



Afwegingskader warmteprogramma Castricum

Dataondersteuning warmteprogramma
Castricum



CE Delft

Committed to the Environment

Afwegingskader warmteprogramma

Dataondersteuning warmteprogramma Castricum

Dit rapport is geschreven door:
Fenneke van de Poll, Simone Tanis

Delft, CE Delft, februari 2025

Publicatienummer: 25.240449.060b

Opdrachtgever: Werkorganisatie BUCH

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

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Fenneke van de Poll (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

	Begrippenlijst	4
	Samenvatting	5
1	Inleiding	7
	1.1 Aanleiding en doel	7
	1.2 Wat is een afwegingskader?	7
	1.3 Methode	8
	1.4 Afbakening	8
	1.5 Leeswijzer	9
2	Kosten	10
	2.1 Nationale kosten	10
	2.2 Eindgebruikerskosten	12
3	Leefomgeving	14
	3.1 Ruimtebeslag in de woning	14
	3.2 Ruimtebeslag in de bovengrond	17
4	Technische aspecten	19
	4.1 Geluidsniveau	19
	4.2 Duurzaamheid van de bron	20
	4.3 Mogelijkheid om met techniek te koelen	22
5	Uitvoerbaarheid	24
	5.1 Uitvoeringskracht	24
	5.2 Impact op het elektriciteitsnet	26
6	Resultaten	28
7	Conclusies	30
	7.1 Overkoepelende conclusies	30
	Literatuurlijst	33
A	Beschrijving van warmtebronnen en -technieken	35
	A.1 Warmtetechnieken	35
	A.2 Warmtebronnen	37
	A.3 Beschikbaarheid van gasvormige energiedragers	39
	A.4 Benodigde isolatie en aanpassing radiatoren voor warmtetechnieken	41



B	Methode	42
	B.1 Stappen van het onderzoek	42
	B.2 Data-analyse	42
	B.3 Afwegingskader	43
C	Het CEGOIA-model	44
	C.1 Doel	44
	C.2 Wat zijn nationale kosten?	44
	C.3 Berekeningen op buurniveau	44
	C.4 Totale ketenkosten voor alle mogelijke combinaties van techniek en isolatieniveau	45
	C.5 Van investering naar jaarlijkse kosten	46
	C.6 Combinatie berekening woningen en utiliteit	46
	C.7 Kostenoptimalisatie per gebied gegeven beschikbare bronnen	46
	C.8 Wat zit er niet in het model	46
D	Het CEKER-model	48
	D.1 Methode	48
	D.2 Woningcategorieën	49
E	Resultaten op buurniveau	50

Begrippenlijst

Begrip	Toelichting
Afwegingskader	Instrument om de voor- en nadelen afwegingskader van verschillende opties op een systematische manier met elkaar te vergelijken
Aquathermie	Met aquathermie wordt er warmte vanuit oppervlaktewater gehaald. Aquathermie kan een bron zijn voor een warmtenet.
Boiler	Met een boiler kan water verwarmd worden naar de juiste temperatuur. Een boiler kan verwarmd worden met gas of elektriciteit.
Buitenunit	Onderdeel van de warmtepomp dat buiten geplaatst wordt. Een buitenunit haalt warmte uit de buitenlucht.
Eindgebruikerskosten	Alle kosten die een bewoner moet betalen om over te stappen naar een bepaalde warmtetechniek.
Geothermie	Geothermie wordt ook wel aardwarmte genoemd. Warmte wordt uit de bodem gehaald. Aardwarmte kan een bron zijn voor een warmtetechniek.
Lage temperatuur	Met lage temperatuur bedoelen we een temperatuur tussen de 30°C en 55°C.
Nationale kosten	Alle kosten die gemaakt moeten worden om over te stappen naar een bepaalde warmtetechniek, onafhankelijk van wie ze betaalt.
Middentemperatuur	Met middentemperatuur bedoelen we een temperatuur tussen de 55°C en 70°C.
Netcongestie	Wanneer de vraag en het aanbod van elektriciteit verschilt en er te weinig ruimte is op het net om nieuwe aansluitingen te krijgen.
Piekinstallatie	De installatie (bijvoorbeeld een gasketel) die de piekvraag van warmte kan leveren. De piekvraag is het verbruik op het tijdstip wanneer de meeste warmte wordt verbruikt.
Warmtenet	Een net dat duurzame warmte van de bron naar een woning vervoert. Er zijn altijd meerdere woningen aangesloten op een net.
Warmtepomp	Een warmtepomp is een individuele warmteoplossing. Een warmtepomp haalt warmte uit de buitenlucht en brengt deze met behulp van elektriciteit op een goed niveau voor het verwarmen van huizen.
Warmtetechniek	Een warmtetechniek is een toepassing waarmee huizen voorzien kunnen worden van verwarming en warmtapwater.

Samenvatting

De gemeente Castricum is in 2024 gestart met de voorbereidingen voor het warmteprogramma. Zij heeft CE Delft gevraagd om te ondersteunen bij het verzamelen van technisch-economische data en het opstellen van een afwegingskader. Dit kader helpt de gemeente bij het maken van keuzes over aardgasvrije warmtetechnieken (en daarmee voor de benodigde energie-infrastructuur) in het warmteprogramma.

Aanpak

Een afwegingskader is een instrument om de voor- en nadelen van verschillende opties op een systematische manier met elkaar te vergelijken. In het afwegingskader scoren we verschillende warmtetechnieken op verschillende maatschappelijke criteria: de kosten, impact op de leefomgeving, technische aspecten en de uitvoerbaarheid. Daarnaast houden we rekening met de beschikbaarheid van warmtebronnen en benodigde energie-infrastructuur (zowel de aanleg van een warmtenet als verzwaring van het elektriciteitsnet).

We hebben de volgende warmtetechnieken meegenomen in onze vergelijking:

- Een **elektrische lucht-waterwarmtepomp**: dit is een individuele, elektrische warmteoplossing die op lage temperatuur verwarmt. Woningeigenaren kunnen¹ zelfstandig overstappen op deze techniek. Een lucht-waterwarmtepomp haalt warmte uit de lucht en gebruikt elektriciteit om de warmte naar een geschikte temperatuur te brengen.
- Een **warmtenet op middentemperatuur**: dit is een collectieve warmteoplossing waarbij leidingen onder de grond warmte naar meerdere huizen brengen. Gebouwen worden verwarmd met water van 55-70 °C. Een warmtenet op middentemperatuur kan gebruikmaken van verschillende warmtebronnen, zoals geothermie of restwarmte.
- Een **warmtenet op lage temperatuur**: dit is ook een collectieve warmteoplossing, die gebouwen verwarmt met water van 30-55 °C. Een lagetemperatuurwarmtenet (LT-warmtenet) kan gebruikmaken van bronnen, zoals lagetemperatuurrestwarmte en warmte uit oppervlaktewater (aquathermie).

Conclusies

Op basis van het afwegingskader scoren warmtepompen hoog in de gemeente

Van de drie warmtetechnieken scoren warmtepompen het beste in de gemeente Castricum. Deze techniek scoort met name hoog op nationale kosten, mogelijkheid tot koeling en duurzaamheid van de bron. Een warmtepomp vraagt hogere investeringen van de bewoner en meer ruimte in de woning dan een middentemperatuurwarmtenet (MT-warmtenet), maar is wel duurzamer. Een LT-warmtenet heeft de hoogste kosten voor de bewoner en voor de maatschappij (nationale kosten). Deze techniek neemt in huis evenveel ruimte in beslag als een warmtepomp. Ook deze techniek is een duurzame optie.

¹ De eerste woningeigenaren kunnen dit zelfstandig doen. Als de aanwijsbevoegdheid wordt inzet, dat dit worden verplicht.

Geothermie onzeker, nog geen partij voor ontwikkelen middentemperatuurwarmtenet

Uit een eerder onderzoek blijkt dat de potentie voor geothermie redelijk onzeker is. Er zijn kansen voor geothermie in Castricum en Heiloo, maar er is meer onderzoek nodig om vervolgstappen te bepalen. Daarnaast lijkt het op basis van de huidige kennis niet waarschijnlijk dat er op dit moment een partij gevonden kan worden die een warmtenet wil ontwikkelen in de gemeente Castricum.

