warmte in ruimtes via leidingen en daaraan verbonden radiatoren of convectoren.   |
| Geothermie                  | Het winnen van warmte direct uit diepe aardlagen (kilometers diep). Dit wordt ook wel <i>aardwarmte</i> genoemd en is een grootschalige, constante bron voor verwarming.   |
| Gestapelde woning           | Woningen in een flat of appartementengebouw, ook wel 'meergezinswoning'. De woning is onderdeel van een groter gebouw en meerdere woningen kunnen boven elkaar liggen.   |

| Term                        | Betekenis/uitleg   |
|-----------------------------|--|
| Groengas                    | Duurzaam geproduceerd gas van dezelfde kwaliteit als aardgas, maar gemaakt uit biomassa (organisch restmateriaal) door vergisting of vergassing. Het is een hernieuwbare energiebron.  |
| Grondgebonden woning        | Ook wel <i>eengezinswoningen</i> genoemd. Woningen met een voordeur op straatniveau met een eigen dak. Geen gestapelde bouw.   |
| Hr-ketel                    | Hoogrendementsketel, meestal op aardgas. Tegenwoordig is dit de standaard voor verwarming van woningen waarbij naast directe verbrandingswarmte ook condensatiewarmte van waterdamp uit de rookgassen wordt gewonnen. Meestal uitgevoerd als combisysteem waarmee zowel ruimteverwarming als warm tapwater bereid kan worden.  |
| kton                        | Afkorting voor kiloton. Dit is gelijk aan 1.000 ton, oftewel 1 miljoen kilogram.   |
| LT                          | Afkorting voor lage temperatuur (warmtenet). Dit verwijst naar warmtenetten die water transporteren met een temperatuur van ongeveer 35 tot 55°C. Dit is efficiënter en past goed bij goed geïsoleerde gebouwen, die bijvoorbeeld voldoen aan de isolatiestandaard.  |
| MT                          | Afkorting voor middentemperatuur (warmtenet). Dit verwijst naar warmtenetten die water transporteren met een temperatuur van ongeveer 55 tot 75°C. Dit is een tussenliggende temperatuur, lager dan de traditionele hogetemperatuurnetten.   |
| Netto Contante Waarde (NCW) | Optelling van naar de toekomst toe verrekende bedragen die onder invloed van rente minder waard zijn in termen van vandaag. Hierin zit zowel een onderdeel risico verwerkt als een verwachte waardeontwikkeling in geld dat anders geïnvesteerd had kunnen worden.   |
| Onrendabele top             | Het deel van de investeringskosten van een project dat niet terugverdiend kan worden door middel van de opbrengsten (bijvoorbeeld de warmtetarieven). Dit deel wordt vaak gedekt door subsidies.   |
| OPEX                        | Afkorting voor Operational Expenditures (Operationele Uitgaven). Dit zijn de terugkerende kosten die nodig zijn om een systeem draaiende te houden, zoals onderhoud, beheer en de kosten voor de energielevering.  |
| Opwaarderen                 | Het verhogen van de temperatuur van een warmtebron, bijvoorbeeld door een warmtepomp te gebruiken. Lagetemperatuurwarmte (zoals uit de bodem of lucht) wordt daarmee geschikt gemaakt voor verwarming.   |
| Participatiegraad           | Het percentage van de potentiële afnemers (bijvoorbeeld huishoudens in een wijk) dat daadwerkelijk deelneemt aan of is aangesloten op een bepaald project, bijvoorbeeld een warmtenet.   |
| PV(T)                       | Afkorting voor fotovoltaïsch (+thermisch). Pv staat voor zonnepanelen die elektriciteit opwekken. PVT-panelen zijn een combinatie: ze wekken zowel elektriciteit als warmte op uit de zon.   |
| Restwarmte                  | Warmte die vrijkomt als bijproduct van industriële processen (bijvoorbeeld van datacenters, afvalverbrandingsinstallaties of fabrieken) en die anders ongebruikt in de omgeving zou verdwijnen. Door deze warmte te benutten via een warmtenet, wordt het een duurzame energiebron.  |
| SDE                         | Afkorting voor Stimulering Duurzame Energieproductie. Dit is een belangrijke rijkssubsidie voor bedrijven en instellingen die duurzame energie (zoals wind, zon en biomassa) opwekken. Het vergoedt het verschil tussen de kostprijs van duurzame energie en de marktprijs van energie uit fossiele bronnen. Niet alle warmtebronnen komen hier automatisch voor in aanmerking. De regeling wordt regelmatig verlengd, |

| Term          | Betekenis/uitleg  |
|---------------|---|
|               | maar is voor de periode na 2026 afhankelijk van nieuw landelijk beleid en daarmee niet gegarandeerd.  |
| Utiliteit     | Verzamelsnaam voor niet-woningen, oftewel gebouwen die een publieke, commerciële of industriële functie hebben. Denk aan kantoren, scholen, ziekenhuizen, winkels of fabrieken.   |
| Vastrecht     | Een vast bedrag dat een afnemer maandelijks of jaarlijks betaalt voor de aansluiting, het onderhoud en het beheer van de infrastructuur (zoals een warmtenet of gasnet), onafhankelijk van het verbruik.  |
| Warmte        | Warmte wordt in de vorm van warm water via een warmtenet aan woningen geleverd. Via een warmtewisselaar wordt de warmte uit het warmtenet uitgewisseld met de leidingen in de woning voor direct gebruik of opwaardering naar hogere temperatuur. Warmte wordt verrekend in gigajoules (GJ).                                  |
| Warmtebedrijf | Een bedrijf dat verantwoordelijk is voor de werking en het onderhoud van een specifiek warmtenet, en dat het contact met afnemers verzorgt. Een aan een warmtenet aangesloten afnemer van warmte betaalt hiervoor aan het warmtebedrijf. Een warmtebedrijf kan deels eigendom zijn van de gemeente en commerciële partij(en). |
| WIS           | Afkorting voor Warmte Infrastructuur Subsidie. Een Nederlandse subsidie die de aanleg en verzwaring van warmtenetten financieel ondersteunt.  |
| Wko           | Afkorting voor warmte-koudeopslag. Dit is een duurzaam systeem waarbij warmte en koude in de ondergrond worden opgeslagen in verschillende waterlagen; warmte in de zomer voor de winter en koude in de winter voor de zomer.   |
| WOS           | Afkorting voor warmteoverdrachtstation. Dit is een technische installatie (ook wel <i>afleversef</i> genoemd) die zich in een aangesloten gebouw (woning of utiliteit) bevindt. Het zorgt voor de overdracht van warmte van het collectieve warmtenet naar het interne verwarmingssysteem van het gebouw.                     |
| ZLT           | Afkorting voor zeer lage temperatuur (warmtenet). Dit is de meest efficiënte vorm van warmtenetten met temperaturen lager dan 40°C, vaak in combinatie met individuele warmtepompen in de aangesloten woningen.   |
| Zonthermie    | Het omzetten van zonlicht in warmte (thermische energie) met behulp van zonnecollectoren (in plaats van zonnepanelen die elektriciteit opwekken). Deze warmte kan gebruikt worden voor bijvoorbeeld tapwater of verwarming.   |

# 1 Hoe kan Molenvliet aardgasvrij worden?

In dit hoofdstuk starten we met de aanleiding voor deze verkenning en beschrijven we de belangrijkste bevindingen van het onderzoek. Die bevindingen onderbouwen we verderop in deze rapportage met een beeld van de wijk, de warmtevraag die er is en hoe we die kunnen invullen. Hiervoor verkennen we verschillende scenario's waarvan we het effect in de hierop volgende hoofdstukken bespreken.

## 1.1 Achtergrond van het onderzoek

Nederland stapt over op een duurzaam alternatief voor aardgas. Het wordt steeds duidelijker dat verwarmen en koken zonder aardgas ons kan helpen om het klimaat te beschermen en meer grip te krijgen op de energierekening en onze eigen energievoorziening. Voor bewoners kan de overstap naar duurzame warmte echter ingewikkeld zijn. Daarom maken gemeenten plannen om dit proces te begeleiden. In de gemeente Woerden is het plan hiervoor begin 2026 vastgelegd in het Warmteprogramma, waarin staat hoe de gemeente de komende jaren in zes gebieden gaat verkennen welke duurzame vormen van verwarming mogelijk zijn.

De eerste verkenning vindt plaats in de wijk Molenvliet, in het zuidwesten van Woerden. In deze wijk zijn bronnen voor warmte aanwezig, zoals afvalwarmte van de rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) en warmte uit de Oude Rijn, die middels een warmtenet woningen en andere gebouwen in de wijk zouden kunnen voorzien van warmte.

De potentiële warmtebronnen zijn de aanleiding. Het warmtenet is slechts een middel om de warmte bij iedereen thuis te krijgen. Een andere optie is om aardgasvrij te verwarmen met oplossingen per gebouw, zoals warmtepompen. De gemeente gaat hierover in gesprek met bewoners van Molenvliet, zodat zij kunnen meedenken over de toekomst van hun wijk. Hiervoor is het belangrijk om informatie te hebben over de verschillende duurzame verwarmingsopties.

Voorafgaand aan deze verkenning heeft de gemeente een *quickscan* laten uitvoeren door Syntraal en een doorrekening laten maken van een middentemperatuurnet (MT-net) in een deel van Molenvliet door DWA. DWA heeft een variant doorgerekend voor een deel van Molenvliet-West. Onze verkenning baseert zich op verschillende scenario's voor de hele wijk en delen ervan. Zie verder ook Bijlage D.2.

De gemeente heeft CE Delft en MSG Sustainable Strategies gevraagd om de haalbaarheid te onderzoeken van verschillende scenario's voor duurzame verwarming. Het gaat hier om een globale studie waarin we streven naar scenario's die zo accuraat mogelijk zijn, maar nog niet het detailniveau bezitten van een precieze ontwerpstudie, met name op gebied van de kosten. Dat zal hierna verder in detail moeten worden uitgezocht.

Dit onderzoek liep van augustus 2025 tot en met maart 2026. Het onderzoek is tussentijds besproken met medewerkers van de gemeente en een klankbordgroep van betrokken bewoners uit Molenvliet. Relevante input van hen op een tusserversie van dit rapport is hierin meegenomen, net als die van de provincie Utrecht, waterschap HDSR en woningcorporatie Cazas Wonen.

Het doel van dit onderzoek is om de gemeente, partnerorganisaties, bewoners en ondernemers van Molenvliet te voorzien van informatie, zodat weloverwogen keuzes gemaakt kunnen worden over de toekomstige verwarming van de wijk. Zodra die keuzes gemaakt zijn, stelt de gemeente een uitvoeringsplan op om de gekozen warmteoplossing te realiseren. Om een concreet (uitvoerings)plan te maken, is aanvullend onderzoek nodig. Waar mogelijk benoemen we in dit rapport alvast de vragen voor vervolgonderzoek.

Meer informatie over de Verkenning Molenvliet aardgasvrij is te vinden op ['Denkmeewoerden'](#) (Gemeente Woerden).

## Onderzoeksthema's

De hoofdvraag voor dit onderzoek is:

*Wat zijn realistische scenario's voor het aardgasvrij maken van Molenvliet?*

Het onderzoek is opgebouwd rondom de volgende onderzoeksthema's:

1. Warmte- en koudelevering.
2. Impact op het elektriciteitsnet.
3. Gevolgen voor de ondergrond.
4. Impact op gebouwen en openbare ruimte.
5. Opslag van warmte en koude.
6. Juridische aandachtspunten.
7. Duurzame oplossingen per woningtype.
8. Financiële analyse.
9. Scenario's.

Deze thema's komen in deze rapportage integraal terug. We presenteren ons onderzoek op zo'n manier dat de lezer eerst de belangrijkste resultaten ziet, waarna in de daaropvolgende hoofdstukken de onderbouwing volgt. De focus ligt op woningen, omdat Molenvliet vrijwel geheel uit woningen bestaat.

## 1.2 Algemene aannames

De belangrijkste uitgangspunten en aannames die wij voor de scenario's hebben gedaan staan hier onder elkaar. Voor de details verwijzen wij naar Paragraaf 3.1.

- We onderzoeken twee verschillende collectieve warmtenetten voor de buurten Molenvliet-Oost, Molenvliet-West en Molenvliet als geheel: een middentemperatuurnet (MT-net) en een zeerlagetemperatuurnet (ZLT-net).
  - Bij de berekening van de resultaten voor een collectief warmtenet in Molenvliet-Oost of West apart, berekenen we individuele warmtepompen voor de buurt waar geen collectief warmtenet komt.
- Vanwege de wettelijke termijn van acht jaar tussen het aankondigen van het aardgasvrij maken van een buurt of wijk en het opstarten en uitvoeren van werkzaamheden, hanteren wij 2038 als jaartal waarop alle aansluitingen gereed zijn.
- Er zijn twee verschillende referentiescenario's waarin geen warmtenet wordt aangelegd: één die hetzelfde tempo volgt als de warmtenetten (2038 aardgasvrij) en het alternatieve referentiescenario, dat de autonome ontwikkeling voor aardgasvrij in 2050 volgt.
- Het MT-net wordt gevoed met warmte uit de rioolwaterzuivering, de rivier de Oude Rijn, aangevuld met warmte die via een centrale warmtepomp uit de buitenlucht wordt gewonnen. Deze warmte wordt op jaarbasis gebufferd in een ondergrondse wko en voor pieken op dagelijkse basis (op gebruikstemperatuur voor het MT-net) in een bovengrondse opslag. Alleen voor noodsituaties en voor momenten van onderhoud is er een aardgasgedreven back-upvoorziening nodig.
- Het ZLT-net wordt volledig aardgasvrij aangelegd. De warmte komt uit dezelfde bronnen, maar wordt pas in de woningen naar gebruikstemperatuur opgewaardeerd via een warmtepomp.
- Woningen die op het MT-net aansluiten hoeven niet vergaand te isoleren, wat wel nodig is voor individuele oplossingen en bij het ZLT-net. Isolatie helpt bewoners in alle gevallen grip te krijgen op de variabele warmtekosten. De gemeente zet in op isolatie. In dit rapport zijn voor het MT-net geen (kosten voor) isolatiemaatregelen meegenomen.
- Uitvoering van de warmtenetten zal plaatsvinden tussen 2030 en 2038. De woningen sluiten gelijkmatig aan tussen 2035 en 2038.
- In de periode tussen 2026 en 2050 houden we rekening met 'vergroening' van de elektriciteitsmix en landelijke bijmengverplichting voor groengas, waardoor de CO<sub>2</sub>-emissie per kWh en per m<sup>3</sup> over de tijd minder wordt.
- We gaan ervan uit dat 80% van de woningen in de betreffende buurt aan zal sluiten op het warmtenet, en dat de resterende 20% een individuele aardgasvrije oplossing kiest (warmtepomp). In de berekening van de businesscase hebben we onder andere het effect van 20 procentpunt meer of minder aansluitende wonin-

gen onderzocht (Bijlage D.3). Dit vertaalt zich in circa € 3.700 bruto bij de onrendabele top (ORT) van de businesscase.

## 1.3 Resultaten en aanbevelingen

In deze verkennende studie presenteren we geen duidelijke voorkeur voor één oplossing. We tonen de voor- en nadelen van de verschillende mogelijkheden. Dit doen we voor Molenvliet-Oost, Molenvliet-West en voor de wijk als geheel. Met deze verkenning heeft de gemeente Woerden een basis om de mogelijkheden verder te onderzoeken, samen met de bewoners van Molenvliet.

### 1.3.1 Analyse van de scenario's

In principe kunnen de woningen van Molenvliet aardgasvrij verwarmd worden met een individuele warmtepomp; dat is het referentiescenario. De gemeente Woerden heeft gevraagd om hiernaast twee varianten van een collectief warmtenet te onderzoeken: één op middentemperatuur (MT) en één op zeer lage temperatuur (ZLT). Omdat het plannen en uitvoeren van een eventueel collectief warmtenet veel tijd nodig heeft, hebben we deze varianten nu al meegenomen in de verkenning. Hierin zal dan ook tijdig een keuze gemaakt moeten worden. Om de landelijke doelen rondom aardgasvrije woningen in 2050 te halen ([RVO.nl – Aardgasvrij](https://www.rvo.nl/aardgasvrij)), moet tijdig met het onderzoek begonnen worden.

Een 'aardgasvrije woning' betekent technisch gezien dat er in de woning geen aardgas wordt gebruikt en verbrand, maar verderop in het energiesysteem kan aardgas de komende jaren nog wel een rol spelen, bijvoorbeeld in de back-upvoorziening van een MT-net of bij de productie van elektriciteit. Op deze manier kan er indirect nog steeds sprake zijn van aardgasgebruik, al zal dit significant lager zijn dan het huidige gebruik.

Uit Tabel 2 wordt duidelijk dat de scenario's op ongeveer dezelfde cumulatieve CO<sub>2</sub>-uitstoot uitkomen in 2050, met een licht voordeel voor de ZLT-varianten ten opzichte van de MT-varianten. De referentiescenario's bieden de uitersten: 'all-electric in 2038' heeft de laagste cumulatieve CO<sub>2</sub>-uitstoot (89,3 kton CO<sub>2</sub>) tot en met 2050 en het alternatieve scenario dat een autonoom tempo volgt tot en met 2050, heeft de hoogste cumulatieve uitstoot (117,3 kton CO<sub>2</sub>). Als er geen maatregelen worden getroffen, is de cumulatieve CO<sub>2</sub>-uitstoot ongeveer twee keer zo hoog (218,4 kton CO<sub>2</sub>), zie ook Tabel 5. De bijbehorende netto contante kosten voor woningeigenaren en de nog te verdelen onrendabele top zijn voor het ZLT-net over de hele linie hoger dan de andere oplossingen.

Tabel 2 – Kernresultaten per scenario. De netto contante waarde van de kosten in totaal is in de eerste twee kolommen uitgesplitst in het deel dat bij woningeigenaren terecht komt (investeringen, energiekosten en subsidie); de netto onrendabele top (ORT) is apart weergegeven, omdat die last nog niet verdeeld is over gemeente, warmtebedrijf of woningeigenaren. De wel of niet gekleurde regels zijn om samenhang tussen de scenario's weer te geven.

| Scenario   | Woningeigenaren kosten tot en met 2050 (miljoen €) | Netto ORT apart (miljoen €) | Netto contante waarde (NCW)-kosten tot en met 2050 (miljoen €) | Cumulatieve CO <sub>2</sub> -emissie tot en met 2050 (miljoen kg CO <sub>2</sub> ) |
|--|--|-----------------------------|--|--|
| Referentiescenario (all-electric 2038)             | € 277  | € 0                         | <b>€ 277</b>   | 89,3   |
| Alternatief referentiescenario (all-electric 2050) | € 250  | € 0                         | <b>€ 250</b>   | 117,3  |
| MT-net Molenvliet                                  | € 188  | € 41                        | <b>€ 229</b>   | 105,3  |
| MT-net Molenvliet-Oost                             | € 236  | € 12                        | <b>€ 248</b>   | 96,4   |
| MT-net Molenvliet-West                             | € 230  | € 27                        | <b>€ 257</b>   | 98,3   |
| ZLT-net Molenvliet                                 | € 291  | € 73                        | <b>€ 364</b>   | 101,8  |
| ZLT-net Molenvliet-Oost                            | € 273  | € 23                        | <b>€ 296</b>   | 94,9   |
| ZLT-net Molenvliet-West                            | € 265  | € 54                        | <b>€ 319</b>   | 96,3   |

De belangrijkste verschillen in de kosten tussen de scenario's zitten in de kosten voor energie, de kosten voor investeringen in installatie en isolatie in de woningen en welk deel van de benodigde investering voor het collectieve warmtenet er uiteindelijk niet uit de aansluitbijdrage, warmtelevering, vastrecht en subsidie gedekt kan worden. Dit laatste heet de onrendabele top (ORT). Voor de onderzochte warmtenetopties gaat het om bedragen van ongeveer € 10.000 tot € 30.000 per aan te sluiten woning. De precieze bedragen verschillen per woning. Voor een aantal voorbeeldwoningen hebben we deze kosten indicatief in beeld gebracht. Het is aannemelijk dat (een deel van) de onrendabele top alsnog voor rekening komt van de woningeigenaar, in de vorm van een eenmalige aansluitbijdrage (BAK). Dit is echter niet meegenomen in de berekening. Dit is te lezen in Hoofdstuk 4 en Bijlage C. Een lagere warmtevraag (door isolatie) heeft een negatief effect op de businesscase van het MT-net; dit effect is niet meegenomen in deze analyse.

Verdere duiding van deze resultaten is te vinden in Paragraaf 3.2.

Om de jaarlijkse energiekosten en de aansluiting op een collectief warmtenet betaalbaar te maken, zal er financiële ondersteuning georganiseerd moeten worden. Dit kan bestaan uit subsidies of leningen vanuit de gemeente; iets dat in een vervolgfase nader moet worden uitgezocht.

### 1.3.2 Andere effecten van de warmteopties

De verschillende warmteopties (warmtetechnieken) vergelijken we op meer dan alleen het financiële aspect. In Tabel 3 tonen we voor een aantal relevante kenmerken hoe de middentemperatuur- (MT) en zeerlagetemperatuur- (ZLT) warmtenetopties en de individuele all-electric warmtepomp zich verhouden tot de uitgangssituatie, de hr-ketel op aardgas. Hierbij is rekening gehouden met de aanpassingen die gemiddeld genomen in de hele wijk nodig zijn.

Deze uiteenzetting van effecten per criterium biedt ruimte om over de verschillende technieken en dus scenario's in gesprek te gaan, naast de meer kwantitatieve resultaten, zoals de kosten en de CO<sub>2</sub>-uitstoot. In de volgende paragrafen lichten we de criteria verder toe.

Tabel 3 – Kwalitatieve vergelijking van de twee warmtenetopties ten opzichte van de uitgangssituatie (hr-ketel) voor Molenvliet

| Criteria   | MT-warmtenet                | ZLT-warmtenet                 | Individuele warmtepomp                                   |
|--|-----------------------------|-------------------------------|--|
| Ruimte in en om de woning                            | Wat meer ruimte nodig       | Meer ruimte nodig             | Meer ruimte nodig  |
| Ruimte in de buurt                                   | Meer ruimte nodig           | Meer ruimte nodig             | Wat meer ruimte nodig                                    |
| Effect op groen en bomen                             | Aanleg verstoort groen      | Aanleg verstoort groen minder | Geen extra verstoring groen                              |
| Mogelijkheid voor koeling (afgezien van losse airco) | Geen mogelijkheid           | Kan koelen                    | Kan meestal koelen                                       |
| Impact op het laagspanningsnet                       | Gelijk aan huidig           | Meer capaciteit nodig         | Meer capaciteit nodig                                    |
| Flexibiliteit en snelheid van aanleg                 | Weinig flexibiliteit        | Meer flexibiliteit            | Meeste flexibiliteit                                     |
| Mogelijk geluid (woning)                             | Geen                        | Geen                          | Extra geluid in en rond woningen in geval van buitenunit |
| Afhankelijkheid van energieleverancier               | Eén (publiek) warmtebedrijf | Eén (publiek) warmtebedrijf   | Vrije keuze energiebedrijf                               |

### **Ruimte in en om de woning**

Voor de optie 'MT-net' is in principe alleen een afgifteset (inclusief warmtewisselaar en bemetering) nodig als extra apparaat. Deze kan doorgaans in de meterkast geplaatst worden. Een belangrijk aandachtspunt is echter de aansluiting van nieuwe leidingen op het bestaande cv-systeem en de warmtapwatervoorziening. Bij grondgebonden woningen betekent dit vaak dat nieuwe leidingen naar de bovenverdieping moeten worden aangelegd, omdat daar nu meestal de cv-ketel hangt.

Het ZLT-net en een individuele warmtepomp vereisen beide een binneneenheid (warmtepomp) en een opslagvat (boiler) voor warm tapwater in de woning. Ook hier moeten leidingen worden aangelegd tussen de afgifteset en de warmtepomp, of tussen de warmtepomp en de aansluitpunten van het cv-systeem, net als bij het MT-net.

Bij een individuele warmtepomp kan de leiding tussen de binnen- en buitenunit zowel binnendoor als buiten langs de gevel worden geleid. De buitenunit kan bij een grondgebonden woning in de tuin op de grond, aan de gevel of op een (af)dak worden geplaatst. Dit is vergelijkbaar met een split-airco, die ook uit een binnen- en buitenunit bestaat.

Voor gestapelde woningen is het vinden van ruimte voor de buitenunit complexer: de gevel is niet altijd geschikt, en daarom wordt vaak gekeken naar het gemeenschappelijke dak. Wat mogelijk is, verschilt per appartementengebouw en per VvE (Vereniging van Eigenaren), waardoor maatwerk nodig is. Ook is er extra aandacht nodig voor warmte-distributie naar het gebouw, vanaf een centrale technische ruimte in of direct bij het gebouw.

Voor gestapelde bouw in het bijzonder, vanwege doorgaans minder ruimte in en rondom de woning, geldt daarnaast dat er in de woning voldoende ruimte moet zijn voor zowel de binneneenheid als de tapwaterboiler van een ZLT-net of individuele warmtepomp. Om zo'n systeem passend te maken, zijn maatwerkoplossingen beschikbaar, bijvoorbeeld verschillende kleinere voorraadvaten in plaats van één centrale.

### **Ruimte in de buurt**

Alle scenario's vereisen fysieke aanpassingen in de buurt, zowel boven- als ondergronds. Voor de warmtenetten moet er een transport- en distributienetwerk worden aangelegd – dat zijn buizen in de grond, die warm water naar woningen brengen. Bij een ZLT-net zijn deze leidingen flexibeler en ze bevatten geen heet water, waardoor ze eenvoudiger en veiliger aan te leggen en te onderhouden zijn dan leidingen van een MT-net. Bovengronds zijn warmteoverdracht- en distributiestations nodig, in afmeting vergelijkbaar met 'elektriciteitshuisjes' (middenspanningsruimtes, MSR's). Vanuit de leidingen in de straat moet per woning of appartementengebouw een aftakking worden gemaakt naar de afleverzet, meestal onder een stuk eigen grond door, zoals de voortuin of oprit. Dit is vergelijkbaar met hoe de gasaansluiting vanaf de straatkant naar de woning gaat.

In alle drie de opties zijn extra elektriciteitshuisjes nodig. Voor een ZLT-net en individuele warmtepompen zijn dit er meer, omdat er bij deze opties meer elektriciteit nodig is in de woningen (zie ook 'Impact op het laagspanningsnet').

Netto betekent dit dat de aanvullende warmte-infrastructuur niet alleen ondergronds, maar ook bovengronds een ruimtelijke impact op de buurt zal hebben. In dit onderzoek is nog niet gekeken naar de mogelijkheden voor plaatsing hiervan; dit hangt sterk af van het ontwerp van een eventueel warmtenet en de planning van de netbeheerder. Wel is duidelijk dat deze bovengrondse infrastructuur moet concurreren met andere functies in de openbare ruimte, zoals parkeerplaatsen, perken, groenstroken, etc. Zie Paragraaf 4.4 voor nadere toelichting.

### **Effect op groen en bomen**

Voor de aanleg van de leidingen van de collectieve warmtenetten zijn brede leiding- en werksleuven nodig, vooral bij een MT-net. Dit betekent dat er in de wegen en straten veel ruimte nodig is aan weerszijden van de uiteindelijke leidingen. Bomen hebben in de ondergrond veel ruimte nodig. Daar kan niet gegraven worden zonder hun wortelstelsel onherstelbaar te beschadigen. Het verwijderen of verplaatsen van met name grotere bomen is kostbaar en niet wenselijk. Gezien de gemeentelijke afspraken over minimaal behoud van bomen en groen vormt de aanwezigheid van bomen een beperking voor de plekken waar voldoende ruimte overblijft om warmtenetleidingen te leggen. Zie Bijlage A.1.3 en A.1.5 voor een verdiepende toelichting.

Voor het verzwaren van het elektriciteitsnet zijn vaak minder ingrijpende graafwerkzaamheden nodig. Alleen op knoop- en knelpunten kan er een ondergronds ruimtelijk conflict ontstaan. Verzwaring van het elektriciteitsnet zal ook bij het aanhouden van de huidige situatie met hr-ketels nodig zijn. De impact hiervan is echter relatief beperkt vergeleken met warmtenetten; daarom krijgt de individuele warmtepomp een score van 0.

### **Mogelijkheid voor koeling (afgezien van losse airco's)**

Een MT-net levert geen koeling. Bij een ZLT-net kan koeling wel onderdeel zijn van het aanbod; daar gaan we in deze vergelijking van uit. Een individuele warmtepomp kan in veel gevallen ook voor koeling zorgen. Woningeigenaren zullen moeten nagaan of de warmtepomp van hun keuze hiervoor geschikt is. Wel moet dan ook het afgiftesysteem in de woning daarop zijn ingericht of worden aangepast.

Vanwege klimaatverandering is het waarschijnlijk dat er de komende jaren steeds meer en langere periodes zijn waarin behoefte kan zijn aan koeling.

### **Impact op het laagspanningsnet**

De warmte die nodig is om de woning en het warm tapwater te verwarmen, wordt bij de opties met warmtepomp in de woning (zowel bij ZLT-net als bij individuele warmtepomp) in de woning elektrisch omgezet vanuit het ZLT-net of vanuit de buitenlucht. Hoewel dit heel efficiënt gebeurt, is er in de meeste gevallen een grotere elektriciteitsvoorziening nodig in de woning. Met name het wekelijks verwarmen van het warm tapwater boven de 55°C in verband met legionellapreventie veroorzaakt een tijdelijke piek in verbruik op woningniveau. In de praktijk kan de gelijktijdigheid hiervan door sturing en instelling (sterk) worden beperkt.

In alle scenario's stijgt het gelijktijdige elektriciteitsverbruik door de overstap op elektrisch koken. Daarnaast neemt de vraag toe doordat steeds meer elektrische voertuigen thuis of in de buurt worden opgeladen. Het huidige elektriciteitsnet is daar niet op berekend. De netbeheerder houdt in principe rekening met al deze ontwikkelingen en er zal in elk geval een verzwaring van het elektriciteitsnet nodig zijn in de buurt.

In deze vergelijking tussen de opties zal het MT-net de minste aanvullende impact hebben op het laagspanningsnet waarop de woningen zijn aangesloten. Voor elke straat zal in overleg met de netbeheerder moeten worden bepaald waar en in welke situatie er wel of geen netverzwaring nodig is, en wat de onderlinge afhankelijkheid is in het tijdspad. Bij het MT-net verschuift een deel van de elektriciteitsvraag van woningniveau naar collectieve installaties die zijn aangesloten op het midden- of hoogspanningsniveau. Hier neemt de elektriciteitsvraag dan ook toe. De impact op het laagspanningsniveau is dus beperkt, maar op het midden- en/of hoogspanningsniveau is er wel degelijk impact op het elektriciteitsnet.

In de gemeente Montfoort wordt momenteel aan een nieuw onderstation gewerkt waar ook de gemeente Woerden mee bediend zal worden. Dit is onderdeel van gecoördineerde inspanningen van hoogspanningsbeheerder TenneT en regionaal netbeheerder Stedin tot en met 2035 in de provincie Utrecht. De verwachting is dat netcongestie vanaf dat moment verholpen is.

### **Flexibiliteit en snelheid van aanleg**

Dit criterium staat voor het stapsgewijs kunnen aanleggen en aansluiten van woningen en andere gebouwen op een warmtenet. Dit criterium maakt vooral onderscheid tussen het MT-net en het ZLT-net. Vanwege de lage temperaturen en de flexibelere buizen die voor een ZLT-net gebruikt worden, is het makkelijker om woningen, gebouwen of straten ook op een later moment aan te sluiten. Deze flexibiliteit heeft als voordeel dat na verloop van tijd meer aansluitingen gerealiseerd kunnen worden en daarmee de kosten over meerdere gebruikers kunnen worden verdeeld.

Bij een MT-net is dat veel lastiger: dit type netwerk moet in één keer worden aangelegd. Achteraf uitbreiden, bijvoorbeeld wanneer een woning zich enkele jaren later alsnog op het MT-net zou willen aansluiten, vraagt ingrijpende werkzaamheden in de straat.

De individuele warmtepomp staat los van het warmtenet en is daarmee niet afhankelijk van de aanleg van een apart warmtenet. De belangrijkste drempels voor woningeigenaren zijn de beschikbaarheid van installateurs en de doorlooptijd van de aanvraag voor een passende elektriciteitsaansluiting.

### **Mogelijke geluidsbelasting (woning)**

Voor dit criterium is enkel gekeken naar het feit dat de MT- en de ZLT-netten geen buitenunit nodig hebben, in tegenstelling tot individuele warmtepompen. Dat betekent echter niet dat alle buitenunits van buitenluchtwarmtepompen geluidsoverlast veroorzaken; dat hangt onder andere af van het type, de dimensionering, de plaatsing en eventuele akoestische maatregelen. Of het geluid buiten of binnen als storend wordt ervaren, is ook niet van tevoren te zeggen. Het binnendeel van een warmtepomp produceert meestal net zo veel geluid als een energiezuinige koelkast. Ook kan het zijn dat bij lagetemperatuurafgifte door bestaande leidingen (die qua diameter op hogere temperaturen zijn afgesteld) de stroomsnelheid (debiet) van het leidingwater toeneemt, waardoor dit tijdens het rondpompen van het water een ander geluid in huis kan geven dan voorheen.

Voor alle onderdelen van een warmtenet én voor buitenunits van warmtepompen zijn er richtlijnen over maximale geluidsbelasting. Zeker bij de individuele warmtepompen zullen er in de praktijk veel verschillende merken, typen en uitvoeringen door de buurt heen geïnstalleerd worden, wat controle hierop lastiger maakt.

Daarnaast is het mogelijk dat ook bij een MT-net alsnog relatief veel mensen een airco met buitenunit plaatsen voor koeling, omdat koeling niet vanuit het MT-net verzorgd kan worden. In alle warmtenetscenario's gaan we ervan uit dat 20% van de bewoners niet aansluit op het warmtenet. Zij nemen dan een eigen individuele warmtepomp met buitenunit. Het aantal mensen dat individueel voor een 'stille' optie zal kiezen, zoals PVT of een bodemwarmtepomp, is waarschijnlijk laag, vanwege de hogere kosten en complexiteit van de installatie.

### **Afhankelijkheid van energieleverancier**

Voor warmte vanuit een MT- of ZLT-net zijn bewoners afhankelijk van een warmtebedrijf dat voor hun gebied wordt aangewezen. Anders dan bij gas- en elektriciteitsleveranciers is er bij warmtenetten geen keuzevrijheid tussen aanbieders. De tarieven worden wel gecontroleerd door de Autoriteit Consument en Markt (ACM), maar er is geen marktconcurrentie. In alle gevallen zal een bewoner naast eventuele warmtelevering ook een elektriciteitsleverancier nodig hebben.

## 1.4 Algemene aanbevelingen

Deze verkenning is vooral vanuit technisch oogpunt opgesteld. De uiteindelijke afweging van de voor- en nadelen van de verschillende scenario's moet in de vervolgstappen van de gemeente – samen met de betrokken bewoners – leiden tot een gedragen toekomstbeeld voor een aardgasvrij Molenvliet.

In elk scenario is afstemming met netbeheerder Stedin belangrijk. Zij kunnen aangeven welke oplossing in welk deel van Molenvliet mogelijk is en wat daarbij realistische tijdpaden zijn.

Als één van de warmtenetscenario's als voorkeursoptie overblijft, zal een meer gedetailleerde berekening van de kosten gemaakt moeten worden. Daarbij moet rekening worden gehouden met de onderwerpen die wij in deze verkenning hebben benoemd of alleen globaal hebben kunnen onderzoeken, maar die wel bepalend zijn voor het slagen van een warmtenet, zoals: leidingtracé uitwerken, vervangen en verleggen van bestaande kabels en leidingen, combinatie met andere werkzaamheden (riolering, ophogen, bomen verplaatsen/vervangen).

De precieze impact van de warmteonttrekking aan de aquathermiebronnen (rivierwater en afvalwater) en de warmte-koudeopslag (wko) moet onderzocht worden. Er zijn beperkingen aan het temperatuurverschil dat uit oppervlaktewater gewonnen mag worden, om het leven in het water niet te veel te verstoren. Voor de wko in dit gebied is aandacht voor het samenspel met de drinkwaterwinning ten noorden van Woerden nodig, omdat de locatie voor wko zich binnen het bezinkingsgebied daarvan bevindt.

Voor transport van (MT-) warmte in de ondergrond via leidingen moet bovendien rekening gehouden worden met voldoende afstand en isolatie tussen de warmteleidingen en de drinkwaterleidingen. Om de ontwikkeling van ziektekiemen tegen te gaan, mag drinkwater niet te warm worden.

Ruimte en planning in de ondergrond: afhankelijk van in welke buurt en in welke straten een warmtenet wenselijk zou zijn, moet een tracé worden uitgewerkt, zodat duidelijk wordt welke belemmeringen er zijn en welke afwegingen nodig zijn om deze te kunnen oplossen.

Het alternatief voor een collectief, grootschalig warmtenet is de individuele warmtepomp, zowel als scenario voor heel Molenvliet, als het alternatief binnen een eventueel warmtenet. De weg hiernaartoe kan pragmatisch ingevuld worden door all-electric-ready hybride warmtepompen te gebruiken, die op een later moment als volledig elektrisch ingezet kunnen worden. Om te voorkomen dat woningeigenaren zelf alles moeten uitzoeken en organiseren, adviseren wij om een gezamenlijke inkoop of aanbesteding van een 'all-inclusive' oplossing te onderzoeken. Dit kan voor inkoopvoordeel en voor een eenduidige (visuele) aanpak in de buurt zorgen. Bijkomend voordeel is dat bewoners een pakket

aangeboden kunnen krijgen, zodat ze niet zelf alles hoeven uitzoeken of hoeven te financieren.

In alle scenario's zal de transitie naar aardgasvrij zichtbaar en/of hoorbaar zijn. Bij de uitvoering is het belangrijk dat ingrepen in de openbare ruimte en aan het uiterlijk van gebouwen zo veel mogelijk worden geminimaliseerd om 'verrommeling' te voorkomen. Dit is belangrijk om draagvlak onder bewoners en leefbaarheid van de wijk te waarborgen.

Tussen de collectieve warmtenetten en de volledig individuele oplossing bestaat ook een tussenvorm: een kleinschalig collectief warmtenet, waarbij bewoners van bijvoorbeeld een straat of een appartementencomplex een kleinschalig, lokaal warmtenet (laten) aanleggen. Het is de moeite waard om deze optie ook te verkennen, eventueel samen met lokale energiecoöperaties.

Een belangrijk doel van 'Molenvliet aardgasvrij' is het verminderen van CO<sub>2</sub>-uitstoot. Tegelijkertijd hebben alle materialen, renovaties en bouwactiviteiten die nodig zijn om de wijk aardgasvrij te maken zelf ook een milieu- en CO<sub>2</sub>-impact. In de vervolgstappen, en vooral bij het uitwerken van een milieueffectrapportage (MER), moet deze impact daarom ook in beeld gebracht worden. Dit is een interessante vraag voor een vervolgonderzoek.

# 2 Inventarisatie van het gebied, gebouwen en warmtevraag

In dit hoofdstuk beschrijven we hoe Molenvliet is opgebouwd en de kenmerken van de woningen die centraal staan in deze verkenning. We geven een overzicht van het woningbestand, de eigendomsverhoudingen en de aanwezige energielabels, en we bepalen de huidige warmtevraag van de wijk. Ook lichten we toe welke representatieve voorbeeldwoningen zijn geselecteerd voor de technische en economische analyse. Tot slot onderzoeken we de beschikbare duurzame warmtebronnen en in hoeverre deze kunnen voorzien in de warmtevraag van Molenvliet, zowel binnen een MT- als ZLT-scenario.

## 2.1 Beschrijving Molenvliet

In Molenvliet staan ongeveer 3.800 woningen, voornamelijk grondgebonden eengezinswoningen en enkele appartementengebouwen. Er zijn 130 gebouwen met een andere functie (utiliteit), zoals winkels, horeca en scholen. Deze utiliteitsgebouwen vallen buiten de scope van deze verkenning en worden verondersteld mee te gaan in het scenario dat uiteindelijk voor de buurten gekozen wordt.

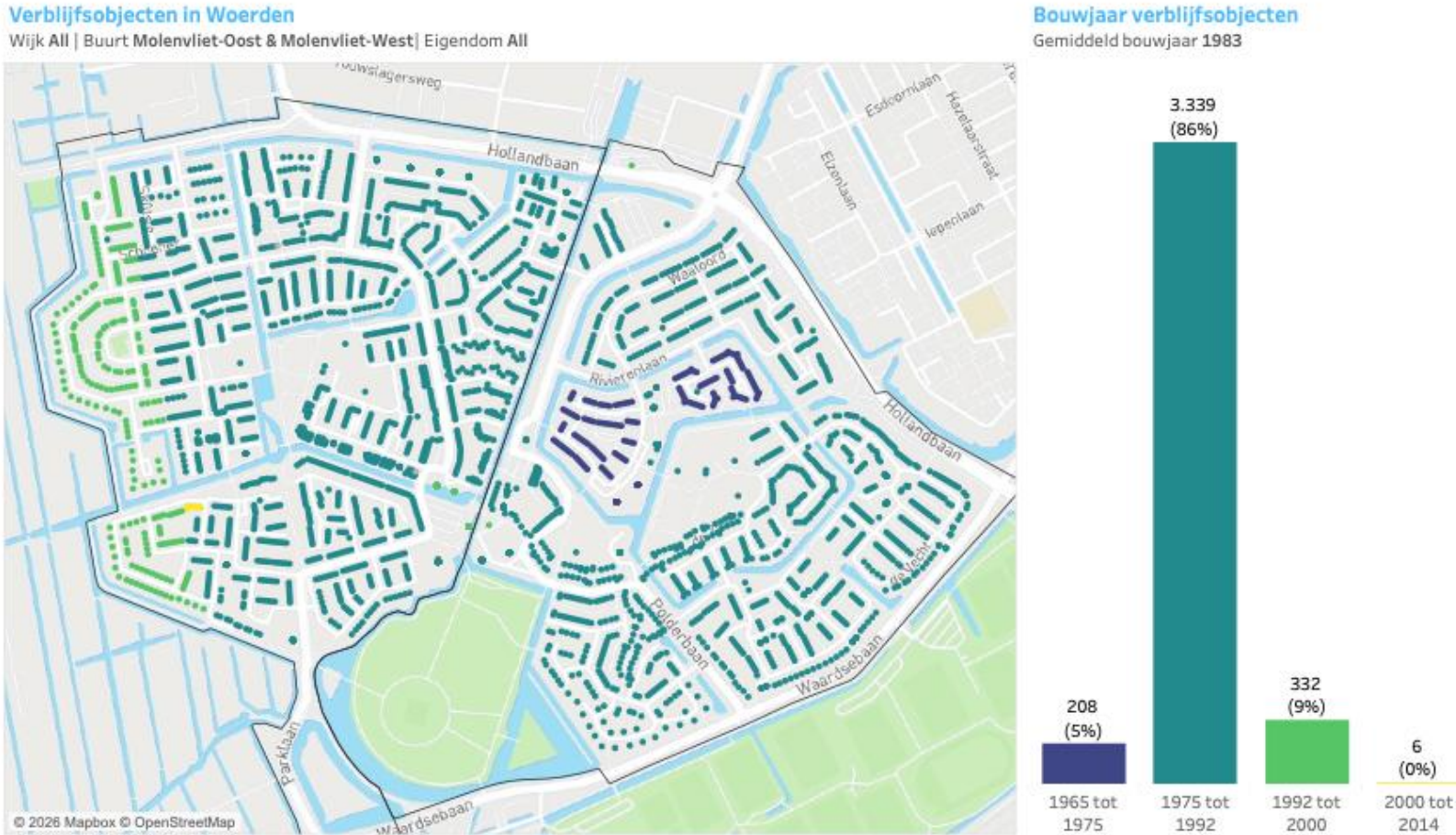
In Figuur 4 is te zien hoe de wijk Molenvliet is opgebouwd. De wijk bestaat uit twee buurten: Molenvliet-West en Molenvliet-Oost. De woningen zijn gebouwd tussen de jaren 1974 en 1994. In Molenvliet-Oost zijn de meeste woningen uit de jaren '70, met enkele straten uit begin jaren '80. Molenvliet-West is later gebouwd, met veel woningen uit eind jaren '80 en begin jaren '90.