Indien geothermiebron ontwikkeld wordt, scoren warmtenetten hoog in de kern van Castricum

Indien een geothermiebron ontwikkeld wordt, is het MT-warmtenet een kansrijke optie voor Castricum. Het is de goedkoopste optie voor bewoners, vooral vanwege de lagere investeringskosten voor isolatie, en het neemt de minste ruimte in huis in. Vanwege de huidige onzekerheden, adviseren we de gemeente om in gesprek te gaan met de belangrijkste stakeholders (HVC, Firan en EBN) om hier meer duidelijkheid in te krijgen. Daarnaast kan onderzocht worden of de gemeente eventueel zelf een warmtebedrijf wil oprichten. Dit vereist echter veel capaciteit, specialistische kennis en daarmee ook kosten.

Individuele spoor is meest kansrijk

We adviseren de gemeente om door te pakken op het individuele spoor en de uitvoeringsplannen. Tijdens het opstellen van de uitvoeringsplannen is het belangrijk dat de gemeente in gesprek gaat met de belangrijkste warmtenetstakeholders om uitsluitel te verkrijgen over deze warmteoptie.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doel

De gebouwde omgeving gaat over op aardgasvrij verwarmen en koken. Dit noemen we de warmtetransitie. De gemeente heeft haar visie op deze transitie vastgelegd in een transitievisie warmte. De gemeente Castricum noemt dit de 'visie aardgasvrije wijken'. Volgens de landelijke richtlijnen moeten gemeenten voor het einde van 2026 de opvolger van de transitievisie warmte vaststellen: het warmteprogramma. De gemeente Castricum is hiermee in 2024 aan de slag gegaan om op korte termijn duidelijkheid en handlingsperspectief te bieden aan inwoners en bedrijven voor de stap naar aardgasvrij.

De gemeente Castricum heeft behoefte aan ondersteuning bij het verzamelen van de gegevens om te kunnen voldoen aan de inhoudelijke vereisten van het warmteprogramma (zie Tekstkader 1). Daarom heeft de gemeente Castricum aan CE Delft gevraagd te helpen met het verzamelen van technisch-economische data en het opstellen van een afwegingskader. Dit afwegingskader helpt de gemeente Castricum bij het maken van keuzes over aardgasvrije warmtetechnieken (en daarmee voor de benodigde energie-infrastructuur).

Tekstkader 1 - Verplichte inhoudelijke vereisten van het warmteprogramma

Een warmteprogramma moet voldoen aan een aantal verplichte inhoudelijke vereisten:

- een overzicht van de locaties en het aantal daarin aanwezige gebouwen en milieubelastende activiteiten waarvoor de gemeente de aanwijsbevoegdheid wil inzetten;
- een overzicht van het aantal gebouwen dat ter voorbereiding op de inzet van de aanwijsbevoegdheid zal worden geïsoleerd;
- een overzicht van de energie-infrastructuur die ter vervanging van aardgas wordt ingezet voor locaties waar de gemeente de aanwijsbevoegdheid wil inzetten;
- een beschrijving van de totale kosten voor de maatschappij die de realisatie van deze energie-infrastructuur met zich meebrengt;
- een beschrijving van de verwachte gemiddelde warmtebehoefte van de gebouwen waarvoor de gemeente de aanwijsbevoegdheid wil inzetten aan het begin en einde van de periode van het warmteprogramma.

1.2 Wat is een afwegingskader?

Een afwegingskader is een instrument om de voor- en nadelen van verschillende opties op een systematische manier met elkaar te vergelijken. In ons afwegingskader scoren we verschillende warmtetechnieken op vastgestelde criteria. Zo wordt per criterium inzichtelijk welke warmtetechniek het beste scoort. Het scoringsmechanisme is een schaal van 1 tot 3, waarbij 3 de beste score is. Elk criterium heeft een eigen weging, die het belang van dit criterium weerspiegelt. De warmtetechniek die het beste scoort voor alle criteria is de warmtetechniek die het beste gewogen gemiddelde van de criteria en wegeningen heeft.

Het afwegingskader berekent de scores voor de warmtetechnieken op buurtniveau. De scores voor nationale kosten en eindgebruikerskosten zijn namelijk op buurtniveau berekend. De scores voor de andere criteria zijn hetzelfde voor alle buurten.

1.3 Methode

We hebben verschillende stappen doorlopen om te komen tot het afwegingskader:

1. **Data-analyse:** in deze stap hebben we de benodigde input voor het afwegingskader verzameld en geanalyseerd. We hebben de nationale kosten berekend met ons [CEGOIA-model](#) en de eindgebruikerskosten met ons [CEKER-model](#). Daarnaast hebben we onderzocht welke overige criteria meegenomen kunnen worden in het afwegingskader. Dit hebben we afgestemd met de gemeente Castricum.
2. **Afwegingskader:** we hebben alle opgehaalde informatie uit de data-analyse samengebracht in één overzicht. Daarnaast hebben we een wegingsfunctionaliteit opgesteld, zodat de verschillende criteria tegen elkaar afgewogen kunnen worden. Vervolgens hebben we de (weging van de) criteria met de gemeente afgestemd.

Bijlage B gaat uitgebreider in op de methodologie. Bijlagen C en D geven een beschrijving van respectievelijk het CEGOIA- en CEKER-model.

1.4 Afbakening

Criteria

Een afwegingskader maakt inzichtelijk hoe verschillende warmtetechnieken ten opzichte van elkaar presteren op een aantal criteria. Tabel 1 geeft de criteria weer die we in deze studie hebben meegenomen.

Tabel 1 - Criteria waarop we de warmtetechnieken hebben beoordeeld

Onderwerp	Criterium
Kosten	– procentueel verschil tussen de nationale kosten van de betreffende warmtetechniek en de techniek met laagste nationale kosten. In andere woorden: hoeveel duurder is deze techniek ten opzichte van de goedkoopste oplossing? – Robuustheid eerste voorkeurstechiek volgens nationale kosten, aan de hand van CEGOIA-scenario's. – procentueel verschil tussen de eindgebruikerskosten van de betreffende warmtetechniek en de techniek met laagste eindgebruikerskosten.
Leefomgeving	– ruimtebeslag in de woning; – ruimtebeslag in de bovengrond.
Technische aspecten	– geluidsniveau; – duurzaamheid van de bron; – mogelijkheid om met techniek te koelen.
Uitvoerbaarheid	– uitvoeringskracht; – impact op het elektriciteitsnet.

Warmtetechnieken

We hebben de volgende warmtetechnieken meegenomen in onze vergelijking:

- Een **elektrische lucht-waterwarmtepomp**: dit is een individuele, elektrische warmteoplossing die op lage temperatuur verwarmt. Woningeigenaren kunnen zelfstandig overstappen op deze techniek. Een lucht-waterwarmtepomp haalt warmte uit de lucht en gebruikt elektriciteit om de warmte naar een geschikte temperatuur te brengen.
- Een **warmtenet op middentemperatuur**: dit is een collectieve warmteoplossing waarbij leidingen onder de grond warmte naar meerdere huizen brengen. Gebouwen worden verwarmd met water van 55-70°C. Een warmtenet op middentemperatuur kan gebruik maken van verschillende warmtebronnen, zoals geothermie of restwarmte.
- Een **warmtenet op lage temperatuur**: dit is ook een collectieve warmteoplossing en verwarmt gebouwen met water van 30-55°C. Een lagetemperatuurwarmtenet kan gebruik maken van bronnen, zoals lagetemperatuurrestwarmte en warmte uit oppervlaktewater (aquathermie).

Bijlage A geeft een beschrijving van verschillende warmtetechnieken, -bronnen en de benodigde isolatie.

Route naar aardgasvrij

Deze studie gaat niet in op eventuele vervolgvragen rondom de fasering van wijken en het eventueel inzetten van de aanwijsbevoegdheid. Hiervoor is er een aparte studie gedaan in opdracht van het Service Punt Duurzame Energie (SPDE) in Noord-Holland.

1.5 Leeswijzer

Hoofdstukken 2 tot en met 5 gaan in op respectievelijk de thema's kosten, leefomgeving, technische aspecten en uitvoerbaarheid. Per thema geven we allereerst een beschrijving, waarna we ingaan op de methode voor het bepalen van de scores. In Hoofdstuk 6 geven we de resultaten weer. Hoofdstuk 7 presenteert onze conclusies.

2 Kosten

Binnen het thema 'kosten' kijken we naar drie criteria:

- **Nationale kosten:**
 - kostenafstand tussen nationale kosten techniek en techniek met laagste nationale kosten;
 - robuustheid eerste voorkeurstechiek volgens nationale kosten, aan de hand van CEGOIA-scenario's.
- **Eindgebruikerskosten:**
 - kostenafstand tussen eindgebruikerskosten techniek en techniek met laagste eindgebruikerskosten.