### 2.1.1 Type gebouwen

In de wijk staan voornamelijk woningen (zie Figuur 5). Daarnaast is er een winkelcentrum, zijn er meerdere scholen en gymzalen en een kerkgebouw in het noorden. Ten noorden van Molenvliet ligt een groot bedrijventerrein: Barwoutswaarder. Een groot deel van de woningen is in particulier bezit, met huurwoningen geclusterd in enkele straten in het noorden en centraal in Molenvliet-Oost (zie Figuur 6). Van sommige woningen is de eigendomsstatus onbekend.

In de wijk staan voornamelijk koopwoningen: ongeveer 2.300. Er is één woningcorporatie actief in Molenvliet: Cazas Wonen, die ruim 1.150 woningen in bezit heeft in de wijk. Daarnaast zijn er nog bijna 350 woningen in bezit van particuliere verhuurders.

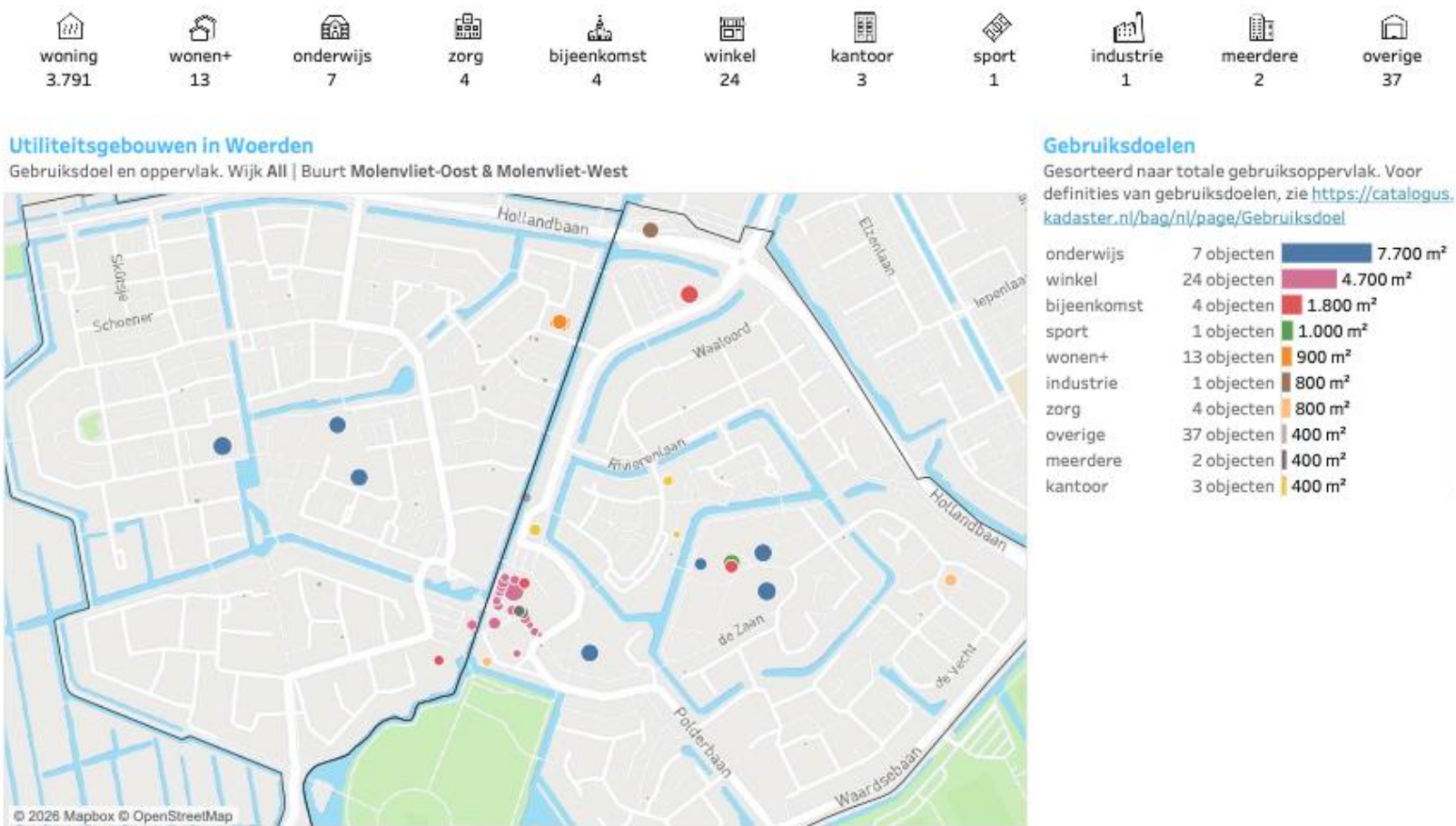
Figuur 4 – Kaart van Molenvliet met de verschillende bouwjaarklassen



Bron: Visie op Energie (MSG Sustainable Strategies, 2026) gebaseerd op de Basisadministratie Adressen en Gebouwen (BAG).



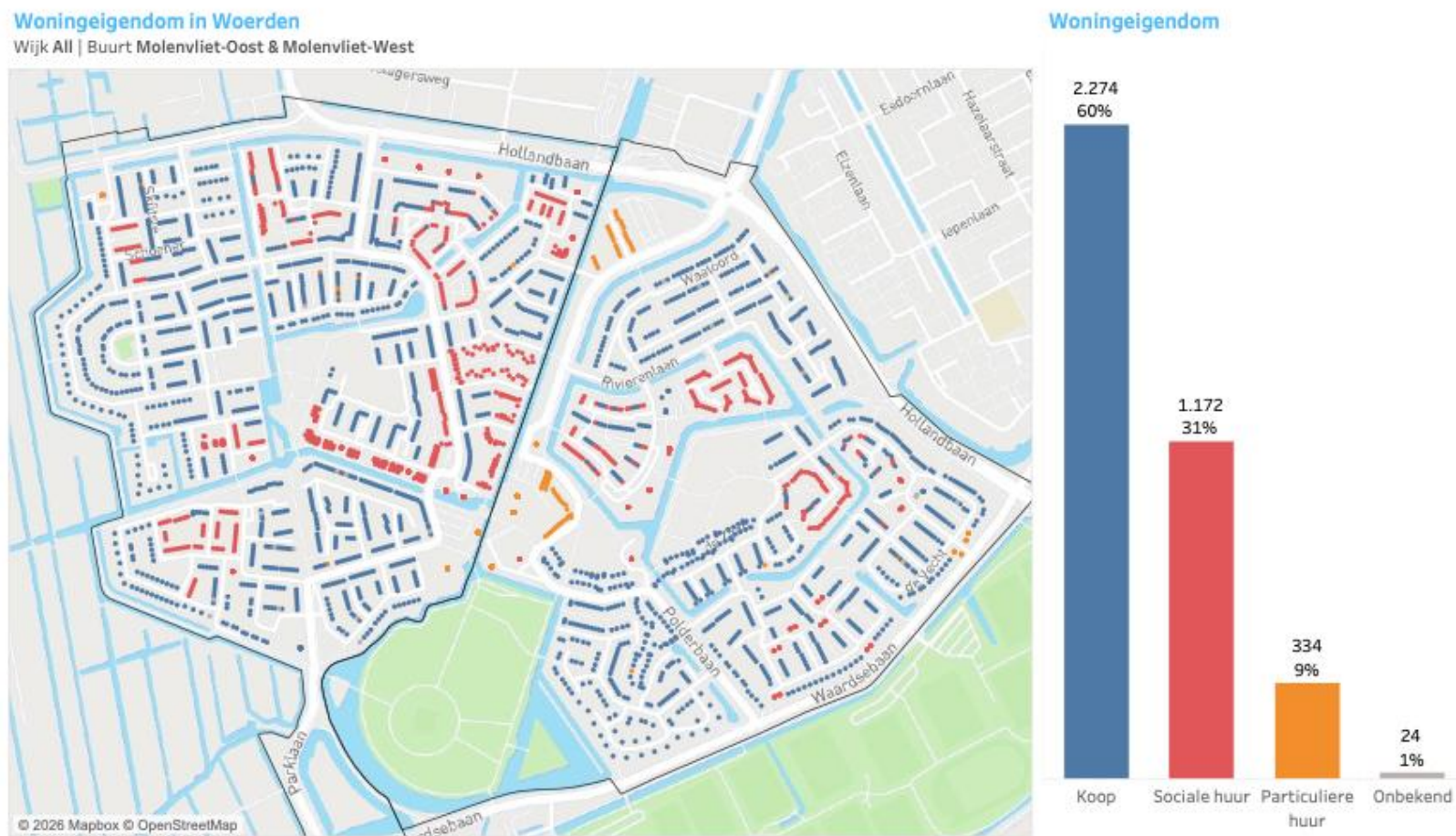
Figuur 5 – Kaart van Molenvliet met de aanwezige utiliteitsgebouwen



Bron: Visie op Energie (MSG Sustainable Strategies, 2026) op basis van de BAG en IBIS Bedrijventerreinen.



Figuur 6 – Kaart van Molenvliet met de eigendomssituatie van woningen



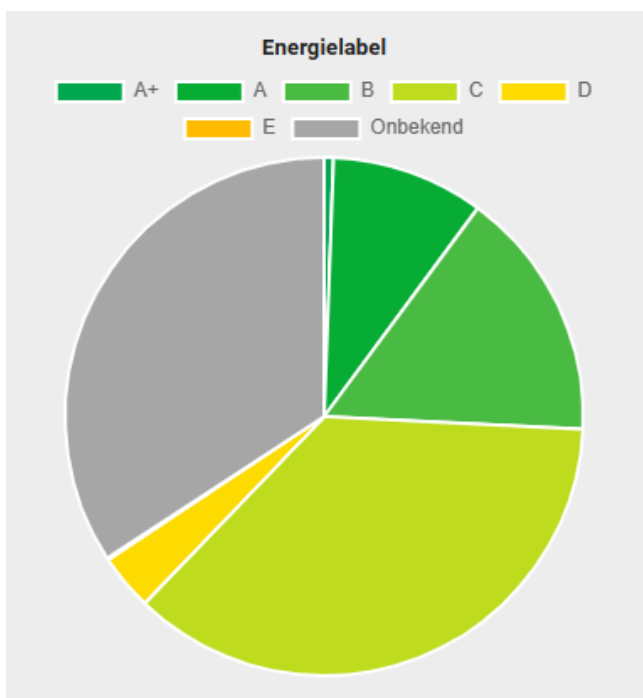
Bron: Visie op Energie (MSG Sustainable Strategies, 2026) op basis van de BAG en brondata Hestia (PBL, 2023).



## 2.1.2 Energielabels en energieverbruik

Van de woningen in Molenvliet waarvan een energielabel bekend is, heeft het merendeel een label C of beter (zie Figuur 7). In deze analyse kijken we specifiek naar het zogenaamde ‘schillabel’: het energielabel van de woningschil waarin voornamelijk de kwaliteit van installatie en isolatie naar voren komt. Dit past beter bij de strekking van dit onderzoek dan het volledige energielabel, omdat bijvoorbeeld zonnepanelen het totale label één of soms meerdere stappen kunnen verbeteren, zonder dat de schil zelf verandert.

Figuur 7 – Cirkeldiagram van voorkomende energielabels in Molenvliet



Bron: Uit de CEKER-software, gebaseerd op Kadaster (2025).

Gezien de dominante bouwjaarklassen in de wijk, verwachten we dat de energetische staat van de woningen die nu nog geen label hebben, vergelijkbaar is met die van woningen waarvan het label wel bekend is.

Op de bijbehorende kaart in Figuur 8 is te zien dat vooral de woningen in het uiterste westen – het meest recente deel van de wijk – een Label A hebben. Daarnaast zijn op sommige plekken, zoals in het oudste deel van de wijk (Oost, centraal) en bij flats in het zuiden van de wijk, ook energielabels in de hoogste categorie te zien (donkergroen). Dit kan het resultaat zijn na bijvoorbeeld renovatie of toepassing van zonnepanelen (zon-pv); daar gaan we hier nu niet dieper op in. Slechts een handvol woningen in Molenvliet heeft een energielabel in de categorieën E, F of G.

Figuur 8 – Kaart van Molenvliet met de schillabels, indien bekend



Bron: Uit de CEKER-software, gebaseerd op Kadaster (2025) en (Rijksoverheid, lopend).

De totale warmtevraag in de wijk Molenvliet is op dit moment 140 TJ per jaar, voor zowel ruimteverwarming als warm tapwater. Dit is berekend op basis van de dataset 'Referentieverbruik warmte woningen' van (CE Delft, 2023).

### 2.1.3 Representatieve voorbeeldwoningen

Voor dit onderzoek verkennen we de technische en economische haalbaarheid van verschillende warmteoplossingen voor Molenvliet. Omdat het in deze fase niet zinvol is om voor elke woning individueel een eindoplossing te ontwerpen, hebben we een aantal representatieve woningen geselecteerd.

Bij een aantal van deze woningen hebben we een woningschouw uitgevoerd en met de woningeigenaren gesproken over wat de verschillende aardgasvrije verwarmingstechnieken voor hun woning zouden kunnen betekenen, en hoe zij zelf tegenover de warmte-transitie staan. De gegevens van deze woningen hebben we zo algemeen mogelijk verwerkt, zodat andere bewoners van Molenvliet een goed beeld kunnen vormen van wat een overstap naar een duurzame warmteoplossing ongeveer zou betekenen voor hun eigen woning.

Aspecten zoals het werkelijk energieverbruik of getroffen verduurzamingsmaatregelen nemen we niet mee in de behandeling van de mogelijkheden. Wanneer voor een specifieke woning al stappen zijn genomen, zoals het plaatsen van HR++-glas of andere isolatie, is dit uiteraard positief, maar voor dit onderzoek rekenen we met een gemiddelde uitgangssituatie die voor alle woningen toepasbaar blijft. Dit gemiddelde isolatieniveau van de woningen baseren we op de voorbeeldwoningen van RVO (RVO, 2023). Isolatiemaatregelen die in de praktijk al breed zijn uitgevoerd voor een bepaald woningtype en bouwjaar (zoals veel voorkomende glasisolatie, spouwmuurisolatie, of vloerisolatie) zijn in dit startniveau inbegrepen. Verschillen in leefstijl of gebruik van de woning zijn buiten beschouwing gelaten; we gaan uit van een gemiddelde bezetting en een gemiddeld gebruikspatroon.

Figuur 9 – Impressie van verschillende typen woningen en bouwstijlen in de wijk Molenvliet. De foto's geven een idee van representatieve woningtypen.



Voor elke techniek die we meenemen in het onderzoek, laten de voorbeeldwoningen zien wat er bij komt kijken om deze oplossing goed te laten functioneren. Zo krijgen bewoners met een vergelijkbare woning een beeld van wat de verschillende technieken betekenen en welke daarvan passen in en om hun eigen woning. De resultaten hiervan staan in Hoofdstuk 4.

## 2.2 Potentie van duurzame warmtebronnen

Een volledig overzicht van alle bronnen en hun status staat in Bijlage B.1. Hier gaan we verder met de bronnen die het meest kansrijk en voor de hand liggend lijken in deze verkenning.

De totale warmtevraag voor de aansluitingen die wij voor het warmtenet inschatten, bedraagt bij een MT-net 109 TJ per jaar. Bij een ZLT-net is de warmtevraag 67 TJ per jaar. Deze hoeveelheden zijn gebaseerd op de huidige warmtevraag zoals weergegeven in Tabel 47 in Bijlage D.1, maar dan nog gecorrigeerd voor reductie van warmtevraag door isolatie.

De belangrijkste beschikbare warmtebron is de RWZI, die volgens eerder warmtepotentieonderzoek tussen de 37 en 47 TJ warmte per jaar kan leveren, afhankelijk van het beschikbare debiet (Boschma, 2024). Uit oppervlaktewater van de Oude Rijn kan aanvullend nog 20 tot 30 TJ per jaar aan warmte worden gehaald. Bij elkaar opgeteld kunnen de RWZI en de Oude Rijn net niet genoeg warmte leveren voor Molenvliet-Oost én West bij een ZLT-net. Voor een MT-net ontbreekt nog een aanzienlijk deel van de benodigde energie. Om aan deze resterende warmtevraag te kunnen voldoen, vullen we deze aan met een centrale warmtepomp die de buitenlucht als bron heeft. Daarnaast is er bij het MT-net een aardgasgestookte back-upvoorziening nodig voor inzet tijdens onderhoud en bij noodgevallen. Voor 98% van de energievraag zullen de duurzame bronnen voldoende warmte leveren.

Voor het opwekken en transporteren van warmte (en koude) zijn investeringen, onderhoud en borging van leveringszekerheid nodig richting afnemers van de warmte. Hiervoor is een warmtebedrijf nodig. Dit is een bedrijf dat de kosten draagt en deze dekt via de inkomsten uit verkoop van warmte. Om het publieke belang van inwoners te garanderen, moet een warmtebedrijf volgens de wet voor meer dan 50% eigendom zijn van publieke partijen: de gemeente, de provincie en/of een warmtegemeenschap van inwoners. Het is ook mogelijk om samen te werken met een private partij, die dan voor minder dan 50% mede-eigenaar zal zijn.

# 3 Scenario's aardgasvrij Molenvliet

In dit hoofdstuk onderzoeken we de verschillende scenario's voor de verduurzaming van de warmtevoorziening in Molenvliet. Door meerdere mogelijkheden naast elkaar te leggen, ontstaat een goed beeld van de kansen en uitdagingen per scenario.

De scenario's onderscheiden zich voornamelijk op kosten. Zo zien we dat de ZLT-scenario's 40% meer totale kosten hebben dan de MT-netten tot en met 2050. De MT-net scenario's komen gemiddeld ongeveer even hoog uit als de referentiescenario's (all-electric).

Alle energieverbruik brengt een bepaalde CO<sub>2</sub>-uitstoot met zich mee. Dat komt door verbranding van aardgas of door opwek van elektriciteit die bestaat uit een mix van duurzaam, fossiel en kernenergie. Voor de verschillende scenario's hebben we de totale uitstoot voor heel Molenvliet uitgerekend voor het zichtjaar 2038. Daaruit blijkt dat alle drie de onderzochte opties, MT-net, ZLT-net en individueel all-electric, ongeveer een negende van de uitstoot van de huidige situatie (aardgas via hr-ketels) hebben.

## 3.1 Omschrijving scenario's

Het belangrijkste onderscheid tussen de scenario's is het wel of niet inzetten op een collectief warmtenet. Hier volgt eerst een opsomming van de scenario's, vervolgens bespreken we de belangrijkste overeenkomsten en verschillen.

Bij de referentiescenario's onderscheiden we twee mogelijke tijdspaden: één die dezelfde einddatum voor aardgasvrij heeft als de verschillende warmtenetscenario's (2038), waarbij de gemeente de overstap naar aardgasvrij stimuleert, en één waarbij de einddatum 2050 is, waarbij woningeigenaren op eigen tempo van het gas af gaan.

- Referentiescenario:
  - alle woningen een individuele warmtepomp t/m 2038;
  - alternatief: alle woningen een individuele warmtepomp t/m 2050.
- Warmtenetscenario's:
  - MT-net in de hele wijk;
  - MT-net in Molenvliet-Oost, overige woningen een individuele warmtepomp;
  - MT-net in Molenvliet-West, overige woningen een individuele warmtepomp;
  - ZLT-net in de hele wijk;
  - ZLT-net in Molenvliet-West, overige woningen een individuele warmtepomp;
  - ZLT-net in Molenvliet-Oost, overige woningen een individuele warmtepomp.

In de referentiescenario's gaan we ervan uit dat de gehele wijk Molenvliet uiteindelijk overstapt op individuele warmtepompen, via verschillende routes. Bij de warmtenet-scenario's gaat het om aansluiten van 80% van de woningen op het betreffende warmtenet in het bij het scenario behorende gebied. De overige 20% gaat over op een individuele all-electric warmtepomp.

Hieronder staan de overige aannames die zijn gedaan bij de scenario's, in aanvulling op de algemene aannames die genoemd zijn in Paragraaf 1.2.

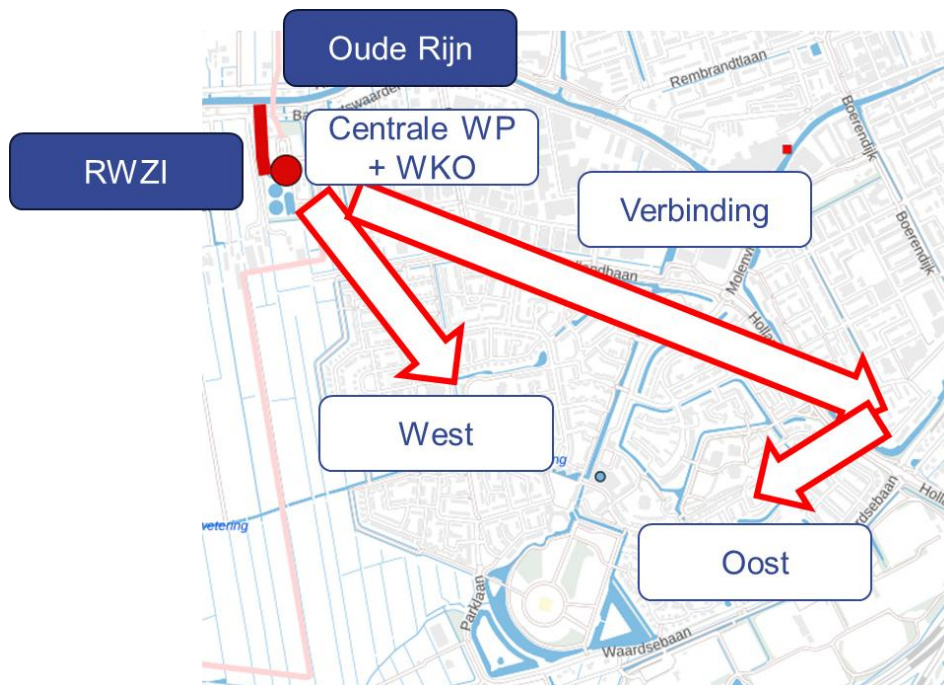
- De berekeningen zijn gedaan voor alle woningen in Molenvliet, dus niet alleen voor de voorbeeldwoningen.
  - Van deze woningen is de actuele stand van isolatie en gemiddeld energiegebruik ingeschat, zie Paragraaf 2.1.
- Woningen die naar een MT-net gaan, berekenen we niet met een apart isolatiepakket; woningen die naar een ZLT-net of een individuele all-electric warmtepomp gaan wel. Woningen worden dan naar de isolatiestandaard gebracht.
  - Voor alle woningen rekenen we met autonome verbetering van isolatie, waarmee we verwachten dat de komende jaren gemiddeld genomen steeds 0,35% warmtevraagreductie wordt behaald.
- Het MT-net en ZLT-net volgen hetzelfde tempo en groeien vanaf 2035 tot en met 2038 verder tot 80% deelname.
  - Het deel van de wijk dat niet meegaat op het collectieve warmtenet, volgt het referentiescenario (2038 aardgasvrij).
  - Na 2038 kunnen woningen niet op individuele basis op het dan bestaande MT-net worden aangesloten.
- In alle scenario's rekenen we met een overgangperiode voor hybride warmtepompen. Het gaat hierbij om all-electric-ready systemen. Deze zijn al voldoende gedimensioneerd voor een situatie waarin er geen gas meer mag worden gebruikt, maar ze voldoen nog niet aan de bij een all-electric behorende isolatiegraad, LT-afgifte en tapwatervoorziening.
  - Tussen 2029 en 2038 (tien jaar) rekenen we met een verschuiving van 10 procentpunt per jaar ten gunste van het aandeel volledig elektrische warmtepompen om geleidelijke ingroei van deze techniek in plaats van hybride warmtepompen te simuleren. Dit begint bij een verhouding van 90% hybride all-electric-ready versus 10% all-electric buitenluchtwarmtepompen.
  - In de overgangperiode 'aardgasvrij' (2035 t/m 2038), passend bij de uitvoering van het warmtenet, stappen alle woningen met een hybride warmtepomp (all-electric-ready) over op een volledig elektrische buitenlucht-warmtepomp. Bij deze overstap worden ook de benodigde isolatie, LT-afgifte en tapwaterinstallatie meegerekend.
  - Richting 2050 worden alle (all-electric-ready) hybride warmtepompen gelijkmatig omgezet naar all-electric buitenluchtwarmtepompen.

- We nemen aan dat de helft van de ongeveer 4% vrijstaande en twee-onder-één-kapwoningen in Molenvliet uiteindelijk een bodembronwarmtepomp zal nemen. Dit is gebaseerd op de aanname dat bewoners van deze woningen meer ruimte en middelen hebben voor een dergelijk systeem. De bodembronwarmtepomp staat model voor alle soorten efficiëntere warmtepompsystemen, waaronder PVT. De rest neemt een buitenluchtwarmtepomp.
  - In het alternatieve referentiescenario is de ingroei naar bodemwarmtepompen (en vergelijkbaar) naar de volledige hoeveelheid vrijstaande en 2-onder-1 kapwoningen, om te simuleren dat deze technieken dan toegankelijker zijn om te kiezen.
- In geval van een hr-ketel of MT-net nemen we aan dat er een losse airco geplaatst wordt wanneer de woning een energielabel B of beter heeft. Dit is niet hetzelfde als 'de isolatiestandaard', die passen we alleen toe voor de individuele all-electric warmtepomp en de ZLT-net opties. Voor deze laatstgenoemde opties is koeling beschikbaar vanuit het installatietype zelf.
- Hr-ketels zijn de restpost, zodat het totaal altijd tot 100% optelt.

### 3.1.1 Specificatie collectieve warmtenetten

Als bron voor de voorgestelde collectieve warmtenetten kijken we naar een combinatie van thermische energie uit afvalwater (TEA) uit het zuiveringsgemaal (RWZI) en thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) uit de rivier de Oude Rijn. De energie uit deze bronnen wordt in een centrale warmte-koudeopslag (wko) opgeslagen voor gelijkmatige afgifte over het jaar, aangevuld met een centrale elektrische warmtepomp die ook de buitenlucht als bron kan gebruiken. Zie Figuur 10 voor een indicatie van welke routes een warmtenet eventueel zou kunnen afleggen om de woningen te bereiken. Een exact tracé is niet onderzocht in deze verkenning.

Figuur 10 – Indicatie van verbinding van de bronnen met de twee buurten. In deze verkennende studie is nog geen tracé-ontwerp gemaakt.



Bron: (RVO, lopend).

In de landelijke Startanalyse (PBL, 2025) wordt het toekomstbeeld van groengas genoemd als uiteindelijke invulling van de behoefte van de gasketel, maar het is lang niet zeker of groengas voldoende beschikbaar en inzetbaar zal zijn. Centrale elektrische boilers zijn geen betaalbaar en duurzaam alternatief voor back-upvoorziening, en zeker niet voor piekvoorziening. Ze kunnen pas ingezet worden als de netcongestie op het hoog- en middenspanningsniveau is opgelost en er voldoende duurzame elektriciteit beschikbaar is. Tot die tijd is de stroom die een elektrische boiler nodig heeft op de momenten dat de elektramix het meest gebruikmaakt van fossiel een factor 3 tot 5 duurder dan eventuele duurzame gassen.

Om enige context te geven over het begrip ‘aardgasvrij’: een individuele elektrische warmtepomp is nu nog niet volledig aardgasvrij, omdat de Nederlandse elektriciteitsmix nog deels fossiel is. Zolang de aardgasaansluiting bij de gebouwen is vervangen door een warmtenet of volledig elektrisch is, spreken we van een aardgasvrije gebouwde omgeving.

**MT-net**

Het MT-net hebben we zo ver als realistisch is, aardgasvrij ingestoken. Het grootste deel van de warmte komt uit duurzame bronnen, namelijk TEA, TEO, aangevuld met de centrale buitenluchtwarmtepomp en over het jaar heen gebufferd in de wko. De piekvoorziening wordt ingevuld door bovengrondse opslag (Tank Thermal Energy Storage, TTES) van 4,5 MWh met water op de temperatuur van het warmtenet, dat dus direct ingezet kan

worden in geval van extra vraag. Deze piekvoorziening wordt gevoed door de buitenluchtwarmtepomp. In deze configuratie wordt de aardgasketel zo min mogelijk gebruikt, alleen in geval van nood en bij onderhoud. We rekenen met 2% inzet op energiebasis. Dit is een gangbare keuze voor warmtenetten op dit schaalniveau.

### **ZLT-net**

Het ZLT-net is volledig aardgasvrij. De bronnen zijn gelijk aan die van het MT-net. Er is minder inzet van de buitenluchtwarmtepomp nodig. Vanwege de lagere temperatuur in het netwerk is geen TTES-buffer nodig. De wko wordt voor een groot deel met warmte gevuld in de zomer, door zowel de omgevingsbronnen (TEO, TEA) als warmte die aan de woningen wordt onttrokken tijdens koeling.

### **Eerdere variant van de MT-net scenario's**

Naast het MT-net zoals hier omschreven, is in een eerder stadium van de verkenning ook een variant op de MT-netscenario's onderzocht, die naast de back-up ook in een groot deel van de piekvoorziening steunde op de aardgasketel, in totaal voor 15% van de energievraag. Bij deze variant hoorde een CO<sub>2</sub>-uitstoot van ruim 2 miljoen kg per jaar in 2038. Zie Paragraaf 3.2.2 voor een vergelijking met de andere scenario's, waarbij de warmtenetscenario's allemaal op ruim 1 miljoen kg CO<sub>2</sub> per jaar uitkomen.

De (bruto) onrendabele top (ORT) voor deze originele variant lag tussen de € 13.000 en € 18.000 per woning, inclusief btw. Deze waarden waren lager dan die voor de huidige MT-netscenario's die uitkomen op tussen de € 17.000 en € 22.000 per woning (bruto ORT, inclusief btw). Dit komt voornamelijk door het toevoegen van de buffer (TTES) en de andere verhouding van de bijdrage van elektriciteit versus aardgas voor de warmteproductie.

De eerdere variant hebben we opzijgezet om nu te komen tot een warmtenet dat zo min mogelijk aardgas gebruikt, binnen wat technisch en praktisch haalbaar is. Zowel de eerdere variant van het MT-net als de huidige zijn in 2050 niet aardgasvrij. Aardgasvrij zou kunnen worden gerealiseerd wanneer een alternatief gas tegen die tijd beschikbaar is voor het invullen van de piek- en/of back-upbehoefte. Dat is in deze studie niet meegenomen vanwege de hoge onzekerheid rondom de beschikbaarheid van groengas of klimaatneutraal waterstof voor dit doeleinde.

Pure elektrische verwarming door e-boilers lijkt op de voorzienbare termijn niet praktisch haalbaar. Tegen 2050 hangt het van de capaciteit op het midden- en hoogspanningsnet af of dit een eindoplossing kan zijn. Hier gaan wij in deze studie nu niet dieper op in.

### 3.1.2 Deelname warmtenet

We gaan ervan uit dat uiteindelijk 80% van de woningen deelneemt aan een warmtenet, waar van toepassing. Dit is een aanneme om een startpunt te kunnen bepalen voor het berekenen van de kosten per woning. Voor de woningen die in onze berekening niet deelnemen aan het warmtenet – de overige 20% –, gaan we uit van een individuele warmtepomp als aardgasvrije oplossing. Bij een ZLT-net is het overigens gemakkelijker om een straat of gebouw op een later moment alsnog aan te sluiten. Bij een MT-net moeten de aansluitingen wel vooraf bekend zijn en in één keer worden aangelegd.

Een deelname van 70-80% is gebruikelijk in businesscases voor warmtenetten (zie bijvoorbeeld: Energiecoöperatie Kort Haarlem Gouda (n.d.)). Hoe minder woningen meedoen, hoe hoger de kosten per aansluiting zullen zijn. In deze verkenning rekenen we met de bovengrens van het percentage. We bekijken wel het effect van een hoger of lager deelnamepercentage bij het berekenen van de gevoeligheid van de resultaten voor de businesscase (zie Bijlage D.2.1).

De algemene bereidheid van mensen om deel te nemen aan een mogelijk warmtenet volgt bijvoorbeeld uit een onderzoek door IPSOS en TNO onder bewoners van corporatiewoningen in Amsterdam. Hieruit blijkt dat 30% van de mensen van tevoren positief tegenover een warmtenet staat, 43% neutraal en de resterende 27% negatief ([Gemeente.nu, 2024](https://www.gemeente.nu/2024)).

Als het gaat om steun voor duurzame warmte in bredere zin, ligt dat volgens recent onderzoek tussen de 61 en 83% ('geen slecht idee'). Een belangrijke voorwaarde die mensen daarbij noemen, is dat de energiekosten niet hoger zouden mogen liggen dan nu (EBN, 2025).

### 3.1.3 Energiestromen bij de warmtenetten

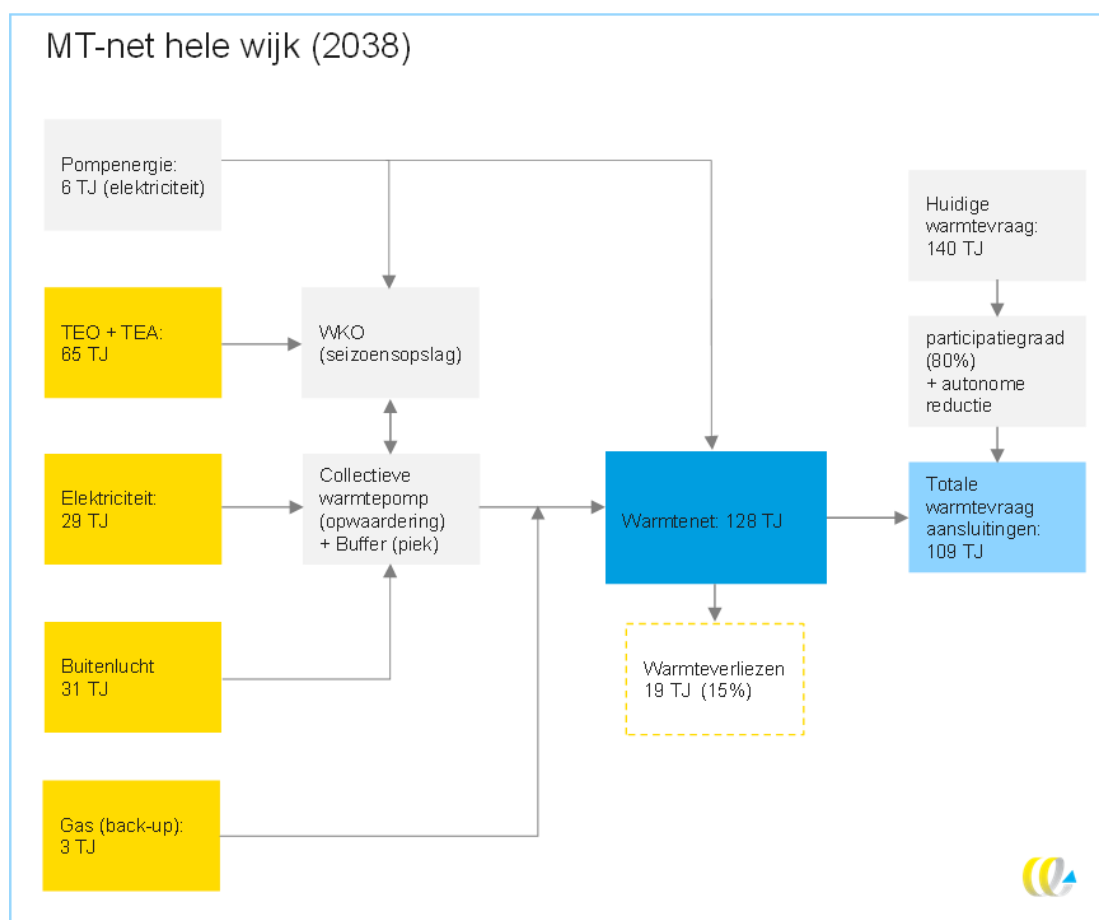
Figuur 11 geeft een illustratie van de energiestromen voor het MT-net-scenario in de hele wijk Molenvliet.

De blokken in de figuur geven de verschillende energiedragers aan bij de onderdelen. Links staat wat er in het systeem gaat; rechts in het lichtblauwe blok staat de behoefte. Het grijze blok 'pompennergie' is geen directe bron voor de warmtevraag. Het donkerblauwe blok 'warmtenet' gaat over de distributie van de warmte van de bron en opslag naar de woningen via transport en distributie.

De warmtevraag per jaar neemt af in de komende jaren. Dit is het gevolg van zelfstandige isolatiemaatregelen van 0,35% afname per jaar (zie ook bijlage D.1). In de figuur zijn de energiewaarden voor het jaar 2038 weergegeven. Dit is het jaar waarin volgens de doorrekening alle woningen zijn aangesloten en de warmtevraag dus het hoogst is.

De berekening is gebaseerd op warmtevraag. In het ZLT-scenario is er ook sprake van woningkoeling. Het koelen van woningen is een onderdeel van het regenereren van de wko voor thermische balans over de seizoenen heen. Deze energiestroom is niet apart weergegeven.

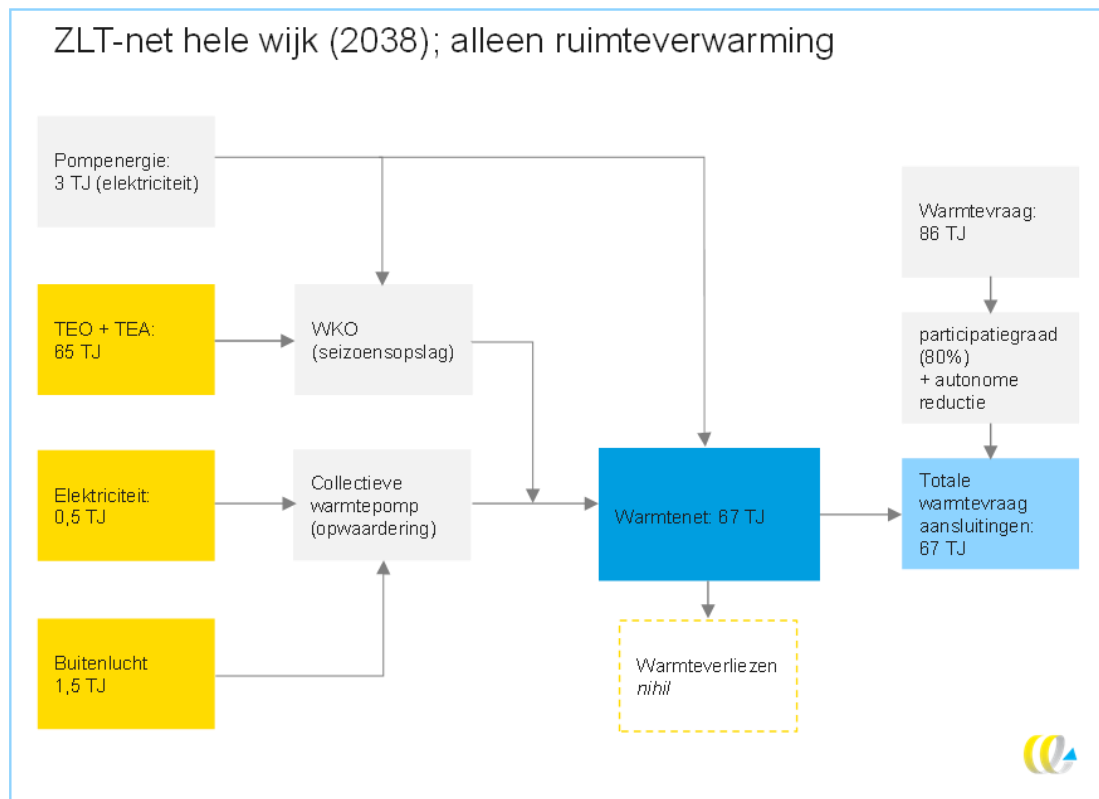
Figuur 11 – Energiestromen in het jaar 2038 voor het MT-netscenario in de hele wijk Molenvliet. Hier zijn de belangrijkste energiestromen weergegeven, met de nadruk op de levering van warmte. Voor de leesbaarheid zijn getallen zoveel mogelijk afgerond weergegeven.



Voor het ZLT-net is in Figuur 12 een eenzelfde schema opgenomen. De belangrijkste verschillen met het MT-net zijn:

- Een lagere warmtevraag, doordat woningen verder zijn geïsoleerd. De stap van 86 TJ warmtevraag naar 67 TJ komt voort uit het toepassen van de 80% participatiegraad én de autonome reductie.
- Geen back-upvoorziening op gas; een ZLT-net werkt volledig elektrisch via de bronnen en de warmtepompen in de woning.
- Nauwelijks warmteverlies in de leidingen van het warmtenet. Bij een MT-net is dit verlies 15%; bij een ZLT-net is dit nihil.

Figuur 12 – Energiestromen in het jaar 2038 voor het scenario ZLT-net in de hele wijk Molenvliet. Voor de leesbaarheid zijn getallen zoveel mogelijk afgerond weergegeven.



De scenario's voor de twee temperatuurniveaus (MT- en ZLT-net) zijn afzonderlijk onderzocht. Er is dus geen scenario waarin beide temperatuurniveaus naast elkaar voorkomen.

### 3.1.4 Samenvatting businesscase warmtebedrijf

In Bijlage D verkennen we de optelsom van kosten en baten die horen bij een gezond warmtebedrijf, oftewel de *businesscase*, voor de verschillende scenario's met een warmtenet. Dit geeft inzicht in wat er nodig is voor een financieel gezond warmtebedrijf.

Uit die analyse komt het volgende beeld naar voren:

- Een ZLT-net vraagt een grotere investering dan een MT-net omdat het aanbieden van ZLT-warmte geen directe inkomsten per geleverde GJ mag opleveren voor een warmtebedrijf. Daarmee wordt de onrendabele top (ORT) hoger.
- Als slechts één van de twee buurten wordt aangesloten, zijn de kosten per woning in Molenvliet-Oost hoger dan in Molenvliet-West.
- Het (verwachte) aantal deelnemende woningen heeft de grootste invloed op de kosten per woning.

Aanpassingen in de woning zelf, zoals isolatie of een warmtepomp, zijn niet meegenomen in de berekening; deze worden in het volgende hoofdstuk behandeld.