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

2.1 Nationale kosten

Voor elke techniek berekenen we de nationale kosten, oftewel de kosten voor de maatschappij, zie Figuur 1. Dit zijn alle kosten die gemaakt moeten worden om over te stappen naar een bepaalde duurzame warmtetechniek, onafhankelijk van wie ze betaalt. In de nationale kosten worden bijvoorbeeld ook kosten voor het aanleggen van een warmtenet, de investeringskosten van een warmtebron en het verzwaren van het elektriciteitsnet meegenomen.

Figuur 1 - Nationale kosten

Kosten voor de maatschappij

- Alle kosten die gemaakt worden nemen we mee, onafhankelijk van wie deze kosten betaalt.
- Alle kosten die worden gemaakt worden meegenomen, óók kosten die in huidige situatie 'gesocialiseerd' zijn, zoals netkosten elektriciteit en gas.

Kosten voor de maatschappij zijn niet hetzelfde als kosten voor de bewoner!

- De resultaten zijn een *eerste verkenning* van geschikte eindoplossingen.
- Wat is het **niet**?
 - Een blauwdruk van hoe de warmtevoorziening eruit **moet** zien.
 - Een voorspelling van de toekomst.



Hoe zijn de scores bepaald?

Voor de scoring van kostenafstand tot de techniek met de laagste kosten hebben we gebruik gemaakt van de volgende maatstaf:

- 3: techniek met de laagste kosten, of de kosten zijn minder dan 15% hoger dan de techniek met de laagste kosten;
- 2: de kosten zijn 15 tot 30% hoger dan de techniek met de laagste kosten;
- 1: de kosten zijn meer dan 30% hoger dan de techniek met de laagste kosten.

Voor de scoring van de robuustheid van nationale kosten hebben we gebruik gemaakt van de volgende maatstaf:

- 3: techniek is techniek met de laagste kosten in drie of meer scenario's;
- 2: techniek is in tenminste één scenario de techniek met de laagste kosten;
- 1: techniek heeft in geen enkel scenario de laagste kosten.

Hierbij geldt dus: hoe hoger de score, hoe (relatief) lager de kosten.

De nationale kosten per warmtetechniek hebben we berekend met het CEGOIA-model (CE Delft, 2021a), zie ook Bijlage C. De nationale kosten van de warmtetechnieken verschillen per buurt. Er zijn meerdere scenario's doorgerekend, waarbij rekening is gehouden met de onzekerheden in de toekomstsituatie en modelberekening. We hebben de volgende vijf scenario's doorgerekend:

- Basisscenario: met standaard modelaannames, zonder grootschalige warmtebronnen waaronder geothermie.
- Vier scenario's inclusief technische potentie voor geothermie.
 - standaard modelaannames met geothermie;
 - met geothermie en minimum eisen voor woningisolatie: alle woningen worden geïsoleerd volgens de Standaard en Streefwaarden voor woningisolatie²;
 - met geothermie en isolatiekosten 30% minder;
 - met geothermie en zichtjaar 2030: de kosten worden berekend voor 2030, in plaats van de standaard instelling voor 2050.

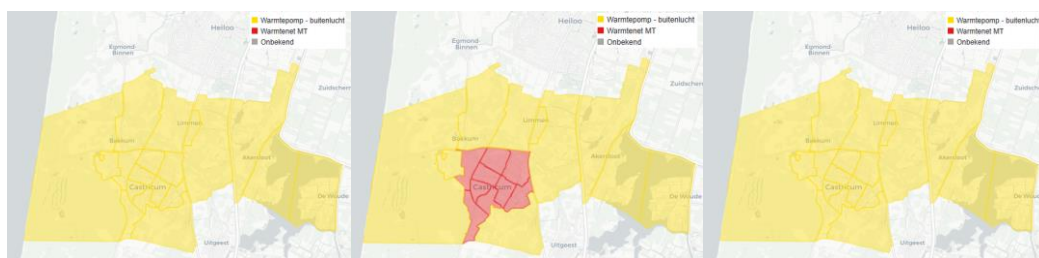
In Figuur 2 en Figuur 3 worden de resultaten van de vijf scenario's weergegeven. De figuren laten zien dat de resultaten per scenario verschillen. Zo komen er, bijvoorbeeld in het scenario waarin geothermie wel mogelijk is, in de dorpskern van Castricum warmtenetten op MT-niveau uit als optie met de laagste nationale kosten. Met het scenario minimeisen voor woningisolatie en met lagere isolatiekosten komen er meer warmtepompen uit dan in het basisscenario. Deze verschillen zijn gebruikt om de robuustheid van de nationale kosten te scoren.

Tekstkader 2 - Interpretatie van modelresultaten

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

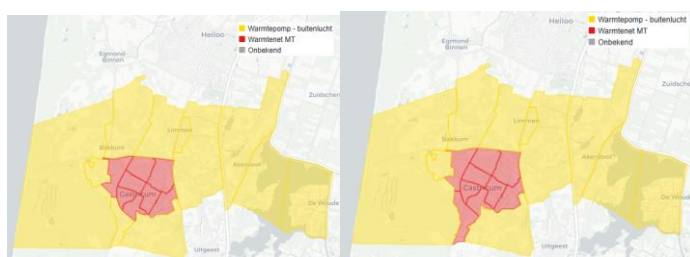
² <https://www.rvo.nl/onderwerpen/wetten-en-regels-gebouwen/standaard-streefwaarden-woningisolatie>

Figuur 2 - CEGOIA-resultaten in Castricum (van links naar rechts) basisscenario, geothermie wel mogelijk en minimum eisen voor woningisolatie



Bron: Screenshot CEGOIA-webtool)

Figuur 3 - CEGOIA-resultaten in Castricum (van links naar rechts) isolatiekosten 30% minder en zichtjaar 2030



Bron: Screenshot CEGOIA-webtool)

2.2 Eindgebruikerskosten

De kosten voor de eindgebruiker zijn een combinatie van investeringen, energie- en onderhoudskosten die de eigenaar-bewoner van een woning moet maken, zie Figuur 4. Bij een huurder/verhuurder zijn deze kosten verdeeld tussen beide partijen, en hangen de kosten voor de huurder in grote mate af hoe de verhuurder kosten voor investeringen doorrekent in de huurprijs of de servicekosten. Dit verschilt per verhuurder, en is in deze studie niet onderzocht.

Figuur 4 - Eindgebruikerskosten

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



Woningniveau

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



Hoe zijn de scores bepaald?

Voor de scoring van kostenafstand tot de techniek met de laagste kosten gebruiken we dezelfde maatstaf voor nationale kosten en eindgebruikerskosten, namelijk:

- 3: techniek met de laagste kosten, of de kosten zijn minder dan 15% hoger dan de techniek met de laagste kosten;
- 2: de kosten zijn 15 tot 30% hoger dan de techniek met de laagste kosten;
- 1: de kosten zijn meer dan 30% hoger dan de techniek met de laagste kosten.

Hierbij geldt dus: hoe hoger de score, hoe (relatief) lager de kosten.

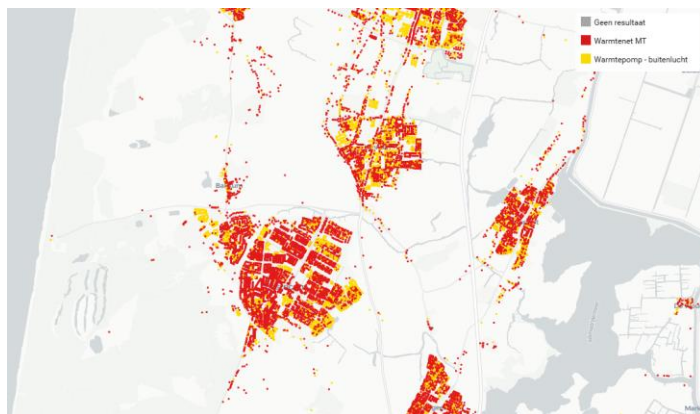
De eindgebruikerskosten hebben we berekend met het CEKER-model (CE Delft, 2021b), zie ook Bijlage D. De kosten zijn berekend op woningniveau. **De eindgebruikerskosten zijn in de regel meer onzeker dan de nationale kosten, omdat de tarieven, belastingen en subsidies lastig zijn om op voorhand in te schatten.** Daarnaast is de 'Bijdrage Aansluitkosten' (BAK) een belangrijke inputparameter voor de uitkomsten, terwijl deze pas daadwerkelijk berekend kan worden als er de ontwikkeling van een warmtenet in een verder stadium is. Wij zijn in deze studie in overleg met de gemeente uitgegaan van een gemiddelde van een aantal recente projecten die in andere gemeenten zijn berekend.

Figuur 5 geeft de techniek met de laagste kosten weer op de kaart.

Tekstkader 3 - Interpretatie van modelresultaten

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

Figuur 5 - Uitkomsten eindgebruikerskostenberekening woningen in Castricum



3 Leefomgeving

Binnen het thema 'leefomgeving' kijken we naar twee criteria:

1. Ruimtebeslag in de woning.
2. Ruimtebeslag in de bovengrond.

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

3.1 Ruimtebeslag in de woning

Net als een gasketel, nemen duurzame warmtetechnieken ruimte in beslag in de woning. De hoeveelheid ruimte die nodig is per warmtetechniek verschilt. Naarmate een woning kleiner is, wordt dit criterium steeds belangrijker. Ook de indeling van de woning kan de relevantie van dit criterium beïnvloeden.

Hoe zijn de scores bepaald?

Voor de scoring van het ruimtebeslag in de woning geven we de techniek die de minste ruimte in beslag neemt een 3 en de techniek die de meeste ruimte in beslag neemt een 1.

Hoeveel ruimte een warmtetechniek nodig heeft, vinden we in de factsheets van de warmtetechnieken (CE Delft, 2017). De afmetingen van een warmtepomp met geïntegreerde boiler en aparte boiler zijn een inschatting op basis van de afmetingen van een aantal van deze producten (NIBE, lopend) (ElectraBoiler, lopend) (Itho Daalderop, lopend). Elke warmtetechniek heeft verschillende componenten die ruimte in de woning innemen. Tabel 2 geeft een overzicht van de benodigde apparatuur, inclusief de ruimte die deze apparatuur inneemt en eventuele aanvullende eisen zoals leidingen en isolatie.

Tabel 2 - Overzicht van de benodigde componenten en de benodigde ruimte per warmtetechniek

Warmtetechniek	Component	Afmetingen (d x b x h)	Benodigde ruimte (m ²)	Locatie	Opmerkingen
Lucht-water- warmtepomp	Binnenunit (met boiler)	0,6 m x 0,7 m x 1,4 m	0,41 m ²	Zolder, schuur of garage	Voor ruimteverwarming en warmtapwater
	Binnenunit (zonder boiler)	0,4 m x 0,6 m x 1 m	0,24 m ²	Zolder, schuur of garage	Alleen voor ruimteverwar- ming; boiler nodig voor warm water
	Buitenunit	0,8 m x 0,8 m x 0,4 m	0,64 m ²	Dak, schuur of buitenmuur	Leidingen nodig tussen binnen- en buitenunit
	Boiler voor warmtapwater	0,6 m x 0,6 m x 1,5 m	0,36 m ²	Binnen, meestal in de schuur of garage	Verplicht voor warmtap- water
	Buffervat (optioneel)	1,0 m x 1,0 m x 2,0 m	1,0 m ²	Binnen	Voor opslag van warm water voor ruimteverwarming
	Totaal	-	1,5m² binnen 0,64 m² buiten		Inclusief binnen- en buitenunit, exclusief leidingen en radiatoren; Goede isolatie vereist.

Warmtetechniek	Component	Afmetingen (d x b x h)	Benodigde ruimte (m ²)	Locatie	Opmerkingen
MT-warmtenet	Afleverzet	0,6 m x 0,2 m x 0,4 m	0,12 m ²	Meterkast	Leidingen van meterkast naar cv-ketel (meestal op zolder)
	Totaal	-	0,12 m ²	Binnen	Exclusief ruimte voor de extra leidingen.
LT-warmtenet	Afleverzet	0,6 m x 0,2 m x 0,4 m	0,12 m ²	Meterkast	Leidingen van meterkast naar cv-ketel (meestal op zolder)
	Boiler	1,0 m x 1,0 m x 2,0 m	1,0 m ²	Binnen	Verplicht voor warmtapwater
	Totaal	-	1,12 m ²		Goede isolatie vereist; exclusief leidingen en radiatoren

Figuur 6 - Links: Een binnenunit van een warmtepomp met boiler , rechts: een afleverzet



Bron: (Vaillant GmbH, lopend)



Bron: CE Delft

Figuur 7 - Buitenunit lucht-water warmtepomp.



Bron: AdobeStock

Hiernaast heb je bij een warmtepomp ruimte nodig voor leidingen en appendages. Bovendien zullen woningen moeten worden geïsoleerd. Of dit ruimte kost hangt af hoe er geïsoleerd kan worden. Met name isolatie aan de binnenzijde van de woning (dak of muur) leidt tot ruimteverlies. Met name in woningen zonder spouw, en waar isolatie aan de buitenzijde van de woning niet mogelijk is, zal de isolatie aan de binnenzijde moeten gebeuren.

Voor het toepassen van een warmtepomp of een LT-warmtenet zal de woning goed moeten worden geïsoleerd. Om problemen met vocht en schimmel te voorkomen is er ook een goed ventilatiesysteem nodig. Dit vraagt ruimte voor de ventilatie-unit en de ventilatiekanalen. Bij kleine woningen is het goed om te onderzoeken of kleinere vraaggestuurde kanaalventilatoren geplaatst kunnen worden die minder ruimtebeslag vragen. Dit kan echter niet in alle woningen.

Tabel 3 geeft de scores per warmtetechniek weer op het criterium ruimtebeslag in de woning.

Tabel 3 - De score per warmtetechniek op het criterium ruimtebeslag in de woning

Warmtetechniek	Score
Lucht-waterwarmtepomp	2
MT-warmtenet	3
LT-warmtenet	2

3.2 Ruimtebeslag in de bovengrond

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

Hoe zijn de scores bepaald?

Voor de scoring van het ruimtebeslag in de bovengrond gaan we uit van de volgende maatstaf:

- 3: voor de warmtetechniek is geen extra ruimte nodig boven de grond;
- 2: voor de warmtetechniek is extra ruimte nodig boven de grond;
- 1: voor de warmtetechniek is veel extra ruimte nodig boven de grond.

Wanneer de extra benodigde ruimte veel is, is lastig te bepalen. We delen de verschillende warmtetechnieken daarom ten opzichte van elkaar in. De warmtetechniek die de meeste extra ruimte nodig heeft, krijgt de laagste score van 1. Heeft een andere warmtetechniek een vergelijkbare hoeveelheid ruimte nodig, dan krijgt deze ook een score van 1. Is de hoeveelheid benodigde ruimte significant minder, dan krijgt deze de score 2. Wanneer er geen extra ruimte nodig is boven de grond, krijgt die warmtetechniek de hoogste score, namelijk 3.

Een toename van warmtepompen kan ervoor zorgen dat een verzwaring van het elektriciteitsnet nodig is. Dat gaat gepaard met het plaatsen van nieuwe middenspanningsruimtes (CE Delft, 2023b). Of en hoeveel nieuwe MSR's nodig zijn, is afhankelijk van het aantal warmtepompen, de huidige beschikbare capaciteit op het elektriciteitsnet en andere ontwikkelingen die invloed hebben op het elektriciteitsnet, zoals toename van zonnepanelen en elektrische auto's. De netbeheerder heeft de informatie die nodig is om te bepalen of er extra MSR's geplaatst moeten worden.

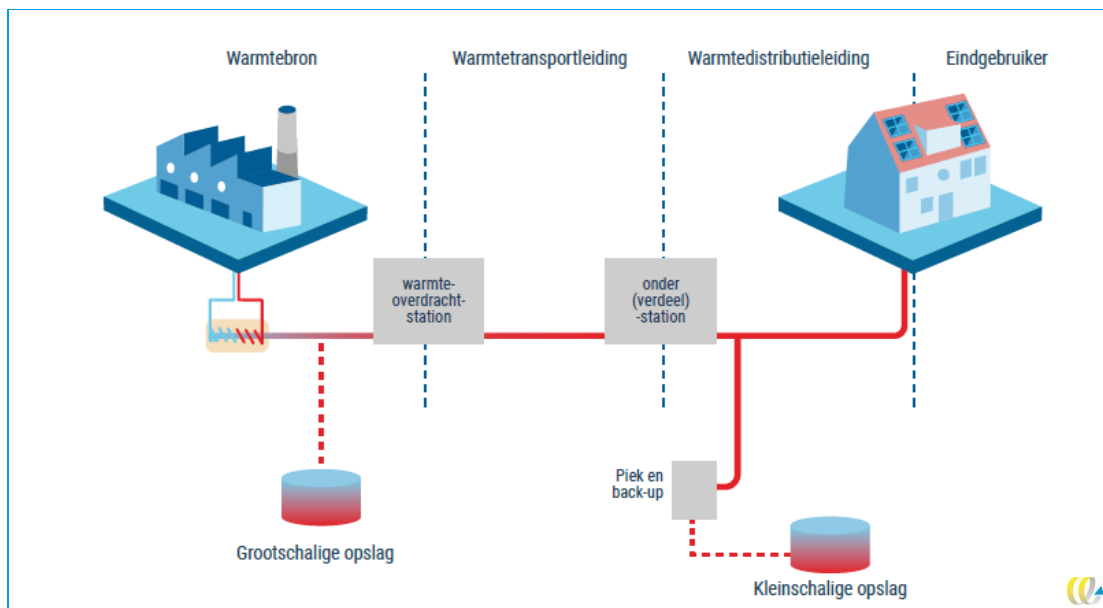
Nieuwe MSR's hebben een ruimtelijke impact van 3 x 3 m voor het station zelf, plus ruimte eromheen voor veiligheid en om het huisje te kunnen betreden bij onderhoudswerkzaamheden. De totaal benodigde ruimte is circa 25-30 m² per MSR (Liander, 2024).