## 3.2 Resultaten per scenario

### 3.2.1 Kosten en baten voor Molenvliet

We hebben de scenario's gelijkwaardig vergeleken door de investeringen en kosten de komende jaren te modelleren en de netto contante waarde (NCW) ervan te berekenen. Een lage NCW is binnen deze methodiek gunstig. Met deze berekening is een optimaal punt gezocht tussen detaillering en uitvoerbaarheid. Het omvat dus aannames die ook op een andere manier verdedigbaar zouden zijn, of onzeker blijven richting de toekomst. De onrendabele top (ORT) van de collectieve warmtenetsscenario's is apart weergegeven naast de andere bedragen. De ORT bestaat uit het deel van de kosten voor de aanleg van het warmtenet die overblijven nadat de inkomsten uit warmtelevering, vastrecht en subsidie zijn verrekend met de totale investering. Voor verdere details, zie Bijlage D.2 en Bijlage E.

In Tabel 4 geven we verdisconteerde resultaten weer voor de verschillende scenario's, uitgerekend voor de wijk als geheel. Hieruit komt het beeld naar voren dat het alternatieve referentiescenario de laagste NCW heeft, gevolgd door het MT-netreferentiescenario en als hoogste waarde het ZLT-net. De collectieve MT- of ZLT-warmtenetten toepassen in Molenvliet-West betekent all-electric in Molenvliet-Oost en daar horen dan relatief meer kosten aan isolatie bij; en natuurlijk *vice versa* voor Molenvliet-West.

Verder lezen we in Tabel 4 dat de netto contante waarde (NCW) voor de kosten van de ZLT-netscenario's hoger ligt dan voor de MT-netscenario's. De kosten voor het MT-net in heel Molenvliet liggen lager dan voor het MT-net in de aparte buurten, omdat er dan meer woningen overblijven die een individuele aardgasvrije oplossing nodig hebben (warmtepomp + isolatie), dat dan duurder uitvalt. In het geval van ZLT is het beeld andersom: de hele wijk aansluiten is dan duurder dan de losse wijken. Dit komt doordat de kosten voor de maatregelen (warmtepomp + isolatie) voor de warmtenetwoningen en de niet-warmtenetwoningen in die scenario's dichter bij elkaar liggen. En omdat er voor het ZLT-net een hogere ORT nodig is. De hogere ORT bij het ZLT-net komt deels doordat er geen GJ-prijs gevraagd kan worden bij levering van warmte en koude aan de woningen op dit temperatuurniveau. Deze kosten moeten daarom via deze ORT terugkomen om het warmtebedrijf gezond te houden.

Voor zowel de MT-netscenario's als de ZLT-netscenario's geldt dat de aanlegkosten voor Molenvliet-West hoger liggen dan die van Molenvliet-Oost en dat heeft vooral met een langere transportleiding te maken; dat vertaalt zich ook in de ORT.

De individuele referentiescenario's scoren beide qua kosten lager dan de ZLT-scenario's. Het voordeel zit hem erin dat er geen warmtenet hoeft te worden aangelegd en dat verzwaren van het elektriciteitsnet niet direct aan deze woningen verrekend wordt, zoals dat wel bij de warmtenetinfrastructuur het geval is. Het is opvallend dat het alternatieve referentiescenario een lagere NCW heeft dan het in 2038 aardgasvrije referentiescenario. Hoewel er meer aardgas wordt gebruikt, telt het uitstellen van de investeringen in deze berekening – en de daarmee gepaarde verdiscontering van deze kosten – zwaarder mee voor het eindresultaat.

Tabel 4 – Financiële resultaten per scenario voor de hele wijk Molenvliet voor de verschillende onderdelen. De wel of niet gekleurde regels zijn om samenhang tussen de opeenvolgende scenario's aan te duiden.

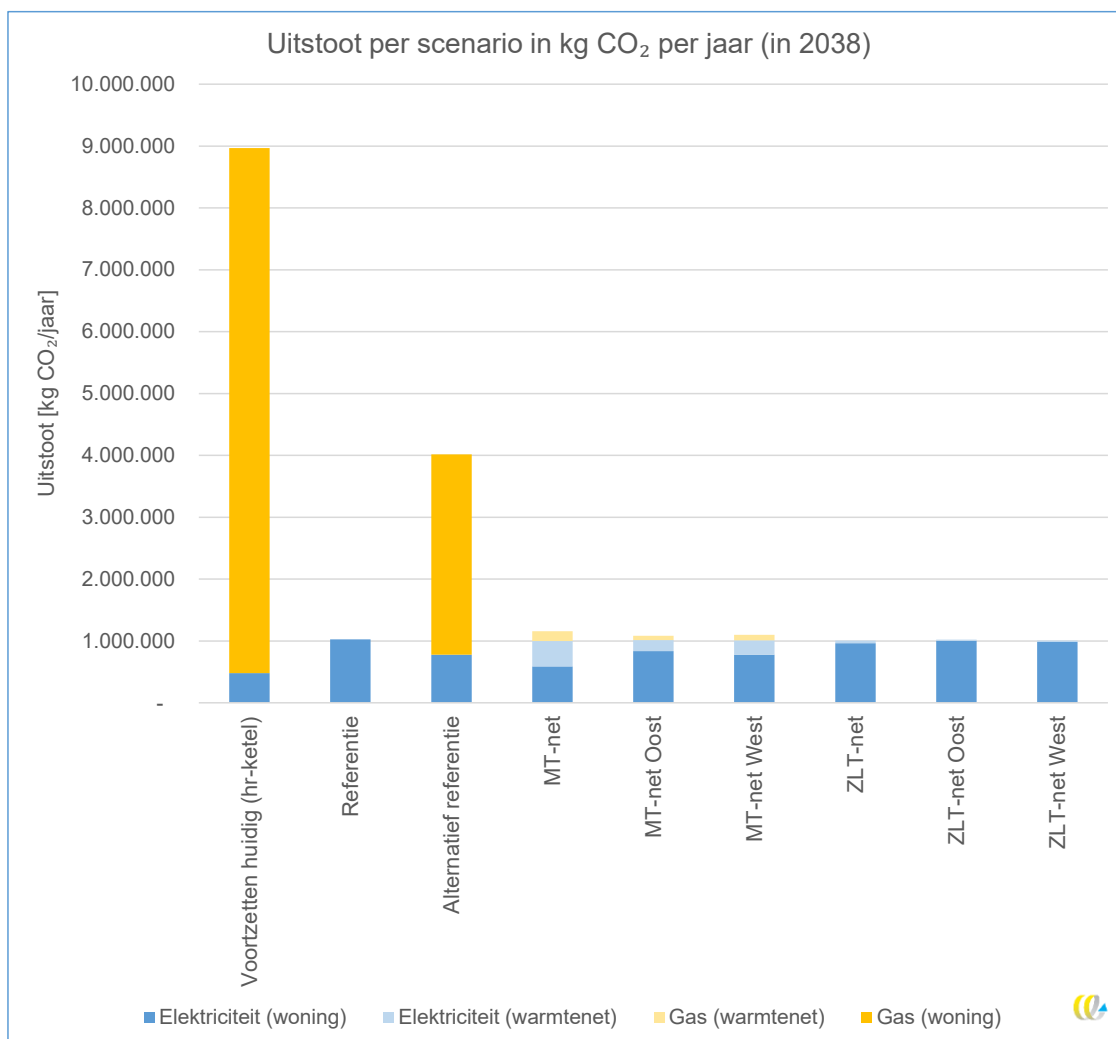
| Contante waarde van de kosten per scenario (miljoenen € incl. btw) | Investering | Onrendabele top (ORT) | Subsidie (ISDE) | Energie | Onderhoud | Totaal (NCW) |
|--|-------------|-----------------------|-----------------|---------|-----------|--------------|
| Referentiescenario (all-electric 2038)                             | € 160       | € 0                   | -€ 20           | € 119   | € 19      | € 277        |
| Alternatief referentiescenario (all-electric 2050)                 | € 128       | € 0                   | -€ 18           | € 122   | € 18      | € 250        |
| MT-net Molenvliet  | € 53        | € 41                  | -€ 12           | € 137   | € 10      | € 229        |
| MT-net Molenvliet-Oost   | € 112       | € 12                  | -€ 16           | € 126   | € 15      | € 248        |
| MT-net Molenvliet-West   | € 102       | € 27                  | -€ 15           | € 130   | € 14      | € 257        |
| ZLT-net Molenvliet   | € 172       | € 73                  | -€ 22           | € 128   | € 12      | € 364        |
| ZLT-net Molenvliet-Oost  | € 151       | € 23                  | -€ 21           | € 123   | € 20      | € 296        |
| ZLT-net Molenvliet-West  | € 146       | € 54                  | -€ 20           | € 125   | € 14      | € 319        |

### 3.2.2 CO<sub>2</sub>-uitstoot per scenario

Naast de kosten is het ook belangrijk om te kijken naar de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de verschillende scenario's. Hiervoor is het energieverbruik uit Tabel 12 gebruikt samen met de kentallen in Bijlage E. Dit zijn kentallen uit de Klimaat- en Energieverkenning (PBL, 2024) voor het zichtjaar 2038, gebaseerd op geëxtrapoleerde prognose.

Figuur 13 toont de resultaten van de scenario's voor alle woningen in de wijk, inclusief de bijdrage van de 20% woningen die kiezen voor een individuele elektrische warmtepomp (buitenlucht of bodembron). We bekijken het jaar 2038 omdat de scenario's in deze verkenning dan aardgasvrij zijn, afgezien van het alternatieve referentiescenario.

Figuur 13 – CO<sub>2</sub>-uitstoot per scenario voor woningen in heel Molenvliet in 2038



Uit de vergelijking op wijkniveau wordt duidelijk wat het verschil is tussen het handhaven van de huidige situatie met aardgasgestookte hr-ketels en de drie onderzochte alternatieven. Hoewel bij het MT-net nog CO<sub>2</sub>-emissies vrijkomen door het benodigde aardgas voor de back-upvoorziening, daalt de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot per jaar alsnog tot ongeveer een achtste van de huidige situatie. Het all-electric-referentiescenario of het ZLT-net scoren hieraan ongeveer gelijk, maar dan met andere verhoudingen van bijdragen aan het totaal. Het alternatieve referentiescenario heeft in 2038 nog een significant hoge uitstoot vanwege het deel aardgas (hybride en hr-ketel) dat nog in de wijk aanwezig is.

**Verskil in cumulatieve CO<sub>2</sub>-uitstoot tot en met 2050**

De scenario's volgen allemaal een ander pad. Het referentiescenario en het alternatieve referentiescenario kennen bovendien een verschillend tempo. Hierdoor is er vanaf heden (2026) tot en met 2050 een verschillende samenstelling in aardgas en elektriciteitsgebruik. Ook is er de verwachte daling van CO<sub>2</sub>-uitstoot voor aardgas en elektriciteit per kubieke



meter en kilowattuur, respectievelijk. Daarom is het waardevol om het effect van de scenario's op de totale, cumulatieve CO<sub>2</sub>-uitstoot over de hele periode tot en met 2050 in beeld te brengen. In Tabel 5 is te zien dat het uitstellen van 'aardgasvrij' betekent dat er in totaal tot en met 2050 31% meer CO<sub>2</sub> uitgestoten wordt door de woningen in Molenvliet dan wanneer aardgasvrij voor het referentiescenario op hetzelfde tempo als in de warmtenetscenario's wordt aangehouden. Alle scenario's laten een cumulatieve uitstoot van minstens ongeveer de helft zien ten opzichte van het aanhouden van de huidige verdeling van toestellen.

De ZLT-netscenario's gaan qua jaarlijkse uitstoot uiteindelijk naar een vergelijkbaar niveau als het referentiescenario, maar omdat het referentiescenario geleidelijk naar aardgasvrij gaat en ZLT-netscenario's later en in een kortere periode het aantal woningen bereikt, is de cumulatieve uitstoot van de ZLT-netscenario's wat hoger. De cumulatieve uitstoot van de twee verschillende warmtenetten komt ongeveer op hetzelfde totaal uit voor de verschillende buurten. Ook al is de energievraag van het MT-net hoger, de ingroeiperiode waarin in beide warmtenetten nog veel huidig aardgasgebruik is, weegt relatief zwaar mee en richting de laatste jaren zorgt de daling van de emissiefactor van elektriciteit ervoor dat het verschil in uitstoot tussen beide netten klein is.

Tabel 5 – Vergelijking van de scenario's in termen van cumulatieve CO<sub>2</sub>-uitstoot tot en met 2050

| Scenario   | Cumulatieve CO <sub>2</sub> -uitstoot (miljoen kg of kiloton) |
|--|---|
| <i>(Aanhouden huidige verdeling toestellen)</i>      | 218,4   |
| Referentiescenario (aardgasvrij in 2038)             | 89,3  |
| Alternatief referentiescenario (aardgasvrij in 2050) | 117,3   |
| MT Molenvliet  | 107,5   |
| MT Molenvliet-Oost                                   | 96,8  |
| MT Molenvliet-West                                   | 99,0  |
| ZLT Molenvliet                                       | 106,0   |
| ZLT Molenvliet-Oost                                  | 95,6  |
| ZLT Molenvliet-West                                  | 97,7  |

# 4 Gevolgen scenario's voor woningen en bewoners

Nieuwe manieren van verwarmen kunnen ingrijpend zijn. Dit zien we terug in de technieken waarvoor we de plek in de woning moeten vinden, en natuurlijk ook de bijbehorende kosten en baten. Deze kosten zijn een combinatie van de kosten voor het gereedmaken van de woning voor de nieuwe warmtevoorziening en eventuele aanvullende kosten voor het aanleggen van een warmtenet. Deze kosten worden verdeeld over de deelnemende woningen.

Bij een MT-net zijn in de meeste woningen maar weinig aanpassingen nodig. Wel moet de verdeling van warmte in de woning goed worden geregeld. Bij een ZLT-net is meer nodig: extra isolatie en ventilatie om met lagere temperaturen voldoende comfort te bieden. Daarnaast is, net als bij een individuele warmtepomp, een warmtepomp en tapwaterbuffervat in de woning nodig.

Voor een aantal woningen in Molenvliet hebben we op algemene basis doorgerekend wat dit betekent voor de kosten en baten ten opzichte van de huidige situatie.

Dit hoofdstuk beschrijft eerst wat de technieken op woningniveau inhouden. Vervolgens rekenen we de kosten en baten door van de verschillende technieken in de scenario's, op basis van woningen die tijdens dit project zijn bezocht en als representatief voorbeeld worden gezien voor Molenvliet. Aan deze voorbeeldberekeningen kunnen andere bewoners van Molenvliet hun eigen situatie spiegelen om een indruk te krijgen van wat dit voor hun eigen woning kan betekenen.

## 4.1 Schematische beschrijving impact woningaanpassing

Van een tiental woningen hebben we gegevens verzameld over de inrichting, de huidige energetische situatie en de mogelijkheden voor implementatie van de verschillende technieken. Acht woningen hebben we fysiek bezocht, waarbij we naast de technische aspecten ook de situatie en de visie van de bewoner hebben meegenomen. Bij vier woningen hebben de bewoners zelf gegevens verzameld en die met ons gedeeld voor dit onderzoek. Daarnaast hebben we twee woningen van een woningcorporatie bezocht: een hoekwoning en een klein appartement. Beide waren tijdens de bezichtiging in mutatiestatus, dus gestript (zonder aankleding en inrichting).

De resultaten van de woningschouw verwerken we anoniem in dit rapport en gebruiken we om aansprekende voorbeelden te bieden voor andere bewoners in Molenvliet.

Op hoofdlijnen onderscheiden we twee mogelijke technieken voor aardgasvrij verwarmen in Molenvliet: een warmtenet en een individuele, volledig elektrische warmtepomp. De hybride warmtepomp is een overgangstechniek die woningeigenaren wel kunnen toepassen, maar is geen onderdeel van het eindbeeld van deze verkenning.

## 4.1.1 Isolatie

Tijdens de woningschouw kwamen we veel woningen tegen zonder mechanische afzuiging (ventilatietype C). Dat betekent dat de woningen 'natuurlijk' geventileerd worden (ventilatietype A). Voor de laagtemperatuurwarmtetechnieken (ZLT-net en individuele warmtepomp) is isolatie naar de isolatiestandaard nodig, zodat de woning ook met lagere temperaturen comfortabel verwarmd kan blijven (RVO, 2021). Hierbij hebben we mechanische ventilatie (type C) als standaard aangenomen. Wanneer woningen beter geïsoleerd en kierdicht worden gemaakt, verandert namelijk de vochtbalans in de woning. Actieve mechanische ventilatie via de 'natte ruimtes' (keuken, douche, toilet) zorgt dan voor een gezond binnenklimaat en verkleint de kans op vocht en schimmel.

We gaan hier niet in op de details van isolatie, omdat die per woning zullen verschillen en afhankelijk zijn van wat er in de praktijk mogelijk en nodig is. Vaak betekent dit dat alle bouwdelen – ramen, dak, vloer, gevel – geïsoleerd moeten worden, als dat nog niet recent gebeurd is. Voor deze verkenning rekenen we met een gemiddelde warmtevraagreductie van 30% bij isolatie op het moment dat een woning voor een laagtemperatuurtechniek in aanmerking komt.

### De isolatiestandaard en streefwaarden

De standaard is een advies voor de isolatiegraad van een woning. Een woning verliest warmte via buitenmuren, vloer, dak, ramen en deuren. Als de woning goed geïsoleerd is, dan is het warmteverlies klein en kan de woning ook met duurzame laagtemperatuurbronnen worden verwarmd. Voorbeelden zijn verwarming met elektrische warmtepompen of met laagtemperatuurwarmtenetten op basis van aquathermie of geothermie.

De standaard staat per augustus 2021 op het energielabel en wordt uitgedrukt in kWh/m<sup>2</sup> netto warmtevraag over het totale gebruiksoppervlak. Deze is afhankelijk van de isolatiegraad en de compactheid van de woning.

Naast een standaard voor de gehele woning bestaan er ook streefwaarden voor afzonderlijke bouwdelen van een woning. Deze streefwaarden zijn bedoeld voor als één of enkele delen van een woning worden verduurzaamd.

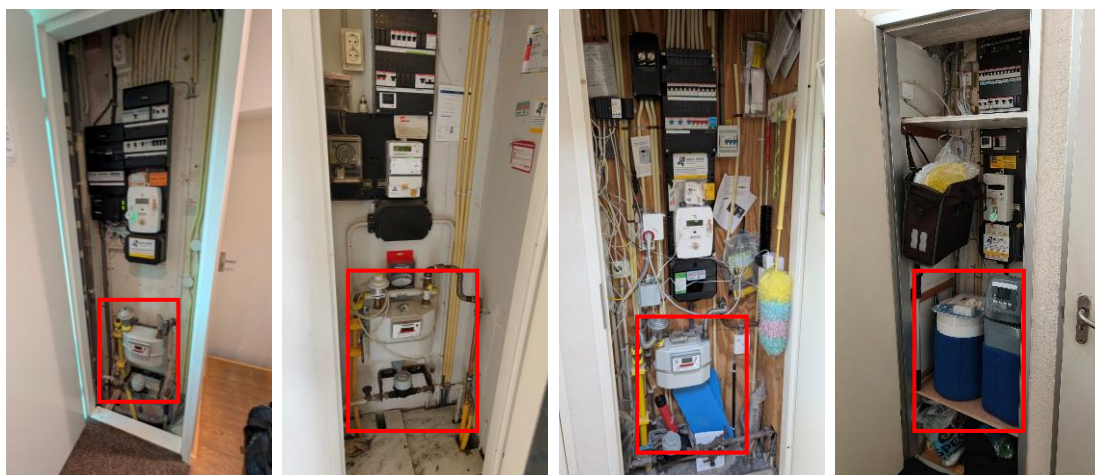
Ze geven aan wanneer een enkel bouwdeel (zoals dak, vloer of ramen) zeker 'toekomstbestendig' is. Het isoleren van een bouwdeel naar deze streefwaarde zorgt ervoor dat dit bouwdeel absoluut goed genoeg is geïsoleerd en bij aansluiting op een alternatieve warmtebron niet meer hoeft te worden aangepakt. Het doel is wel dat de woning voldoet aan de standaard. Daarvoor is het niet nodig alle streefwaarden te realiseren. Bron: (RVO, 2024b)

## 4.1.2 Meterkast

De aansluiting van een woning op energiedragers (elektriciteit, warmte of aardgas) gaat via de meterkast. In de meeste woningen is dit een kleine afgesloten ruimte bij de voordeur of in de hal, met daarin verbruiksmeters voor water, elektriciteit, aardgas en/of warmteafgifte. Bij elektriciteit bevindt zich aan de bovenkant vaak de groepenkast, van waaruit de elektriciteit verdeeld wordt. Ook de telecom- en wateraansluiting zijn vaak in deze kast aanwezig.

De belangrijkste wijziging in de meterkast bij de overstap naar aardgasvrij is het verwijderen van de aardgasaansluiting en -meter. Hierdoor ontstaat in veel gevallen voldoende ruimte om een afleverset voor warmte te plaatsen (formaat 40 x 60 cm), zie Figuur 14 en Figuur 15.

Figuur 14 – Voorbeelden van meterkasten uit de woningschouw. In het rode kader is de huidige gasmeter aangegeven. Rechts staat een meterkast van een woning die al aardgasvrij is en waar de ruimte momenteel wordt gebruikt voor een waterontharder.



Bron: CE Delft (foto's woningschouw).

Figuur 15 – Voorbeeld van een afleverset voor warmte in de meterkast



Bron: [Aansluiting op het warmtenet – Warmtenet Muiderberg](#)

Voor de meeste typen individuele warmtepompen is een aanpassing van de elektriciteitsaansluiting nodig. In vrijwel alle gevallen moeten één of meerdere groepen en leidingen naar de buiten- en/of binnenunit worden aangelegd. Daarnaast is voor elektrische backupverwarming een verzwaring van de aansluiting nodig (3-fasen, minimaal 3 x 25 A), met name om warm tapwater periodiek tot boven 55°C te kunnen verwarmen. Deze verwarming gebeurt in principe met standaard elektrische weerstandsverwarming en zorgt dus voor een korte, maar relatief hoge piek in de elektrische stroomvraag. De reden hiervoor is legionellapreventie.

Omdat bij het aardgasvrij maken van woningen ook overgestapt wordt op elektrisch koken (inductie), moet er in elk geval een geschikte groep en leiding worden aangelegd.

Aandachtspunt: om deze leidingen netjes weg te werken, is het belangrijk dat de kruipruimte goed bereikbaar is. Als er nu of in het verleden isolatiemateriaal in de kruipruimte wordt of is aangebracht, kan dit de aanleg van nieuwe leidingen bemoeilijken. Dat kan per woning verschillen en zal bij de uitvoering bekeken moeten worden.

### 4.1.3 Cv-installatie

In veel grondgebonden woningen zijn de cv-ketel en de bijbehorende verdeler naar de radiatoren en het warme tapwater (de afgifte) geplaatst op een bovengelegen verdieping. Wanneer een woning overstapt op een warmtenet, moet er daarom een nieuwe warmteleiding worden aangelegd tussen de afleverset in de meterkast en de plek waar nu de cv-ketel hangt. Om dit netjes te realiseren, is aandacht voor de afwerking belangrijk. In veel (tussen)woningen zal de leiding door of langs de trapschacht moeten worden aangelegd (zie ook Figuur 16). Een alternatief is om de leidingen aan de buitenzijde van de woning te laten lopen, mits deze goed worden geïsoleerd. Hiervoor is waarschijnlijk enige afstemming in de straat of buurt nodig.

Figuur 16 – Voorbeelden van leidingwerk in een woning uit de woningschouw. Van links naar rechts: lokale oplossing voor gasleiding en verwarmingsbuizen tussen twee verdiepingen; in sommige woningen is een speciale leidingschacht met ruimte voor aanvullende leidingen; in sommige woningen lopen nu al zichtbaar verwarmingsleidingen (hier op de overloop); in veel gevallen biedt de trapschacht de enige mogelijkheid om leidingen aan te brengen tussen verdiepingen, rechtstreeks of via de muur.



Bron: CE Delft (foto's woningschouw).

Het algemene beeld uit de woningschouw is dat er in de meeste woningen redelijk goed ruimte te vinden is voor systemen zoals een warmtapwaterboilervat met een warmtepomp. Zo'n systeem heeft ongeveer het formaat van een koelkast, met een benodigde voetafdruk van 1 x 1 m<sup>2</sup> en een hoogte van 1,6 tot 2 meter. Het boilervat en de warmtepomp kunnen uit één geheel of uit losse onderdelen bestaan. In kleinere woningen/appartementen is deze ruimte niet altijd vanzelfsprekend aanwezig, waardoor de inpassing per woning meer maatwerk vraagt (zie Figuur 17).

Figuur 17 – Voorbeelden van opstellingen van de cv-installatie met hr-ketels in de huidige situatie uit de woningschouw. In al deze voorbeelden is de locatie op zolder; met uitzondering van de meest rechter opstelling, die zich in een gangkast in een appartement bevindt.



Bron: CE Delft (foto's woningschouw).

Sommige woningen hebben ook een berging of garage, waar met enig arrangeren de grotere installatieonderdelen van een warmtepomp (individueel of vanuit een ZLT-net) een plek zouden kunnen krijgen.

#### 4.1.4 Binnenunit individuele warmtepomp

Voor een individuele warmtepomp zijn in de woning altijd een aantal binnendelen nodig:

- een binnenunit die de warmte van de buitenunit afgeeft aan het verwarmingssysteem;
- een tapwaterboiler;
- een expansievat.

Soms zijn deze onderdelen geïntegreerd in één systeem (ongeveer 1 m<sup>2</sup> vloeroppervlak en 2 meter hoog, inclusief leidingwerk), maar het kan ook zijn dat het systeem uit losse onderdelen bestaat.

Figuur 18 – Twee voorbeelden van een binnenunit en boilervat van een individuele warmtepomp



Bron: [De A - Homerus Energiek warmtepomp](#); [www.suntronics.be](http://www.suntronics.be) - lucht-waterwarmtepomp.

#### 4.1.5 Opstelling buitenunit individuele warmtepomp

Het inpassen van de buitenunit van een individuele buitenluchtwarmtepomp is vergelijkbaar met wat er nodig is voor een buitenunit van een split-unit-airco. Een warmtepomp-buitenunit is wel een maat groter: houd rekening met ongeveer 1 x 1 m zijaanzicht (inclusief ruimte voor leidingen) en 60 cm diepte (zie Figuur 19). Idealiter staat de buitenunit dicht bij de binnenuit, zodat er zo min mogelijk leidingen hoeven te worden aangelegd. Vaak is plaatsing aan de gevel, op het dak, op een afdak/dakterras of in de voor- of achtertuin mogelijk. Uit de woningschouw blijkt dat er bij veel woningen wel een plek te vinden lijkt (zie Figuur 20), maar dit vergt nader onderzoek per woning(type).

Figuur 19 – Voorbeelden van een buitenunit van een warmtepomp



Bron: [www.langendonk.nl](http://www.langendonk.nl); [www.verbouwkosten.com](http://www.verbouwkosten.com) - elektrische-warmtepomp.

Er zijn richtlijnen voor waar een buitenunit van een warmtepomp geplaatst mag en kan worden, vooral vanwege het geluid dat deze kan veroorzaken. Daarbij wordt gelet op geluidsniveaus, maar ook op het opgestapeld effect: wanneer in een straat meerdere buitenunits geplaatst zijn, kan het gezamenlijke geluid in verschillende typen buurten of straten verschillend ervaren worden.

Voor Molenvliet zijn de resultaten uit een recent onderzoek van het Nationaal Programma Lokale Warmtetransitie (NPLW) interessant: [Cumulatief geluid warmtepompen | NPLW](#). De uitkomsten voor Vinex-wijken en bloemkoolwijken sluiten goed aan bij de situatie in respectievelijk Molenvliet-Oost en Molenvliet-West.

Figuur 20 – Voorbeelden van gevels en daken van woningen uit de schouw. De vierde afbeelding van links toont het uitzicht op een dakterras, de vijfde afbeelding een reeds bestaande (hybride) warmtepomp-buitenunit op een dakterras. De zesde afbeelding geeft aan dat het in sommige gevallen door de geometrie van de woning en andere installaties (hier zon-pv) lastig kan zijn om plek te vinden voor een buitenunit.

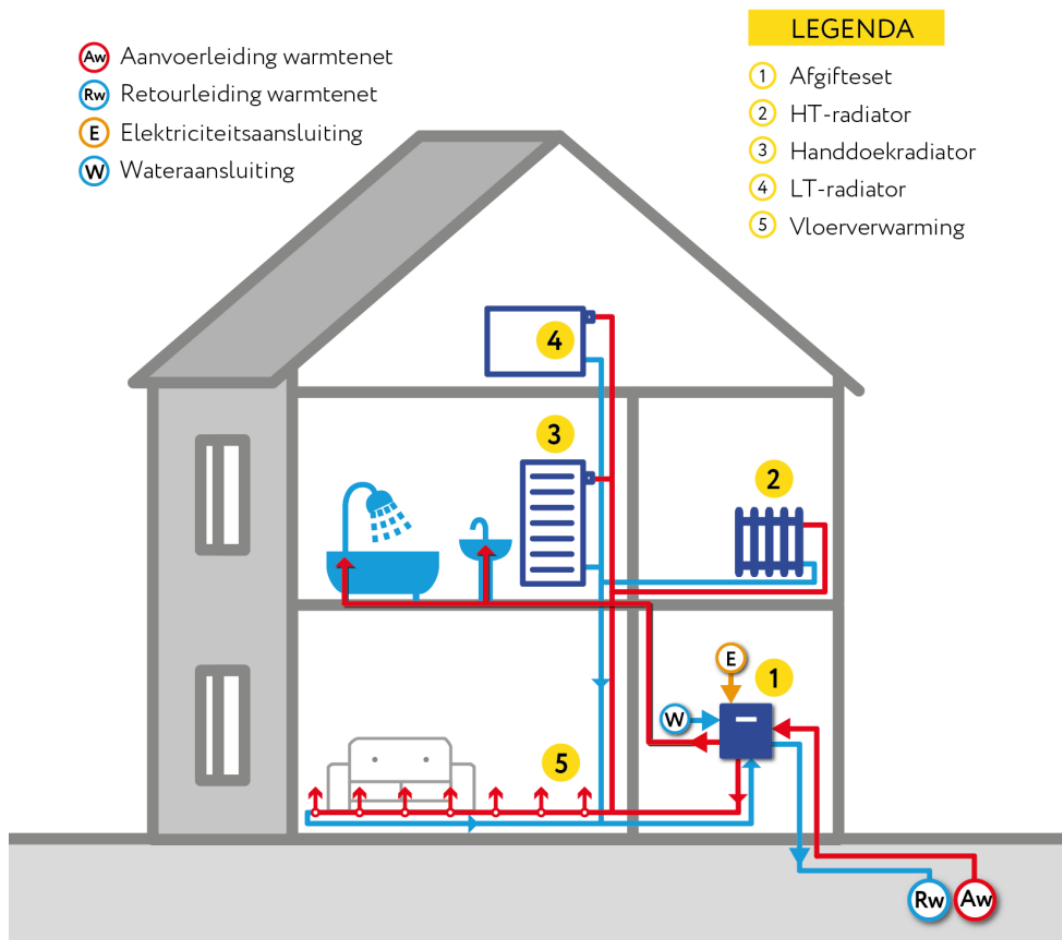


Bron: CE Delft (foto's woningschouw).

Tabel 6 – Overzicht van wat er op woningniveau nodig is voor het realiseren van de verschillende technieken

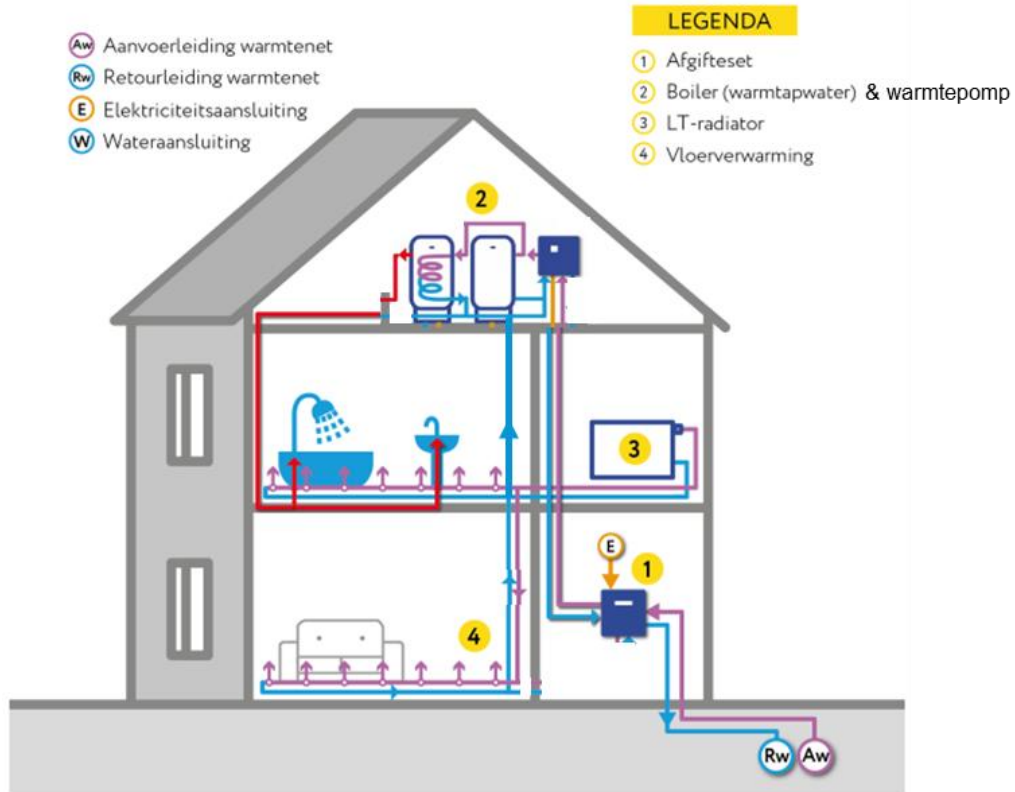
| Techniek           | MT-net        | ZLT-net                       | Individuele warmtepomp buitenlucht | Individuele warmtepomp bodem  |
|--------------------|---------------|-------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| Afleverzet         | Ja            | Ja                            | –                                  | –                             |
| Installatie-units  | –             | Binnen                        | Binnen en buiten                   | Binnen en buiten (put)        |
| Warmteleidingen    | Verdiepingen? | Verdiepingen;<br>Koeling      | Verdiepingen?;<br>Koeling?         | Verdiepingen?;<br>Koeling?    |
| Tapwater boilervat | –             | Ja                            | Ja                                 | Ja                            |
| Afgifte            | –             | LT (+ koeling)                | LT (+ koeling)                     | LT (+ koeling)                |
| Isolatie           | –             | Isolatiestandaard (LT-niveau) | Isolatiestandaard (LT-niveau)      | Isolatiestandaard (LT-niveau) |
| Meterkast: elektra | Koken         | Koken;<br>3 x 25A voor WP     | Koken;<br>3 x 25A voor WP          | Koken;<br>3 x 25A voor WP     |

Figuur 21 – MT-net aangesloten op een tussenwoning



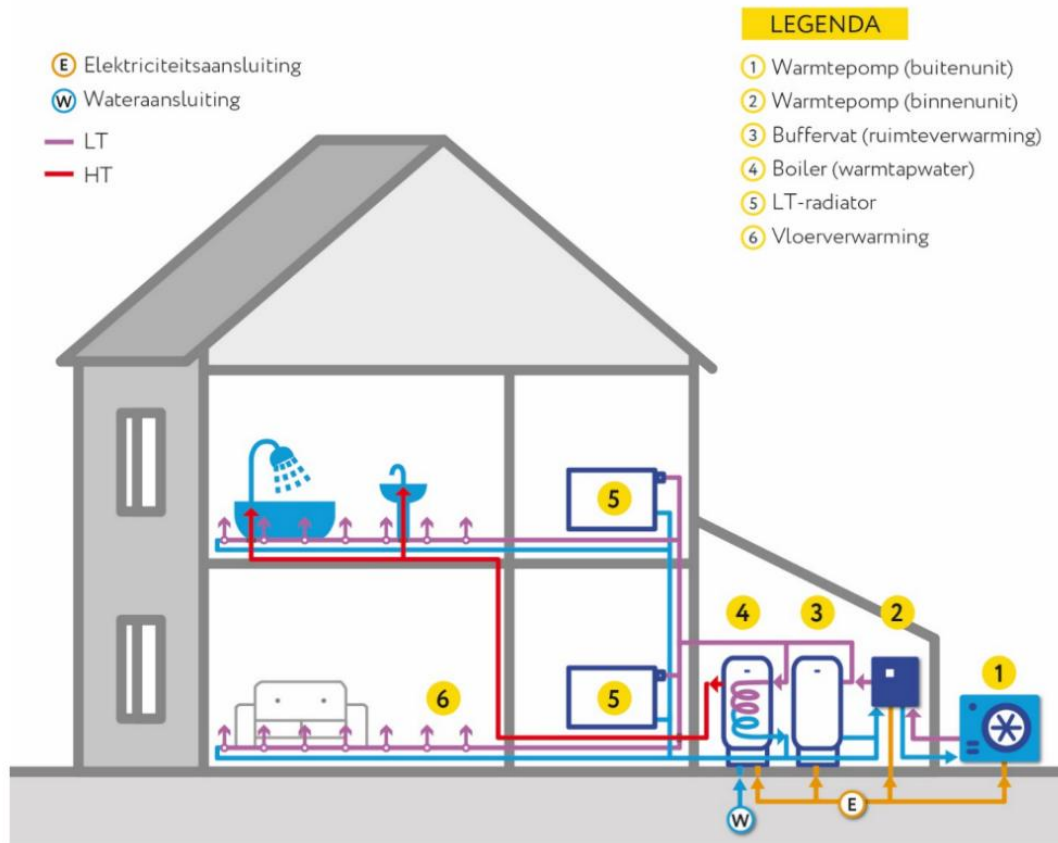
Bron: [Warmtetechnieken - CE Delft](#).

Figuur 22 – ZLT-net aangesloten op een tussenwoning



Bron: [Warmtetechnieken - CE Delft](#), aangepast.

Figuur 23 – Individuele warmtepomp in een tussenwoning



Bron: [Warmtetechnieken - CE Delft](#).

### **Alternatieve warmtepomptechnieken**

Naast de standaard combinatie van een buitenluchtwarmtepomp (lucht-water) met een buitenunit en een voorraadvat in de woning, zijn er nog een aantal alternatieve volledig elektrische (all-electric) warmtepomp-systemen beschikbaar. Deze systemen komen allemaal in aanmerking voor ISDE-subsidie. Hieronder lichten we deze alternatieve technieken toe.

#### **Monoblockwarmtepomp**

Bij een monoblockwarmtepomp zitten alle onderdelen om warmte uit de lucht te halen samen in één groot systeem. Daardoor is het systeem groter dan een standaard buitenunit (ook wel split-unit genoemd). De installatie is eenvoudiger omdat er geen extra F-gascertificering nodig is, zoals dat voor reguliere warmtepompen of airco's wel het geval is. In plaats daarvan is er tussen het monoblock en de woning uitwisseling van warm water. Hierdoor zijn monoblockwarmtepompen gevoeliger voor bevriezing en moet de afstand tot de woning zo klein mogelijk zijn om zo min mogelijk warmte te verliezen. Verder heeft een monoblock een groter oppervlak om warmte uit de lucht te onttrekken, waardoor het rendement iets hoger is dan bij een warmtepomp met apart buitendeel.

#### **PVT**

PVT-panelen zijn zonnepanelen die ook warmte opvangen. Aan de panelen is een leidingsysteem gekoppeld dat de warmte via een mengsel van water en glycol (ook wel 'brine') naar een water-waterwarmtepomp in de woning transporteert. De warmtepomp zet deze gewonnen warmte om in bruikbare warmte voor ruimteverwarming en slaat warmte op in een voorraad- of boilervat voor warm tapwater. Het voordeel van PVT is dat er geen buitenunit met ventilator nodig is, omdat de warmte via de buitenlucht en opvallend zonlicht wordt afgegeven aan de panelen en daarmee aan de brine. Wel is een PVT-systeem omvangrijker dan een buitenluchtwarmtepomp en daarmee ook duurder bij installatie.

#### **Bodemwarmtepomp**

Een bodem- of bodembronwarmtepomp werkt, net als een PVT-systeem, met een water-waterwarmtepomp, maar uit de grond in plaats van de buitenlucht. In de grond worden leidingen aangelegd waar de brine doorheen stroomt. Deze vloeistof neemt warmte op uit de aarde en geeft die af aan de warmtepomp, die de warmte vervolgens omzet in bruikbare warmte voor de woning of warm tapwater.

In de bodem is de temperatuur zeer stabiel, waardoor dit systeem een hogere efficiëntie heeft dan de andere warmtepomptypes, die afhankelijk zijn van sterk wisselende buitentemperaturen. Omdat er een grondboring uitgevoerd moet worden nabij de woning, heeft deze techniek ook de hoogste kosten.

In deze verkenning wordt de bodemwarmtepomp gebruikt als illustratie van een alternatief voor de buitenluchtwarmtepomp. Per woning kan de geschiktheid verschillen.

### Ventilatieluchtwarmtepomp

Dit type warmtepomp gebruikt warme ventilatielucht die via de afzuiging uit de woning wordt afgevoerd. De pomp wint een deel van deze warmte terug en gebruikt dit voor verwarming of tapwater, soms gecombineerd met warmte uit de buitenlucht. Er bestaan verschillende varianten; sommige zijn alleen geschikt voor het verwarmen van tapwater.

Het voordeel is dat er meestal geen buitenunit nodig is (of alleen een kleine dakdoorvoer voor het inzuigen van buitenlucht). De binnenunit kan wel wat groter zijn, omdat de buizen voor lucht breder zijn dan die voor koelmiddel of warm water. Voor ruimteverwarming vraagt dit systeem om een goede dimensionering en afstelling, om te voorkomen dat de ventilatie voor veel extra koude luchtstromen in de woning zorgt.

## 4.2 Financiële effecten voorbeeldwoningen

Om een besluit te kunnen nemen, is het verschil in kosten tussen de warmtetechnieken een belangrijke factor. Hierbij gaat het om eindgebruikerskosten. Dit zijn de kosten voor een bewoner. Eindgebruikerskosten bestaan uit installatie- en aansluitkosten, isolatie, subsidies en belasting, en energiekosten. Voor het berekenen van deze kosten gebruiken we ons [CEKER-model](#). Hiermee bepalen we per woning de investerings-, onderhouds- en energiekosten per warmtetechniek. In Bijlage E staat een overzicht van de kentallen en aannames die zijn gebruikt voor de berekening van de energiekosten en de CO<sub>2</sub>-uitstoot. Voor de isolatiekosten is de RVO-database met kostenkentallen gebruikt voor verduurzamingsmaatregelen (RVO, 2024a).

Uit de berekening blijkt dat voor iedere voorbeeldwoning de investeringskosten voor de duurzame warmtetechnieken hoger zijn dan voor een hr-ketel. Wanneer we echter kijken naar de kosten op jaarbasis, blijkt een MT-warmtenet per jaar ongeveer even duur of zelfs goedkoper ten zijn dan een hr-ketel. Als de woning voldoende is geïsoleerd tot bijvoorbeeld de isolatiestandaard, kan het ook voordeliger zijn om – ondanks een MT-net als aardgasvrij aanbod – een individuele warmtepomp te nemen. Hiervoor zijn de initiële investeringskosten wel hoger, maar de jaarlijkse energiekosten lager. Als de woning niet goed genoeg is geïsoleerd dan zijn de individuele warmtepomp en het ZLT-net verreweg het duurst, vanwege de extra isolatiekosten.

In Tabel 7 is een overzicht te zien van de uitgesplitste investerings-, energie- en onderhoudskosten. Dit zijn de gemiddelde kosten van alle voorbeeldwoningen. Hiervoor is het zichtjaar 2035 gehanteerd, afkomstig uit de Klimaat- en Energieverkenning (PBL, 2024). Wij nemen aan dat in dat jaar de eerste woningen aangesloten zouden kunnen worden. De resultaten zijn per woning terug te vinden in Bijlage C.

Voor het MT-warmtenet is gerekend met aansluitkosten gelijk aan de ISDE-subsidie die een particulier kan krijgen. Dit geldt ook voor het ZLT-warmtenet, maar daar zitten extra kosten bij voor installatie, bijvoorbeeld voor de warmtepomp en lagetemperatuur-radiatoren. Daarbovenop komt een onrendabele top van vergelijkbare omvang

(zie Bijlage D.2.). Voor het ZLT-warmtenet zijn de extra kosten die de bewoner moet maken voor de installatie van de onrendabele top afgehaald (zie Bijlage E). In deze verkenning doen we geen uitspraak over wie deze kosten zou moeten dragen; dat is een vraagstuk voor de nadere uitwerking.

Tabel 7 – Overzicht van **gemiddelde** kosten op basis van de **voorbeeldwoningen** in Molenvliet voor de verschillende warmtetechnieken; investering en subsidie zijn eenmalige kosten, onderhoud en energie zijn jaarlijkse kosten en de onrendabele top nog een nader te bepalen kostenpost voor de warmtenetten.

| Kosten (€)                  | Buitenlucht-warmtepomp | Bodem-warmtepomp | MT-net   | ZLT-net  | Hr-ketel             |
|-----------------------------|------------------------|------------------|----------|----------|----------------------|
| Investering                 | € 56.550               | € 67.925         | € 9.350  | € 54.450 | € 2.775 <sup>1</sup> |
| Subsidie                    | € -7.375               | € -8.675         | € -3.775 | € -9.425 | € -                  |
| Energie (eerste jaar)       | € 2.075                | € 1.850          | € 2.700  | € 2.350  | € 3.000              |
| Onderhoud (jaarlijks)       | € 350                  | € 325            | € 75     | € 125    | € 225                |
| Onrendabele top (incl. btw) | € -                    | € -              | € 13.450 | € 24.175 | € -                  |

In Tabel 8 is een overzicht opgenomen van de jaarlijkse kosten voor de eindgebruiker. Deze kosten zijn opgebouwd uit de jaarlijks terugkerende kosten voor energieverbruik en onderhoud, plus een toevoeging van de investeringskosten. Deze zijn omgerekend naar een jaarlijks bedrag door ze te verdisconteren/af te schrijven over een periode van 30 jaar. Deze kosten komen uit het CEKER-model. Deze tabel staat ook in Bijlage C.

Tabel 8 – Jaarlijkse kosten per **voorbeeldwoning**, opgebouwd uit de verdisconteerde investeringskosten en jaarlijkse energie- en onderhoudskosten.

| Totale jaarlijkse kosten (€/jaar) | Lucht-warmtepomp | Bodem-warmtepomp | MT-net <sup>2</sup> | ZLT-net | Hr-ketel |
|-----------------------------------|------------------|------------------|---------------------|---------|----------|
| Woning 1                          | € 2.775          | € 3.500          | € 2.875             | € 2.900 | € 2.450  |
| Woning 2                          | € 4.950          | € 5.625          | € 2.475             | € 5.150 | € 2.275  |
| Woning 3                          | € 5.125          | € 5.750          | € 3.025             | € 5.550 | € 2.900  |
| Woning 4                          | € 8.775          | € 9.350          | € 3.225             | € 9.175 | € 3.300  |
| Woning 5                          | € 6.950          | € 7.600          | € 3.125             | € 7.300 | € 3.025  |
| Woning 6                          | € 4.825          | € 5.350          | € 4.325             | € 4.975 | € 4.375  |
| Woning 7                          | € 9.375          | € 9.925          | € 3.425             | € 9.700 | € 3.650  |

<sup>1</sup> Hier kunnen extra kosten bovenop komen, die in Bijlage C staan uitgewerkt voor een airco en elektrisch koken.

<sup>2</sup> In de jaarlijkse kosten voor het MT-net en het ZLT-net is de onrendabele top (ORT) niet meegenomen

In de paragrafen hierna zijn per voorbeeldwoning de losse investerings-, energie- en onderhoudskosten beschreven, gerekend voor een enkel jaar. Deze kosten zijn verder uitgesplitst naar verschillende componenten.

## 4.2.1 Kosten voor de duurzame warmtetechnieken

In Tabel 9 staan de voorbeeldwoningen met hun bijbehorende (geschatte huidige) energieverbruik zoals berekend in het rekenmodel. Deze energiegebruiken zijn gebaseerd op modelverbruiken voor vergelijkbare woningen, en dus niet op de werkelijke meterstanden van de bezochte adressen. Deze vergelijkbare woningen zijn verschaald naar gebruiksoppervlak, passend bij de bijbehorende voorbeeldwoning. Zo blijft de vergelijking op woningtype te maken voor verschillende typen bewoners en is deze niet afhankelijk van het aantal bewoners of type gebruiker.

We hebben we een tweede type appartement toegevoegd om naast degene uit de woningschouw een alternatief te bieden voor herkenbaarheid voor de gestapelde woningen.

Tabel 9 – Voorbeeldwoningen met het geschatte energieverbruik zoals gebruikt in het CEKER-model.

|          | Type         | Representatief voorbeeld  | Bouwjaar-periode | Grootte (m <sup>2</sup> ) | Elektra (kWh) | Gas (m <sup>3</sup> ) |
|----------|--------------|---|------------------|---------------------------|---------------|-----------------------|
| Woning 1 | Appartement  |  | 1975-1991        | 44                        | 1.950         | 650                   |
| Woning 2 | Appartement  |  | 1975-1991        | 79                        | 1.950         | 950                   |
| Woning 3 | Tussenwoning |  | 1992-1995        | 127                       | 2.850         | 1.250                 |

|          | Type               | Representatief voorbeeld  | Bouwjaar-periode | Grootte (m <sup>2</sup> ) | Elektra (kWh) | Gas (m <sup>3</sup> ) |
|----------|--------------------|---|------------------|---------------------------|---------------|-----------------------|
| Woning 4 | Tussenwoning       |    | 1975-1991        | 157                       | 2.850         | 1.600                 |
| Woning 5 | Hoekwoning         |    | 1975-1991        | 111                       | 2.950         | 1.350                 |
| Woning 6 | Twee-onder-één-kap |   | 1992-1995        | 161                       | 3.250         | 1.600                 |
| Woning 7 | Hoekwoning         |  | 1975-1991        | 173                       | 2.950         | 1.850                 |

De uitsplitsing van de kosten voor de duurzame warmtetechnieken is voor iedere woning weergegeven in Bijlage C. De kosten zijn opgesplitst in vier categorieën:

1. **Investeringskosten:** de kosten voor de apparatuur, installatie, isolatie en de aansluitbijdrage op een warmtenet.
2. **Subsidies:** voor verduurzaming wordt rekening gehouden met de ISDE-subsidie, die van de totale investeringskosten wordt afgetrokken. Afhankelijk van de situatie zijn er aanvullende subsidies mogelijk, bijvoorbeeld de WIS-subsidie voor woningcorporaties. Deze zijn niet volledig uitgewerkt in deze verkenning en moeten per situatie worden bekeken.
3. **Energiekosten:** de kosten voor energie, zoals elektriciteit en warmte, die van een leverancier worden afgenomen. Dit gaat om het totale energiegebruik van een woning en niet alleen het verbruik voor verwarming. Hierin onderscheiden we vaste en variabele (verbruiksafhankelijke) kosten.

4. **Onderhoudskosten:** bij een MT- en ZLT-warmtenet zijn er geen losse onderhoudskosten, aangezien die in de kosten van het warmtenet zijn opgenomen.

De duurzame warmtetechnieken die op lagere temperatuur werken (ZLT-net en individuele warmtepompen) zijn gemiddeld aanzienlijk duurder dan de huidige hr-ketel of het MT-net. Dit komt door de uitgebreide ingrepen die in de woning gedaan moeten worden om beter te isoleren. Die investering verlaagt wel de energiekosten, maar vereist een hoge startinvestering.

Als de woning al beter geïsoleerd is dan zijn de investeringskosten lager en is het aantrekkelijker om te kiezen voor een optie zoals een buitenlucht- of bodemwarmtepomp, omdat de energiekosten lager zijn.

Verder wordt in het CEKER-model rekening gehouden met de aanschaf van een airco-installatie om enkele kamers in de woning te koelen zodra de woning tot energielabel B is geïsoleerd. Dit is alleen van toepassing als de woning overgaat op een MT-warmtenet of een hr-ketel blijft gebruiken, omdat de andere warmtetechnieken ook koeling kunnen leveren. Het is uiteindelijk aan een woningeigenaar om zelf de keuze te maken om een airco aan te schaffen.

Van alle voorbeeldwoningen is het gemiddelde uitgerekend voor elke kostenpost. Deze cijfers staan in Tabel 10. De bijbehorende energiekosten staan in Tabel 11 en het bijbehorende energieverbruik staat in Tabel 12.

Tabel 10 – Overzicht van de uitgesplitste kosten voor het **gemiddelde** van alle **voorbeeldwoningen**, afgerond op bedragen van € 25. Inclusief btw. Airco en elektrisch koken zijn optioneel in geval van de hr-ketel, net als de airco bij het MT-net.

| Investerings (€)                   | Buitenlucht-warmtepomp | Bodem-warmtepomp | MT-net         | ZLT-net         | Hr-ketel       |
|------------------------------------|------------------------|------------------|----------------|-----------------|----------------|
| <b>Veranderingen aan de woning</b> |                        |                  |                |                 |                |
| Verwarmingsinstallatie             | € 14.125               | € 25.500         | € 3.775        | € 7.850         | € 2.775        |
| Isolatie                           | € 33.975               | € 33.975         | € -            | € 33.975        | € -            |
| Inpandige aanpassingen             | € -                    | € -              | € 3.500        | € 3.500         | € -            |
| LT-radiatoren                      | € 7.050                | € 7.050          | € -            | € 7.050         | € -            |
| Airco                              | € -                    | € -              | € 675          | € 675           | € 675          |
| Elektrisch koken                   | € 1.400                | € 1.400          | € 1.400        | € 1.400         | € 1.400        |
| <b>Subsidies</b>                   |                        |                  |                |                 |                |
| ISDE verwarmingstechniek           | € -3.150               | € -4.425         | € -3.775       | € -5.200        | € -            |
| ISDE isolatie                      | € -4.225               | € -4.225         | € -            | € -4.225        | € -            |
| <b>Totaal</b>                      | <b>€ 49.175</b>        | <b>€ 59.275</b>  | <b>€ 5.575</b> | <b>€ 45.025</b> | <b>€ 4.850</b> |
| Onrendabele top (incl. btw)        | € -                    | € -              | € 13.475       | € 24.175        | € -            |

Tabel 11 – Energiekosten per warmtetechniek voor het **gemiddelde** van alle **voorbeeldwoningen**, afgerond op bedragen van € 25. Bedragen zijn inclusief btw. Elektriciteit (rest) omvat het huishoudelijk verbruik, verlichting en ventilatie.

| Energie en onderhoud (€/jaar)                                | Lucht-warmtepomp | Bodem-warmtepomp | MT-net         | ZLT-net        | Hr-ketel       |
|--|------------------|------------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>Energiekosten</b>   |                  |                  |                |                |                |
| Elektriciteitskosten variabel: Verwarmen, tapwater en koelen | € 925            | € 675            | € 25           | € 725          | € 25           |
| Elektriciteitskosten variabel: (rest)                        | € 1.125          | € 1.125          | € 900          | € 1.125        | € 900          |
| Elektriciteitskosten vast                                    | € 25             | € 25             | € 25           | € 25           | € 25           |
| Gaskosten variabel   | € -              | € -              | € -            | € -            | € 1.775        |
| Gaskosten vast   | € -              | € -              | € -            | € -            | € 275          |
| Warmtekosten variabel  | € -              | € -              | € 725          | € -            | € -            |
| Warmtekosten vast  | € -              | € -              | € 1.025        | € 475          | € -            |
| <b>Onderhoudskosten</b>                                      |                  |                  |                |                |                |
| Verwarmingsinstallatie                                       | € 275            | € 250            | € -            | € -            | € 150          |
| Secundaire systemen (airco, booster warmtepomp)              | € 75             | € 75             | € 75           | € 125          | € 75           |
| <b>Totaal</b>  | <b>€ 2.425</b>   | <b>€ 2.125</b>   | <b>€ 2.775</b> | <b>€ 2.475</b> | <b>€ 3.225</b> |

Tabel 12 – Energieverbruiken gemiddeld over de beschouwde voorbeeldwoningen. De verbruiken zijn per techniek en uitgesplitst per energiedrager. Elektriciteit (rest) omvat het huishoudelijk verbruik, verlichting en ventilatie.

| Energieverbruik in GJ/jaar    | Lucht-warmtepomp | Bodem-warmtepomp | MT-net      | ZLT-net     | Hr-ketel    |
|-------------------------------|------------------|------------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Elektriciteit (totaal)</b> | <b>25,1</b>      | <b>21,9</b>      | <b>11,2</b> | <b>22,5</b> | <b>11,2</b> |
| Elektriciteit (warmwater)     | 3,3              | 2,9              | -           | 2,9         | -           |
| Elektriciteit (verwarming)    | 6,1              | 5,2              | -           | 5,7         | -           |
| Elektriciteit (koelen)        | 2,0              | 0,1              | 0,3         | 0,2         | 0,3         |
| Elektriciteit (rest)          | 13,7             | 13,7             | 10,9        | 13,7        | 10,9        |
| <b>Warmte</b>                 | <b>-</b>         | <b>-</b>         | <b>40,1</b> | <b>25,8</b> | <b>-</b>    |
| <b>Gas (huidig)</b>           | <b>-</b>         | <b>-</b>         | <b>-</b>    | <b>-</b>    | <b>46,4</b> |

Uit Tabel 10, Tabel 11 en Tabel 12 kunnen we vier inzichten halen:

- Een ZLT-warmtenet en beide warmtepompen zijn gemiddeld gezien duurder dan een MT-warmtenet en een hr-ketel.
- De energie- en onderhoudskosten zijn bij een hr-ketel het hoogst en bij een bodemwarmtepomp het laagst.
- Voor de laagtemperatuurwarmtetechnieken zitten de meeste kosten in isolatie. Als in een woning al isolatiemaatregelen zijn genomen, zullen deze kosten lager uitvallen.
- De investeringskosten voor de duurzame warmtetechnieken zijn voor elke woning hoger dan voor een hr-ketel, maar van alle opties is de investering voor het MT-net het laagst als er niet extra wordt geïsoleerd.

#### Kosten en baten voor huurders

De kosten en baten die we hiervoor hebben laten zien zijn voor eigenaar-bewoners. De kosten en baten voor huurders verschillen hier wat van. Huurders betalen meestal wel zelf de energierekening, terwijl de meeste investeringen die nodig zijn om een woning aardgasvrij te verwarmen voor rekening van de verhuurder zijn. Deze verrekent ze mogelijk in de huurprijs. Het effect op de huurprijs hangt af van de eigenaar.

Het energielabel telt namelijk mee in het puntenstelsel voor de maximale huur (Rijksoverheid, n.d.).

Het energielabel kan bijvoorbeeld verbeteren door isolatiemaatregelen of de installatie van een warmtepomp. Particuliere verhuurders mogen de huur verhogen als renovatie ertoe leidt dat het energielabel van de woning verbetert. Aansluiten op een MT-warmtenet verbetert het energielabel in principe niet.

Woningcorporaties hebben landelijk afspraken gemaakt die in principe voordeliger zijn voor de huurders.

De afspraken in het Sociaal Woonakkoord zeggen de huur voor zittende huurders niet te verhogen bij isolatiemaatregelen. Ook zijn hierin adviezen afgesproken voor de huurverhoging bij de installatie van een warmtepomp (Aedes, 2024).

## 4.3 Het perspectief van de woningcorporatie

We hebben voor dit onderzoek ook twee woningen van Cazas Wonen bezocht. Deze woningen waren op dat moment niet bewoond en in onderhoud. Cazas Wonen voert bij mutatie, de overgang naar andere bewoner, noodzakelijk onderhoud uit. Pas bij groot onderhoud aan een complex van vergelijkbare woningen, wordt er verder verduurzaamd, zoals het installeren van een elektrische kookplaat.

Woningcorporatie Cazas Wonen staat open voor de optie van warmtenetten, maar benadrukt dat betaalbaarheid voor zowel de bewoners als de eigen organisatie doorslaggevend is. Als de maandelijkse kosten voor bewoners hoger uitvallen dan bij een individuele oplossing, acht Cazas Wonen het niet verantwoord om deelname aan een warmtenet te stimuleren. Ditzelfde principe geldt voor de investeringen die de corporatie zelf moet doen:

het financiële plaatje dient te kloppen. Voor woningcorporaties is betaalbaarheid immers een cruciale afweging.

Cazas Wonen geeft aan dat zij op dit moment nog geen concrete voorkeuren kan uitspreken voor een toekomstige warmtetechniek. De corporatie zal de komende jaren pas een wijk- en complexstrategie voor warmte ontwikkelen, waardoor er momenteel nog geen duidelijkheid is over welke complexen of gebieden het meest geschikt zouden zijn voor aansluiting op een warmtenet. Wel laat Cazas Wonen weten dat een ZLT-net niet de voorkeur heeft, omdat de benodigde renovaties hiervoor zeer ingrijpend zijn. Hoewel de woningen 'toekomstklaar' worden geïsoleerd, is dit niet altijd toereikend voor een ZLT-net en staat het waarborgen van comfort en voldoende warmte voor de bewoners voorop.

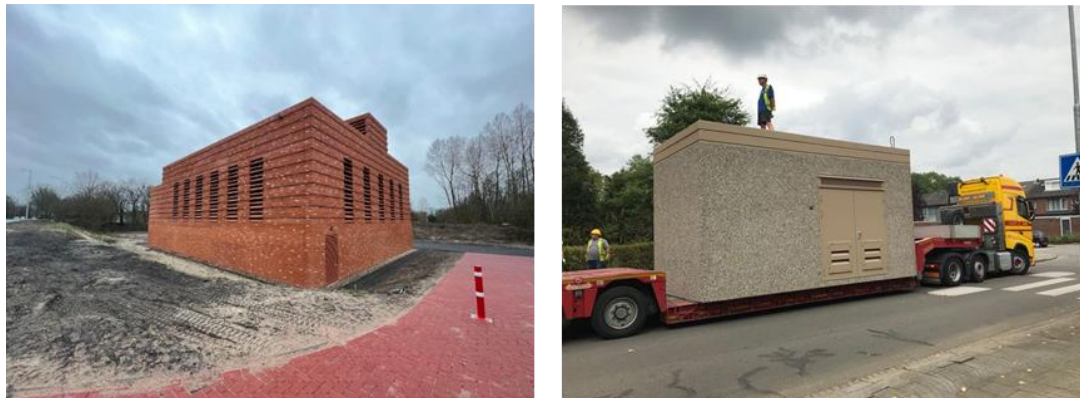
## 4.4 Gevolgen voor de wijk en het straatbeeld

De grootste bovengrondse uitdaging voor de ruimtelijke inpassing van een warmtenet is het warmteoverdrachtsstation (WOS). Dit is een centrale voorziening die de warmte van de hoofdbron opwaardeert en overdraagt aan het lokale distributienet. Voor levering aan grote gebieden is gemiddeld één WOS nodig; één station kan gemiddeld 10.000 huishoudens bedienen.

Een WOS vraagt om aanzienlijke ruimtelijke reservering. Het gebouw zelf heeft veelal een omvang van 20 x 25 m en het totale benodigde terrein kan oplopen tot 25 x 35 m, met een hoogte tot 10 m. Een WOS kan door deze omvang niet zomaar in een woonstraat worden geplaatst. De inpassing vereist strategische locaties, nabij de hoofdbron, vaak aan de rand van wijken, om zowel de ruimtelijke claim als de visuele impact in het straatbeeld te minimaliseren. In het geval van TEO/TEA zal een WOS nabij de RWZI en het industrieterrein geplaatst worden. Daarnaast zijn er nog de kleinere warmteonderstations die, met een footprint van slechts 5 x 5 m voor maximaal 250 huishoudens, veel gemakkelijker in de openbare ruimte zijn in te passen, of in bestaande grotere gebouwen en eventueel garages. Zowel het WOS als onderstation kunnen met verschillende ontwerpen en materialen vormgegeven worden.

Bij het MT-net is een bovengrondse warmteopslag (TTES) meegenomen. Dit zal een capaciteit van ongeveer 200 m<sup>3</sup> hebben voor de ongeveer 4.000 woningen in Molenvliet. Als dit in een gebouw van 5 meter hoog wordt ondergebracht, hoort hier een minimale voetafdruk van 40 m<sup>2</sup> bij. Deze TTES zal op het terrein van de RWZI, buiten de wijk plaats hebben.

Figuur 24 – Warmteoverdrachtstation Hakfort (W Schutter, links) en een onderstation Breda (Spijkerman BV, rechts)



Naast de fysieke ruimte die een WOS en onderstations innemen, heeft ook de benodigde elektriciteitsinfrastructuur gevolgen voor het straatbeeld. De benodigde netverzwaring kan leiden tot de plaatsing van extra elektriciteitshuisjes of middenspanningsruimten (MSR's), die als afzonderlijke units in de openbare ruimte worden geplaatst. Een MSR heeft een maximale omvang van circa 2 x 1,8 x 3,5 meter, met een totale ruimtevraag van ongeveer 31 m<sup>2</sup> inclusief werkruimte voor monteurs ([Enexis](#)), zie Figuur 25. Hoewel deze stations relatief compact zijn, kunnen ze in de wijk toch aanwezig zijn en is zorgvuldige inpassing in de openbare ruimte nodig.

De totale ruimtelijke impact voor de wijk bestaat daarmee uit een combinatie van grotere, strategisch geplaatste WOS-locatie en kleinere maar zichtbare infrastructuurelementen zoals MSR's en onderstations. De mate waarin deze objecten het straatbeeld beïnvloeden hangt sterk af van de gekozen locaties, de beschikbaarheid van ruimte en de manier waarop ze worden vormgegeven en ingepast. Door vanaf het begin al aandacht te besteden aan ontwerp, materiaalgebruik, inpassing in staatbeeld en het geven van meerdere functies kan de visuele en ruimtelijke impact voor bewoners aanzienlijk worden beperkt.

Figuur 25 – Voorbeeld van een MSR of elektriciteitshuisje in het straatbeeld



Bron: Enexis.

Warmteopslag is nodig om het warmtenet soepel te laten draaien. Dit kan op twee manieren, die elk hun eigen ruimtevrage hebben.

1. De **dagbuffer**: dit is een hoge tank (circa 18 x 18 m) die dagenlang warmte bewaart. Dit is een permanent, opvallend bouwwerk dat een groot stuk grond nodig heeft en dus nauwelijks in een woonwijk past.
2. **Ondergrondse opslag** (wko/HTO) via putten. Hoewel je boven de grond bijna niets ziet (alleen de deksels), moet onder de grond een groot gebied (ongeveer 200 x 200 m) vrijhouden worden voor de putten om goed te werken. Dit is een planningseis die toekomstige ondergrondse bouwplannen in de weg kan zitten.

Door de infrastructuur buiten het dichtst bebouwde gebied te situeren, kunnen de ruimtelijke en logistieke knelpunten worden omzeild. Een concrete optie is de aanleg nabij de RWZI of andere grootschalige locaties aan de rand van de wijk.

# A Randvoorwaarden bij de technieken en scenario's

Wat ruimte in de boven- en ondergrond betreft is Molenvliet geen uitzonderlijke wijk. Wel is er nadrukkelijk aandacht nodig voor het behoud van groen en bomen. In de ontwerpfase zal duidelijk zijn welke knelpunten er precies zijn en wat de meerkosten zijn die hiermee gepaard gaan. In deze verkenning benoemen we vooral de belangrijkste aandachtspunten.

## A.1 Ruimte en knelpunten

Deze paragraaf geeft een overzicht van wat er nodig is in de ondergrondse ruimte voor de installatie van een collectief warmtesysteem. De focus ligt hierbij op de generieke mogelijkheden en uitdagingen met betrekking tot de ondergrond, en gaat niet in op specifieke tracékeuzes of gedetailleerde ontwerpen.

De realisatie van ondergrondse warmtesystemen stuit vaak op de uitdaging van de beperkte en reeds bezette ondergrondse ruimte in stedelijke gebieden. De ondergrond herbergt een complex netwerk van bestaande kabels en leidingen wat bij het ontwerp en de aanleg van een warmtenet een zorgvuldige planning en coördinatie vereisen. Zie Figuur 26 voor onder andere gas, elektriciteit, water, riolering en telecommunicatie. Deze gegevens zijn onder andere gebaseerd op KLIC (Kabels en Leidingen Informatie Centrum, zie ook (Kadaster, n.d.)).

Bij de aanleg van een nieuw warmtenettracé dient rekening gehouden te worden met de bestaande essentiële infrastructuur in de ondergrond. De beschikbare ruimte moet daarom multidisciplinair worden geëvalueerd, waarbij diepte, tracé, en kruisingen met andere netwerken (knooppunten) nauwkeurig in kaart worden gebracht om de aanleg van de nieuwe warmte-infrastructuur te kunnen inpassen zonder de bestaande diensten te verstoren.

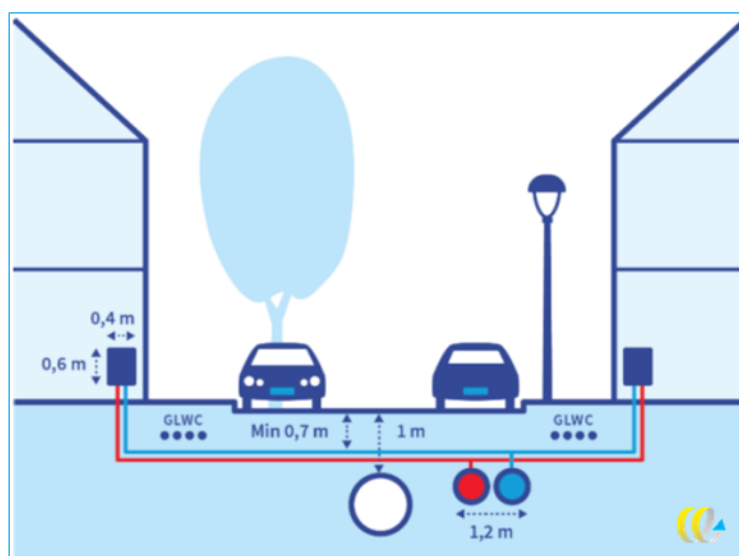
Figuur 26 – KLIC-kaart. Algemeen beeld van alle leidingen in de ondergrond. Het stratenpatroon is mooi zichtbaar, met per gebouwaansluiting de aftakkingen.



Bron: (Kadaster, 2025).

De warmteleidingen (aanvoer en retour) hebben ruimte nodig en nemen in de straat circa 1,2 meter breedte in, zie Figuur 27.

Figuur 27 – Schematische weergave van ruimte in de ondergrond bij toepassing van een warmtenet in een straat



Daarnaast hebben MT-netten expansielussen nodig ter grootte van een parkeervak, zie Figuur 28. MT-netten gemaakt van staal zetten fors uit bij opwarming: een stalen warmteleiding kan per 100 m wel 10 cm langer worden. Als deze sterke uitzetting niet wordt opgevangen, duwt de leiding met enorme kracht tegen alle koppelingen en aftakkingen. Die verbindingen kunnen daardoor lek raken of zelfs kapotgaan. Om dit te voorkomen worden expansielussen gebruikt. Expansielussen zijn bochten in de leiding, ontworpen om flexibel te zijn. De lus vangt de uitzetting op door zelf een beetje te bewegen (groter of kleiner te worden).

Figuur 28 – Afbeelding van een uitzettingslus bij een MT-net.



Bron: Warmtenet Westland.

### ZLT-netten

Een ZLT-warmtenet heeft doorgaans een andere opbouw, met minder tot geen isolatie. Hierdoor zijn de leidingen flexibel en kunnen ze makkelijker verwerkt worden. Ook is de interferentie op andere leidingen door opwarming beperkt en is er minder afstand nodig met bijvoorbeeld drinkwaterleidingen. Ook betekent de lagere watertemperatuur dat bij incidenten tijdens werkzaamheden medewerkers geen gevaar lopen zich te verbranden. Zie Figuur 29.

Figuur 29 – Flexibele ZLT-warmtenetleidingen



Bron: TKI Urban Energy.

Naast de nodige ruimte voor het leidingwerk van warmtenetten zelf dient interferentie met onder andere bomen, riolering en drinkwaterleidingen vermeden worden. Deze worden in de volgende paragrafen beschreven.

### A.1.1 Afstand tussen warmteleidingen en riool

Bij het ontwerpen van tracés voor warmteleidingen moet rekening worden gehouden met afstandseisen ten opzichte van bestaande infrastructuur, in het bijzonder de riolering (weergegeven in Figuur 30). Dit is belangrijk om interferentie en potentiële schade te voorkomen.

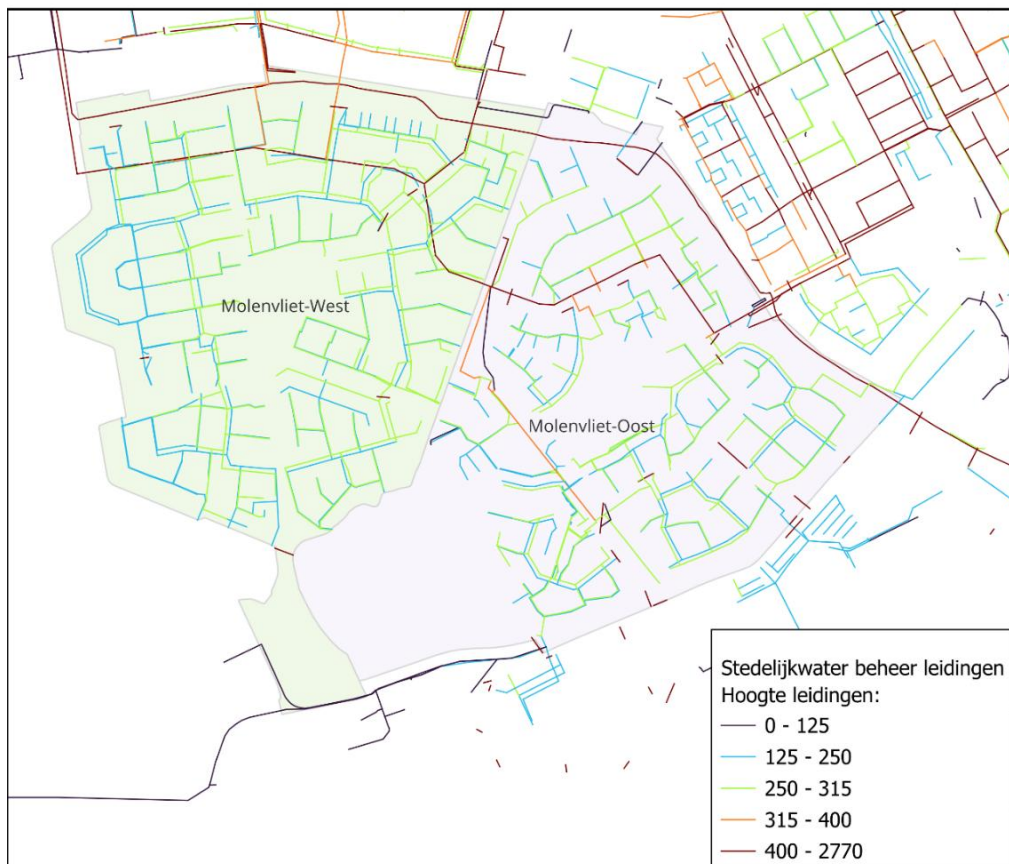
Een belangrijke richtlijn is het aanhouden van een minimale afstand van 0,5 tot 1 meter tussen de warmteleidingen en de rioolleiding (hart-op-hart) (CROW, 2016). Deze afstand is noodzakelijk om verschillende redenen:

1. **Thermische invloed:** warmteleidingen geven warmte af aan de omgeving. Als ze te dicht bij de riolering liggen, kan deze warmte het rioolwater en de leiding zelf ongewenst opwarmen, wat de stabiliteit van de rioolbuizen (vooral kunststof) kan beïnvloeden en in extreme gevallen de biologische processen in het riool kan verstoren.
2. **Toegankelijkheid en onderhoud:** een voldoende grote afstand garandeert dat onderhoud of reparaties aan zowel de warmteleiding als de riolering kunnen plaatsvinden zonder dat de andere infrastructuur beschadigd raakt of verwijderd moet worden.
3. **Grondstabiliteit:** de aanleg van nieuwe leidingen kan de grondstructuur beïnvloeden. Voldoende afstand minimaliseert het risico dat graafwerkzaamheden of verzakkingen bij de ene leiding de stabiliteit van de andere in gevaar brengen.

In situaties waar deze afstand van 1,0 meter niet haalbaar is (bijvoorbeeld bij kruisingen of zeer krappe ondergrondse tracés), zijn mitigerende maatregelen nodig. Hierbij kan gedacht worden aan het gebruik van extra isolatie voor de warmteleidingen of het aanbrengen van beschermende constructies rond de rioolleiding op het punt van de minimale overschrijding of verticale stapeling van leidingen (zie het voorbeeld in de gemeente Leiden: H2O Waternetwerk (2024)).

Figuur 30 – Rioolleidingen netwerk Molenvliet

### Rioolleidingen



Bron: (PDOK, n.d.).

In Molenvliet bevindt de riolering zich vaak onder de stoep, wat bij vervanging vaak leidt tot lokale overlast en onnodige opbrekingen. Het nieuwe uitgangspunt bij de aanleg of renovatie van rioleringsystemen is om deze, waar mogelijk, in het midden van de straat te positioneren. Het is belangrijk om bij het ontwerp van het warmtenet rekening te houden met een centrale ligging van de riolering als uitgangspunt. Deze herziening van de infrastructuur biedt tevens een koppelkans bij de gelijktijdige aanleg van een warmtenet.

Door de graafwerkzaamheden voor riolering en warmteleidingen te combineren, kunnen gemeenten en nutsbedrijven aanzienlijk besparen op graafkosten, hinder reduceren, en de totale doorlooptijd van beide projecten versnellen. Een integraal plan voor deze dubbele aanleg is dus efficiënter en (financieel) duurzamer. Bovendien kan bij een integraal plan rekening gehouden worden met een op elkaar afgestemde inpassing van rioolleidingen en transportleidingen. Een efficiënte en optimale aanleg van de hoofdtransportleiding, die warmte over grotere afstanden moet verplaatsen, is een positionering nodig met veel ruimte, vaak midden in de straat. Zie Figuur 31 voor een impressie van werkzaamheden bij een MT-net.

Figuur 31 – Werkzaamheden voor het realiseren van een MT-transportleiding tussen de bestaande infrastructuur



Bron: Rooseboom Groep.

## A.1.2 Afstand tussen warmteleiding en waterleiding

De aanleg van een warmtenet in een stedelijke omgeving vereist een zorgvuldige planning van de ondergrondse ruimte, waarbij de thermische invloed van de warmteleidingen op naburige infrastructuur een cruciale ontwerprandvoorwaarde vormt. De stalen warmteleidingen van een middentemperatuurnet (MT-net) opereren met aanvoertemperaturen (van circa 70°C) die aanzienlijk hoger zijn dan de omgevingstemperatuur van de bodem, wat resulteert in een warmteafgifte naar de omliggende grond. Om deze reden zijn er minimale afstanden gedefinieerd ten opzichte van andere kabels en leidingen, met name die gevoelig zijn voor temperatuurverandering. Deze afstand is essentieel om schade aan materialen (zoals vervorming van kunststof leidingen), maar vooral om de kwaliteit en veiligheid van andere nutsvoorzieningen te waarborgen. Specifiek voor drinkwaterleidingen is het van vitaal belang om opwarming van het drinkwater te voorkomen, wat de groei van micro-organismen kan bevorderen en daarmee de volksgezondheid in gevaar kan brengen. Het hanteren van deze vereiste afstanden garandeert de functionele integriteit en levensduur van alle ondergrondse assets.

De vastgestelde minimale afstanden, van meestal 0,5 m tot 1,5 meter, worden bepaald op basis van thermische modellering en nationale normen, en gelden vaak als een wettelijke of contractuele eis (bijvoorbeeld de Richtlijn Ondergrondse Infrastructuur). De afstand is doorgaans afhankelijk van de temperatuur van de warmteleiding, de mate van isolatie en de functie van de naburige leiding. Bestaande infrastructuur (gas-, water-, elektriciteitsleidingen, riolering en telecommunicatiekabels) en bomen laten in smalle straten en compacte tracés vaak onvoldoende fysieke ruimte over voor de warmteleidingen én de vereiste thermische bufferzone. Dit kan ertoe leiden dat het nodig is om bestaande leidingen te verplaatsen – een kostbare en tijdrovende ingreep – of extra isolatie toe te passen op de warmteleidingen om de warmteoverdracht te beperken, voordat de aanleg kan plaatsvinden.

### A.1.3 Afstand rondom bomen

Bomenbehoud heeft prioriteit binnen de gemeente. Vanwege richtlijnen voor behoud van groen in de buurt en de risico's voor de gezondheid van (grote) bomen in geval van verplaatsing, moet er in de scenario's sterk rekening gehouden worden met de aanwezigheid van bomen. Verplaatsing is vaak niet mogelijk bij volwassen bomen. Er is dan eerder sprake van kappen en herplanten. Daarbij moet rekening worden gehouden dat het jaren duurt voordat een nieuw aangeplante boom weer dezelfde ecologische waarde heeft als de huidige boom. In verband met de Europese Natuurherstelwet mag er tot 2030 geen oppervlakteafname zijn van stedelijk groen en boomkroonvolume, en vanaf 2031 moet er sprake zijn van een toename.

Een diameter van 3 tot 6 meter (een straal van 1,5 tot 3 meter) rondom de stam van een boom wordt in de boomverzorging en civiele techniek beschouwd als de kritieke wortelbeschermingszone (CROW, 2016). Dit is het gebied waar de meeste vitale haarwortels van de boom zich bevinden, vaak in de bovenste halve meter van de bodem. Het doel van deze richtlijn is de gezondheid van de bomen te waarborgen, met name tijdens bouw-, graaf- of grondwerkzaamheden. In deze zone is er een hoog risico op wortelschade door het doorsnijden van wortels, maar vooral door bodemverdichting, veroorzaakt door het rijden met zwaar materieel of de opslag van materialen. Het is daarom strikt aanbevolen om dit gebied af te zetten met bouwhekken ter bescherming tijdens de aanleg.

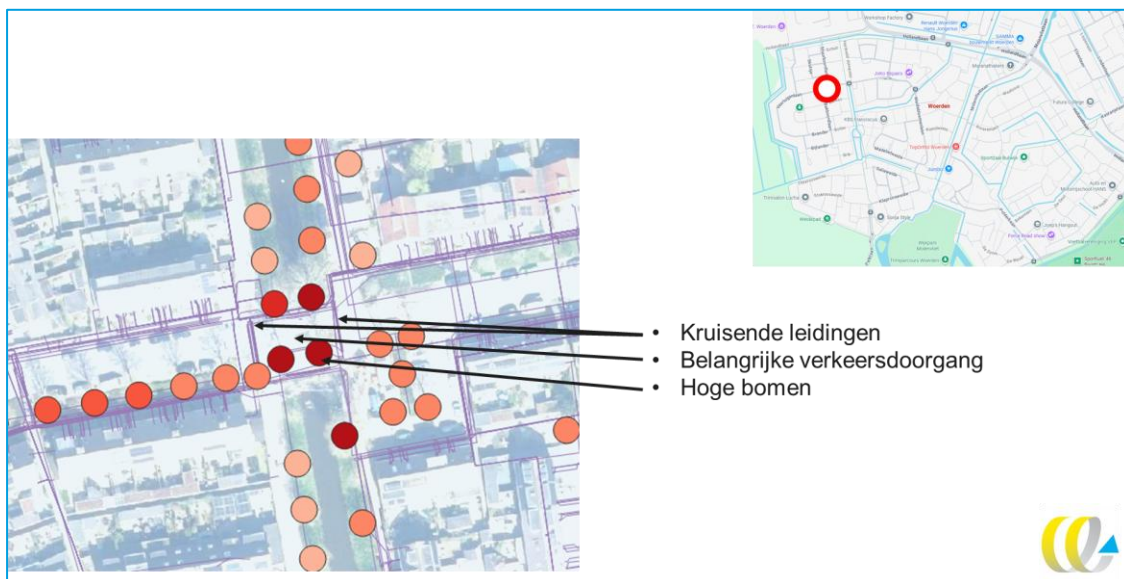
De precieze minimale graafafstand bij werkzaamheden wordt vastgesteld op basis van de stamdiameter of kroonprojectie van de boom; hoe dikker de stam of hoe groter de kroon, hoe groter de vereiste afstand. In Woerden wordt het Handboek Bomen gehanteerd. Volgens het Handboek Bomen is de zogenaamde kwetsbare boomzone de kroonprojectie +1,5 meter rondom de kroonprojectie. (Norminstituut Bomen, 2025).

Onder het straatoppervlak is er een constante strijd tussen boomwortels, kabels en leidingen, inclusief riolering, elektriciteitskabels (die verzaagd worden voor de energietransitie), en communicatienetwerken zoals glasvezel. Deze drukte leidt tot twee risico's: ten eerste kunnen wortels schade veroorzaken door buizen binnen te dringen en deze uit elkaar te drukken. Ten tweede kunnen noodzakelijke graafwerkzaamheden voor aanleg of onderhoud van de kabels zorgen voor het doorsnijden van essentiële haar- en stabiliteitswortels van de bomen, wat hun gezondheid en de veiligheid (stabiliteit) kan beïnvloeden.