Een warmtenet heeft een warmteoverdrachtstation (Mulatu et al.) en verdeelstations nodig, zie Figuur 8. Een WOS is een gebouw in de wijk met een installatie die grootschalige warmte overdraagt aan het distributienet (het net dat door de buurt loopt) (WarmingUp, 2020). Voor een WOS is ongeveer 25 x 35 m nodig per 10.000 woningen of woningequivalenten (weq)³ utiliteit. Voor een verdeelstation is ongeveer 5 x 5 m nodig per 250 woningen of weq. Afhankelijk van het type warmtenet is ook ruimte nodig voor de piekinstallatie, een collectieve warmtepomp of een warmtebuffer. Voor de piekinstallatie is 25 m² nodig per 10.000 woningen of weq (Eneco, 2021).

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

³ Een weq is een standardeenheid die staat voor een woning of 130 m² utiliteit. Door te spreken over woning-equivalenten is het eenvoudig mogelijk om de warmtevraag van woningen en utiliteitsbouw op te tellen.

Figuur 8 - Opbouw warmtenet



Bron: (CE Delft, 2023a)

In dit onderzoek hebben we niet gekeken naar de hoeveelheid nieuwe MSR's die nodig zijn voor warmtepompen. Ook hebben we niet in detail de verschillende warmteconfiguraties uitgezocht. We kunnen daarom geen uitspraken doen over welke warmtetechniek de meeste ruimte bovengronds nodig heeft. Het is wel duidelijk dat alle warmtetechnieken een ruimtelijke impact hebben.

Tabel 4 geeft de scores per warmtetechniek weer op het criterium ruimtebeslag in de bovengrond.

Tabel 4 - De score per warmtetechniek op het criterium ruimtebeslag in de bovengrond

Warmtetechniek	Score
Lucht-waterwarmtepomp	2
MT-warmtenet	2
LT-warmtenet	2

4 Technische aspecten

Binnen het thema ‘technische aspecten’ kijken we naar drie criteria:

1. Geluidsniveau.
2. Duurzaamheid van de bron.
3. Mogelijkheid om met techniek te koelen.

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

4.1 Geluidsniveau

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

Hoe zijn de scores bepaald?

- 3: warmtetechniek leidt niet tot significante toename geluid;
- 2: warmtetechniek heeft een kleine toename van geluid;
- 1: warmtetechniek leidt tot een grote toename van geluid.

Een lucht-waterwarmtepomp heeft een buitenunit. De ventilator en compressor in de buitenunit maken geluid wanneer de warmtepomp draait. Dit kan leiden tot geluidshinder. Uit een onderzoek van Milieu Centraal blijkt dat bijna driekwart van de eigenaren (72%) nooit geluidsoverlast ervaart. Er is echter ook een klein deel dat wel overlast ervaart. Eén op de zes (16%) eigenaren ervaart 's nachts geluidsoverlast en één op de acht (12%) overdag. Bij 7% van de van de eigenaren ervaren de burens overlast. Maar er zijn manieren om geluidsoverlast te voorkomen: door bijvoorbeeld een geluidskast en dempende pootjes te gebruiken, en een warmtepomp te kiezen die minder geluid maakt. Ook is het belangrijk om een slimme plek voor de buitenunit uit te kiezen om overlast te voorkomen en kunnen de tijden waarop de warmtepomp draait eventueel worden ingesteld om overlast te minimaliseren. Een goede installateur kan hierover adviseren (Milieu Centraal, lopend-c).

Figuur 9 - Voorbeeld van geluidswering buitenunit warmtepomp.



Bron: CE Delft

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

Tabel 5 geeft de scores per warmtetechniek weer op het criterium geluidsniveau.

Tabel 5 - De score per warmtetechniek op het criterium geluidsniveau

Warmtetechniek	Score
Lucht-waterwarmtepomp	2
MT-warmtenet	3
LT-warmtenet	3

4.2 Duurzaamheid van de bron

In 2050 moeten zowel de elektriciteitslevering als warmtelevering volledig klimaatneutraal zijn. Dan zijn alle drie de warmtetechnieken die we bekijken dus even duurzaam. Op weg naar 2050 zijn de warmtechnieken nog niet volledig klimaatneutraal.

We vergelijken de duurzaamheid van de verschillende warmtetechnieken daarom voor het jaar 2025. Hierbij houden we ook rekening met emissies van het materiaal.

Hoe zijn de scores bepaald?

Voor scoring van de duurzaamheid van de bron gebruiken we de volgende maatstaf:

- 3: de warmtetechniek met de laagste CO₂-uitstoot of de CO₂-uitstoot van deze techniek is minder dan 1,5 keer de uitstoot van de warmtetechniek met de laagste CO₂-uitstoot;
- 2: de CO₂-uitstoot van deze techniek is 1,5-2,5 keer de uitstoot van de warmtetechniek met de laagste CO₂-uitstoot;
- 1: de CO₂-uitstoot van deze techniek is meer dan 2,5 keer de uitstoot van de warmtetechniek met de laagste CO₂-uitstoot.

Voor verwarmen en koelen met een warmtepomp is alleen elektriciteit nodig. Uit de berekeningen voor de nationale kosten volgt per buurt wat het elektriciteitsgebruik is voor verwarmen, koelen en ventileren.

De duurzaamheid van het MT-warmtenet is afhankelijk van de warmtebron die gebruikt wordt. Uit de berekeningen van de nationale kosten, komt de variant met geothermie naar voren als optie met de laagste nationale kosten. We hebben daarom gerekend met een warmtenet dat gevoed wordt door geothermie. Niet alle warmte kan door de geothermie-bron geleverd worden, er is ook een piekinstallatie nodig. Een piekinstallatie is een installatie (bijvoorbeeld een gasketel) die de piekvraag van warmte kan leveren. De piekvraag is het verbruik op het tijdstip wanneer de meeste warmte wordt verbruikt. In onze berekening van de duurzaamheid nemen we aan dat de piekinstallatie op gas draait, maar het is ook mogelijk dat de piekvraag op een andere manier wordt ingevuld bijvoorbeeld elektrisch. Daarnaast is elektriciteit nodig om het water uit de geothermieput te pompen en in het warmtenet rond te pompen.

Ook voor het LT-warmtenet is de duurzaamheid afhankelijk van de warmtebron. Uit de berekeningen van de nationale kosten komt de variant met wko naar voren als LT-optie met de laagste nationale kosten. Er is elektriciteit nodig om water uit het grondwater op te pompen en naar LT-niveau op te waarden.

Dit elektriciteits-, warmte en gasverbruik van de verschillende opties volgt uit de berekeningen voor de nationale kosten. Deze kosten vermenigvuldigen we met de emissiefactoren voor de energiedragers om de CO₂-emissies vast te stellen.

De emissies van het materiaal zijn gebaseerd op kentallen voor de CO₂-impact van het produceren van verwarmingsinstallaties.

De gemiddelde emissies per woningequivalent zijn voor de drie warmtetechnieken weer gegeven in Tabel 6. De emissies van de warmtepomp en het LT-warmtenet liggen erg dicht bij elkaar. De emissies van het MT-warmtenet zijn meer dan omstreeks twee keer zo hoog als de emissies van de warmtepomp. In Tabel 6 zijn ook de scores Tabel 10 per warmtetechniek op het criterium duurzaamheid weergegeven.

Tabel 6 - Gemiddelde emissies in 2025

Warmtetechniek	Warmtepomp	MT-warmtenet	LT-warmtenet
Gemiddelde CO ₂ -emissies (kg/jaar)	300.000	570.000	280.000
Score	3	2	3

Emissies richting 2050 niet langer onderscheidend

Richting 2050 is de verwachting dat de piekinstallatie van een MT-warmtenet zal worden gevoed met een duurzaam gas. Ook is tegen die tijd de elektriciteitsvoorziening volledig verduurzaamd. Op dat moment is er geen verschil meer tussen de CO₂-uitstoot van de verschillende warmtenetten.

4.3 Mogelijkheid om met techniek te koelen

De aarde warmt op, de zomers worden steeds warmer en huizen steeds beter geïsoleerd. Al deze dingen zorgen ervoor dat de vraag naar koeling steeds verder toeneemt. Hitte in de woning kan worden voorkomen door zoninstraling tegen te gaan (plaatsen van zonwering) en door in de nacht de woning door te luchten. Soms is het ook nog gewenst om de woning actief te koelen. Hiervoor kan een airco geplaatst worden, maar sommige warmtetechnieken kunnen ook al ingezet worden om te koelen.

Hoe zijn de scores bepaald?

Een techniek die de optie heeft om te koelen krijgt een hoge score, omdat er dan geen extra koelsysteem (bijvoorbeeld een airco) aangeschaft hoeft te worden.

- 3: warmtetechniek kan ook koelen;
- 2: warmtetechniek kan koelen, maar daar zijn een uitbreiding van het systeem en extra investeringen voor nodig;
- 1: warmtetechniek kan niet koelen.

Tabel 7 geeft een overzicht van de mogelijkheden van de warmtetechnieken om te koelen.

Tabel 7 - Overzichtstabel koelmogelijkheden warmtetechnieken

Warmtetechniek	Techniek	Koelmogelijkheid techniek	Aandachtspunten
Warmtepomp	Lucht-waterwarmtepomp	Vaak: Actieve koeling afhankelijk van model warmtepomp.	Hittelozing: wordt de straat of tuin in geblazen. Afgifte: convectoren of vloerverwarming zijn nodig.
	Bodemwarmtepomp	Altijd: Passieve koeling, soms is koeling zelfs vereist om warmteopslag op te laden voor de winter.	Afgifte: convectoren of vloerverwarming zijn nodig.
Warmtenet	Warmtenet met bron op hoge- of middentemperatuur	Nooit: aparte koelvoorziening nodig, typisch een airco.	
	Warmtenet met bron op lage temperatuur	Soms: hiervoor is het nodig een extra koudeleiding aan te leggen.	Ruimte: aanleg koelleiding kost extra ruimte, tijd en geld. Afgifte: convectoren of vloerverwarming zijn nodig.
	Warmte- en koudenet (bronnet, ZLT-net)	Altijd: Passieve koeling, soms is koeling zelfs vereist om warmteopslag op te laden voor de winter.	Afgifte: convectoren of vloerverwarming zijn nodig.

Een warmtepomp is ook in staat om de woning te koelen. Met een lucht-waterwarmtepomp kan je hooguit de woning een paar graden koelen en dit kost veel energie. Koelen gaat het beste met vloerverwarming en eventueel convectoren, vanwege de grotere oppervlakte. Radiatoren zijn niet geschikt. Hiervoor is dus mogelijk een extra aanpassing in de woning nodig (Milieu Centraal, lopend-b). Het is niet mogelijk om de woning te koelen met een warmtenet dat gebruik maakt van een middentemperatuur- of lagetemperatuurwarmtebron. Een MT-warmtenet met een geothermiebron kan dus niet gebruikt worden om te koelen.

Het is wel mogelijk een woning te koelen met een warmtenet dat gebruik maakt van een zeerlagetemperatuurbron ($< 30^{\circ}\text{C}$). Dit is bijvoorbeeld het geval wanneer het warmtenet gebruik maakt van warmte uit oppervlaktewater met een warmte-koudeopslag (wko) om warmte en koude op te slaan, of een andere bron voor koude heeft. Er moeten dan wel extra leidingen aangelegd worden om naast warmte ook koude te transporteren (TKI Urban Energy, lopend). Dit vraagt om extra ruimte in de straat en de partij die het warmtenet gaat aanleggen, zal extra investeringen moeten doen om koeling mogelijk te maken.

Bij een LT-warmtenet met TEO als warmtebron kan dus ook een koudenet aangelegd worden dat gebruikt kan worden om te koelen, echter kost dit extra ruimte, tijd en geld. Deze extra kosten en benodigde ruimte zijn in deze studie niet meegenomen.

Tabel 8 geeft de score per warmtetechniek weer op het criterium koeling.

Tabel 8 - De score per warmtetechniek op het criterium koeling

Warmtetechniek	Score
Lucht-waterwarmtepomp	3
MT-warmtenet	1
LT-warmtenet	2

Belang van koelen

Veel mensen hebben het weleens meegemaakt: wanneer je de bebouwde kom uitfietst en tussen de weilanden bent, dan is het daar een stuk koeler. Dit fenomeen, waarbij de temperatuur in stedelijk/bebouwd gebied gemiddeld hoger is dan in het omliggende landelijke gebied, wordt het hitte-eilandeffect genoemd. Het hitte-eilandeffect wordt uitgedrukt in het gemiddelde temperatuurverschil tussen de stad en het omringend gebied. Hoe hoger het hitte-eilandeffect, hoe warmer het gebied en dus hoe groter de vraag naar koeling.

Een belangrijke kanttekening is dat een lucht-waterwarmtepomp het hitte-eilandeffect kan versterken. Wanneer de warmtepomp wordt ingezet om te koelen, geeft deze namelijk warmte af aan de buitenlucht. Hierdoor warmt de lucht rondom de woning op en stijgt de temperatuur in de stad. Een bodemwarmtepomp versterkt het hitte-eilandeffect niet.

5 Uitvoerbaarheid

Binnen het thema ‘uitvoerbaarheid’ kijken we naar twee criteria:

- uitvoeringskracht;
- impact op het elektriciteitsnet.

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

5.1 Uitvoeringskracht

Om tot uitvoering over te kunnen gaan is het van belang dat er voldoende menskracht (uitvoeringscapaciteit) beschikbaar is. Per warmtetechniek is deze capaciteit in verschillende mate en op verschillende momenten nodig bij verschillende partijen. En zowel bij warmtenetten als bij warmtepompen is er nationaal een tekort aan beschikbare arbeidskrachten. In deze paragraaf beschrijven we de benodigde uitvoeringscapaciteit voor warmtenetten en warmtepompen.

Warmtenetten

Voor de realisatie van een warmtenet is uitvoeringscapaciteit nodig voor:

- **Organisatie vanuit de gemeente:** Voordat een warmtebedrijf aan de slag kan met het aanleggen van een warmtenet zijn er eerst veel keuzes nodig die de gemeente moet maken. Hiervoor is capaciteit nodig bij de gemeente. Ook bij warmtepompen is aansturing van de gemeente nodig, bijvoorbeeld voor de organisatie van netverzwaring, maar bij een warmtenet is de rol van de gemeente groter.
- **Organisatie vanuit een warmtebedrijf:** Wanneer de gemeente een keuze heeft gemaakt voor een warmtebedrijf en waar dit warmtebedrijf aan de slag mag, moet de uitvoeringscapaciteit van het warmtebedrijf voldoende zijn voor de organisatie rondom de realisatie van het warmtenet.
- **De aanleg van warmtenetten:** Voor de aanleg van warmtenetten is er uitvoeringscapaciteit nodig van arbeidskrachten. Door onzekerheden over de regulering van warmtenetten zijn er de afgelopen jaren maar weinig gebouwen aangesloten op een warmtenet. Hierdoor zijn er op dit moment niet genoeg aannemers die gespecialiseerd zijn in de aanleg van warmtenetten. Als gevolg is het aanbod van praktisch geschoolde arbeidskrachten en de opleidingscapaciteit bij de aannemers beperkt (Berenschot, 2024).
- **(Vergaande) isolatie:** Voor isolatie is er capaciteit van arbeidskrachten nodig. Een voorwaarde voor een LT-warmtenet is dat het gebouw voldoende geïsoleerd is. Bij een LT-warmtenet is over het algemeen meer isolatie nodig dan bij een hoog- of MT-warmtenet.
- **Veranderingen in de woning:** Om de woning geschikt te maken voor een warmtenet is er capaciteit van arbeidskrachten nodig. Denk bijvoorbeeld aan de afleverset en eventueel een nieuw afgiftesysteem, in de vorm van LT-radiatoren of vloerverwarming. Indien de afleverset niet past in de meterkast zal deze aangepast moeten worden.