### A.1.4 Kruisen van sloten en grachten en drukke verkeerspunten

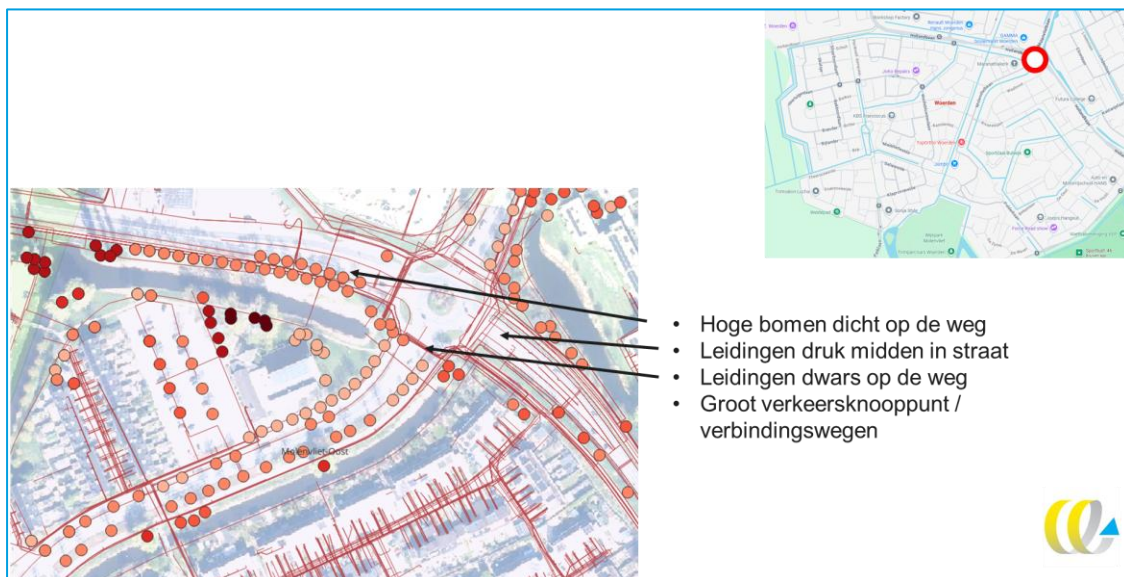
Het passeren van sloten en grachten of drukke verkeerspunten kan niet met traditioneel graven in een open sleuf. Dit vereist vaak gespecialiseerde methoden, zoals horizontale boringen of het aanbrengen van de kabels via bestaande kunstwerken (dammen met duikers). Dit voegt complexiteit, tijd en kosten toe aan het project, aangezien hiervoor watervergunningen en specifieke technische goedkeuringen nodig zijn. Zie Figuur 32 en Figuur 33, waarin enkele voorbeelden van mogelijke knelpunten zijn aangegeven.

Figuur 32 – Voorbeeld van knelpunt (A)



Bron: Dego VNG, KLIC en bomendata gemeente Woerden.

Figuur 33 – Voorbeeld van knelpunt (B)



Bron: Dego VNG, KLIC en bomendata gemeente Woerden.

## A.1.5 Beschikbare ruimte onder de wegen en straten

Voor de weergave van Figuur 34 zijn drie kaarten samengebracht: het bomenbestand, het netwerk van rioolleidingen en de wegeninfrastructuur. Al deze kaarten geven informatie over de locatie van objecten. Hieraan hebben wij de relevante afmeting (of: 'buffer') toegevoegd:

- De wegen zijn weergegeven op basis van hun breedte; hoe breder de weg, hoe breder de weergave op de kaart (Nationaal Georegister, n.d.) (Rijkswaterstaat, n.d.).
- Voor riolering hanteren we de afstandsmaat van 1,0 meter.
- Voor bomen gebruiken we een inschatting van de wortelzone door de kroon-omvang te nemen die weer gebaseerd is op de boomhoogte, aangevuld met de veiligheidszone van 1,5 meter.
- Gegevens over de ligging en omvang van waterleidingen zijn in deze verkenning niet meegenomen. Net als bij rioolleidingen geldt dat rondom waterleidingen een bufferafstand moet worden aangehouden. Dit betekent dat deze zones in principe niet beschikbaar zijn voor het aanleggen van warmteleidingen. Voor een precieze bepaling van een tracé zou dit in een vervolgfase wel meegenomen moeten worden.
- Kabels zoals elektra en telecommunicatie zijn voor de uitsluitingskaart niet meegenomen. Voor deze verkenning gaan we ervan uit dat deze ruimtelijk gezien minder dwingend zijn.

We nemen de wegbreedte als startpunt en trekken hier de 'buffers' om de riolering en de bomen af. Dit geeft een kaart die laat zien op welke plekken de breedte van de straat of weg ruimte overlaat voor de aanleg van een warmtenet. Hierbij gaan we ervan uit dat de aanwezigheid van bomen en riolering een belemmering vormen voor de aanleg van warmteleidingen, in het bijzonder voor het MT-net. Dit is een eerste inschatting: op basis van detailonderzoek kunnen knelpunten in meer detail aangewezen worden en in de ontwerpfase van een eventueel warmtetracé kan per straat een inschatting gemaakt worden van wat er precies mogelijk is.

Figuur 34 – Bomen, rioolleidingen en wegen in Woerden. De bomen zijn voorzien van een cirkel die een goede maat is voor de omvang van de kroon, aangevuld met een extra afstand van 1,5 meter vanaf het midden van de boom. Van een deel van Molenvliet-West was de boomhoogte onbekend en hebben we een buffer (straal) van 6 meter gebruikt voor de betreffende bomen.



Bron: Nationaal Wegenbestand (NWB), Wegkenmerkendatabase (WKD) en bomen van gemeente Woerden.

Figuur 35 toont het resultaat van de aftreksom van buffers: we hebben alle bomen- en rioolbuffers weggehaald uit de wegen. Hiermee wordt de resterende vrije ruimte onder de weg inzichtelijk. Het valt op dat bij enkele van de grote wegen de ruimte beperkt lijkt te zijn voor doorgang van warmteleidingen (A, B, C). Ook is de vrije doorgang in sommige straten voor leidingen en bijbehorende graafwerkzaamheden beperkt of onmogelijk, gegeven de belemmeringen (D, E).

In sommige straten ligt de riolering in het midden van de weg. Dat is bijvoorbeeld op plekken tussen B, E en F te zien. Dat is in feite ook een belemmering omdat er dan aan weerszijde van de weg nog een beperkte strook overblijft.

Deze kaart geeft een startpunt voor het nader onderzoeken van de knelpunten en oplossingen om toch in beperkt beschikbare ruimte leidingen aan te leggen.

Figuur 35 – In rood zijn de plekken aangegeven waar door bomen en riolering belemmering bestaat voor grondwerkzaamheden



Bron: Nationaal Wegenbestand (NWB), Wegkenmerkendatabase (WKD) en bomen van gemeente Woerden.

## A.2 Bodemdaling

Bodemdaling vormt een langetermijnrisico voor ondergrondse infrastructuur en de aanleg van warmtesystemen. Voor het warmtenet in Molenvliet zijn de risico's rond bodemdaling mogelijk minder direct relevant dankzij de volgende factoren:

- **Grootschalige herinrichting:** de verwachte grootschalige renovatie van de publieke ruimte en ondergrond (inclusief ophoging van het maaiveld) bij aanleg van een warmtenet zorgt ervoor dat de warmteleidingen direct in een gestabiliseerde ondergrond worden gelegd, wat de impact van eerdere daling wegneemt.
- **Geotechnische stabiliteit:** de lokale geologische structuur ter plaatse wijst op minder zettingsgevoelige lagen, wat de snelheid en omvang van de toekomstige daling minimaliseert.

Hoewel geringe, al opgetreden daling vaak wordt geneutraliseerd tijdens de aanlegfase (door 'koppelkansen' met grootschalige herinrichting van de openbare ruimte), dient er bij een ontwerp ook rekening gehouden te worden met toekomstige verzakking ná ingebruikname.

- **Spanningen opvangen:** voortdurende daling veroorzaakt ongelijkmatige spanningen op sterke, maar relatief stijve stalen warmteleidingen in geval van een MT-net. Dit is met name kritiek voor de lasverbindingen. Er dient bij het uitwerken van een warmtenetontwerp onderzocht te worden in welke mate expansielussen naast thermische spanningen ook in staat zijn om bodemgeïnduceerde spanningen op te vangen. De spanningen kunnen leiden tot versnelde veroudering, een verhoogde storingsfrequentie bij de warmtelevering en daarmee hogere levenscycluskosten (beheer en onderhoud). De ontwerplevensduur van het net moet hierop worden afgestemd.
- **Schade door spanningen voorkomen:** om schade door ongelijke zetting te voorkomen, kan onderheien van leidingen op strategische plekken noodzakelijk zijn. Dit kan leiden tot substantiële meerkosten van circa 20 tot 30% op de realisatiekosten. In Molenvliet is de stamriolering (grote diameters) volledig onderheid. Om ongelijkmatige zetting te voorkomen met de riolering die niet meezakt, is onderheien wenselijk.

Er is ook een aandachtspunt bij de interactie met lichte, isolerende vulmaterialen (zoals XPS/EPS) die soms worden gebruikt om de gronddruk te verlagen en daling tegen te gaan. De keuze en toepassing van deze materialen kan invloed hebben op de krachtenverdeling rond de warmteleidingen. Dit moet bij de nadere verkenning en ontwerp van een eventueel warmtenet verder onderzocht worden.

**Effecten mogelijke gaswinning Papekop op infrastructuur moet in beeld worden gebracht**

Mogelijke gaswinning vanuit het nabijgelegen Papekop kan onder andere een bijdrage leveren aan de bodemdaling en trillingen in het gebied. De effecten van gaswinning op infrastructuur zoals warmteleidingen, dienen deel uit te maken van een uitgebreide risico-evaluatie en milieueffectenanalyse van Gaswinning in de regio. (Bron: Gasveld - Laat Woerden Niet Zakken!)

## A.3 Netcongestie

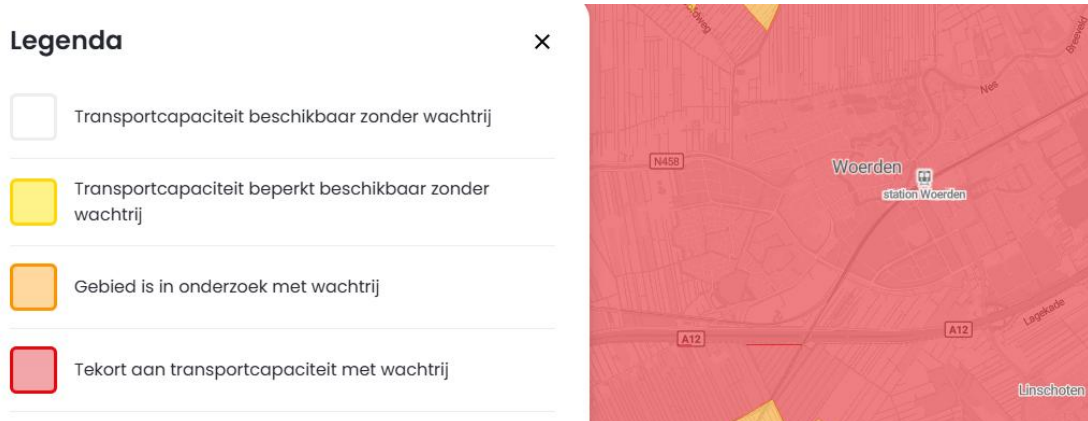
De impact van warmtetechnieken op het elektriciteitsnet zijn zowel op laag- als op midden- en hoogspanningsniveau van belang. In het algemeen zal voor iedere aardgasvrije techniek een toename in elektriciteitsverbruik worden verwacht voor het bijbehorende aardgasvrij maken van het gasfornuis dat in alle gevallen elektrisch zal worden. Daarnaast zal de groei van zon-pv en elektrisch vervoer (EV) ook extra druk op het elektriciteitsnet blijven creëren.

Er is in het gebied te weinig capaciteit voor het transport en daarmee is er dus sprake van netcongestie, zoals te zien in Figuur 36. Op dit moment betekent het niet dat woningen (kleinverbruikers) niet worden bediend wanneer zij bijvoorbeeld een warmtepomp willen en daarvoor een grotere aansluiting (bijvoorbeeld 3-fasen) nodig hebben. Het betekent vooral dat grootverbruiksaansluitingen op een wachtlijst komen te staan. Het is afhankelijk van de planning van de netbeheerder wat er op korte en middellange termijn (vijf tot tien jaar) mogelijk zal zijn.

Vanaf 1 juli 2026 vervalt in principe de voorrang voor kleinverbruikers op toekenning van netverzwaring en zal de werkwijze veranderen; kleinverbruikers hebben dan geen voorrang meer en sluiten achteraan in de wachtrij aan. Wat hiervan de consequenties zijn, hangt sterk af van de uitvoering per netbeheerder en ook van de hoeveelheid benodigde verzwaringen van aansluitingen voor woningen, van bijvoorbeeld 1 x 35A naar 3 x 25A. Momenteel loopt er nog onderzoek naar manieren om gemeenten wel pragmatische mogelijkheden te geven voor het uit blijven voeren van de energietransitie (VNG, 2025).

Wij nemen deze ontwikkeling mee door een ingroeipad te modelleren waarbij de hr-ketel wordt vervangen door hybride warmtepompen (all-electric-ready) en de verhouding geleidelijk steeds meer richting all-electric warmtepompen gaat.

Figuur 36 – De huidige situatie van netcongestie (afname voor grootverbruikers) in Woerden op het elektriciteitsnet zoals te zien op de website van Netbeheer Nederland



Bron: (Netbeheer Nederland, 2025).

Voor de laagtemperatuuroplossingen en de bijbehorende warmtepompen in de woningen is er meer aandacht op laagspanningsniveau (LS-niveau) nodig. Dit gaat over kabels in de straat naar de woningen toe. Voor het MT-net is voornamelijk een grootverbruik-elektriciteitsaansluiting nabij de centrale warmtepomp en piekvoorziening nodig. Deze zal op het middenspanningsniveau (MS-niveau) moeten worden aangesloten. Of er voldoende elektrisch vermogen is voor de grote aansluiting hangt af van de aansluiting aan het hoogspanningsnet. In de gemeente Montfoort wordt momenteel aan een nieuw onderstation gewerkt, waar ook de gemeente Woerden mee bediend zal worden. Dit is onderdeel van gecoördineerde inspanningen van hoogspanningsbeheerder TenneT en regionaal netbeheerder Stedin tot en met 2035 in de provincie Utrecht (Stedin, 2024b) (Stedin, 2024a).

Voor een MT-net zal een collectieve warmtepomp nodig zijn. Deze wordt gebruikt om de warmte uit de RWZI en de rivier op te waarden en zal extra vermogen vragen op midden- en hoogspanningsniveau. Een voorbeeld van zo'n warmtepomp is die in Overvecht bij Utrecht (Eneco, 2025). Deze heeft een vermogen van 27 MW en kan voor de warmtevraag van circa 20.000 woningen worden gebruikt.

Indien de woningen in zowel Molenvliet-Oost als Molenvliet-West volledig op de individuele warmtepomp over zouden gaan (verwarmen met een lucht-waterwarmtepomp), kan het extra benodigd vermogen op een koude winterdag tot wel 9,5 MW oplopen (rekening houdend met gelijktijdigheid op HS-/MS-niveau). Dit betekent al snel dat het aantal elektriciteitshuisjes in de wijk zal moeten verdubbelen. Netbeheer Nederland rekent de groei van pv en EV mee in deze aanname. Het extra bovengrondse ruimtebeslag in de wijk kan oplopen tot ongeveer 210 tot 280 m<sup>2</sup> (17 tot 22 parkeerplaatsen) en de verzwaaring van een transformatorstation kan twee tot drie jaar duren (Netbeheer Nederland, 2022), nog afgezien van de wachttijd voor uitvoering.

De mogelijkheden en consequenties van de scenario's op zowel het LS- als het MS-niveau moeten tijdig met de netbeheerder en hun planning voor netverzwaren worden afgestemd. Zo kunnen onnodige extra overlast en de maatschappelijke kosten zo klein mogelijk gehouden worden. Het is aan te raden hen vroegtijdig bij de plannen voor een aardgasvrij Molenvliet te betrekken.

## A.4 Vergunningen en doorlooptijd

### A.4.1 Vergunningen warmtenetten en warmtebronnen

In de volgende tabellen is een gedetailleerd overzicht weergegeven van vergunningen die bijna altijd relevant zijn voor de ontwikkeling van warmtenetten. Daarnaast zijn er ook vergunningen nodig voor specifieke situaties, bijvoorbeeld bij gevoelige locaties zoals drinkwatergebieden.

Tabel 13 – Overzicht vergunningen warmtenet

| Juridische activiteiten warmtenetten (bijna) altijd relevant   | Bevoegd gezag  |
|--|--|
| Leveren van warmte aan meer dan tien verbruikers tegelijk of meer dan 10.000 GJ per jaar                               | ACM in opdracht van KGG  |
| Exploiteren van een buisleiding voor onder andere warmte, als onderdeel van een warmtenet + bijbehorende voorzieningen | College van B&W  |
| Aanwijzing gebieden  | Gemeenteraad   |
| Aanleg van (warmte)leidingen (verordeningen kabels en leidingen in het omgevingsplan)                                  | College van B&W (al dan niet met instemming/ advies gemeenteraad)      |
| Onderhoud van leidingen en verrichten van noodreparaties   | College van B&W  |
| Bouwen van een bouwwerk, geen gebouw zijnde, ondergronds buis- of leidingstelsel                                       | College van B&W  |
| Aanleggen buisleiding voor warmtetransport - mer- (beoordelings)plichtig project (cat. J9)                             | Bevoegd gezag voor het aangewezen mer- (beoordelings)plichtige besluit |

Op basis van [NWN – Vergunningen voor een warmtenet: wat komt erbij kijken?](#)

Tabel 14 – Overzicht algemene vergunningen voor bouwwerken

| Juridische activiteiten algemeen (bijna) altijd relevant   | Bevoegd gezag   |
|--|---|
| Bouwen van bouwwerk > 3 m en > 15 m <sup>2</sup>   | College van B&W   |
| Activiteit met mogelijke gevolgen voor van nature in het wild levende dieren of planten          | GS provincie – Minister van LVVN  |
| Vellen van een houtopstand   | GS provincie - Minister van LVVN  |
| Kappen/snoeien van bomen of boomwortels  | College van B&W (al dan niet met instemming /advies gemeenteraad)   |
| (Grondroerende) activiteiten met mogelijke gevolgen voor archeologische (rijks)monumenten        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Minister van OCW</li> <li>College van B&amp;W met advies/instemming van RCE</li> </ul> |
| Activiteit binnen het Natuurnetwerk Nederland  | College van B&W (al dan niet met instemming/ advies gemeenteraad)   |
| Activiteit met stikstofdepositie of ander significant negatieve effecten op Natura 2000-gebieden | GS provincie - Minister van LVVN  |
| (Grondroerende) activiteiten met mogelijke gevolgen voor ontplofbare oorlogsresten               | College van B&W (al dan niet met instemming/ advies gemeenteraad)   |
| Aanleggen of veranderen van een weg  | GS provincie - College van B&W - DB waterschap  |
| Uitweg maken of veranderen   | GS provincie - College van B&W - DB waterschap  |
| Werken aanleggen   | GS provincie - College van B&W - DB waterschap  |
| Onttrekken/aanvullen grondwater  | Bevoegd gezag voor het aangewezen mer- (beoordelings)plichtige besluit  |

Voor de ontwikkeling van warmtebronnen zijn er nog aanvullende vergunningen nodig. Hieronder staan de belangrijkste vergunningen opgesomd:

- Voor **aquathermie** zijn vooral de waterschappen en de minister van Infrastructuur en Waterstaat belangrijk. Het gaat om vergunningen voor het gebruik van oppervlaktewater, in- en uitstroomvoorzieningen, en lozingen van warmte-/koelwater. Vaak geldt er ook een zorgplicht bij het onttrekken van water boven bepaalde debieten.
- **Warmteopslag** (open of gesloten bodemenergiesystemen) vraagt om vergunningen van de provincie of gemeente. Voor open systemen is Gedeputeerde Staten (GS) het bevoegd gezag, voor gesloten systemen doorgaans het college van Burgermeester en Wethouders (B&W). Grondwateronttrekking kan mer-plichtig zijn en valt onder provinciale of Rijksbevoegdheid.

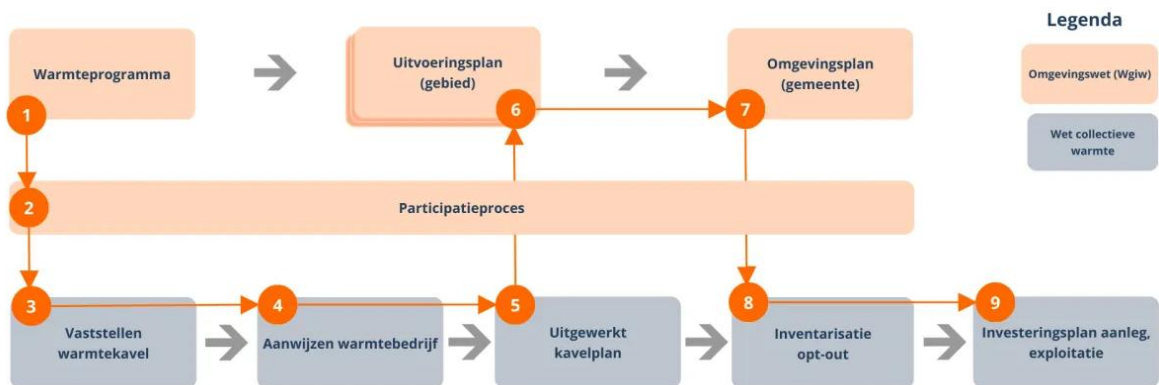
Meer vergunningen en extra details zijn opgenomen in het overzicht opgesteld door CE Delft en Deltares in opdracht van Nieuwe Warmte Nu: [NWN – Vergunningen voor een warmtenet: wat komt erbij kijken?](#)

## A.4.2 Doorlooptijd warmtenetten en warmtebronnen

De ontwikkeling, organisatie en realisatie van warmtenetten zelf is een complex proces dat erg afhankelijk is van de samenwerking tussen gemeente, warmtebedrijf en betrokken stakeholders, en de participatie van de aan te sluiten partijen (bewoners en gebouweigenaren).

Het planproces om te komen tot een warmtenet wordt gestroomlijnd in de nog aan te nemen Wet collectieve warmtevoorziening (Wcw). De doorlooptijd van dit proces is afhankelijk van veel factoren. De doorlooptijd van het planproces alleen duurt vaak al meerdere jaren, zie Figuur 37.

Figuur 37 – Gemeentelijk planproces in de warmtetransitie



Bron: [www.nplw.nl](http://www.nplw.nl), NPLW – Gemeentelijk planproces.

Ook de technische ontwikkeltijd die erop volgt is onzeker. Tabel 15 laat zien dat de technische ontwikkeltijd van warmtebronnen sterk uiteenloopt en een bandbreedte heeft, wat directe gevolgen heeft voor het tempo van de ontwikkeling van warmtenetten. Voor bronnen zoals geothermie en industriële restwarmte zijn de doorlooptijden lang, waardoor tijdige besluitvorming en duidelijke beleidskaders essentieel zijn. Deze bronnen staan niet in het overzicht, omdat deze niet van toepassing zijn voor Molenvliet. Sneller te realiseren technieken, zoals lagetemperatuurrestwarmte en thermische energie uit oppervlaktewater, kunnen met gerichte ondersteuning al binnen enkele jaren bijdragen indien het elektriciteitsnet dit toelaat. Bij elektrische alternatieven (zoals e-boilers en warmtepompen) blijkt namelijk de beschikbaarheid van netcapaciteit doorslaggevend voor de realisatietijd. Dit soort aansluitingen zijn afhankelijk van midden- en hoogspanningskoppelingen, en de doorlooptijd daarvan is aanzienlijk hoger dan die voor laagspanningssystemen.

Tabel 15 – Ontwikkeltijd van warmtebronnen voor collectieve warmtelevering

| Warmtebron/techniek                             | Totale ontwikkeltijd | Belangrijkste fases   |
|---|----------------------|---|
| LT-restwarmte (datacenter/RWZI)                 | 3,5-8 jaar           | Verkenning/haalbaarheid 0,5 tot 1 jaar, subsidies/vergunningen/overeenkomsten ±2-5 jaar, financiering en realisatie 1 tot 2 jaar. |
| Thermische energie uit oppervlaktewater (TEO)   | 2-5 jaar             | Verkenning 0,3 tot 1 jaar, onderzoek en ontwerp 0,5 tot 2 jaar, vergunning ±0,3 tot 0,5 jaar, realisatie 1 tot 2 jaar.            |
| E-boiler (zonder netverzwaring)                 | 3-5 jaar             | Planning/engineering, vergunningen, financiering en realisatie.   |
| E-boiler (met netverzwaring)                    | 7-16 jaar            | Inclusief MS-/HS-netaanpassing (5 tot 12 jaar).   |
| Grootschalige warmtepomp (zonder netverzwaring) | 1-3 jaar             | Ontwerp, vergunningen, realisatie; parallel met beperkte netaanpassingen.   |
| Grootschalige warmtepomp (met netverzwaring)    | 4-8 jaar             | Inclusief MS-/HS-netaanpassing.   |

Bron: ([CE Delft](#)).

### A.4.3 Aanschaf van een warmtepomp

In veel gevallen kan de installatie van een warmtepomp in Nederland zonder vergunning plaatsvinden. Dit geldt bijvoorbeeld wanneer de buitenunit niet hoger is dan 1 meter en een oppervlakte van maximaal 2 m<sup>2</sup> heeft, mits deze niet aan de voorzijde van de woning of op een zichtbaar dakvlak wordt geplaatst. Ook mag de draagconstructie van het gebouw niet worden gewijzigd.

Er zijn echter situaties waarin een vergunning wel verplicht is. Dit speelt met name bij monumentale panden, en woningen die onderdeel uitmaken van een beschermd stads- of dorpsgezicht. In Molenvliet is dit niet het geval. Ook bij grotere installaties of wanneer de unit duidelijk zichtbaar is vanaf de openbare weg, kan een omgevingsvergunning nodig zijn. Voor bodemwarmtepompen dieper dan 50 meter geldt bovendien een vergunningsplicht, vanwege de mogelijke effecten op het grondwater en de ondergrond. Gemeenten kunnen daarnaast via hun omgevingsplan aanvullende regels stellen. Zo kan er bijvoorbeeld een meldingsplicht gelden of kan in sommige gevallen een aanvullende vergunning nodig zijn.<sup>3</sup>

Een ander belangrijk juridisch aspect zijn de geluidsnormen. Volgens het Besluit bouwen leefomgeving (Bbl) mag een warmtepomp overdag niet meer dan 45 dB(A) produceren op de erfgrans en in de nacht niet meer dan 40 dB(A). Dit betekent dat de plaatsing van de unit zorgvuldig moet worden overwogen, vaak in de achtertuin of op een afgeschermd plek/kast, zodat overlast voor burens wordt voorkomen.

<sup>3</sup> [Informatiepunt Leefomgeving – Plaatsen van een warmtepomp](#)

Voor de meeste luchtwarmtepompen geldt dat de installatie snel kan plaatsvinden: zodra de warmtepomp beschikbaar is en een gecertificeerd installateur ingepland kan worden. Wanneer een vergunning vereist is, neemt de standaardprocedure gemiddeld acht weken in beslag, met de mogelijkheid tot verlenging met zes weken. Bij monumenten of beschermde stadsgezichten kan de procedure langer duren, soms tot 26 weken. Voor bodemwarmtepompen kan de aanvraag van een watervergunning extra tijd vergen, afhankelijk van de provincie of het waterschap, waardoor enkele maanden vertraging kan ontstaan.

De installatie van warmtepompen kan na beslissing dus snel plaatsvinden. Bovendien kunnen kleinverbruikers (waar vrijwel alle woningeigenaren onder vallen) ondanks netcongestie zonder problemen hun netaansluiting verzwaren zodat deze geschikt is voor een warmtepomp. De nodige isolatiemaatregelen en aanpassingen aan het afgiftesysteem om een warmtepomp optimaal te laten werken, kunnen de aanschaf van een warmtepomp vertragen. De omvang en doorlooptijd van deze werkzaamheden is gebouwspecifiek.

# B Beschrijving van de bronnen en technieken














## B.1 Toelichting duurzame warmtebronnen





### B.1.1 Overzicht mogelijke warmtebronnen Molenvliet

Een overzicht van de onderzochte warmtebronnen en hun kansrijkheid voor de woningen in Molenvliet is weergegeven in Tabel 16.

Tabel 16 – Overzichtstabel potentie duurzame warmtebronnen Woerden

| Categorie warmte               | Warmtebron   | Kansrijk?     | Details   |
|--------------------------------|--|---------------|---|
| Luchtwarmte (aerothermie)      | Buitenlucht  | ✓<br>Ja       | Uit de buitenlucht is voldoende warmte te winnen voor het voorzien van alle warmtevraag.  |
|                                | Ventilatielucht  | ⚠<br>Onbekend | Restwarmtewinning uit gebouwen kan in theorie ingezet worden, de potentie is onbekend.  |
| Warmte uit water (aquathermie) | Oppervlaktewater (TEO):<br>• Stromende waterlichamen   | ✓<br>Ja       | Uit de rivier de Oude Rijn kan in principe tussen de 20.000 en 30.000 GJ per jaar worden onttrokken.<br>Stilstaande waterlichamen (sloten, kleine plassen) nemen we niet mee. |
|                                | Afvalwater (TEA), ook wel 'riothermie':<br>• Rioolwaterzuiveringsinstallatie<br>• Rioolgemalen<br>• Influent | ✓<br>Ja       | RWZI Woerden kan op basis van onderzoek van Syntraal in combinatie met wko warmte leveren aan ruim 1.000 woningen.  |
|                                | Drinkwater (TED)   | ✗<br>Nee      | Geen potentie geschat.  |
| Bodemwarmte (tot 500 m)        | Gesloten bodemenergie (GBES)   | ✓<br>Ja       | Geen beperkingen en ruime potentie.   |

| Categorie warmte   | Warmtebron  |             | Kansrijk?   | Details  |
|--|---|-------------|---|--|
|  | Open bodemenergiesysteem (OBES), ook wel warmte/koude-opslag (wko)  |             | <br>Ja   | Geen beperkingen en ruime potentie.  |
| Aardwarmte   | Ondiepe geothermie (500-1.500 m)  |             |  <br>Nee      | Geothermie in de regio rondom Woerden is niet beschikbaar.   |
|  | Diepe geothermie (1.500-4.000 m)  |             |  <br>Nee      |  |
|  | Ultradiepe geothermie (dieper dan 4.000 m)  |             |  <br>Nee      |  |
| Zonthermie   | Zonnecollectoren  |             |  <br>Onbekend | Zonnecollectoren (buizen) onder kunstgrasvelden bij hockey en voetbal. (8-12 ha; moet dan wel ontwikkeld worden tot ZLT-net). Overdekking van parkeerplaatsen met zonthermie is een lokaal beschikbare optie voor individuele kleinschalige projecten.   |
| MT en HT (> 55°C, > 75°C) rest- of aftap-warmte bestaande installaties | Industriële (bedrijven, raffinaderijen, elektrolyzers, datacenters)   |             | <br>Onbekend  | BMI Group Woerden staat met een vermogen van 3 MW geregistreerd in de Warmteatlas, en zal naar verwachting in 2030 nog beschikbaar zijn. De temperatuur en het exacte uitkoppelbare vermogen is onbekend.  |
|  | Centrale verbrandingsinstallaties (afvalverbranding (AVI), stoom- en gasturbines (STEG), conventionele gascentrales, kolencentrales, kerncentrales of anders) |             | <br>Nee  | Er zijn geen nabijgelegen centrale verbrandingsinstallaties met beschikbare capaciteit voor Molenvliet.  |
|  | Decentrale verbrandingsinstallaties (wkk's, (hulp)ketels op gas of biomassa)  |             | <br>Nee  | Er zijn geen nabijgelegen decentrale verbrandingsinstallaties met beschikbare capaciteit voor Molenvliet.  |
| ZLT en LT (< 30°C, < 55°C) restwarmte bestaande installaties           | Bedrijfslocaties  | Datacenters | <br>Onbekend   | Op 500 m ten oosten van de wijk, achter het spoor ligt een middelklein datacenter van Switch waar volgens de Warmteatlas tot 3 MW aan restwarmte van rond de 30°C beschikbaar is. Deze locatie is waarschijnlijk niet realistisch voor gebruik voor Molenvliet, eerder voor de wijk Snel en Polanen. |

| Categorie warmte | Warmtebron    |                                     | Kansrijk?   | Details   |
|------------------|---------------|-------------------------------------|---|---|
|                  |               | Supermarkten en voedingsfabrikanten |  <br>Onbekend | Bij de lokale buurtsupermarkt en twee kleinschalige voedingsfabrikanten is volgens de Warmteatlas condenswarmte uit koelprocessen beschikbaar. Potentie en langdurige beschikbaarheid onbekend. |
|                  | Sportlocaties | Zwembaden                           | <br>Nee  | Zwembad Batenstijn ligt te ver van Molenvliet.  |
|                  |               | IJsbanen                            | <br>Nee  | Er is geen ijsbaan in Woerden.  |

### Conclusie aanbod duurzame warmtebronnen

Er zijn lokaal voldoende en diverse duurzame warmtebronnen beschikbaar om Molenvliet te verwarmen, mits gecombineerd met wko en piek- en back-upvoorziening. Het gaat hierbij vrijwel uitsluitend om lagetemperatuurwarmtebronnen (30 tot 55°C) en zeerlage-temperatuurwarmtebronnen (< 30°C), zoals aquathermie en restwarmte van bedrijven. Vanuit de ontwerpprincipes hebben aquathermie en restwarmte de voorkeur boven omgevingswarmte uit lucht of bodem. Voor de inzet van al deze bronnen bij ruimteverwarming en warmtapwaterbereiding zijn warmtepompen noodzakelijk.

De mogelijkheden voor directe toepassing van duurzame energiedragers zoals groengas, biomassa, groene waterstof of duurzame elektriciteit (bijvoorbeeld in een elektrische boiler) zijn niet lokaal onderzocht. In theorie kunnen installaties die op deze energiedragers werken vrijwel overal worden toegepast. Verwacht wordt echter dat groengas en groene waterstof slechts beperkt en tegen relatief hoge kosten beschikbaar komen. Ook directe inzet van elektriciteit in een elektrische boiler is door de lagere efficiëntie aanzienlijk duurder dan het gebruik van warmtepompen. Deze toepassingen zijn daarom vooral geschikt als piekvoorziening, bijvoorbeeld binnen een collectief warmtenet.

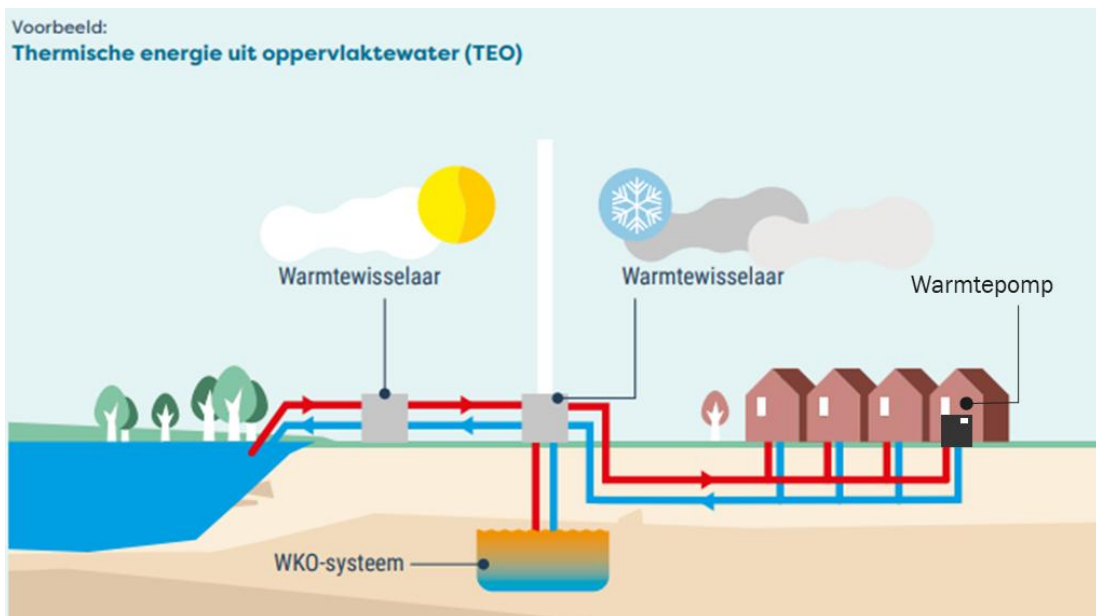
## B.1.2 Buitenluchtwarmte (aerothermie)

Warmte kan uit de lucht worden onttrokken en (na opwaardering van een warmtepomp) ingezet worden voor gebouwverwarming of tapwaterbereiding. De lucht kan worden teruggewonnen uit ventilatielucht, of direct uit de buitenlucht worden onttrokken. Warmte uit de buitenlucht is altijd beschikbaar, maar is wel minder efficiënt dan de meeste andere warmtebronnen. Deze bron zal in geval van een ZLT-net nodig zijn om de wko te kunnen 'opladen' in de zomer, om in de winter in te zetten, aangevuld met warmte uit bijvoorbeeld aquathermie.

### B.1.3 Water als warmtebron (aquathermie)

Nederland is een waterrijk land, zowel aan de oppervlakte als in de bodem. Aquathermie is de benutting van de warmte en/of koude uit oppervlaktewater (TEO), afvalwater (TEA), of drinkwater (TED). De warmte of koude kan rechtstreeks benut worden of worden opgeslagen voor gebruik op een later moment. De bodem speelt hierin een centrale rol als buffer. Zo kan de warmte in de zomer worden gewonnen en opgeslagen, en in de winter weer gebruikt worden. Dit principe werkt tegenovergesteld voor koude als bron voor koeling van gebouwen, zie ook de toelichting op warmte/koudeopslag (wko) in Bijlage B.2.

Figuur 38 – Illustratie waarbij het verwerken van warmte uit oppervlaktewater in combinatie met een ondergrondse warmte/koudeopslag (wko) wordt getoond. Vanuit de wko gaat jaarrond water met een lage temperatuur (< 30°C) naar de woningen waar deze in de woningen wordt opgewaardeerd voor gebruik met behulp van een warmtepomp.



Bron: (NPRES, 2020).

Figuur 39 – Technische ruimte met warmtewisselaars IJzeren Vrouw (links) ondergronds aangelegd Laakhaven (rechts).

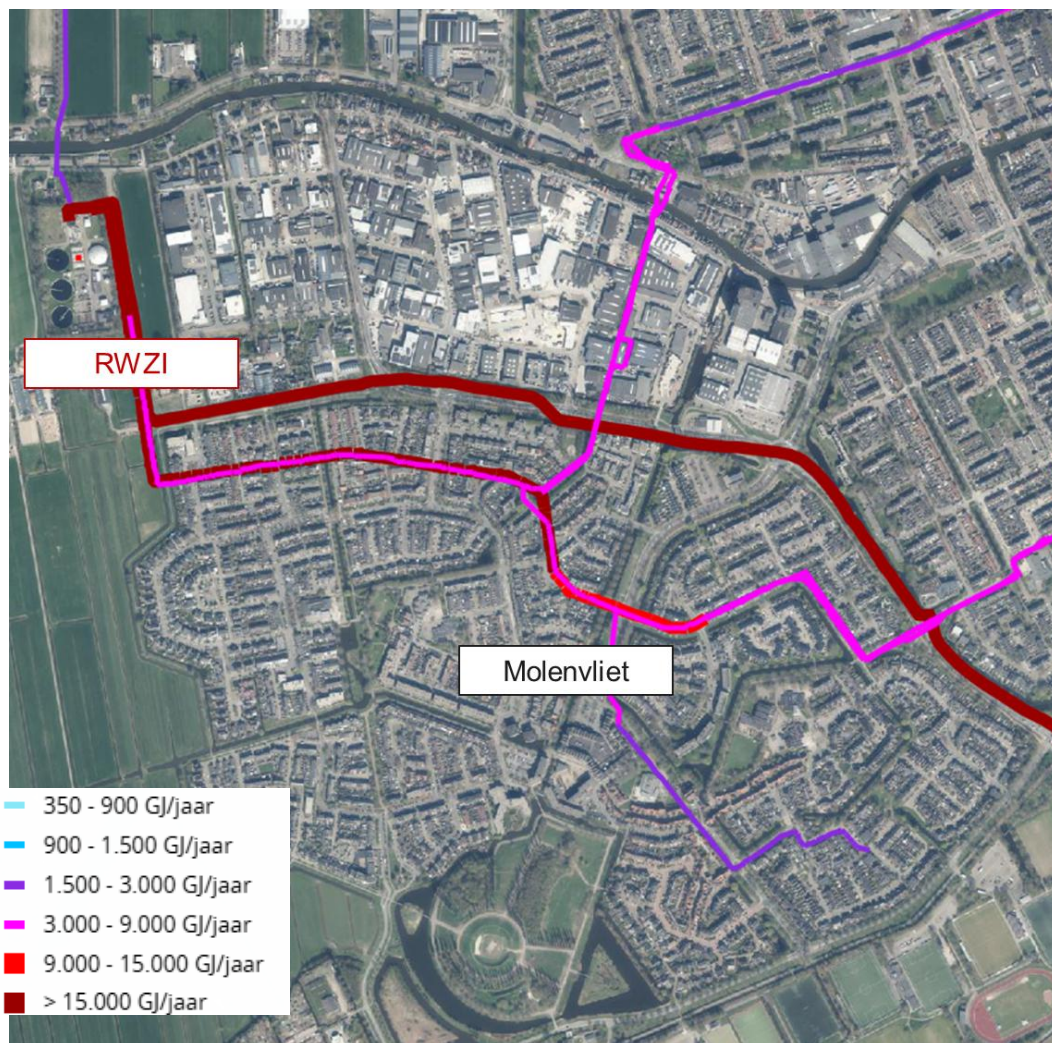


Bron: (WarmingUp, 2021).

Warmte die gewonnen wordt, moet opgewaardeerd worden om tot de gewenste temperatuur te komen. Dit kan centraal gebeuren met een collectieve warmtepomp, maar in geval van een ZLT-net wordt dit gedaan met een individuele warmtepomp in de woningen. Er moet dus energie worden toegevoegd in de vorm van elektriciteit. In beide gevallen wordt de warmte (of koude) via een warmtenet getransporteerd naar de woningen. Transport van (zeer)lage temperatuurwarmte heeft als voordeel dat er minder warmteverliezen zijn onderweg en dat de buizen makkelijker te verwerken zijn dan bij hogere temperatuurwarmte (zoals MT).

Aquathermie is een relatief kostbare warmtebron door de aanzienlijke investeringen en behoefte aan elektriciteit. Subsidie is nodig voor een rendabele aquathermiebron. Dit werken we verder uit in de verdienmodellen bij de scenario's, zie Bijlage C.8.

Figuur 40 – Potentie voor thermische energie uit afvalwater (TEA) in Molenvliet (hier in de basis zonder wko). Zichtbaar zijn de hoofdleidingen van het riool met linksboven de zuiveringsinstallatie (RWZI) aan de Oude Rijn.



Bron: Aquathermieviewer HDSR (WarmingUp, lopend).

Figuur 41 – TEO-potentie Molenvliet kansrijke wateren (stromend). Met name de Oude Rijn ten noorden van het bedrijventerrein, boven in dit kaartje, is relevant als bron.



Bron: Aquathermievier HDSR (WarmingUp, lopend).