Warmtepomp

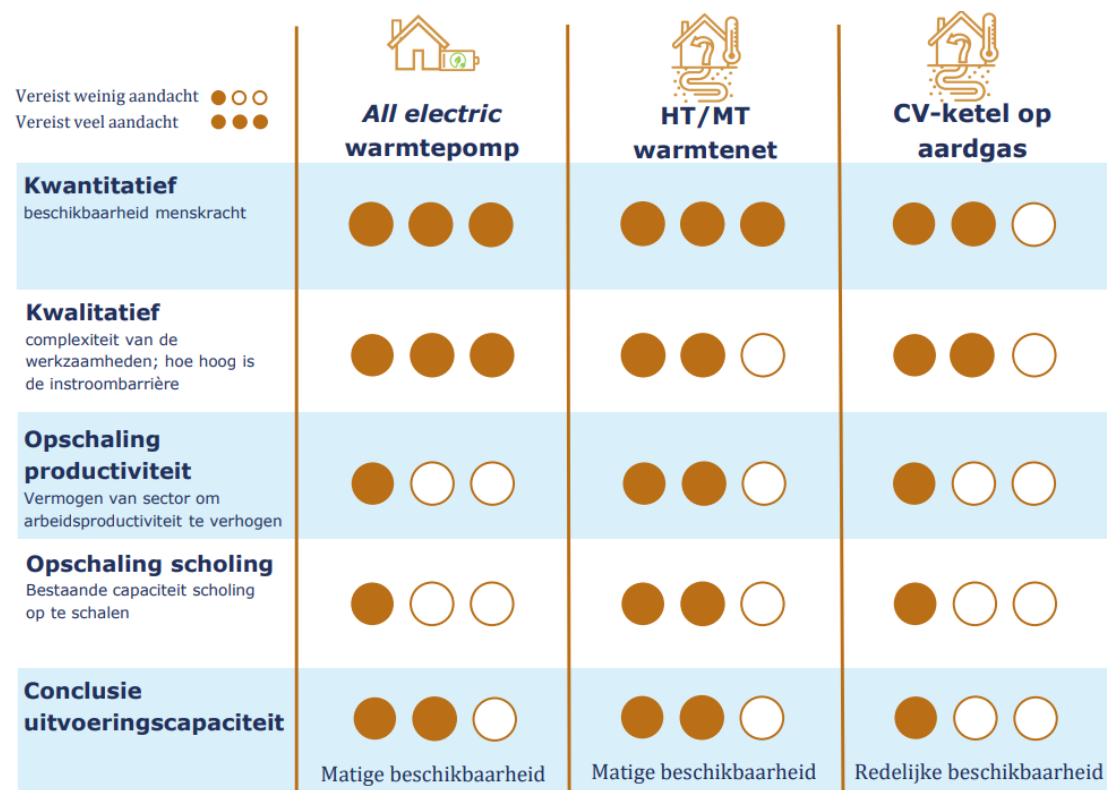
Voor de realisatie van warmtepompen is uitvoeringscapaciteit nodig voor:

- **(Vergaande) isolatie:** Voor isolatie is er capaciteit van arbeidskrachten nodig. Een voorwaarde voor het gebruik van een warmtepomp is dat het gebouw voldoende geïsoleerd is. Bij warmtepompen is over het algemeen meer isolatie nodig dan bij een HT- of MT-warmtenet.
- **Veranderingen in de woning:** Om de woning geschikt te maken voor een warmtepomp is er capaciteit van arbeidskrachten nodig. Denk bijvoorbeeld aan LT-radiatoren of vloerverwarming.
- **Installatie van de warmtepomp:** Voor installatie van de warmtepomp is er capaciteit van arbeidskrachten nodig.
- **Netverzwaring:** Voor netverzwaring is er capaciteit van de netbeheerder en uitvoerders nodig. Bij warmtenetten zal het net waarschijnlijk ook verzaamd moeten worden door bijvoorbeeld de toename van zonne-energie en elektrische auto's, maar bij het gebruik van warmtepompen is er meer netverzwaring nodig dan bij een MT-warmtenet.

Hoe zijn de scores bepaald?

Berenschot heeft aan de hand van een plan voor een warmtenet in Den Haag de beschikbare uitvoeringscapaciteit geanalyseerd voor de all electric-warmtepomp, het HT-/MT-warmtenet en de cv-ketel op aardgas, zie Figuur 10. Alhoewel de opschaling van de productiviteit en de scholing bij een HT-/MT-warmtenet wat meer aandacht vereist dan bij een warmtepomp, is de algemene conclusie dat er voor beide een matige beschikbaarheid van uitvoeringscapaciteit is (Berenschot, 2024). De benodigde uitvoeringscapaciteit voor een LT-warmtenet lijkt niet significant van de uitvoeringscapaciteit van een HT-/MT-warmtenet te verschillen. Daarom geven wij LT-warmtenetten ook dezelfde score.

Figuur 10 - Aandachtspunten voor uitvoeringscapaciteit bij lucht-water warmtepomp, HT-/MT-warmtenet en cv-ketel op aardgas



Bron: (Berenschot, 2024).

Tabel 9 geeft de score per warmtetechniek weer op het criterium uitvoeringskracht.

Tabel 9 - De score per warmtetechniek op het criterium uitvoeringskracht

Warmtetechniek	Score
Lucht-waterwarmtepomp	2
MT-warmtenet	2
LT-warmtenet	2

5.2 Impact op het elektriciteitsnet

Veel verduurzaming gaat door middel van elektrificatie. Hierdoor gebruiken we met elkaar steeds meer elektriciteit en wordt ook de hoeveelheid elektriciteit die we op piek-momenten nodig hebben steeds groter. Dit heeft gevolgen voor het elektriciteitsnet. Netbeheerders moeten investeringen doen om het net te verzwaren, zodat ze aan de toenemende vraag kunnen blijven voldoen. Op dit moment neemt de vraag zo snel toe dat het voor netbeheerder lastig bij te houden is. Dit leidt tot netcongestie.

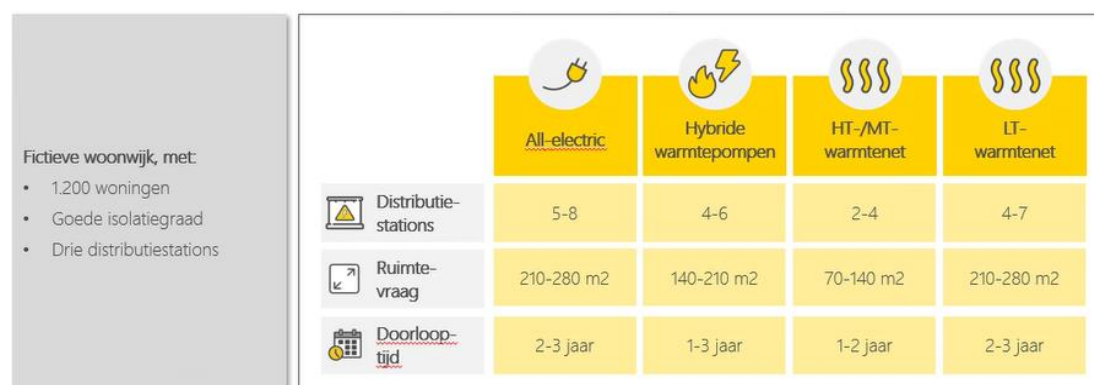
Hoe zijn de scores bepaald?

We ordenen de warmtetechnieken ten opzichte van elkaar. Hoe minder de impact een techniek op het elektriciteitsnet heeft, hoe beter. Netbeheerders hoeven dan minder investeringen te doen in het elektriciteitsnet:

- 3: de warmtetechniek met de minste impact op het elektriciteitsnet;
- 2: de warmtetechniek die niet de minste, maar ook niet de meeste impact heeft op het elektriciteitsnet;
- 1: de warmtetechniek met de meeste impact op het elektriciteitsnet.

Figuur 11 geeft een indicatieve weergave van de impact op het net van verschillende warmtetechnieken. In de praktijk is de impact op het net afhankelijk van lokale omstandigheden in de wijk zoals de ligging van het bestaande net, het aantal bestaande distributiestations, de huidige capaciteit op het net, etc.

Figuur 11 - Indicatieve weergave van de impact van warmtetechnieken op het net in een woonwijk⁴.



Bron: Stedin, 2024.

Tabel 10 geeft de score per warmtetechniek weer op het criterium impact op het elektriciteitsnet.

Tabel 10 - De score per warmtetechniek op het criterium impact op het elektriciteitsnet

Warmtetechniek	Score
Lucht-waterwarmtepomp	1
MT-warmtenet	2
LT-warmtenet	1

⁴ De getallen zijn illustratief en enkel indicatief voor de impact.