Tabel 17 – Details warmtebronnen

|                               | TEO + wko + warmtepomp  | TEA + warmtepomp   | Riothermie + warmtepomp   |
|-------------------------------|---|--|---|
| Temperatuurniveau             | ZLT (5 tot 24°C)  | ZLT (12 tot 24°C)  | ZLT (12 tot 24°C)   |
| Duurzaamheid                  | Aardgasvrij, wel elektriciteit nodig voor opwaardering.   | Aardgasvrij, wel elektriciteit nodig voor opwaardering.  | Aardgasvrij, wel elektriciteit nodig voor opwaardering.   |
| Ruimtelijke impact warmtebron | Bovengronds een uitkoppeling uit waterloop en een warmteoverdrachtstation (WOS).<br>Ondergronds een wko-systeem.  | Bovengronds een warmteoverdrachtstation en uitkoppeling nabij de RWZI.   | Bovengronds een warmteoverdrachtstation en ondergrondse uitkoppeling (speciale rioolbuizen met warmtewisselaars). |
| Kansen en onzekerheden        | Koelen is mogelijk bij een wko. Ecologisch onderzoek is nodig voor de haalbaarheid van onttrekking van warmte aan de rivier.<br>Wko is mogelijk, maar ook hier moet detailonderzoek uitwijzen wat er precies mogelijk is in de omgeving van de rivier en de RWZI. | Samenwerking met waterschap, primaire focus van waterzuivering blijft behouden.<br>Er is sprake van uitbreiding van deze installatie. Dat biedt koppelkansen voor realisatie van een integraal systeem voor een warmtewet. | Schaal riothermie is vaak beperkt tot een honderdtal woningen. Riothermie is soms niet doorlopend beschikbaar.    |

### B.1.4 Ondiepe bodemwarmte (aardwarmte)

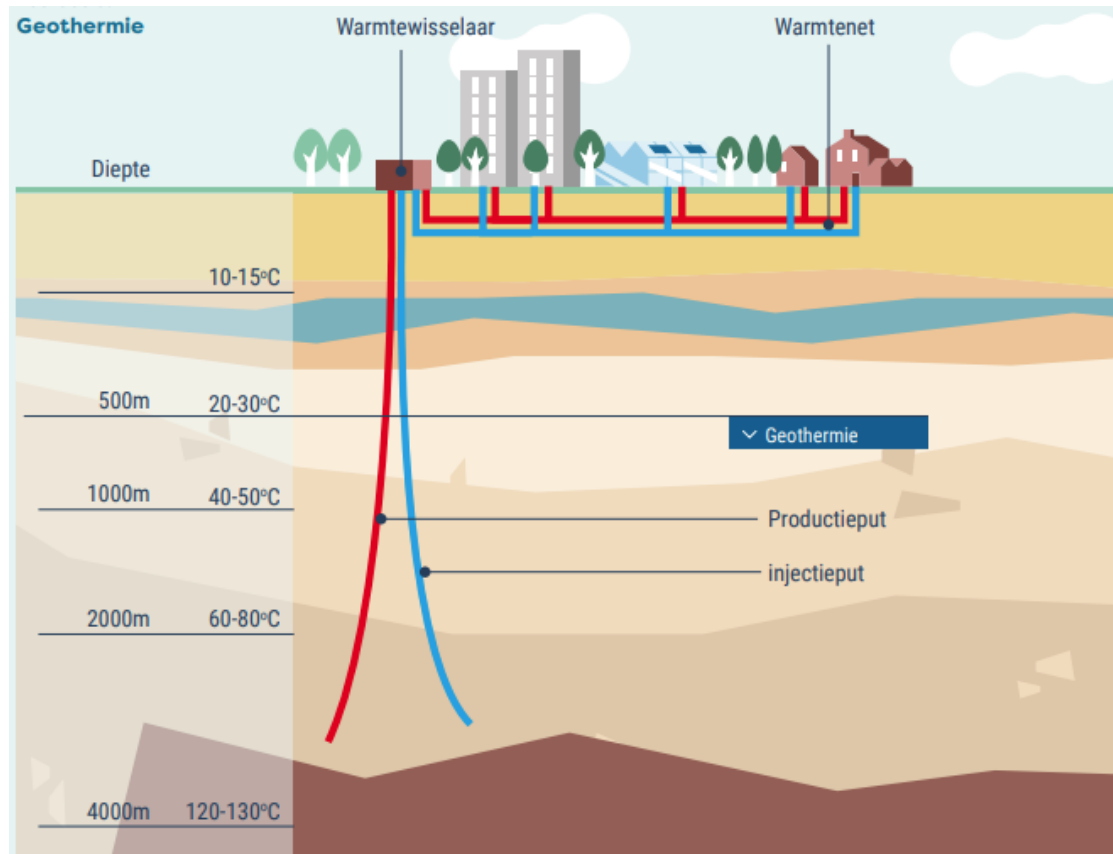
Warmte kan uit de ondiepe ondergrond worden gewonnen met een gesloten bodemenergiesysteem. Tot een diepte van 500 meter wordt dit *aardwarmte* genoemd. Water stroomt door lussen in de bodem, waarmee in de winter relatief warme stromen, en in de zomer relatief koude stromen worden gewonnen, ten opzichte van de buitenlucht. In Woerden zijn geen beperkingen voor bodemwarmte vastgesteld. Toepassing van individuele bodemwarmte in combinatie met warmtepompen is voornamelijk interessant voor nieuwbouw, omdat door wisselwerking tussen warme en koude lussen een goede planning en gecoördineerde uitvoering belangrijk is. Als dit in een bestaande woonwijk door verschillende woningeigenaren, met verschillende systemen, door verschillende aannemers, op verschillende momenten gedaan wordt, is de kans groot dat warme en koude lussen te veel last van elkaar krijgen waardoor het minder efficiënt en minder effectief werkt.

Naast gesloten bodemenergiesystemen zijn er ook open bodemenergiesystemen (OBES, ook wel warmte-koudeopslag (wko) mogelijk, waarmee over het seizoen ook warmte en koude kan worden opgeslagen. Dit staat verder beschreven in Paragraaf B.2.1.

## B.1.5 Diepe bodemwarmte (geothermie)

In de bodem is warmte opgeslagen: hoe dieper je gaat, hoe warmer het wordt. Geothermie, is het gebruik van deze warmte uit de diepe ondergrond (vanaf 500 m diepte). Zie Figuur 42.

Figuur 42 – Indicatie van geothermiesysteem

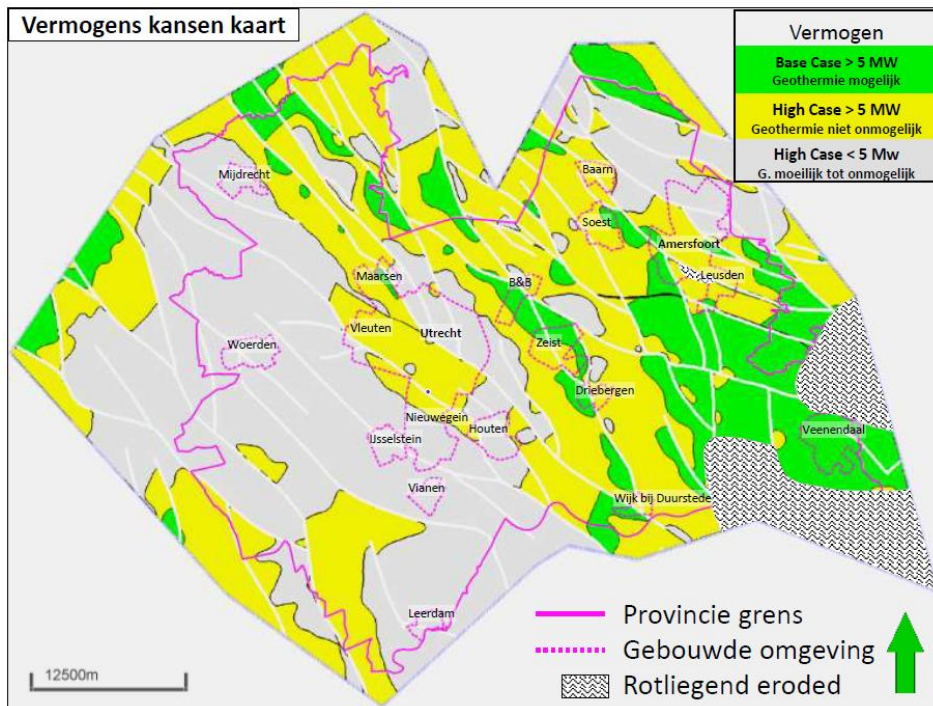


Bron: [www.warmteatlas.nl](http://www.warmteatlas.nl)

Om de warmte uit de diepe ondergrond te benutten, moeten twee putten, een zogenaamd doublet, worden geboord: de productieput en de injectieput. De productieput pompt het warme water omhoog. Vervolgens wordt de warmte via een warmtewisselaar afgegeven aan een warmtenet. Het afgekoelde water wordt via de injectieput terug naar dezelfde aardlaag gepompt. Hoe dieper de boring, hoe hoger de temperatuur van het water, en hoe hoger de kosten van de boring. Geothermie is alleen mogelijk op locaties waar voldoende potentie is in de ondergrond. Er is voor het onttrekken van warmte uit gesteentelagen vaak wel intensief gebruik van chemicaliën nodig, wat risico's oplevert voor infiltratie in grond- en drinkwaterlagen.

Uit onderzoek van EBN en Panterra naar het Rotliegend blijkt dat de diepe geothermiepotentie laag is in Woerden. Geothermieontwikkeling is moeilijk tot onmogelijk. Dit is met redelijke zekerheid vastgesteld, zie Figuur 43.

Figuur 43 – Geothermievotentie provincie Utrecht

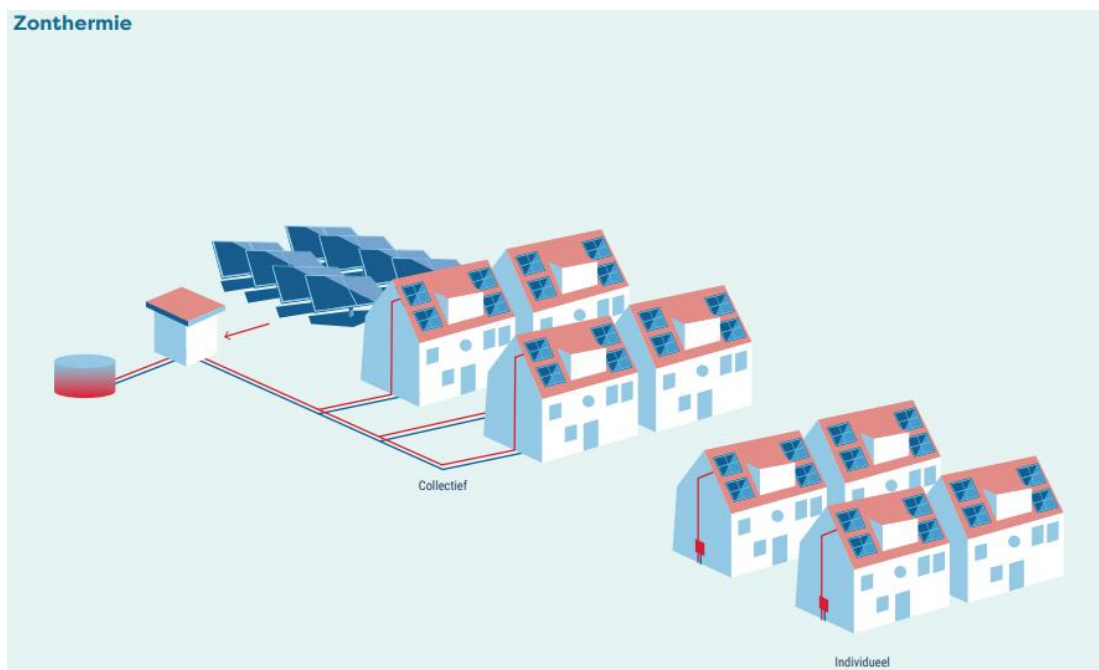


Bron: (PanTerra, 2021).

## B.1.6 Zonthermie

Zonthermie is de opwekking van warmte uit zonnestraling, niet te verwarren met zon-pv die elektriciteit opwekt. In principe loopt een (koud)warmtewisselend medium door buizen heen die de zonnestraling opvangt, een zogenaamde zonnecollector, waardoor het medium opwarmt tot 40-90°C afhankelijk van het type collector. Zonthermie wordt toegepast in diverse vormen, bijvoorbeeld als een zonneboiler op het dak van een individueel gebouw of als een grootschalig zonthermiesysteem in veldopstelling voor collectieve warmtenetten of bedrijfsprocessen. Zonthermie wordt los nooit gebruikt als primaire bron van een warmtenet, maar alleen als extra bron boven op de basislast.

Figuur 44 – Illustratie van zonthermie in de gebouwde omgeving



Bron: [www.warmteatlas.nl](http://www.warmteatlas.nl)

### PVT-panelen

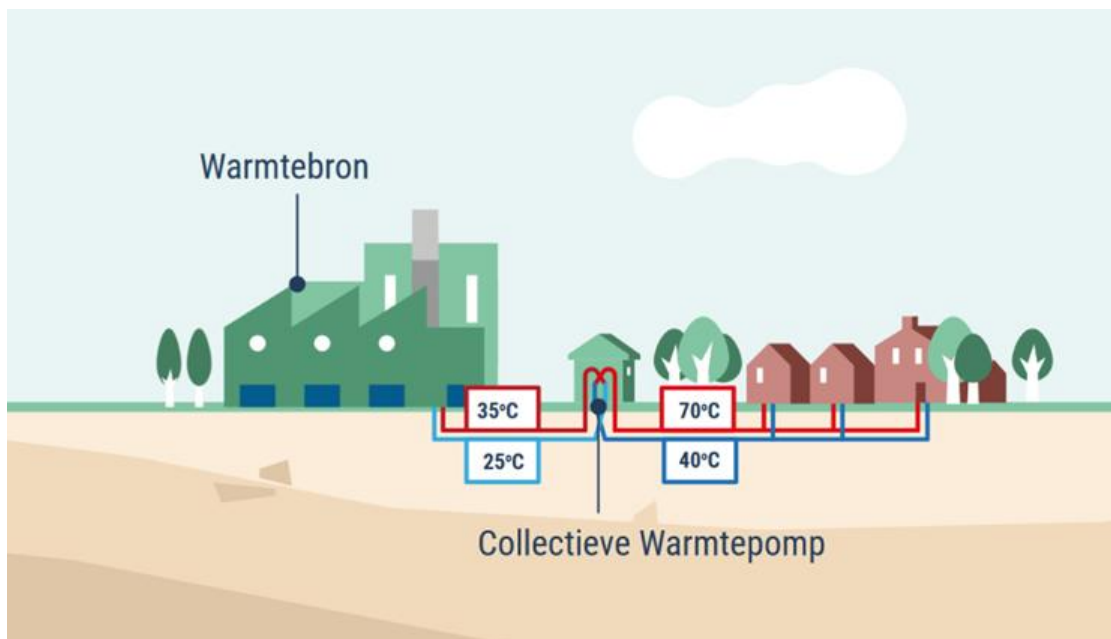
Zonthermie kan ook gecombineerd worden met een pv-paneel. Dit gecombineerde systeem heeft aan de voorkant een normaal pv-paneel, maar daarachter zit het thermische deel met leidingen waar een warmte-koudemiddel doorheen stroomt. Deze leidingen warmen op door de zoninstraling of door de warmte in de buitenlucht. In samenwerking met een warmtepomp wordt de energie omgezet in bruikbare warmte voor het gebouw. De combinatie van warmte uit zon en/of omgeving met eigen opgewekte elektriciteit zorgt voor een hoog rendement voor een PVT-systeem.

Aangezien de warmtevraag in de winter het grootst is en de zon dan juist minder schijnt en het buiten kouder is, kan bij grotere systemen een wko worden geplaatst. In de zomer warmen de PVT-panelen de wko op en in de winter kan het water met een temperatuur van 20°C worden gebruikt om de PVT-panelen te voeden. Zonthermie zal op buurtniveau altijd moeten worden gecombineerd met een andere bron om jaarrond voor voldoende warmte te kunnen zorgen. Voor sommige zeer goed geïsoleerde woningen kan een PVT-systeem een alternatief zijn voor een warmtepomp met buitenluchtunit.

### B.1.7 MT-Restwarmte (>55°C)

Bij veel processen in de industrie en bij koeling van bijvoorbeeld datacenters, komt warmte vrij. Wanneer deze warmte niet meer economisch rendabel te gebruiken is, wordt dit *restwarmte* genoemd. Restwarmte is per definitie CO<sub>2</sub>-vrij; voor het produceren ervan is immers geen extra energie nodig. Restwarmte wordt in veel gevallen geloosd op het oppervlaktewater of naar de lucht via rookgassen of verdamping via koeltorens. Maar restwarmte kan ook worden ingezet om water in een warmtenet te verwarmen.

Figuur 45 – Illustratie van het gebruik van restwarmte in een MT-net



Bron: [www.warmteatlas.nl](http://www.warmteatlas.nl)

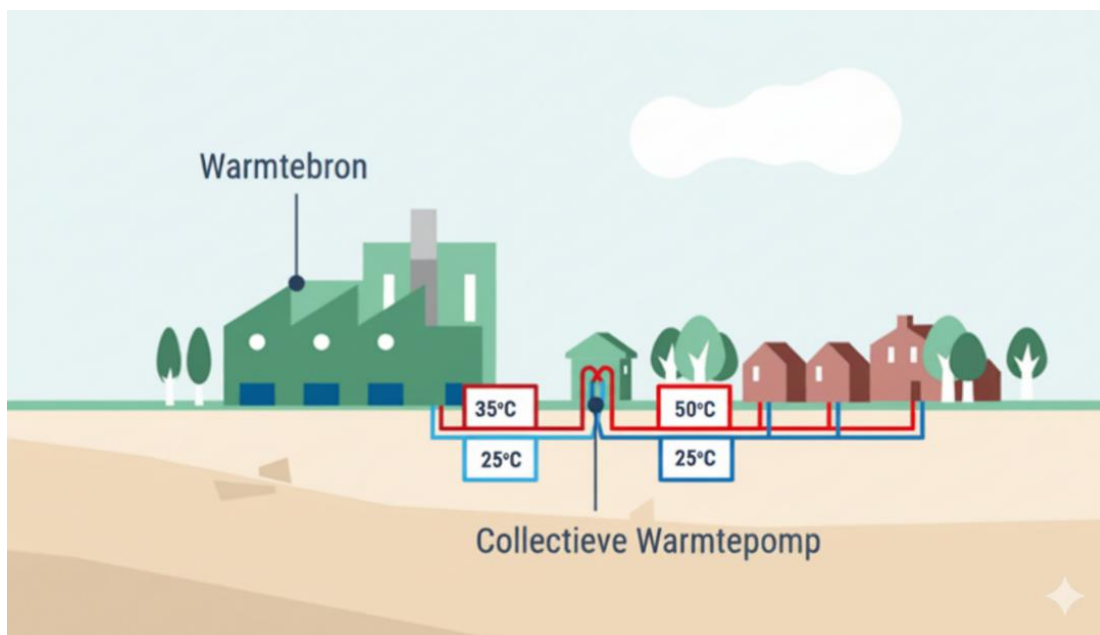
De beschikbaarheid van MT-restwarmte is op basis van de beschikbare informatie<sup>4</sup> beperkt rondom Molenvliet. Dakpannenproducent Monier BV, gelegen op het bedrijventerrein Barwoutswaarder, heeft naar inschatting van PBL 3 MW MT-restwarmte beschikbaar. De locatie, aan de andere kant van de Oude Rijn, maakt transport van de warmte richting Molenvliet uitdagend.

<sup>4</sup> [www.warmteatlas.nl](http://www.warmteatlas.nl)

### B.1.8 LT- en ZLT-restwarmte (< 55°C)

Restwarmte op lagere temperatuur kan uit bijvoorbeeld datacenters komen. Voor het gebruik in een hogere temperatuur MT-net zal de warmte uit deze lageretemperatuurbron eerst opgewaardeerd moeten worden. In een (Z)LT-warmtenet kan de bron direct op het warmtenet worden aangesloten.

Figuur 46 – Schematische illustratie van een lageretemperatuurwarmtebron aangesloten op een collectieve warmtepomp en een warmtenet richting woningen



Bron: [www.warmteatlas.nl](http://www.warmteatlas.nl)

### B.1.9 Ketel met groengas, biomassa of waterstof

Alternatieve gassen zoals groengas en waterstof zijn schaars. Hetzelfde geldt voor biomassa. Zolang er geen uitzicht of garanties zijn over een ruim voldoende, betaalbaar en duurzaam gewonnen aanbod van biomassa of groengas, zetten we deze opties niet in als basisvoorziening voor het verwarmen van de gebouwde omgeving.

Om bijvoorbeeld netcongestie te voorkomen, kan het wenselijk zijn om de centrale piekvoorziening van een warmtenet niet via elektrische boilers of andere elektrische voorzieningen in te vullen. We houden daarom de optie open om duurzame gassen of biomassa in te zetten in een piekvoorziening. Deze warmtebron moet zo spaarzaam mogelijk ingezet worden.

### **Piekvoorziening**

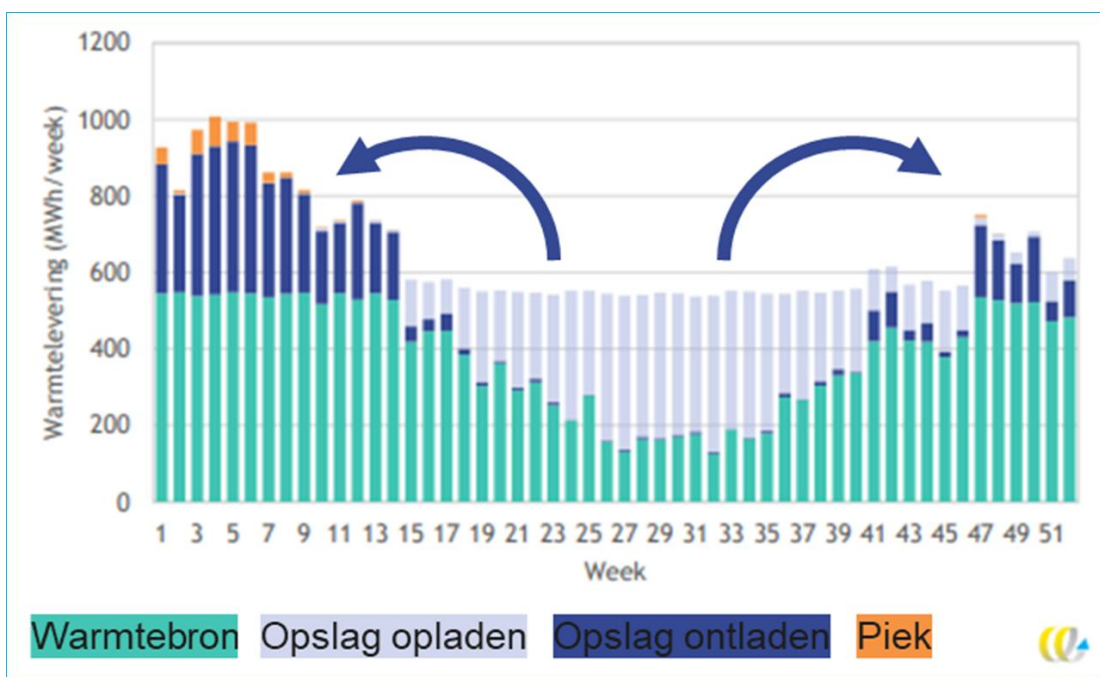
In de winter is er vaak veel meer warmte nodig dan in de zomer. Wanneer de verwarming aangaat, noemen we dit het *stookseizoen*. Tijdens het stookseizoen, op koude dagen, is er soms extra warmtelevering nodig, aanvullend op de warmtebron. Deze wordt geleverd door een piekvoorziening. De piekvoorziening levert ongeveer 20% van de jaarlijkse warmtelevering. De piekvoorziening is momenteel vaak een gasketel op aardgas. In de toekomst kunnen alternatieve duurzame gassen hiervoor ingezet worden. Daarnaast kan de inzet van een warmteopslag de behoefte aan piekvoorziening verminderen van 20% naar bijvoorbeeld 5%.

## B.2 Warmteopslag

Warmteopslag is het tijdelijk opslaan van thermische energie zodat deze energie later gebruikt kan worden wanneer dat nodig is. Hiervoor wordt meestal water gebruikt in een buffervat of in ondergrondse lagen. Voor deze verkenning bekijken we uitsluitend opslag op buurt- of wijkniveau. Systemen voor warmteopslag voor woningen om een seizoen mee te overbruggen, zijn niet technisch-economisch volwassen op dit moment.

Afhankelijk van het type opslag kan voor een aantal uren, dagen, weken of zelfs voor een heel seizoen worden opgeslagen. Omdat in de zomer vaak een overschot is aan warmte en in de winter extra warmte nodig is tijdens het stookseizoen, is een seizoensopslag een belangrijke manier om de piekvoorziening in de winter minder te gebruiken. Uur- of dagopslag wordt met name ingezet om kortdurende vraagpieken af te vlakken en het warmtenet optimaal te laten werken. Zie Figuur 47 voor een illustratie van seizoensopslag van warmte.

Figuur 47 – Voorbeeld van wekelijkse energiestromen in een warmtenet \*



Bron: CE Delft.

\* De groene staafjes tonen de warmtevraag die direct geleverd wordt door de warmtebron (bijvoorbeeld een TEO-systeem). De lichtblauwe staafjes tonen het opslaan van warmte in de zomermaanden; de donkerblauwe staafjes tonen de aanvulling op de warmtebron in het stookseizoen als er meer warmte nodig is dan de bron direct kan leveren. De oranje staafjes tonen incidentele inzet van een piekvoorziening in de koudste wintermaanden. De pijlen suggereren de warmtestroom van zomer naar winter die door de opslag gedekt wordt, jaarrond gezien. Zo wordt de bron optimaal gebruikt en hoeft de piekvoorziening minimaal gebruikt te worden. Natuurlijk geldt dat een opslag alleen voor het daaropvolgende stookseizoen kan worden gebruikt.

## B.2.1 Thermische opslag in ondergrond (ATES) en wko

'ATES' staat voor thermische opslag in de 'aquifer': een watervoerende laag in de bodem op een diepte van 100 tot 500 meter. Een ATES bestaat uit twee boorputten: een warme en een koude put, die thermische energie in de bodem injecteren. Warmte wordt in de zomer in de grondwaterlagen geïnjecteerd voor gebruik in de winter. Koude uit de winter kan ook in de bodem worden geïnjecteerd voor koeling in de zomer.

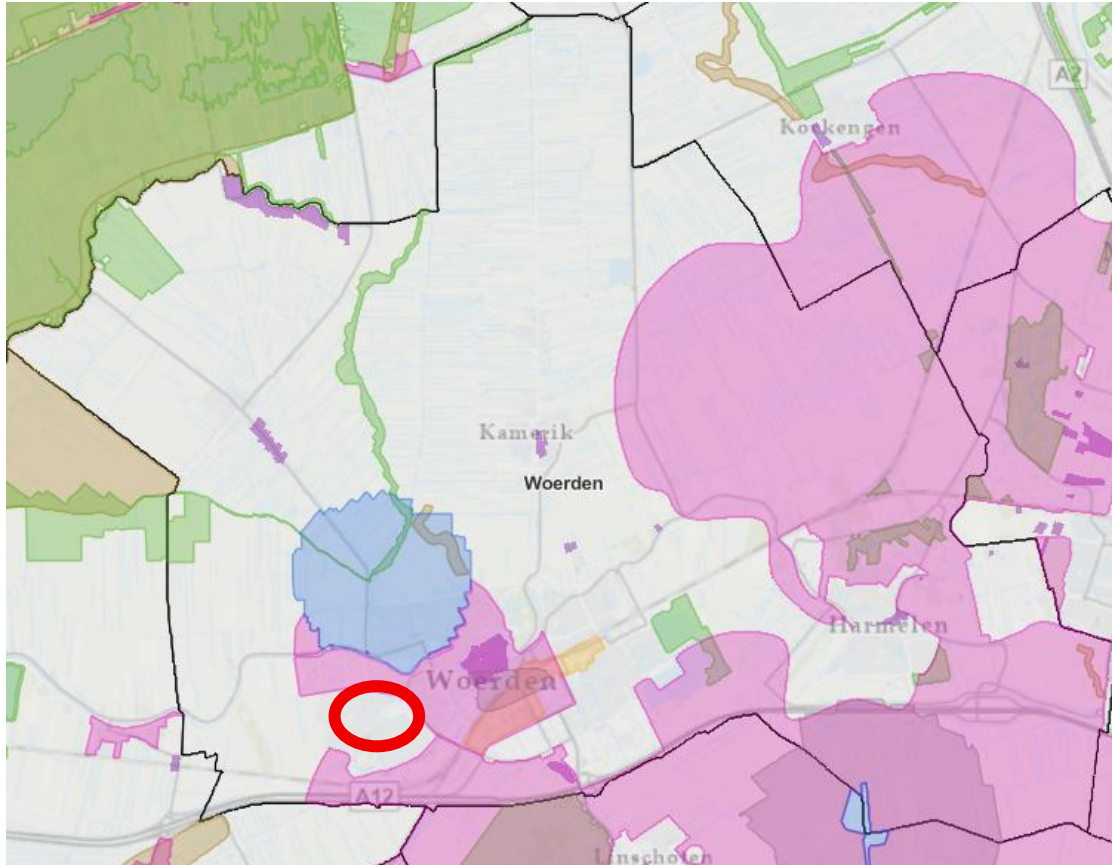
Er zijn drie types ATES: een warmte-koudeopslag (wko), hogetemperatuuropslag-koudeopslag (wko), hogetemperatuuropslag (HTO), en middentemperatuuropslag (MTO). In deze verkenning focussen we ons op de wko.

### Wko

In een warmte- en koudeopslag (wko) wordt warmte met een temperatuur van maximaal 25°C opgeslagen op een diepte tussen 50 tot 150 meter onder het maaiveld. Omdat 's winters warmte wordt onttrokken aan deze opslag, moet deze in de zomer juist de grond in worden gebracht. Hiervoor is een centrale warmtepomp nodig. Voor extra rendement en functionaliteit kan de warmte 's zomers ook afkomstig zijn van het koelen van gebouwen. Hierop moet het warmte-koudenet en de installaties in de betrokken gebouwen wel zijn ingericht.

Er zijn momenteel ruim 3.000 wko-systemen in bedrijf in Nederland. Zo wordt er ook één gebruikt in Woerden voor verwarming van het gemeentehuis. De capaciteit van wko-systemen is hoog in Woerden (4.500 GJ/ha/jaar: [www.warmteatlas.nl](http://www.warmteatlas.nl)). Wko's zijn mogelijk wanneer er in de ondergrond een geschikte waterdragende laag (aquifer) is, en er geen restricties of verboden zijn opgelegd voor toepassing, bijvoorbeeld voor drinkwaterwinning. Figuur 48 laat zien dat er in Molenvliet geen sprake is van restricties. Wel bevindt Molenvliet zich deels in een gebied van het honderdjarig bezinkingsgebied voor de drinkwaterwinning in Kamerink (winningsstation Hoge Boom), zie ook Engel et al. (2021), in het bijzonder de locatie waar de RWZI staat en waar de mogelijke wko-put zich zou bevinden (zie ook Figuur 48).

Figuur 48 – Verbodsgebieden, restrictiegebieden en aandachtgebieden plaatsing wko.  
 Molenvliet bevindt zich in het rode ovaal

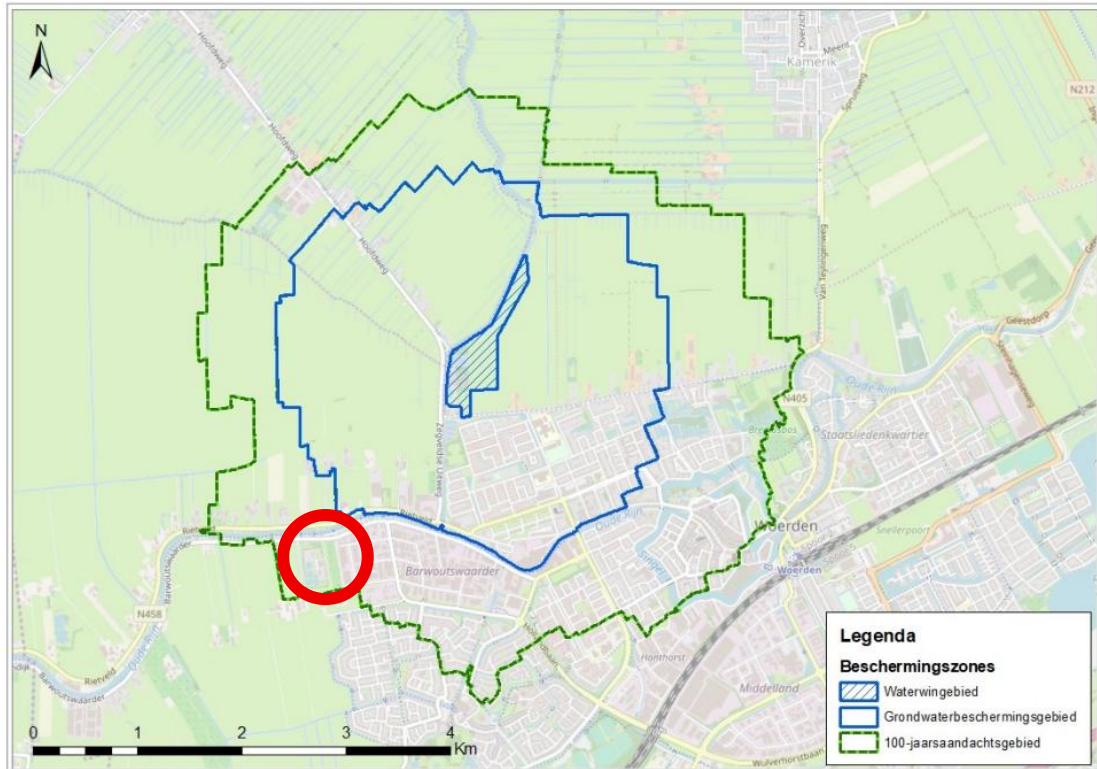


Bron: [www.wkotool.nl](http://www.wkotool.nl)

**Legenda**

- Verbodsgebieden Bescherming voor drinkwater
- Restrictie Specifiek Provinciaal Beleid
- Restrictie Dieptebeperking
- Restrictie Ordening
- Aandachtsgebied Natuur
- Aandachtsgebied Aardkundige waarden
- Aandachtsgebied Archeologie

Figuur 49 – Kaart met het aandachtsgebied voor drinkwaterwinning (groene stippellijn) en de locatie van de RWZI en de beoogde wko (rode cirkel)



Bron: (Engel et al., 2021).

## B.2.2 Bovengrondse warmteopslag

Bovengrondse warmteopslag verwijst naar systemen die warmte opslaan boven of net onder het aardoppervlak. Over het algemeen wordt de warmte voor een dag of hooguit enkele dagen opgeslagen; dit heet een *buffervat*. Deze systemen zijn vooral van belang om het verschil in moment tussen vraag en aanbod te overbruggen.

Een buffervat is een zeer goed geïsoleerde tank waarin heet water wordt opgeslagen. Als er in het warmtenet een bron is die constant warmte kan leveren, en de vraag op een bepaald moment lager is dan het aanbod, kan die overtollige warmte worden opgeslagen om later te gebruiken. Dus als de RWZI te veel warmte levert, bijvoorbeeld op een werkdag midden op de dag, dan gaat die warmte niet verloren, maar kan die helpen om 's avonds een deel van de avondpiekvraag op te vangen. Dit zorgt ervoor dat de pieklastbronnen minder warmte hoeven te produceren.

De flexibiliteit van de inzet maakt een buffervat een aantrekkelijke toevoeging aan een warmtenet. Helaas zijn buffervaten visueel wel meer aanwezig dan ondergrondse opslag en zijn ze ook in investeringskosten per opgeslagen GJ relatief duur. Ze zijn daarentegen wel veel makkelijker te plaatsen, omdat er geen boringen en grondonderzoeken nodig zijn.

## B.3 Beschrijving warmtetechnieken

Hier volgt een toelichting op de inzet en werking van de verschillende warmtetechnieken of -oplossingen binnen het onderzoek.

### B.3.1 Individuele warmtepomp

Voor individuele warmtetechnieken zijn er twee opties onderzocht: Lucht-waterwarmtepomp en water-waterwarmtepomp. De lucht-waterwarmtepomp haalt warmte uit de omgeving door middel van een buitenunit en de water-waterwarmtepomp onttrekt warmte uit water afkomstig uit bijvoorbeeld een bodempomp. We noemen deze ook wel de bodemwarmtepomp.

Een eventueel alternatief (dat we niet doorrekenen) voor wanneer een buitenunit vanwege omstandigheden niet mogelijk zou zijn, is een PVT-systeem. Dit biedt een oplossing, aangezien warmte via de panelen wordt opgenomen.

Bij een individuele warmtepomp is, net als bij het ZLT-net, een warmtepomp nodig. Dit betekent dat er ruimte aan de buitenkant beschikbaar moet zijn voor het plaatsen van een buitenunit en binnen in de woning voor een voorraadvat. Daarnaast kan het huishouden zelf zijn energieleverancier bepalen voor de levering van elektriciteit.

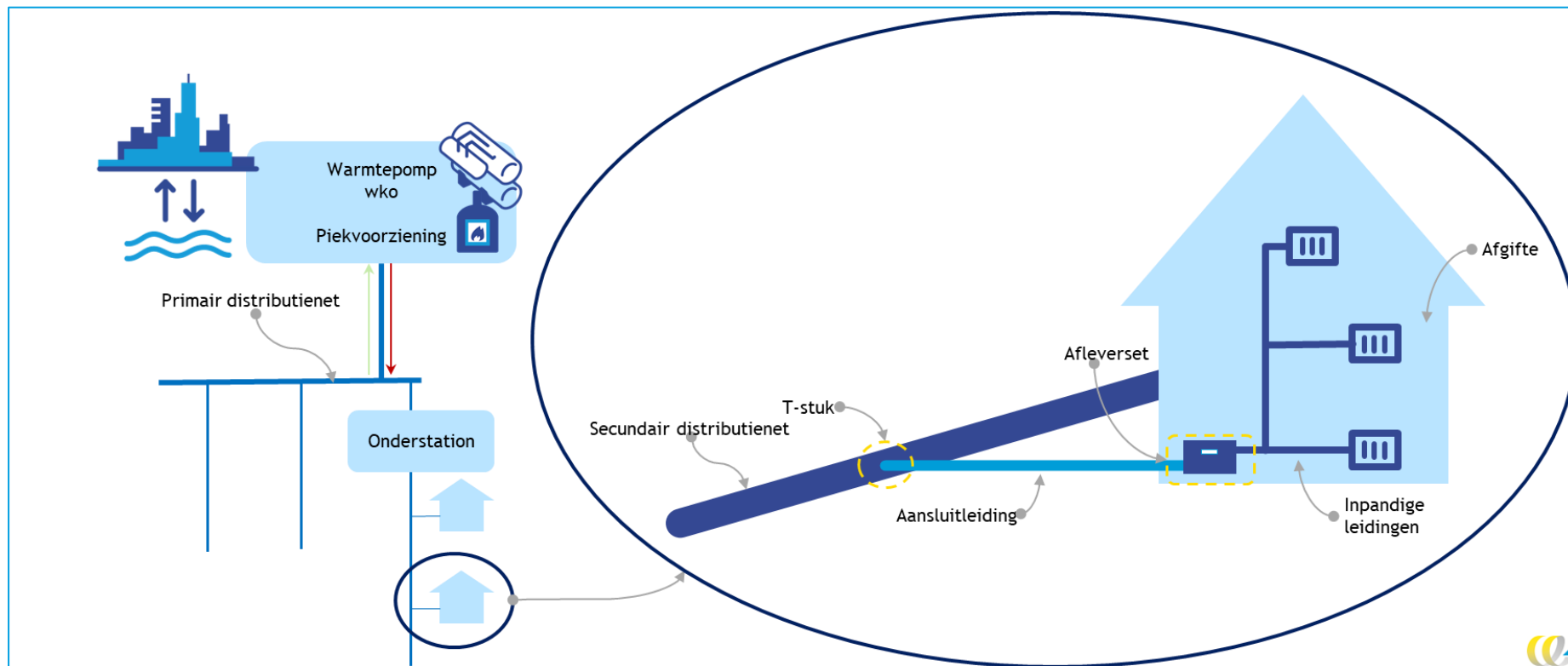
### B.3.2 Middentemperatuurwarmtenet (MT-net)

Een warmtenet op middentemperatuur levert warmte aan de afnemers op 70°C. In Molenvliet is de primaire bron aquathermie, waarvan de temperatuur tussen de 5 en 25°C is. Dit betekent dat er opwaardering moet plaatsvinden. Hiervoor wordt een collectieve warmtepomp gebruikt om het water op temperatuur te krijgen voordat het verder wordt getransporteerd naar de verbruikers.

Voor een MT-net is alleen een afleverset nodig in de woning. Deze bevat een warmte-wisselaar, regelaars en beveiligingen. Het bestaande warmteafgiftesysteem kan worden gebruikt. Door de minimale aanpassingen en ruimtebeslag is het zeer geschikt voor kleinere woningen, dichtbevolkte gebieden waar buitenunits te dicht op andere woningen zouden komen te staan, of woningen met een beschermd aangezicht waar geen buitenunit mag staan.

Als de huidige cv-ketel niet in de buurt van de locatie van de afleverset hangt, zullen er extra aanpassingen nodig zijn aan het leidingwerk in de woning. Voornamelijk bij woningen met meerdere verdiepingen waar de cv-ketel zich op de bovenste verdieping bevindt. Bestaande aanvoer- en retourleidingen lopen dan van boven naar beneden terwijl de afleverset op de begane grond in de meterkast zal zijn. Hierdoor moet een nieuw hydraulisch systeem worden ingepast.

Figuur 50 – MT-net aquathermie. In het ovaal is de toevoer van warmte naar de woning uitvergroot, inclusief afgifte in de woning.



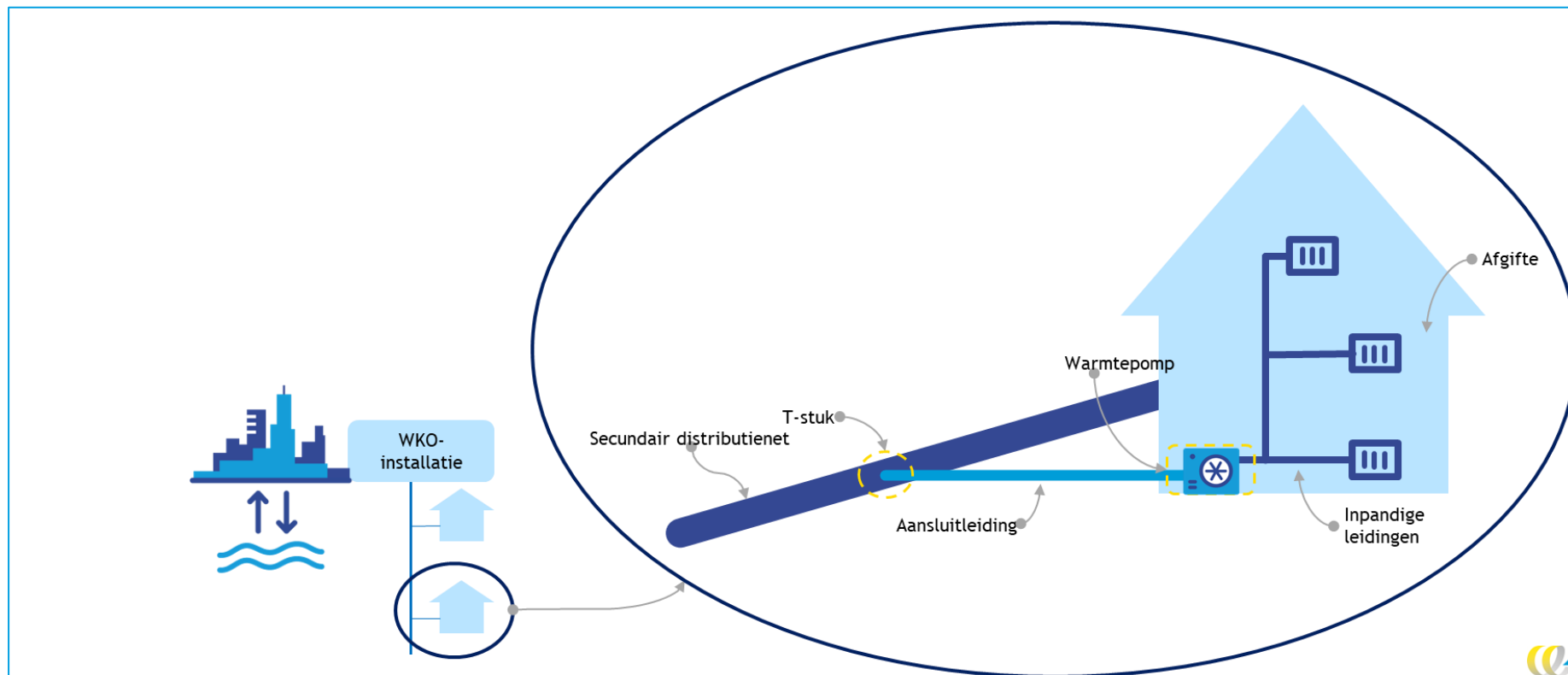
### B.3.3 Zeerlagetemperatuurwarmtenet (ZLT-net)

De overeenkomst tussen een warmtenet op zeer lage temperatuur (ZLT) en een MT-net is dat er water vanuit een bron naar een gebouw wordt getransporteerd. In geval van ZLT is de temperatuur in het warmtenet gelijk aan de temperatuur van de bron. Een ZLT-net werkt vaak met een wko als tussenstation. Nu wordt het op gebruikstemperatuur brengen van de warmte niet collectief gedaan, maar bij de woningen zelf. Dit gebeurt met een warmtepomp in de woning, zoals bij een bodembronwarmtepomp, dus zonder buitenunit.

Voor een ZLT-warmtenet moeten er aanpassingen worden gedaan in de woning. Er is meer verwarmingsoppervlakte nodig voor het afgiftesysteem om genoeg te kunnen verwarmen. Daarnaast is er ruimte nodig voor een warmtepomp en voorraadvat voor warm tapwater.

Er zijn nieuwe leidingen nodig, die gemaakt zijn om kouder water te transporteren. Om aan genoeg oppervlakte te komen om de woning te kunnen verwarmen, wordt vloerverwarming aangeraden. Met alleen radiatoren zal het totale radiatoroppervlak in de woning sterk moeten toenemen (een ZLT-radiator levert slechts 25 tot 35% vermogen ten opzichte van een MT-radiator). Lagetemperatuurconvectoren zouden ook gebruikt kunnen worden als onderdeel van het nieuwe afgiftesysteem.

Figuur 51 – ZLT-net met wko. In het ovaal is de toevoer van warmte naar de woning uitvergroot, inclusief afgifte in de woning



### B.3.4 Beschrijving koeling

Koeling van woningen wordt steeds relevanter. Enerzijds door steeds beter geïsoleerde woningen, anderzijds door het toenemen van warme dagen, nachten en hittegolven in het algemeen. Behalve luxe en comfort is het voor veel bewoners ook een kwestie van gezondheid, met name voor kleine kinderen, ouderen en mensen met een zwakkere gezondheid.

Actieve koeling wordt daarmee een belangrijk onderdeel van de energie-installatie van woningen. Dit kan door losse mobiele airconditioners (airco's), split-units of via bepaalde typen warmtepompen. In het geval van de onderzochte technieken voor deze verkenning, is koeling een mogelijkheid bij het ZLT-net en bij de individuele warmtepomptypes.

Afgifte in de woning kan niet in traditionele radiatoren, maar liever in combinatie met convectie (rondpompen van lucht). Ook grotere oppervlakken, zoals bij vloerverwarming, kunnen actieve koeling mogelijk maken. Koeling met een airco die de koude direct afgeeft aan de lucht, kan voor sterkere directe verkoeling zorgen dan koeling via vloerverwarming of convectoren.

Bij een MT-net is er geen koeling mogelijk. Als hier behoefte aan is, zal dit op individuele basis moeten worden georganiseerd.

### B.3.5 Lokaal elektrisch verwarmen

Tegenwoordig is het een populaire maatregel om gedeelten van een woning via een airco te koelen en deze ook te gebruiken voor lokale bijverwarming. Een airco is feitelijk een kleine warmtepomp. Verwarming en koeling gebeurt direct via lucht. Hiervoor is per kamer een split-unit nodig die bestaat uit een binnen- en buitendeel. Vergeleken met een cv-ketel op aardgas is dit een interessante en zuinige manier van bijverwarming. Echter, om de hele woning te voorzien van warmte zijn op deze manier meerdere airco-units nodig, eventueel aangevuld met infraroodpanelen of elektrische kachels. Wanneer vanuit deze situatie de stap gezet wordt naar geheel aardgasvrij, is er toch ook een warmtapwatervoorziening nodig (boilervat). Dit onderdeel is qua grootte vergelijkbaar met een manshoge koelkast en is vanuit ruimtegebruik het meest bepalend. Een enkele, centrale warmtepomp is vanuit dat opzicht een stuk eenvoudiger.

Wanneer een woning afstapt van de cv-ketel op aardgas, zijn er bepaalde voorwaarden voor het rendement van het hele systeem waardoor een elektrische geiser (of e-boiler, e-ketel) niet is toegestaan.<sup>5</sup> Dit heeft met energiegebruik te maken, maar ook met de gelijktijdige belasting van het elektriciteitsnet die met grote hoeveelheden van dit type verwarming zou kunnen ontstaan. Hoewel een e-boiler qua ruimtegebruik een stuk voordeliger is dan een warmtepomp, kunnen we deze optie dus niet meenemen als realistisch alternatief.

<sup>5</sup> Bbl: [wetten.nl - Regeling - Besluit bouwwerken leefomgeving - BWBR0041297](https://wetten.nl/Regeling-Besluit%20bouwwerken%20leefomgeving-BWBR0041297) art. 4.248.

## B.4 Ontwerpprincipes warmtebronnen provincie Utrecht

Binnen de provincie Utrecht hebben de gemeenten afspraken gemaakt over geschikte inzet van warmtebronnen. Dit geeft houvast voor het onderzoeken en prioriteren van de mogelijke bronnen voor Molenvliet.

### Lokaal inzetten

Het transport van warmte is kostbaar en gaat gepaard met warmteverliezen. Om deze reden wordt zoveel mogelijk ingezet op lokale benutting van warmtebronnen. Dit beperkt de noodzaak tot import van energie uit andere regio's, en ondersteunt daarmee het streven om de energievoorziening zoveel mogelijk regionaal te organiseren.

### Duurzame bronnen

Vanuit duurzaamheidsperspectief hebben warmtebronnen die direct inzetbaar zijn in de gebouwde omgeving de voorkeur. Dit betreft met name hogertemperatuurrestwarmte en geothermie, omdat hierbij geen aanvullende opwaardering nodig is. Indien dergelijke bronnen niet of onvoldoende beschikbaar zijn, worden bronnen met een relatief lage inzet van hulpenergie benut, zoals lagetemperatuurrestwarmte, ondiepe geothermie en aquathermie. Wanneer dergelijke bronnen niet of onvoldoende beschikbaar zijn, worden bronnen met een relatief lage inzet van hulpenergie benut, zoals lagetemperatuurrestwarmte, ondiepe geothermie en aquathermie. Wanneer ook deze opties niet toepasbaar blijken, kan worden teruggevallen op overige bronnen, zoals omgevingswarmte uit bodem of lucht.

### Slim toepassen

Omdat hogere temperatuurbronnen schaars zijn, is het belangrijk deze zo doelmatig mogelijk in te zetten. Met name in oudere woningen, waar isolatie en aanpassing voor lagetemperatuurverwarming uitdagend is, is toepassing van hogertemperatuurbronnen het meest aangewezen. Op deze manier worden schaarse bronnen gericht ingezet op locaties waar de behoefte aan hogere temperaturen het grootst is.

## B.5 Praktijkvoorbeelden lokale warmtenetten

### B.5.1 Utrecht en Nieuwegein

Het project in Utrecht en Nieuwegein, een samenwerking tussen Eneco en Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR), demonstreert de grootschalige inzet van riothermie (een vorm van aquathermie) als duurzame warmtebron voor een warmtenet.<sup>6</sup> Het is de grootste warmtepomp in de gebouwde omgeving van Nederland, met een capaciteit van 27 megawatt (verdeeld over vier kleinere pompen). Dit water, dat opgewarmd wordt door de warmte uit douches en wasmachines uit huishoudens, heeft een temperatuur die varieert van 12°C in de winter tot 22°C in de zomer en voorziet 20.000 woningen van warmte.

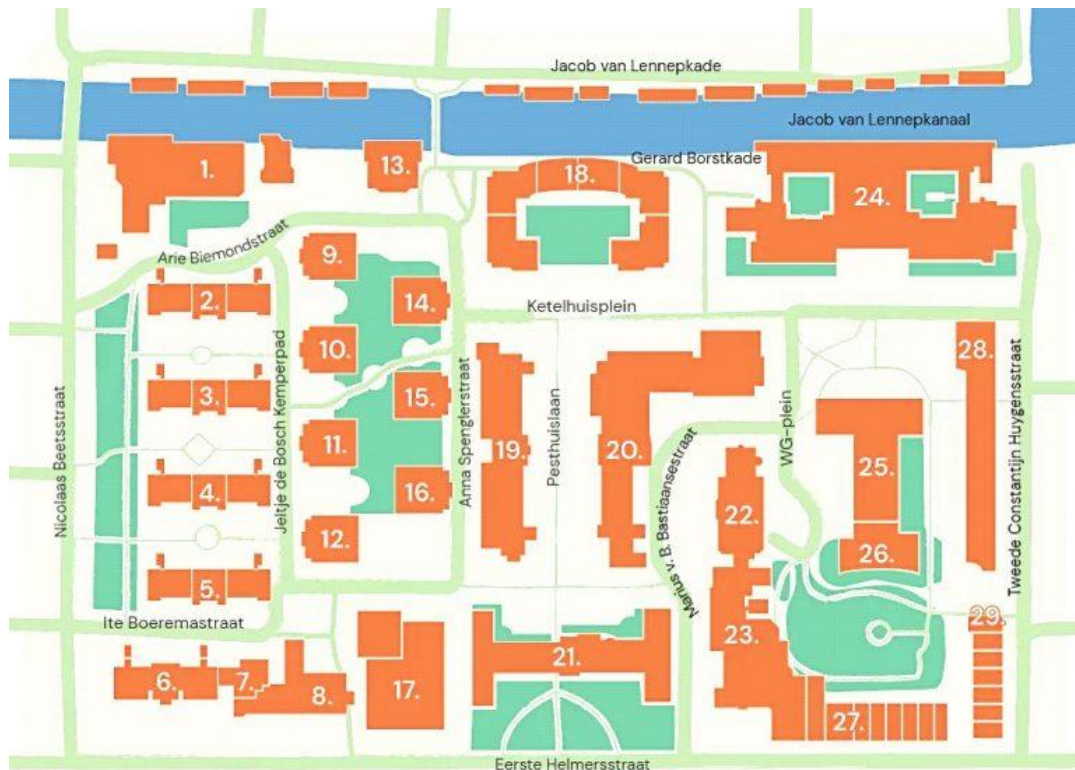
### B.5.2 Ketelhuis WG Amsterdam

Het warmtenet bij het Wilhelmina Gasthuiscomplex zit momenteel (begin 2026) in actieve bouwfase. Het gaat om een MT-net, gevoed door TEO en ondersteund door wko in de bestaande bouw. Hier is een lang traject aan vooraf gegaan, waar de lokale energiecoöperatie (KetelhuisWG) een belangrijke rol heeft gespeeld. De infrastructuur wordt aangelegd, warmtepompen worden geplaatst en de eerste woningen worden binnen een jaar aangesloten. De volledige wijk (850 tot 1.500 woningen) moet in 2028 van het gas af zijn ([Ketelhuis WG](#)).

---

<sup>6</sup> [www.warmte365.nl](http://www.warmte365.nl) – De grootste warmtepomp van Nederland voorziet 20.000 woningen van duurzame warmte.

Figuur 52 – Wijkbeeld van het Wilhelmina Gasthuisterrein in Amsterdam Oud-West



Bron: [Ketelhuis WG](#)

### B.5.3 Beverwijk

[Project Broekpolder](#) in Beverwijk richt zich op het gebruik van aquathermie. Hierbij wordt de warmte-energie uit oppervlaktewater (sloten of kanalen) gewonnen en via een warmtewisselaar en warmtepomp geschikt gemaakt voor de verwarming van woningen. Dit is een voorbeeld van het benutten van restwarmte uit de directe, lokale omgeving. Door de warmtebron te koppelen aan een lokaal warmtenet, wordt een efficiënte en collectieve oplossing gerealiseerd.

### B.5.4 Geothermie

De projecten [Bodemnet Wierden](#) en [Bodemnet Hilversumse Meent](#) zijn voorbeelden van het inzetten van ondiepe geothermie (bodemenergie) via een collectief bronsysteem. In plaats van individuele warmtepompen wordt de bodem via een gedeeld, gesloten leidingnetwerk (het 'bodemnet') als warmtebron gebruikt. Dit laagtemperatuurwarmtenet onttrekt stabiele warmte uit de aarde, vaak rond de 10°C, die vervolgens door centrale of decentrale warmtepompen wordt opgewaardeerd tot verwarmingsniveau. Dit zorgt voor een zeer stabiele en energie-efficiënte warmtevoorziening en biedt bovendien de mogelijkheid tot passieve koeling in de zomer. Beide projecten zijn pilotmodellen voor het aardgasvrij maken van bestaande wijken met behulp van deze stabiele, ondergrondse energiebron.

# C Resultaten per voorbeeldwoning

## Jaarlijkse kosten per voorbeeldwoning

In Tabel 18 is een overzicht opgenomen van de jaarlijkse kosten voor de eindgebruiker. Deze kosten zijn opgebouwd uit de jaarlijks terugkerende kosten voor energieverbruik en onderhoud, plus een toevoeging van de investeringskosten. Deze zijn omgerekend naar een jaarlijks bedrag door ze te verdisconteren/af te schrijven over een periode van 30 jaar. Deze kosten komen uit het CEKER-model. Deze kosten zijn een beperkte weergave van de werkelijkheid en dienen hier vooral om een herkenbaar verschil tussen de verschillende typen woningen te geven op hoofdlijnen.


In de paragrafen hierna zijn per voorbeeldwoning de losse investerings-, energie- en onderhoudskosten beschreven, gerekend voor een enkel jaar. Deze kosten zijn verder uitgesplitst naar verschillende componenten.

Tabel 18 – Jaarlijkse kosten per voorbeeldwoning, opgebouwd uit de verdisconteerde investeringskosten en jaarlijkse energie- en onderhoudskosten. In de jaarlijkse kosten voor het MT-net en het ZLT-net is de onrendabele top (ORT) niet meegenomen.

| Totale jaarlijkse kosten (€/jaar) | Lucht-warmtepomp | Bodem-warmtepomp | MT-net  | ZLT-net | Hr-ketel |
|-----------------------------------|------------------|------------------|---------|---------|----------|
| Woning 1                          | € 2.775          | € 3.500          | € 2.875 | € 2.900 | € 2.450  |
| Woning 2                          | € 4.950          | € 5.625          | € 2.475 | € 5.150 | € 2.275  |
| Woning 3                          | € 5.125          | € 5.750          | € 3.025 | € 5.550 | € 2.900  |
| Woning 4                          | € 8.775          | € 9.350          | € 3.225 | € 9.175 | € 3.300  |
| Woning 5                          | € 6.950          | € 7.600          | € 3.125 | € 7.300 | € 3.025  |
| Woning 6                          | € 4.825          | € 5.350          | € 4.325 | € 4.975 | € 4.375  |
| Woning 7                          | € 9.375          | € 9.925          | € 3.425 | € 9.700 | € 3.650  |

## C.1 Woning 1

Tabel 19 –Typering Voorbeeldwoning 1

|          | Type        | Representatief voorbeeld  | Bouwjaar-periode | Grootte (m <sup>2</sup> ) | Elektra (kWh) | Gas (m <sup>3</sup> ) |
|----------|-------------|---|------------------|---------------------------|---------------|-----------------------|
| Woning 1 | Appartement |  | 1975-1991        | 44                        | 1.950         | 650                   |

### C.1.1 Kosten

#### Investeringskosten

Tabel 20 – Uitsplitsing investeringskosten en subsidies behorend bij Voorbeeldwoning 1 voor de verschillende technieken

| Investeringen (€)                    | Buitenlucht-warmtepomp | Bodem-warmtepomp | MT-net         | ZLT-net         | Hr-ketel       |
|--------------------------------------|------------------------|------------------|----------------|-----------------|----------------|
| <b>Veranderingen aan de woning</b>   |                        |                  |                |                 |                |
| Verwarmingsinstallatie               | € 14.125               | € 25.500         | € 3.775        | € 7.850         | € 2.775        |
| Isolatie en ventilatie               | € -                    | € -              | € -            | € -             | € -            |
| Inpandige aanpassingen               | € -                    | € -              | € 3.500        | € 3.500         | € -            |
| LT-radiatoren                        | € 2.550                | € 2.550          | € -            | € 2.550         | € -            |
| Airco                                | € -                    | € -              | € 2.400        | € 2.400         | € 2.400        |
| Elektrisch koken                     | € 1.400                | € 1.400          | € 1.400        | € 1.400         | € 1.400        |
| <b>Subsidies</b>                     |                        |                  |                |                 |                |
| ISDE verwarmingstechniek             | € -3.150               | € -4.425         | € -3.775       | € -5.225        | € -            |
| ISDE Isolatie                        | € -                    | € -              | € -            | € -             | € -            |
| <b>Totaal (excl. ORT)</b>            | <b>€ 14.925</b>        | <b>€ 25.025</b>  | <b>€ 7.300</b> | <b>€ 12.475</b> | <b>€ 6.575</b> |
| Onrendabele top (ORT)<br>(incl. btw) | € -                    | € -              | € 16.267       | € 26.983        | € -            |

## Onderhouds- en energiekosten

Tabel 21 – Uitsplitsing onderhouds- en energiekosten en subsidies behorend bij Voorbeeldwoning 1 voor de verschillende technieken

| Energie en onderhoud (€/jaar)                  | Lucht-warmtepomp | Bodem-warmtepomp | MT-net         | ZLT-net        | Hr-ketel       |
|--|------------------|------------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>Energiekosten</b>                           |                  |                  |                |                |                |
| Elektriciteitskosten variabel                  | € 1.225          | € 1.100          | € 750          | € 1.125        | € 750          |
| Elektriciteitskosten vast                      | € 25             | € 25             | € 25           | € 25           | € 25           |
| Gaskosten variabel                             | € –              | € –              | € –            | € –            | € 875          |
| Gaskosten vast                                 | € –              | € –              | € –            | € –            | € 325          |
| Warmtekosten variabel                          | € –              | € –              | € 350          | € –            | € –            |
| Warmtekosten vast                              | € –              | € –              | € 1.025        | € 475          | € –            |
| <b>Onderhoudskosten</b>                        |                  |                  |                |                |                |
| Verwarmingsinstallatie                         | € 275            | € 250            | € –            | € –            | € 150          |
| Secundaire systemen (airco, boosterwarmtepomp) | € 75             | € 75             | € 225          | € 125          | € 225          |
| <b>Totaal</b>                                  | <b>€ 1.600</b>   | <b>€ 1.450</b>   | <b>€ 2.375</b> | <b>€ 1.750</b> | <b>€ 2.350</b> |


## C.1.2 Energie

Tabel 22 – Uitsplitsing energieverbruiken bij Voorbeeldwoning 1 voor de verschillende technieken en energiedragers. Het totaal elektriciteitsverbruik is nog onderverdeeld in deelposten.

| Energieverbruik in GJ         | Lucht-warmtepomp | Bodem-warmtepomp | MT-net      | ZLT-net     | Hr-ketel    |
|-------------------------------|------------------|------------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Elektriciteit (totaal)</b> | <b>15,0</b>      | <b>13,5</b>      | <b>9,0</b>  | <b>13,9</b> | <b>9,0</b>  |
| Elektriciteit (warm water)    | 2,0              | 1,8              | –           | 1,8         | –           |
| Elektriciteit (verwarming)    | 3,6              | 3,1              | –           | 3,4         | –           |
| Elektriciteit (koelen)        | 0,7              | 0,0              | 0,4         | 0,1         | 0,4         |
| Elektriciteit (rest)          | 8,6              | 8,6              | 8,6         | 8,6         | 8,6         |
| <b>Warmte</b>                 | <b>–</b>         | <b>–</b>         | <b>19,1</b> | <b>15,3</b> | <b>–</b>    |
| <b>Gas (huidig)</b>           | <b>–</b>         | <b>–</b>         | <b>–</b>    | <b>–</b>    | <b>22,5</b> |

## C.2 Woning 2

Tabel 23 – Typering Voorbeeldwoning 2

|          | Type        | Representatief voorbeeld  | Bouwjaarperiode | Grootte (m <sup>2</sup> ) | Elektra (kWh) | Gas (m <sup>3</sup> ) |
|----------|-------------|---|-----------------|---------------------------|---------------|-----------------------|
| Woning 2 | Appartement |  | 1975-1991       | 79                        | 1.950         | 950                   |

### C.2.1 Kosten

#### Investeringskosten

Tabel 24 – Uitsplitsing investeringskosten en subsidies behorend bij Voorbeeldwoning 2 voor de verschillende technieken

| Investeringen (€)                  | Buitenlucht-warmtepomp | Bodem-warmtepomp | MT-net         | ZLT-net         | Hr-ketel       |
|------------------------------------|------------------------|------------------|----------------|-----------------|----------------|
| <b>Veranderingen aan de woning</b> |                        |                  |                |                 |                |
| Verwarmingsinstallatie             | € 14.125               | € 25.500         | € 3.775        | € 7.850         | € 2.775        |
| Isolatie en ventilatie             | € 34.575               | € 34.575         | € -            | € 34.575        | € -            |
| Inpandige aanpassingen             | € -                    | € -              | € 3.500        | € 3.500         | € -            |
| LT-radiatoren                      | € 4.575                | € 4.575          | € -            | € 4.575         | € -            |
| Airco                              | € -                    | € -              | € -            | € -             | € -            |
| Elektrisch koken                   | € 1.400                | € 1.400          | € 1.400        | € 1.400         | € 1.400        |
| <b>Subsidies</b>                   |                        |                  |                |                 |                |
| ISDE verwarmingstechniek           | € -3.150               | € -4.425         | € -3.775       | € -5.225        | € -            |
| ISDE isolatie                      | € -4.025               | € -4.025         | € -            | € -4.025        | € -            |
| <b>Totaal (excl. ORT)</b>          | <b>€ 47.500</b>        | <b>€ 57.600</b>  | <b>€ 4.900</b> | <b>€ 42.650</b> | <b>€ 4.175</b> |
| Onrendabele top (ORT) (incl. btw)  | € -                    | € -              | € 16.267       | € 26.983        | € -            |

## Onderhouds- en energiekosten

Tabel 25 – Uitsplitsing onderhouds- en energiekosten en subsidies behorend bij Voorbeeldwoning 2 voor de verschillende technieken

| Energie en onderhoud (€/jaar)                  | Buitenlucht warmtepomp | Bodem-warmtepomp | MT-net         | ZLT-net        | Hr-ketel       |
|--|------------------------|------------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>Energiekosten</b>                           |                        |                  |                |                |                |
| Elektriciteitskosten variabel                  | € 1.450                | € 1.275          | € 600          | € 1.300        | € 600          |
| Elektriciteitskosten vast                      | € 25                   | € 25             | € 25           | € 25           | € 25           |
| Gaskosten variabel                             | € –                    | € –              | € –            | € –            | € 1.150        |
| Gaskosten vast                                 | € –                    | € –              | € –            | € –            | € –            |
| Warmtekosten variabel                          | € –                    | € –              | € 525          | € –            | € –            |
| Warmtekosten vast                              | € –                    | € –              | € 1.025        | € 475          | € –            |
| <b>Onderhoudskosten</b>                        |                        |                  |                |                |                |
| Verwarmingsinstallatie                         | € 275                  | € 250            | € –            | € –            | € 150          |
| Secundaire systemen (airco, boosterwarmtepomp) | € 75                   | € 75             | € –            | € 125          | € –            |
| <b>Totaal</b>                                  | <b>€ 1.825</b>         | <b>€ 1.625</b>   | <b>€ 2.175</b> | <b>€ 1.925</b> | <b>€ 1.925</b> |


## C.2.2 Energie

Tabel 26 – Uitsplitsing energieverbruiken bij Voorbeeldwoning 2 voor de verschillende technieken en energiedragers

| Energieverbruik in GJ         | Lucht-warmtepomp | Bodem-warmtepomp | MT-net      | ZLT-net     | Hr-ketel    |
|-------------------------------|------------------|------------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Elektriciteit (totaal)</b> | <b>18,0</b>      | <b>15,8</b>      | <b>7,4</b>  | <b>16,2</b> | <b>7,4</b>  |
| Elektriciteit (warm water)    | 3,2              | 2,8              | –           | 2,8         | –           |
| Elektriciteit (verwarming)    | 3,6              | 3,1              | –           | 3,4         | –           |
| Elektriciteit (koelen)        | 1,3              | 0,1              | –           | 0,1         | –           |
| Elektriciteit (rest)          | 9,8              | 9,8              | 7,4         | 9,8         | 7,4         |
| <b>Warmte</b>                 | <b>–</b>         | <b>–</b>         | <b>28,7</b> | <b>15,3</b> | <b>–</b>    |
| <b>Gas (huidig)</b>           | <b>–</b>         | <b>–</b>         | <b>–</b>    | <b>–</b>    | <b>34,1</b> |

## C.3 Woning 3

Tabel 27 – Typering Voorbeeldwoning 3

|          | Type         | Representatief voorbeeld  | Bouwjaar-periode | Grootte (m <sup>2</sup> ) | Elektra (kWh) | Gas (m <sup>3</sup> ) |
|----------|--------------|---|------------------|---------------------------|---------------|-----------------------|
| Woning 3 | Tussenwoning |  | 1992-1995        | 127                       | 2.850         | 1.250                 |

### C.3.1 Kosten

#### Investeringskosten

Tabel 28 – Uitsplitsing investeringskosten en subsidies behorend bij Voorbeeldwoning 3 voor de verschillende technieken

| Investerings (€)                   | Buitenlucht-warmtepomp | Bodem-warmtepomp | MT-net         | ZLT-net         | Hr-ketel       |
|------------------------------------|------------------------|------------------|----------------|-----------------|----------------|
| <b>Veranderingen aan de woning</b> |                        |                  |                |                 |                |
| Verwarmingsinstallatie             | € 14.125               | € 25.500         | € 3.775        | € 7.850         | € 2.775        |
| Isolatie en ventilatie             | € 17.525               | € 17.525         | € -            | € 17.525        | € -            |
| Inpandige aanpassingen             | € -                    | € -              | € 3.500        | € 3.500         | € -            |
| LT-radiatoren                      | € 7.375                | € 7.375          | € -            | € 7.375         | € -            |
| Airco                              | € -                    | € -              | € -            | € -             | € -            |
| Elektrisch koken                   | € 1.400                | € 1.400          | € 1.400        | € 1.400         | € 1.400        |
| <b>Subsidies</b>                   |                        |                  |                |                 |                |
| ISDE verwarmingstechniek           | € -3.150               | € -4.425         | € -3.775       | € -5.200        | € -            |
| ISDE Isolatie                      | € -3.425               | € -3.425         | € -            | € -3.425        | € -            |
| <b>Totaal (excl. ORT)</b>          | <b>€ 33.850</b>        | <b>€ 43.950</b>  | <b>€ 4.900</b> | <b>€ 29.000</b> | <b>€ 4.175</b> |
| Onrendabele top (ORT) (incl. btw)  | € -                    | € -              | € 12.327       | € 23.043        | € -            |

## Onderhouds- en energiekosten

Tabel 29 – Uitsplitsing onderhouds- en energiekosten en subsidies behorend bij Voorbeeldwoning 3 voor de verschillende technieken

| Energie en onderhoud (€/jaar)                  | Lucht-warmtepomp | Bodem-warmtepomp | MT-net         | ZLT-net        | Hr-ketel       |
|--|------------------|------------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>Energiekosten</b>                           |                  |                  |                |                |                |
| Elektriciteitskosten variabel                  | € 2.100          | € 1.825          | € 875          | € 1.875        | € 875          |
| Elektriciteitskosten vast                      | € 25             | € 25             | € 25           | € 25           | € 25           |
| Gaskosten variabel                             | € -              | € -              | € -            | € -            | € 1.725        |
| Gaskosten vast                                 | € -              | € -              | € -            | € -            | € 325          |
| Warmtekosten variabel                          | € -              | € -              | € 700          | € -            | € -            |
| Warmtekosten vast                              | € -              | € -              | € 1.025        | € 475          | € -            |
| <b>Onderhoudskosten</b>                        |                  |                  |                |                |                |
| Verwarmingsinstallatie                         | € 275            | € 250            | € -            | € -            | € 150          |
| Secundaire systemen (airco, boosterwarmtepomp) | € 75             | € 75             | € -            | € 125          | € -            |
| <b>Totaal</b>                                  | <b>€ 2.475</b>   | <b>€ 2.175</b>   | <b>€ 2.625</b> | <b>€ 2.500</b> | <b>€ 3.100</b> |


## C.3.2 Energie

Tabel 30 – Uitsplitsing energieverbruiken bij Voorbeeldwoning 3 voor de verschillende technieken en energiedragers

| Energieverbruik in GJ         | Lucht-warmtepomp | Bodem-warmtepomp | MT-net       | ZLT-net     | Hr-ketel    |
|-------------------------------|------------------|------------------|--------------|-------------|-------------|
| <b>Elektriciteit (totaal)</b> | <b>25,7</b>      | <b>22,5</b>      | <b>10,6</b>  | <b>23,0</b> | <b>10,6</b> |
| Elektriciteit (warm water)    | 3,8              | 3,4              | -            | 3,4         | -           |
| Elektriciteit (verwarming)    | 5,3              | 4,5              | -            | 5,0         | -           |
| Elektriciteit (koelen)        | 2,1              | 0,1              | -            | 0,2         | -           |
| Elektriciteit (rest)          | 14,4             | 14,4             | 10,6         | 14,4        | 10,6        |
| <b>Warmte</b>                 | <b>-</b>         | <b>-</b>         | <b>37,97</b> | <b>22,6</b> | <b>-</b>    |
| <b>Gas (huidig)</b>           | <b>-</b>         | <b>-</b>         | <b>-</b>     | <b>-</b>    | <b>44,7</b> |

## C.4 Woning 4

Tabel 31 – Typering Voorbeeldwoning 4

|          | Type         | Representatief voorbeeld  | Bouwjaar-periode | Grootte (m <sup>2</sup> ) | Elektra (kWh) | Gas (m <sup>3</sup> ) |
|----------|--------------|---|------------------|---------------------------|---------------|-----------------------|
| Woning 4 | Tussenwoning |  | 1975-1991        | 157                       | 2.850         | 1.600                 |

### C.4.1 Kosten

#### Investeringskosten

Tabel 32 – Uitsplitsing investeringskosten en subsidies behorend bij Voorbeeldwoning 4 voor de verschillende technieken

| Investeringen (€)                    | Buitenlucht-warmtepomp | Bodem-warmtepomp | MT-net         | ZLT-net         | Hr-ketel       |
|--------------------------------------|------------------------|------------------|----------------|-----------------|----------------|
| <b>Veranderingen aan de woning</b>   |                        |                  |                |                 |                |
| Verwarmingsinstallatie               | € 14.125               | € 25.500         | € -            | € 9.925         | € 2.775        |
| Isolatie en ventilatie               | € 66.150               | € 66.150         | € -            | € 66.150        | € -            |
| Inpandige aanpassingen               | € -                    | € -              | € 3.500        | € 3.500         | € -            |
| LT-radiatoren                        | € 9.100                | € 9.100          | € -            | € 9.100         | € -            |
| Airco                                | € -                    | € -              | € -            | € -             | € -            |
| Elektrisch koken                     | € 1.400                | € 1.400          | € 1.400        | € 1.400         | € 1.400        |
| <b>Subsidies</b>                     |                        |                  |                |                 |                |
| ISDE verwarmingstechniek             | € -3.150               | € -4.425         | € -3.775       | € -5.200        | € -            |
| ISDE isolatie                        | € -6.750               | € -6.750         | € -            | € -6.750        | € -            |
| <b>Totaal (excl. ORT)</b>            | <b>€ 80.875</b>        | <b>€ 90.975</b>  | <b>€ 1.125</b> | <b>€ 78.125</b> | <b>€ 4.175</b> |
| Onrendabele top (ORT)<br>(incl. btw) | € -                    | € -              | € 12.327       | € 23.043        | € -            |

## Onderhouds- en energiekosten

Tabel 33 – Uitsplitsing onderhouds- en energiekosten en subsidies behorend bij Voorbeeldwoning 4 voor de verschillende technieken

| Energie en onderhoud (€/jaar)                  | Lucht-warmtepomp | Bodem-warmtepomp | MT-net         | ZLT-net        | Hr-ketel       |
|--|------------------|------------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>Energiekosten</b>                           |                  |                  |                |                |                |
| Elektriciteitskosten variabel                  | € 2.300          | € 1.975          | € 875          | € 2.150        | € 875          |
| Elektriciteitskosten vast                      | € 25             | € 25             | € 25           | € 25           | € 25           |
| Gaskosten variabel                             | € -              | € -              | € -            | € -            | € 2.175        |
| Gaskosten vast                                 | € -              | € -              | € -            | € -            | € 325          |
| Warmtekosten variabel                          | € -              | € -              | € 900          | € -            | € -            |
| Warmtekosten vast                              | € -              | € -              | € 1.025        | € 475          | € -            |
| <b>Onderhoudskosten</b>                        |                  |                  |                |                |                |
| Verwarmingsinstallatie                         | € 275            | € 250            | € -            | € -            | € 150          |
| Secundaire systemen (airco, boosterwarmtepomp) | € 75             | € 75             | € -            | € 125          | € -            |
| <b>Totaal</b>                                  | <b>€ 2.675</b>   | <b>€ 2.325</b>   | <b>€ 2.825</b> | <b>€ 2.775</b> | <b>€ 3.550</b> |


## C.4.2 Energie

Tabel 34 – Uitsplitsing energieverbruiken bij Voorbeeldwoning 4 voor de verschillende technieken en energiedragers

| Energieverbruik in GJ         | Lucht-warmtepomp | Bodem-warmtepomp | MT-net      | ZLT-net     | Hr-ketel    |
|-------------------------------|------------------|------------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Elektriciteit (totaal)</b> | <b>28,2</b>      | <b>24,3</b>      | <b>10,6</b> | <b>25,0</b> | <b>10,6</b> |
| Elektriciteit (warm water)    | 3,7              | 3,3              | -           | 3,3         | -           |
| Elektriciteit (verwarming)    | 6,5              | 5,5              | -           | 6,1         | -           |
| Elektriciteit (koelen)        | 2,6              | 0,2              | -           | 0,3         | -           |
| Elektriciteit (rest)          | 15,3             | 15,3             | 10,6        | 15,3        | 10,6        |
| <b>Warmte</b>                 | <b>-</b>         | <b>-</b>         | <b>48,9</b> | <b>27,6</b> | <b>-</b>    |
| <b>Gas (huidig)</b>           | <b>-</b>         | <b>-</b>         | <b>-</b>    | <b>-</b>    | <b>56,3</b> |

## C.5 Woning 5

Tabel 35 – Typering Voorbeeldwoning 5

|          | Type       | Representatief voorbeeld  | Bouwjaar-periode | Grootte (m <sup>2</sup> ) | Elektra (kWh) | Gas (m <sup>3</sup> ) |
|----------|------------|---|------------------|---------------------------|---------------|-----------------------|
| Woning 5 | Hoekwoning |  | 1975-1991        | 111                       | 2.950         | 1.350                 |

### C.5.1 Kosten

#### Investeringskosten

Tabel 36 – Uitsplitsing investeringskosten en subsidies behorend bij Voorbeeldwoning 5 voor de verschillende technieken

| Investerings (€)                     | Buitenlucht-warmtepomp | Bodem-warmtepomp | MT-net         | ZLT-net         | Hr-ketel       |
|--------------------------------------|------------------------|------------------|----------------|-----------------|----------------|
| <b>Veranderingen aan de woning</b>   |                        |                  |                |                 |                |
| Verwarmingsinstallatie               | € 14.125               | € 25.500         | € 3.775        | € 7.850         | € 2.775        |
| Isolatie en ventilatie               | € 66.150               | € 66.150         | € -            | € 66.150        | € -            |
| Inpandige aanpassingen               | € -                    | € -              | € 3.500        | € 3.500         | € -            |
| LT-radiatoren                        | € 9.100                | € 9.100          | € -            | € 9.100         | € -            |
| Airco                                | € -                    | € -              | € -            | € -             | € -            |
| Elektrisch koken                     | € 1.400                | € 1.400          | € 1.400        | € 1.400         | € 1.400        |
| <b>Subsidies</b>                     |                        |                  |                |                 |                |
| ISDE verwarmingstechniek             | € -3.150               | € -4.425         | € -3.775       | € -5.200        | € -            |
| ISDE isolatie                        | € -6.750               | € -6.750         | € -            | € -6.750        | € -            |
| <b>Totaal (excl. ORT)</b>            | <b>€ 80.875</b>        | <b>€ 90.975</b>  | <b>€ 4.900</b> | <b>€ 76.025</b> | <b>€ 4.175</b> |
| Onrendabele top (ORT)<br>(incl. btw) | € -                    | € -              | € 12.327       | € 23.043        | € -            |

## Onderhouds- en energiekosten

Tabel 37 – Uitsplitsing onderhouds- en energiekosten en subsidies behorend bij Voorbeeldwoning 5 voor de verschillende technieken

| Energie en onderhoud (€/jaar)                  | Lucht-warmtepomp | Bodem-warmtepomp | MT-net         | ZLT-net        | Hr-ketel       |
|--|------------------|------------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>Energiekosten</b>                           |                  |                  |                |                |                |
| Elektriciteitskosten variabel                  | € 2.300          | € 1.975          | € 875          | € 2.050        | € 875          |
| Elektriciteitskosten vast                      | € 25             | € 25             | € 25           | € 25           | € 25           |
| Gaskosten variabel                             | € -              | € -              | € -            | € -            | € 2.175        |
| Gaskosten vast                                 | € -              | € -              | € -            | € -            | € 325          |
| Warmtekosten variabel                          | € -              | € -              | € 900          | € -            | € -            |
| Warmtekosten vast                              | € -              | € -              | € 1.025        | € 475          | € -            |
| <b>Onderhoudskosten</b>                        |                  |                  |                |                |                |
| Verwarmingsinstallatie                         | € 275            | € 250            | € -            | € -            | € 150          |
| Secundaire systemen (airco, boosterwarmtepomp) | € 75             | € 75             | € -            | € 125          | € -            |
| <b>Totaal</b>                                  | <b>€ 2.675</b>   | <b>€ 2.325</b>   | <b>€ 2.825</b> | <b>€ 2.675</b> | <b>€ 3.550</b> |


## C.5.2 Energie

Tabel 38 – Uitsplitsing energieverbruiken bij Voorbeeldwoning 5 voor de verschillende technieken en energiedragers

| Energieverbruik in GJ         | Lucht-warmtepomp | Bodem-warmtepomp | MT-net      | ZLT-net     | Hr-ketel    |
|-------------------------------|------------------|------------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Elektriciteit (totaal)</b> | <b>24,8</b>      | <b>21,9</b>      | <b>10,9</b> | <b>22,5</b> | <b>10,9</b> |
| Elektriciteit (warm water)    | 3,0              | 2,6              | -           | 2,6         | -           |
| Elektriciteit (verwarming)    | 5,7              | 4,9              | -           | 5,4         | -           |
| Elektriciteit (koelen)        | 1,9              | 0,1              | -           | 0,2         | -           |
| Elektriciteit (rest)          | 14,3             | 14,3             | 10,9        | 14,3        | 10,9        |
| <b>Warmte</b>                 | <b>-</b>         | <b>-</b>         | <b>40,9</b> | <b>24,3</b> | <b>-</b>    |
| <b>Gas (huidig)</b>           | <b>-</b>         | <b>-</b>         | <b>-</b>    | <b>-</b>    | <b>47,0</b> |

## C.6 Woning 6

Tabel 39 – Typering Voorbeeldwoning 6

|          | Type               | Representatief voorbeeld  | Bouwjaar-periode | Grootte (m <sup>2</sup> ) | Elektra (kWh) | Gas (m <sup>3</sup> ) |
|----------|--------------------|---|------------------|---------------------------|---------------|-----------------------|
| Woning 6 | Twee-onder-één-kap |  | 1992-1995        | 161                       | 3.250         | 1.600                 |

### C.6.1 Kosten

#### Investeringskosten

Tabel 40 – Uitsplitsing investeringskosten en subsidies behorend bij Voorbeeldwoning 6 voor de verschillende technieken

| Investerings (€)                     | Buitenlucht-warmtepomp | Bodem-warmtepomp | MT-net         | ZLT-net         | Hr-ketel       |
|--------------------------------------|------------------------|------------------|----------------|-----------------|----------------|
| <b>Veranderingen aan de woning</b>   |                        |                  |                |                 |                |
| Verwarmingsinstallatie               | € 14.125               | € 25.500         | € 3.775        | € 7.850         | € 2.775        |
| Isolatie en ventilatie               | € -                    | € -              | € -            | € -             | € -            |
| Inpandige aanpassingen               | € -                    | € -              | € 3.500        | € 3.500         | € -            |
| LT-radiatoren                        | € 9.350                | € 9.350          | € -            | € 9.350         | € -            |
| Airco                                | € -                    | € -              | € 2.400        | € 2.400         | € 2.400        |
| Elektrisch koken                     | € 1.400                | € 1.400          | € 1.400        | € 1.400         | € 1.400        |
| <b>Subsidies</b>                     |                        |                  |                |                 |                |
| ISDE verwarmingstechniek             | € -3.150               | € -4.425         | € -3.775       | € -5.200        | € -            |
| ISDE isolatie                        | € -                    | € -              | € -            | € -             | € -            |
| <b>Totaal (excl. ORT)</b>            | <b>€ 21.725</b>        | <b>€ 31.800</b>  | <b>€ 7.300</b> | <b>€ 19.275</b> | <b>€ 6.575</b> |
| Onrendabele top (ORT)<br>(incl. btw) | € -                    | € -              | € 12.327       | € 23.043        | € -            |

## Onderhouds- en energiekosten

Tabel 41 – Uitsplitsing onderhouds- en energiekosten en subsidies behorend bij Voorbeeldwoning 6 voor de verschillende technieken

| Energie en onderhoud (€/jaar)                  | Lucht-warmtepomp | Bodem-warmtepomp | MT-net         | ZLT-net        | Hr-ketel       |
|--|------------------|------------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>Energiekosten</b>                           |                  |                  |                |                |                |
| Elektriciteitskosten variabel                  | € 2.700          | € 2.350          | € 1.525        | € 2.425        | € 1.525        |
| Elektriciteitskosten vast                      | € 25             | € 25             | € 25           | € 25           | € 25           |
| Gaskosten variabel                             | € -              | € -              | € -            | € -            | € 2.150        |
| Gaskosten vast                                 | € -              | € -              | € -            | € -            | € 325          |
| Warmtekosten variabel                          | € -              | € -              | € 875          | € -            | € -            |
| Warmtekosten vast                              | € -              | € -              | € 1.025        | € 475          | € -            |
| <b>Onderhoudskosten</b>                        |                  |                  |                |                |                |
| Verwarmingsinstallatie                         | € 275            | € 250            | € -            | € -            | € 150          |
| Secundaire systemen (airco, boosterwarmtepomp) | € 75             | € 75             | € 225          | € 125          | € 225          |
| <b>Totaal</b>                                  | <b>€ 3.075</b>   | <b>€ 2.700</b>   | <b>€ 3.675</b> | <b>€ 3.050</b> | <b>€ 4.400</b> |


## C.6.2 Energie

Tabel 42 – Uitsplitsing energieverbruiken bij Voorbeeldwoning 6 voor de verschillende technieken en energiedragers

| Energieverbruik in GJ         | Lucht-warmtepomp | Bodem-warmtepomp | MT-net      | ZLT-net     | Hr-ketel    |
|-------------------------------|------------------|------------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Elektriciteit (totaal)</b> | <b>33,1</b>      | <b>28,7</b>      | <b>18,6</b> | <b>29,7</b> | <b>18,6</b> |
| Elektriciteit (warmwater)     | 3,7              | 3,3              | -           | 3,3         | -           |
| Elektriciteit (verwarming)    | 9,7              | 8,2              | -           | 9,2         | -           |
| Elektriciteit (koelen)        | 2,7              | 0,2              | 1,6         | 0,3         | 1,6         |
| Elektriciteit (rest)          | 17,0             | 17,0             | 17,0        | 17,0        | 17,0        |
| <b>Warmte</b>                 | <b>-</b>         | <b>-</b>         | <b>48,1</b> | <b>41,2</b> | <b>-</b>    |
| <b>Gas (huidig)</b>           | <b>-</b>         | <b>-</b>         | <b>-</b>    | <b>-</b>    | <b>55,5</b> |

## C.7 Woning 7

Tabel 43 – Typering Voorbeeldwoning 7

|          | Type       | Representatief voorbeeld  | Bouwjaar-periode | Grootte (m <sup>2</sup> ) | Elektra (kWh) | Gas (m <sup>3</sup> ) |
|----------|------------|---|------------------|---------------------------|---------------|-----------------------|
| Woning 7 | Hoekwoning |  | 1975-1991        | 173                       | 2.950         | 1.850                 |

### C.7.1 Kosten

#### Investeringskosten

Tabel 44 – Uitsplitsing investeringskosten en subsidies behorend bij Voorbeeldwoning 7 voor de verschillende technieken

| Investeringen (€)                    | Buitenlucht-warmtepomp | Bodem-warmtepomp | MT-net         | ZLT-net         | Hr-ketel       |
|--------------------------------------|------------------------|------------------|----------------|-----------------|----------------|
| <b>Veranderingen aan de woning</b>   |                        |                  |                |                 |                |
| Verwarmingsinstallatie               | € 14.125               | € 25.500         | € 3.775        | € 7.850         | € 2.775        |
| Isolatie en ventilatie               | € 72.875               | € 72.875         | € -            | € 72.875        | € -            |
| Inpandige aanpassingen               | € -                    | € -              | € 3.500        | € 3.500         | € -            |
| LT-radiatoren                        | € 10.025               | € 10.025         | € -            | € 10.025        | € -            |
| Airco                                | € -                    | € -              | € -            | € -             | € -            |
| Elektrisch koken                     | € 1.400                | € 1.400          | € 1.400        | € 1.400         | € 1.400        |
| <b>Subsidies</b>                     |                        |                  |                |                 |                |
| ISDE verwarmingstechniek             | € -3.150               | € -4.425         | € -3.775       | € -5.200        | € -            |
| ISDE isolatie                        | € -9.350               | € -9.350         | € -            | € -9.350        | € -            |
| <b>Totaal (excl. ORT)</b>            | <b>€ 85.950</b>        | <b>€ 96.050</b>  | <b>€ 4.900</b> | <b>€ 81.125</b> | <b>€ 4.175</b> |
| Onrendabele top (ORT)<br>(incl. btw) | € -                    | € -              | € 12.327       | € 23.043        | € -            |

## Onderhouds- en energiekosten

Tabel 45 – Uitsplitsing onderhouds- en energiekosten en subsidies behorend bij Voorbeeldwoning 7 voor de verschillende technieken

| Energie en onderhoud (€/jaar)                  | Lucht-warmtepomp | Bodem-warmtepomp | MT-net         | ZLT-net        | Hr-ketel       |
|--|------------------|------------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>Energiekosten</b>                           |                  |                  |                |                |                |
| Elektriciteitskosten variabel                  | € 2.525          | € 2.175          | € 900          | € 2.250        | € 900          |
| Elektriciteitskosten vast                      | € 25             | € 25             | € 25           | € 25           | € 25           |
| Gaskosten variabel                             | € -              | € -              | € -            | € -            | € 2.525        |
| Gaskosten vast                                 | € -              | € -              | € -            | € -            | € 325          |
| Warmtekosten variabel                          | € -              | € -              | € 1.050        | € -            | € -            |
| Warmtekosten vast                              | € -              | € -              | € 1.025        | € 475          | € -            |
| <b>Onderhoudskosten</b>                        |                  |                  |                |                |                |
| Verwarmingsinstallatie                         | € 275            | € 250            | € -            | € -            | € 150          |
| Secundaire systemen (airco, boosterwarmtepomp) | € 75             | € 75             | € -            | € 125          | € -            |
| <b>Totaal</b>                                  | <b>€ 2.900</b>   | <b>€ 2.525</b>   | <b>€ 3.000</b> | <b>€ 2.875</b> | <b>€ 3.925</b> |

## C.7.2 Energie

Tabel 46 – Uitsplitsing energieverbruiken bij Voorbeeldwoning 7 voor de verschillende technieken en energiedragers

| Energieverbruik in GJ         | Lucht-warmtepomp | Bodem-warmtepomp | MT-net      | ZLT-net     | Hr-ketel    |
|-------------------------------|------------------|------------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Elektriciteit (totaal)</b> | <b>30,9</b>      | <b>26,6</b>      | <b>11,0</b> | <b>27,5</b> | <b>11,0</b> |
| Elektriciteit (warm water)    | 3,7              | 3,3              | -           | 3,3         | -           |
| Elektriciteit (verwarming)    | 8,1              | 6,9              | -           | 7,7         | -           |
| Elektriciteit (koelen)        | 2,9              | 0,2              | -           | 0,3         | -           |
| Elektriciteit (rest)          | 16,2             | 16,2             | 11,0        | 16,2        | 11,0        |
| <b>Warmte</b>                 | <b>-</b>         | <b>-</b>         | <b>57,1</b> | <b>34,5</b> | <b>-</b>    |
| <b>Gas (huidig)</b>           | <b>-</b>         | <b>-</b>         | <b>-</b>    | <b>-</b>    | <b>65,1</b> |

## C.8 Aanbevelingen uit de bezoeken

Tijdens de woningbezoeken zijn enkele waardevolle inzichten opgedaan over het proces waarmee de gemeente Woerden bewoners bij de verkenning van de plannen betreft. We delen deze hier, vooruitlopend op het bredere bewonersonderzoek dat de gemeente nog gaat uitvoeren.

- Het is positief dat de gemeente het gesprek met bewoners open voert en hen actief meeneemt in het maken van keuzes.
- Neem als gemeente bij het uitwerken van de plannen zoveel mogelijk ruimtelijke-orderingsvraagstukken tegelijk mee, zoals groenvoorziening, parkeervoorziening, verkeerssituaties, riolering, etc.
- Naast het technische oogpunt moet er blijvend aandacht zijn voor sociale cohesie: de energietransitie is ingrijpend, en het is belangrijk dat bewoners in een buurt of straat het gevoel hebben dat alle tijdelijke overlast van werkzaamheden en ingrepen uiteindelijk iets oplevert waar ze samen trots op kunnen zijn.
- Zorg dat de transitie voor alle bewoners van Molenvliet een duidelijk win-win-verhaal is – zeker nu de warmtetransitie in Nederland nog in de beginfase zit. Het moet niet het gevoel geven van een experiment. Door als gemeente alert te zijn op bewoners voor wie betaalbaarheid van verduurzaming en energie niet vanzelfsprekend is, en waar nodig ruim te compenseren, blijft het draagvlak behouden en worden kwetsbare groepen beschermd.

# D Bijlage verdienmodellen in geval van warmtenet

## D.1 Overzicht aansluitingen en warmtevraag

In Tabel 47 staat het totale aantal aansluitingen en de huidige warmtevraag voor de hele wijk Molenvliet. We gaan uit van een autonome daling van de warmtevraag van 0,35% per jaar, wat neerkomt op een totale afname van 2,5% in 2035 en 10,5% na 30 jaar. Dit is de standaardaanname in de door ons gebruikte rekenmethode voor de berekening van de businesscase van het Nationaal Platform Landelijke Warmtetransitie (ECW, 2021).

Bij het ZLT-net nemen we aan dat er nog eens 30% extra wordt bespaard op de warmtevraag. Deze extra besparing is het gevolg van de vergaande isolatiemaatregelen die nodig zijn om woningen comfortabel te kunnen verwarmen met laagtemperatuurwarmte.

Bij het MT-net wordt de temperatuur van aangeleverd water opgewaardeerd, zodat de woningen in principe niet ingrijpend geïsoleerd hoeven te worden. Daarom hanteren we voor het MT-net uitsluitend de autonome warmtevraagreductie.

Om een goed beeld te krijgen van het effect van verlaging van de warmtevraag, is het belangrijk om twee zaken te benadrukken. Allereerst: voor bewoners is een lagere warmtevraag gunstig, omdat hun energiekosten na investering in de extra isolatie zullen dalen. Door de lagere warmtevraag zal de onrendabele top wel toenemen met gemiddeld iets meer dan € 500 per woning (zie de gevoeligheidsanalyse op het onderdeel 'GJ KV' (energieverbruik kleinverbruik)).

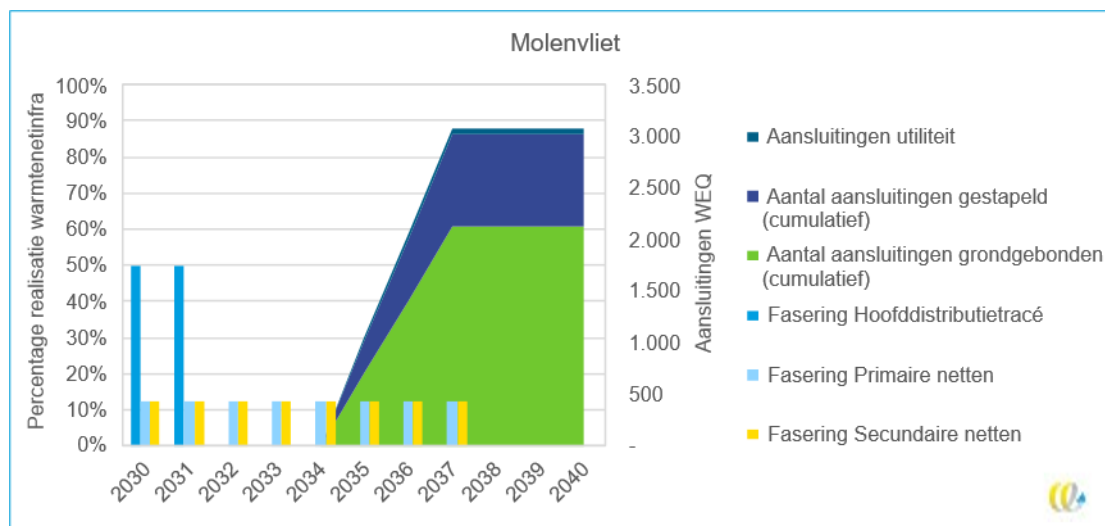
Voor de warmteverliezen nemen we aan dat de leidingverliezen bij het ZLT-net 0% zijn en bij het MT-net 15%.

Tabel 47 – Aantal aansluitingen (80% participatiegraad), huidige warmtevraag van heel Molenvliet (voor ruimteverwarming en warm tapwater, zonder leidingverliezen) en de totale koudevraag voor koeling

| Aansluiting   | Aantal | Totale warmtevraag (TJ/jaar) | Gemiddelde warmtevraag (GJ/aansluiting/jaar) | Totale koudevraag bij ZLT-net (TJ/jaar) |
|---------------|--------|------------------------------|--|---|
| Grondgebonden | 2.128  | 89                           | 42   | 14                                      |
| Gestapeld     | 903    | 20                           | 22   | 3                                       |
| Utiliteit     | 49     | 3                            | 70   | 1                                       |

Voor de verkennende financiële doorrekening nemen we aan dat in 2030 gestart wordt met de aanleg van het warmtenet en dat tussen 2035 en 2038 iedereen wordt aangesloten. In Figuur 53 is de fasering van het warmtenet te zien en het verloop van nieuwe aansluitingen.

Figuur 53 – Fasering en aansluitingen van het warmtenet



## D.2 Berekening kosten warmtenetten

Deze paragraaf vergelijkt de verschillende warmtenetscenario's voor de verduurzaming van de wijk, bekeken vanuit een eventueel op te richten warmtebedrijf.

Voor de verschillende uitvoeringen van het warmtenet is een verkennende businesscase opgesteld en doorgerekend. De financiële haalbaarheid/investeerbaarheid van de verschillende warmtenetscenario's is onderzocht door de onrendabele top te vergelijken.

De onrendabele top is het deel van de investering dat een warmtebedrijf niet terugverdient via de opbrengsten uit de verkoop van warmte. Het geeft aan hoeveel geld er extra nodig is om een project financieel haalbaar te maken, bijvoorbeeld via aanvullende subsidies of

een hogere bijdrage van de bewoners. Hoe lager de onrendabele top, hoe aantrekkelijker het project voor investeerders.

Het 'referentiescenario' bestaat uit individuele warmtepompen voor de hele wijk Molenvliet. Hiervoor is geen businesscase doorgerekend, omdat hierbij geen warmtebedrijf is betrokken. Wel nemen we deze optie nadrukkelijk mee in de vergelijking op (voorbeeld)woningniveau in Hoofdstuk 4.

Voor het opstellen van de businesscase hebben we gebruikgemaakt van het 'Business-casetemplate warmtenetten NPLW' (NPLW, lopend). Hierbij zijn verschillende schattingen gemaakt aan de hand van de 'Berekeningsmethodieken kosten', zoals gevalideerd voor warmtenetten in Vesta MAIS (2022 en 2024). Daarnaast zijn de volgende aannames gedaan:

- Looptijd: 30 jaar.
- Start: 2030, met de eerste aansluitingen in 2035.
- 80% participatiegraad.
- Projectrendement: 4% (vereiste interne rendement voor het warmtebedrijf).
- Investeringskosten en operationele kosten warmtenetinfrastructuur volgens validatie van warmtenetten in Vesta MAIS (2024).
- Warmte-inkoopprijs: op basis van SDE++ en KEV-gasprijzen piekvoorziening.
- Opbrengsten: eindgebruikerstarieven (zie Bijlage B.4).
- Subsidie: SDE en WIS (€ 10.000 per woning).
- Autonome warmtevraagreductie van 0,35% per jaar (PBL, 2021).
- Rendement van de collectieve warmtepomp (SCOP): 4,4.
- MT-net: levering van warm tapwater en ruimteverwarming, geen koude. Geen aanvullende isolatiemaatregelen voor de woningen.
- ZLT-net: levering van ruimteverwarming en koude. Vergaande isolatie van de woningen, noodzakelijk voor verwarming met laagtemperatuurwarmte.

De kosten voor aanpassingen aan het interne leidingwerk, het afgiftesysteem, isolatiemaatregelen en een alternatieve voorziening voor warm tapwater zijn voor rekening van de gebouweigenaren. Deze kosten vallen niet onder de businesscase van het warmtebedrijf.

### Toelichting op de startdatum

Dankzij de Wet gemeentelijke instrumenten warmtetransitie (Wgiw) kan een gemeente samen met de bewoners in wijken en/of buurten concrete stappen maken om aan de warmtetransitie te werken. Deze wet is verder uitgewerkt in het Ontwerp-Besluit gemeentelijke instrumenten warmtetransitie (Bgiw). Hieraan staat uitgelegd hoe een gemeente een regio kan aanwijzen waar woningen op een bepaalde termijn, op zijn minst acht jaar, geen fossiele brandstoffen meer mogen gebruiken. Voorafgaand aan de afkondiging van deze 'aanwijsbevoegdheid' zal er een uitgebreid traject zijn waar de bewoners van de betrokken buurten bij worden betrokken om tot een breed gedragen besluit te komen. Gezien de minimale duur van acht jaar, hebben we ervoor gekozen om de eerste aansluitingen op een warmtenet te laten starten in 2035. Dit betekent dat de voorbereidingen voor de bouw al in 2030 van start zullen gaan.

De parameters zijn opgenomen in Bijlage B.1. In Tabel 48 zijn de resultaten opgenomen. De onrendabele top (ORT) voor het MT-net varieert van € 14.000 per aansluiting voor West-Molenvliet tot € 27.900 per aansluiting voor Molenvliet-Oost. De onrendabele top voor het ZLT-net is een stuk groter, namelijk ongeveer € 21.800 per aansluiting voor Molenvliet-West en € 30.000 per aansluiting voor Molenvliet-Oost. De investeringsomvang van het ZLT-net is bijna net zo groot als voor het MT-net, maar de opbrengsten zijn veel lager. Dit komt doordat er geen GJ-tarief (prijs per geleverde eenheid warmte) voor levering van ZLT-warmte is, enkel een vastrecht.

Het warmtebedrijf kan de onrendabele top financieren via een kostendeekkende bijdrage per aansluiting. Om de hoogte van de kostendeekkende bijdragen in perspectief te plaatsen, vergelijken we deze met de aanschaf en installatie van een individuele luchtwarmtepomp. De aanschaf en installatie daarvan kosten circa € 14.000 per woning, exclusief isolatiemaatregelen en aanpassingen aan het afgiftesysteem. Hieruit blijkt dat de kostendeekkende bijdrage voor het MT-net in deze verkenning vergelijkbaar uitvalt als de investering in een individuele warmtepomp. Voor het ZLT-net ligt deze bijdrage juist hoger.

Tabel 48 – Resultaten verkennende financiële analyse warmtenetscenario's. De studies voor de hele wijk Molenvliet en de twee buurten Oost en West apart, staan los van elkaar. Het totaal van de wijk is dus niet zonder meer een optelling van de twee losse buurten. In deze tabel is de **bruto** ORT getoond.

Deze bedragen zijn exclusief btw.

|   | MT-net<br>Molenvliet | MT-net<br>West apart | MT-net<br>Oost apart | ZLT-net<br>Molenvliet | ZLT-net<br>West apart | ZLT-net<br>Oost apart |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Investeringsomvang<br>(miljoen)                 | € 67                 | € 36                 | € 29                 | € 65                  | € 35                  | € 29                  |
| <b>Bruto</b> onrendabele<br>top (miljoen)       | € 51                 | € 17                 | € 33                 | € 78                  | € 26                  | € 55                  |
| <b>Bruto</b> onrendabele<br>top per aansluiting | € 16.804             | € 14.090             | € 17.895             | € 25.660              | € 21.754              | € 29.995              |

De businesscaseresultaten zijn exclusief 21% btw. Wanneer deze getallen in de rapportage worden vergeleken met andere kosten voor bewoners, passen we de btw alsnog toe.

## D.2.1 Bruto versus netto ORT

Voor de investering in de verwarmingsinstallatie van een ZLT-warmtenet wordt in het eindgebruikerskostenmodel CEKER als bedrag € 8.006 gehanteerd voor grondgebonden woningen en € 4.066 voor gestapelde woningen (appartementen). Beide bedragen zijn inclusief btw. Deze kosten worden in mindering gebracht op de **bruto** onrendabele top bij de verschillende scenario's, omdat deze anders dubbel zouden worden geteld. Hierbij houden we rekening met de verhouding van grondgebonden en gestapelde bouw binnen de buurten. Dit leidt tot de volgende **netto** ORT, inclusief btw, die in de scenario's wordt gebruikt, zie Tabel 49.

Tabel 49 – **Netto** ORT inclusief btw, zoals gebruikt in de scenario's om de bedragen voor de hele wijk uit te rekenen

| Kosten per aansluiting (€/won.) incl. btw | MT-net Molenvliet | MT-net West apart | MT-net Oost apart | ZLT-net Molenvliet | ZLT-net West apart | ZLT-net Oost apart |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| ORT (netto)                               | € 13.497          | € 10.260          | € 14.787          | € 24.213           | € 19.534           | € 29.428           |

## D.2.2 Doorrekening DWA

Ter vergelijking: in Nederland ligt de onrendabele top gemiddeld rond € 8.000 tot € 10.000 per woning, al is de spreiding groot. Een eerder onderzoek van DWA voor Molenvliet (Boschma, 2024) komt uit op een onrendabele top (BAK gelijkgesteld aan ORT) van ongeveer € 11.000 per woning voor een MT-net gevoed door RWZI, voor 1.319 woningen in een deel van Molenvliet-West en met een participatiegraad van 80%.

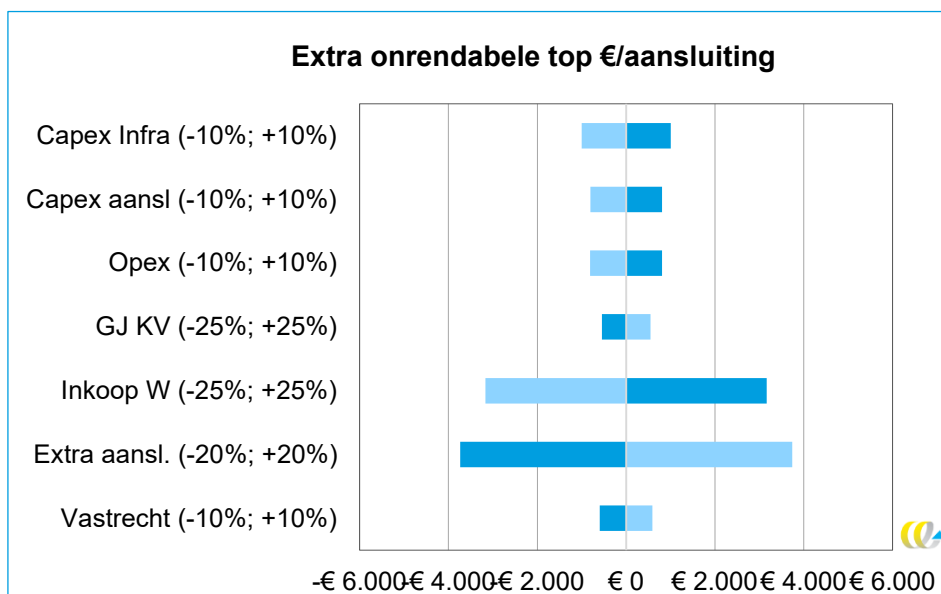
Eén van de verschillen in uitgangspunten tussen het onderzoek van DWA en dit onderzoek is dat wij uitgaan van een lagere warmtevraag. Daarnaast zijn er nuances in aannames, rentevoeten en investeringskosten. Het onderzoek van DWA is wat specifiek over het tracé en de installatie en rekent dit rond voor winning uit de RWZI. Ons onderzoek vult aan voor een volledige dekking van Molenvliet of delen ervan in de verschillende scenario's. Verder hebben wij voor voorbeeldwoningen een aparte doorrekening gemaakt voor een representatief beeld van ingrepen voor bewoners.

## D.3 Gevoeligheid van de resultaten

In Figuur 54 zijn de resultaten weergegeven van de gevoeligheidsanalyses op de omvang van de onrendabele top voor het MT-net-scenario voor heel Molenvliet. De variatie in participatiegraad (van 80% naar 60% of 100%) heeft het grootste effect op de onrendabele top (ongeveer € 3.700 per woning). Dit betekent dat het extra van belang is om zoveel mogelijk woningeigenaren bereid te vinden deel te nemen aan een warmtenet, omdat anders de kosten per aansluiting hoger uit zullen vallen.

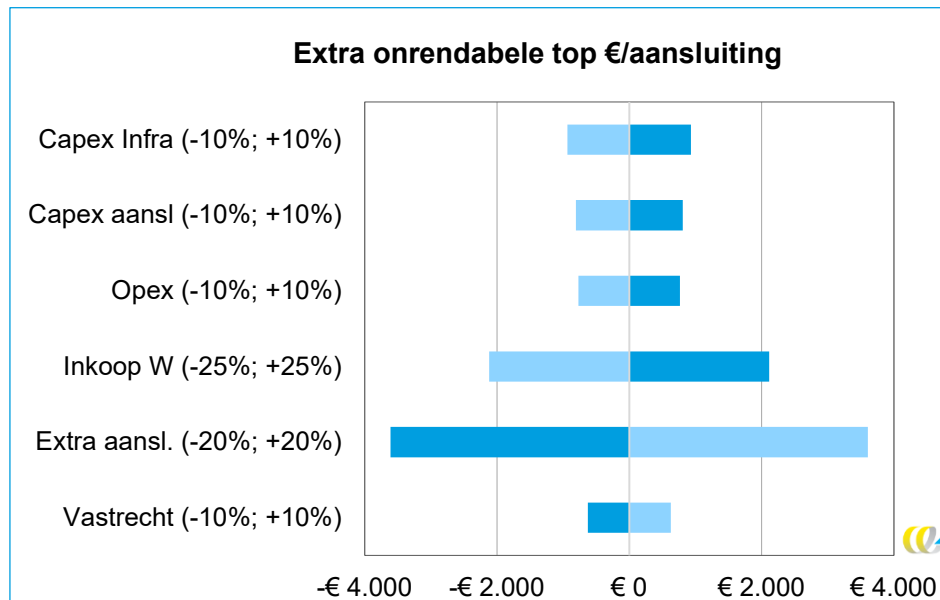
Als de inkoopkosten van warmte met 25% stijgen of dalen, dan verschuift de onrendabele top met ongeveer € 3.300 per aansluiting. De overige variaties hebben een effect van minder dan ongeveer € 1.000 per woning.

Figuur 54 – Resultaat van de gevoeligheidsanalyses op de onrendabele top per woning, hier getoond voor het scenario 'MT-net heel Molenvliet'. De donkere staafjes corresponderen per regel met de positieve verandering, de lichte staafjes met de negatieve verandering.



In Figuur 55 zijn de resultaten weergegeven van de gevoeligheidsanalyses op de omvang van de onrendabele top voor het ZLT-net-scenario voor heel Molenvliet. De uitkomsten zijn vergelijkbaar met het MT-net. De variatie in warmtevraag voor kleinverbruik (GJ KV) is niet opgenomen in de gevoeligheidsanalyse voor het ZLT-net, omdat het ZLT warmtenet geen opbrengsten per eenheid warmte heeft.

Figuur 55 – Resultaat van de gevoeligheidsanalyses op de onrendabele top per woning, hier getoond voor het scenario 'ZLT-net heel Molenvliet'. De donkere staafjes corresponderen per regel met de positieve verandering, de lichte staafjes met de negatieve verandering.



## D.4 Overzicht kosten en opbrengsten

De kosten voor de aanleg van een warmtenet bestaan uit de volgende onderdelen:

- **Investeringskosten (CAPEX):** hieronder vallen de investeringskosten van de infrastructuur (het hoofddistributietracé, de primaire en secundaire leidingnetten) en de aansluitingskosten per gebouw.
- **Operationele kosten (OPEX):** hieronder vallen de onderhoudskosten van het hoofddistributietracé, de primaire en secundaire leidingnetten, en de aansluitkosten.
- **Inkoop warmte:** hierbij gaat het om de productie van warmtelevering, zowel basislast als pieklast.

Voor beide warmtenetten (MT en ZLT) gaan we uit van de combinatie TEA uit het RWZI-gemaal en TEO uit de Oude Rijn, ondersteund door een centrale wko en een elektrische warmtepomp. Bij het MT-warmtenet is er daarnaast nog een back-upvoorziening die voorlopig op aardgas werkt. Bij het ZLT-warmtenet hebben de woningen nog een individuele warmtepomp nodig. De kosten voor deze warmtepomp én de benodigde isolatiemaatregelen vallen buiten de businesscase. Deze kosten zijn voor de eigenaar van de woning en niet voor het warmtebedrijf. In Tabel 50 zijn de inkoopkosten van de warmte weergegeven.

Tabel 50 – Inkoopkosten warmte

| Inkoop warmte      | MT-net  | ZLT-net |
|--------------------|---------|---------|
| Basislast          | 30 €/GJ | 33 €/GJ |
| Pieklast (back-up) | 70 €/GJ | N.v.t.  |

Tabel 51 – Benodigde investeringen van het warmtebedrijf per woning om de woningen aan te sluiten, die gebruikt zijn in de businesscase als uitgangspunt voor de berekening

| Aansluiting   | Investering per aansluiting |
|---------------|-----------------------------|
| Grondgebonden | € 10.268                    |
| Gestapeld     | € 3.560                     |
| Utiliteit     | € 67.428                    |

De investeringskosten van de infrastructuur waarbij heel Molenvliet wordt aangesloten, zijn opgenomen in Tabel 52 (MT-net) en Tabel 53 (ZLT-net). Dit is zonder kosten die horen bij vervangen en verplaatsen van kabels en leidingen. Dit past bij een meer gedetailleerde studie gebaseerd op een concreet tracé.

Tabel 52 – Infrastructuur MT-net

| MT-net                        | Kosten (miljoen) | Lengte (km) | €/m     | Vermogen (MW) |
|-------------------------------|------------------|-------------|---------|---------------|
| Transport                     | € 1,9            | 1,0         | € 1.902 | 4,8           |
| Primaire leidingen            | € 11,6           | 3,0         | € 3.877 | 16,1          |
| Secundaire leidingen          | € 19,0           | 14,8        | € 1.280 | 0,7           |
| Hulpwarmtecentrale (WOS+Piek) | € 3,4            |             |         |               |
| Onderstations                 | € 2,8            |             |         |               |

Tabel 53 – Infrastructuur ZLT-net

| ZLT-net              | Kosten (miljoen) | Lengte (km) | €/m     | Vermogen (MW) |
|----------------------|------------------|-------------|---------|---------------|
| Primaire leidingen   | € 15,5           | 4,0         | € 3.886 | 16,1          |
| Secundaire leidingen | € 17,9           | 14,8        | € 1.204 | 0,6           |
| Onderstations        | € 2,9            |             |         |               |

De opbrengsten van een warmtenet vanuit het perspectief van een ontwikkelaar bestaan uit de volgende onderdelen:

- **Verbruikstarief of de variabele opbrengsten:** de totale opbrengsten zijn de som van het verbruik maal het tarief.
- **Vastrecht:** naast het verbruikstarief mag de ontwikkelaar het vastrecht in rekening brengen. Dit is een vast bedrag per jaar per aansluiting.
- **Subsidies voor de aansluitbijdrage:** de aansluitbijdrage is een eenmalige bijdrage voor een nieuwe aansluiting op een warmtenet, die gesubsidieerd wordt vanuit landelijke subsidies.

Tabel 54 – De opbrengsten van het warmtenet

| Opbrengsten | Vaste opbrengsten per aansluiting | Variabele opbrengsten per aansluiting | Eenmalige opbrengsten per aansluiting (WIS + SDE) |
|-------------|-----------------------------------|---------------------------------------|---|
| MT-net      | 504 €/jaar                        | 36 €/GJ                               | € 10.000  |
| ZLT-net     | 534 €/jaar                        | N.v.t.                                | € 10.000  |

# E Kentallen en parameters

Onderstaande punten zijn van belang bij de resultaten zoals gepresenteerd in Paragraaf 3.2.

- Vervangingsperiode van alle installaties is vijftien jaar. Isolatie wordt eenmalig aangebracht.
- De (ISDE-) subsidies worden verondersteld nominaal gelijk te blijven gedurende de zichtperiode.
- Investeringskosten die tegen het eind van de rekenperiode (2026 t/m 2050) lopen, worden verrekend met inbegrip van hun restwaarde, naar rato van het aantal jaren dat buiten de rekenperiode ligt. Zo blijft de balans tussen investeringen en variabele kosten (energie en onderhoud) gehandhaafd in het totaal.
- We hanteren een discontovoet van 4% (CE Delft-aanname op basis van Warmtefonds (2024) en indexering op investeringskosten, energiekosten en onderhoudskosten van 2% (CE Delft-aanname, gebaseerd op CBS-prognose).

Tabel 55 – Kentallen voor uitstoot van energiedragers voor warmtetechnieken per vijf jaar, op basis van de Klimaat- en Energieverkenning (PBL, 2024). De met een sterretje (\*) aangegeven waarden zijn lineaire inter- en extrapolatie van de beschikbare cijfers.

| Jaartal | Energiedrager | Waarde | Eenheid                |
|---------|---------------|--------|------------------------|
| 2025    | Aardgas       | 56,2   | kg CO <sub>2</sub> /GJ |
|         | Elektriciteit | 52,4   | kg CO <sub>2</sub> /GJ |
| 2030    | Aardgas       | 55,1   | kg CO <sub>2</sub> /GJ |
|         | Elektriciteit | 30,6   | kg CO <sub>2</sub> /GJ |
| 2035    | Aardgas       | 54,9   | kg CO <sub>2</sub> /GJ |
|         | Elektriciteit | 16,7   | kg CO <sub>2</sub> /GJ |
| 2040    | Aardgas       | 54,9*  | kg CO <sub>2</sub> /GJ |
|         | Elektriciteit | 8,3*   | kg CO <sub>2</sub> /GJ |
| 2045    | Aardgas       | 54,9*  | kg CO <sub>2</sub> /GJ |
|         | Elektriciteit | 0,0*   | kg CO <sub>2</sub> /GJ |
| 2050    | Aardgas       | 54,9*  | kg CO <sub>2</sub> /GJ |
|         | Elektriciteit | 0,0*   | kg CO <sub>2</sub> /GJ |

Hieronder staan de verschillende vormen van kosten die gebruikt zijn voor de berekening van eindgebruikerskosten en -verbruiken vanuit CEKER, opgedeeld per kostensoort. Hiervoor zijn verschillende bronnen gebruikt: PBL (2024), Berenschot (2024) en ACM (2024).

Tabel 56 – Kosten voor de energie van de gebruikte energiedragers in verschillende zichtjaren, inclusief energiebelasting en btw

|      | Elektriciteit<br>(€/kWh) | Aardgas<br>(€/m <sup>3</sup> ) | Groengas<br>(€/m <sup>3</sup> ) | MT-net<br>(€/GJ) | ZLT-net<br>(€/GJ) |
|------|--------------------------|--------------------------------|---------------------------------|------------------|-------------------|
| 2025 | € 0,34                   | € 1,26                         | € 3,50                          | € 46,69          | € -               |
| 2030 | € 0,30                   | € 1,20                         | € 3,50                          | € 18,31          | € -               |
| 2035 | € 0,29                   | € 1,20                         | € 3,50                          | € 18,31          | € -               |

Tabel 57 – Vaste lasten per energiedrager, inclusief btw

|      | <b>Elektriciteit (€/jaar)</b> | <b>Aardgas (€/jaar)</b> | <b>MT-net (€/jaar)</b> | <b>ZLT-net (€/jaar)</b> |
|------|-------------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| 2025 | € 514,32                      | € 313,87                | € 618,82               | € 467,65                |
| 2030 | € 657,20                      | € 318,06                | € 1.026,77             | € 467,65                |
| 2035 | € 657,20                      | € 318,06                | € 1.026,77             | € 467,65                |

Tabel 58 – Teruggave van de belasting voor elektriciteitsaansluiting (incl. btw)

|      | <b>Elektriciteit</b> |
|------|----------------------|
| 2025 | € -635,19            |
| 2030 | € -630,62            |
| 2035 | € -630,62            |

Bron: (Rijksoverheid, 2025).

# Literatuur

- ACM. (2024). *Tarievenbesluit warmteleveranciers 2024*.  
<https://www.acm.nl/nl/publicaties/tarievenbesluit-warmteleveranciers-2024>
- Aeses. (2024). *Handreiking menukaart voor huurverhoging bij verduurzaming installaties*.  
<https://aedes.nl/verduurzaming/handreiking-menukaart-voor-huurverhoging-bij-verduurzaming-installaties>
- Berenschot. (2024). *De energierekening in 2023 en 2035 vergeleken*.  
[https://www.berenschot.nl/media/yyhip2qv/240124\\_essent\\_betaalbaarheid\\_energierekening\\_rapportage\\_deela.pdf](https://www.berenschot.nl/media/yyhip2qv/240124_essent_betaalbaarheid_energierekening_rapportage_deela.pdf)
- Boschma, T. A. H., B.B. (2024). *Conceptueel ontwerp warmteuitkoppeling RWZI Woerden*.
- CE Delft. (2023). *Werkwijzer Nationale Kosten*. [https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2023/09/CE\\_Delft\\_210369\\_Werkwijzer\\_nationale\\_kosten\\_PBL\\_2023.pdf](https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2023/09/CE_Delft_210369_Werkwijzer_nationale_kosten_PBL_2023.pdf)
- CROW. (2016). *Schade voorkomen aan kabels en leidingen*.
- EBN. (2025). *Betaalbare warmte is meer dan een rekensom*. <https://www.ebn.nl/feiten-en-cijfers/kennisbank/onderzoek-duurzame-warmte-september2025/>
- Eneco. (2025). *Warmtepomp RWZI Utrecht*. <https://www.eneco.nl/over-ons/wat-wedoen/duurzame-bronnen/warmte/warmtepomp-rwzi-utrecht/>
- Energiecoöperatie Kort Haarlem Gouda. (n.d.). *Energiecoöperatie Kort Haarlem Gouda*.  
<https://www.energiecooperatiekorthaarlem.nl/>
- Engel, W., Jensen, I., Phernambucq, I., & Van Wee, L. (2021). *Gebiedsdossier Waterwinning Woerden*. <https://www.provincie-utrecht.nl/sites/default/files/2021-01/Gebiedsdossiers%20%20Woerden.pdf>
- Gemeente Woerden. (n.d.). *Denk Mee Woerden - Verkenning Molenvliet aardgasvrij*.  
<https://denkmee.woerden.nl/nl-NL/folders/verkenning-molenvliet-aardgasvrij>
- H2O Waternetwerk. (2024). *Leiden wint ruimte met verticaal systeem voor kabels en leidingen*.  
<https://www.h2owaternetwerk.nl/h2o-actueel/leiden-wint-ruimte-met-verticaal-systeem-voor-kabels-en-leidingen>
- Kadaster. (2025). *Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG)*.  
<https://www.kadaster.nl/zakelijk/registraties/basisregistraties/bag>
- Kadaster. (n.d.). *KLIC zakelijk*. <https://www.kadaster.nl/zakelijk/registraties/landelijke-voorzieningen/klic>
- MSG Sustainable Strategies. (2026). *Visie op energie*. In: MSG.
- Nationaal Georegister. (n.d.). *NWB downloaden*. Nationaal Georegister.  
<https://www.nationaalwegenbestand.nl/nwb-downloaden>
- Netbeheer Nederland. (2022). *Netimpact van warmtealternatieven. Vuistregels voor gemeentelijke planvorming*. <https://www.netbeheernederland.nl/nieuws/wat-is-de-impact-van-warmtealternatieven-op-het-net--1568>
- Netbeheer Nederland. (2025). *Capaciteitskaart elektriciteitsnet*.  
<https://capaciteitskaart.netbeheernederland.nl/>
- Norminstituut Bomen. (2025, 2025). *Handboek Bomen*.  
<https://www.norminstituutbomen.nl/instrumenten/handboek-bomen/>
- NPLW. (lopend). *Template Businesscase Warmtenet*.  
<https://www.nplw.nl/warmtenet/financiering-warmtenetten/businesscase-warmtenet>

- NPRES. (2020). *Factsheet Warmte: Achtergrondinformatie per warmtebron*.  
<https://www.energieregionre.nl/veelgestelde+vragen/HandlerDownloadFiles.ashx?idnv=1789930>
- PanTerra. (2021). *Provincie Utrecht Geothermie Potentieel - Powerpoint Management Samenvatting*.
- PBL. (2021). *Klimaat en Energieverkenning 2021*.
- PBL. (2023). *Hestia modellen*. Planbureau voor de Leefomgeving.  
<https://www.pbl.nl/modellen/hestia>
- PBL. (2024). *Klimaat- en Energieverkenning (KEV) 2024*.  
<https://www.pbl.nl/publicaties/klimaat-en-energieverkenning-2024>
- PBL. (2025). *Startanalyse aardgasvrije buurten - 2025*. Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). <https://startanalyse.pbl.nl/>
- PDOK. (n.d.). *Dataset: Stedelijk Water (Riolering) GWSW*. <https://www.pdok.nl/introductie/-/article/stedelijk-water-riolering->  
<https://www.ep-online.nl/PublicData>
- Rijksoverheid. (n.d.). *Welke invloed heeft het energielabel op de huurpunten van mijn woning?*  
<https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/woning-huren/vraag-en-antwoord/welke-involed-heeft-het-energielabel-op-de-huurpunten-van-mijn-woning>
- Rijkswaterstaat. (n.d.). *Index of WKD*. <https://downloads.rijkswaterstaatdata.nl/wkd/>
- RVO. (2021). *Standaard en streefwaarden voor woningisolatie*. RVO.  
<https://www.rvo.nl/onderwerpen/wetten-en-regels-gebouwen/standaard-streefwaarden-woningisolatie>
- RVO. (2023). *Voorbeeldwoningen bestaande bouw*. RVO.  
<https://www.rvo.nl/onderwerpen/wetten-en-regels-gebouwen/voorbeeldwoningen-bestaande-bouw>
- RVO. (2024a, 10 november 2025). *Kostenkanten van verduurzamingsmaatregelen*. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO).  
<https://www.rvo.nl/onderwerpen/technieken-beheer-en-innovatie-gebouwen/kostenkanten>
- RVO. (2024b, 18-10-2024). *Standaard en streefwaarden voor woningisolatie*. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. <https://www.rvo.nl/onderwerpen/wetten-en-regels-gebouwen/standaard-streefwaarden-woningisolatie>
- RVO. (Iopend). *On-line Tool Warmteatlas*. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.  
<https://pzh.maps.arcgis.com/apps/MapSeries/index.html?appid=6d2ce193ab7d4bc3a15aaeb5240df0bc>
- Stedin. (2024a). *Hoogspanningsstation Woerden*. <https://www.stedin.net/over-stedin/wat-doet-stedin/projecten-in-uw-regio/hoogspanningsstation-woerden>
- Stedin. (2024b). *Regiokaart Utrecht - projecten Stedin en TenneT voorjaar 2024*.  
<https://www.stedin.net/-/media/project/online/images/beeld-in-de-tekst/regiokaart-utrecht---projecten-stedin-en-tennet---voorjaar-2024.jpg?rev=becf791bb5bd49b1af5f876233e4377a&hash=6DCBB2BA55E267623702AF20B181E7B8>
- VNG. (2025). *Nieuwe ACM regels einde voorrang kleinverbruik op stroomnet*.
- WarmingUp. (2021). *Aquathermie configuraties*.
- WarmingUp. (Iopend). *Aquathermieviewer*. WarmingUp.
- Warmtefonds. (2024). *Leninginformatie nationaal warmtefonds*.  
<https://www.warmtefonds.nl/particulier/energiebespaarlening/leninginformatie>