6 Resultaten

In dit hoofdstuk geven we de resultaten weer. We laten de scores van de warmtetechnieken (warmtepomp, MT-warmtenet en LT-warmtenet) op de verschillende criteria zien. Om de warmtetechnieken goed te kunnen vergelijken, hebben we in samenwerking met de gemeente een afwegingskader opgezet. In dit afwegingskader is in één oogopslag te zien wat de voor- en nadelen zijn van de warmtetechnieken en wat de meest kansrijke warmtetechniek is per gemeente, nadat weging heeft plaatsgevonden.

We hebben samen met de gemeente een aanzet gedaan om een weging te geven aan de criteria. De criteria die het meest belangrijk worden gevonden (en we dus de hoogste weging hebben toegekend) zijn de kosten voor de woningeigenaar en de nationale kosten.

In het basisscenario nemen we geothermie niet mee als potentiële bron, vanwege de onzekerheid rondom zowel de potentie als de ontwikkelmogelijkheden van een warmtenet.

- Allereerst is er nog veel onduidelijk over de technische potentie en beschikbaarheid van warmte in de ondergrond. Er zijn enkele landelijke onderzoeksprojecten, zoals het SCAN-programma, die hier onderzoek naar doen. Daarnaast heeft de provincie in 2022 een potentieonderzoek laten uitvoeren (IF Technology, 2022). In die studie wordt de conclusie getrokken dat de potentie voor geothermie redelijk onzeker is. Er zijn kansen voor geothermie, maar er is meer onderzoek (waaronder additionele putgegevens en locatie specifieke haalbaarheidsstudies) nodig om verdere vervolgstappen te definiëren. Naast geothermie zijn er geen andere grootschalige warmtebronnen in (de buurt van) de gemeente Castricum. Hierdoor is de optie van een warmtenet op middentemperatuur in de meeste buurten niet mogelijk of duurder, omdat hiervoor een lagetemperatuurbron opgewaardeerd moet worden, waardoor de optie van een warmtenet op middentemperatuur niet mogelijk is.
- Om een warmtenet te ontwikkelen moet er, naast een geschikte warmtebron, ook een warmtebedrijf gevonden worden die dit wil oppakken. Op dit moment zijn er geen bestaande partijen die hebben uitgesproken hier een rol in te willen vervullen. De gemeente heeft hier al diverse gesprekken over gevoerd.

Op basis van de huidige kennis lijkt het niet waarschijnlijk dat er op dit moment een partij gevonden kan worden die een warmtenet wil ontwikkelen in de gemeente Castricum.

We adviseren de gemeente om met de belangrijkste stakeholders (HVC, Firan en EBN) in gesprek te gaan met het doel om hier meer duidelijkheid in te krijgen. Een alternatief is dat de gemeente zelfstandig een warmtebedrijf opricht. Dit vereist echter veel capaciteit, specialistische kennis en daarmee ook kosten. Deze optie lijkt op dit moment niet aan de orde, tenzij de politiek hiertoe besluit. Omdat een MT-warmtenet op dit moment een zeer onzekere optie is geven we deze in het afwegingskader aan met een asterisk (*).

We laten in Tabel 11 zien hoe de verschillende warmtetechnieken gemiddeld scoren over heel Castricum. Dit zijn gemiddeldes over alle buurten op basis van de scores die zijn bepaald volgens de methodiek in Hoofdstukken 2 tot en met 5 en de wegingen in Bijlage B.3. In Bijlage E geven we de resultaten op buurtniveau weer.

In Figuur 12 staan de resultaten van het afwegingskader per buurt weergegeven op de kaart. Zonder de aanwezigheid van een grootschalige warmtebron (zoals geothermie) komen alle buurten uit op een volledig elektrische lucht-waterwarmtepomp. De opwaardering van lagetemperatuurbronnen zoals aquathermie, is met name qua kosten minder gunstig dan een individuele warmtepomp.

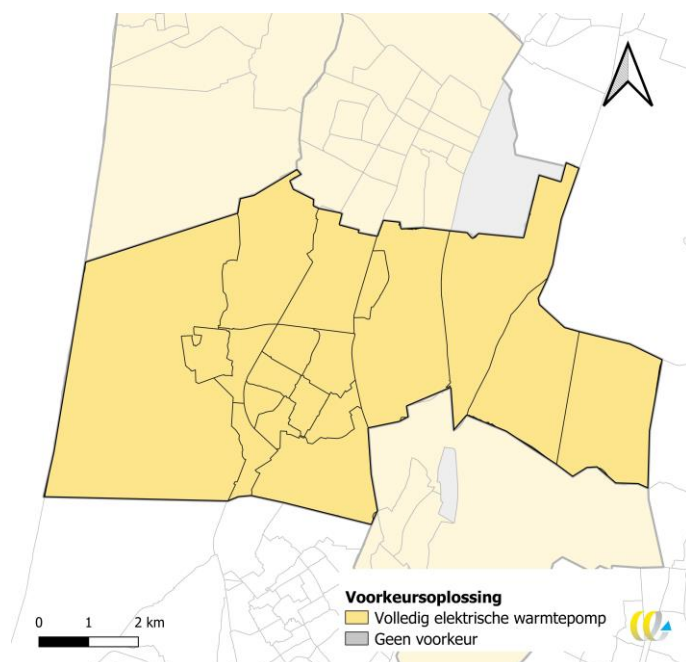
Mocht de gemeente wel een partij vinden die een warmtebron en een warmtenet wil ontwikkelen, dan zie we dat het MT-warmtenet goed scoort in de kern van Castricum, met name op het gebied van nationale kosten (kostenverschil), ruimtebeslag in de woning, eindgebruikerskosten en impact op het elektriciteitsnet. Voor de buurten buiten de dorpskern van Castricum blijft een luchtwarmtepomp de meest kansrijke optie. Zie Bijlage E voor de resultaten op buurniveau.

We adviseren de gemeente om door te pakken op het individuele spoor en de uitvoeringsplannen. De gemiddelde voorbereidings-/ontwikkeltijd van een warmtenet kan gemiddeld tien jaar of langer duren. Tijdens het opstellen van de uitvoeringsplannen kan de gemeente in gesprek te gaan met de belangrijkste warmtenetstakeholders om uitsluitsel te geven over deze warmteoptie.

Tabel 11 - Resultaten afwegingskader gemeente Castricum

	Gewogen gemiddelde	Nationale kosten - kostenverschil	Nationale kosten - robuustheid	Eindgebruikerskosten	Ruimtebeslag in woning	Ruimtebeslag bovengrond	Geluidsniveau	Koeling	Duurzaamheid	Uitvoeringskracht	Impact elektriciteitsnet
Luchtwarmtepomp	2,1	2,4	2,6	1,6	2,0	2,0	2,0	3,0	3,0	2,0	1,0
Warmtenet MT*	2,4	2,8	1,9	3,0	3,0	2,0	3,0	1,0	2,0	2,0	2,0
Warmtenet LT	1,6	1,0	1,0	1,1	2,0	2,0	3,0	2,0	3,0	2,0	1,0

Figuur 12 - Resultaten afwegingskader gemeente Castricum



7 Conclusies

7.1 Overkoepelende conclusies

Op basis van het afwegingskader scoren warmtepompen hoog in de gemeente

Samenvattend scoren warmtepompen van de drie warmtetechnieken het meest positief in de gemeente Castricum. Deze techniek scoort met name gunstig op de nationale kosten, mogelijkheid tot koeling en duurzaamheid van de bron. Een warmtepomp vraagt om hogere investeringen van de bewoner en om de meer ruimte in de woning dan een middentemperatuurwarmtenet (MT-warmtenet), maar is wel duurzamer. Een lagetemperatuurwarmtenet (LT-warmtenet) heeft de hoogste kosten voor de bewoner en voor de maatschappij (nationale kosten). Deze techniek neemt evenveel ruimte in huis in beslag als een warmtepomp, maar wel meer dan een MT-warmtenet. Ook scoort een lagetemperatuurwarmtenet goed op duurzaamheid.

Geothermie onzeker en nog geen zicht op partij die MT-warmtenet wil ontwikkelen

Uit een eerder onderzoek blijkt dat de potentie voor geothermie redelijk onzeker is. Er zijn kansen voor geothermie, maar er is meer onderzoek nodig om verdere vervolgstappen te definiëren. Daarnaast lijkt er op basis van de huidige kennis het niet waarschijnlijk dat er op dit moment een partij gevonden kan worden die een warmtenet wil ontwikkelen in de gemeente Castricum.

Indien er wel een geothermiebron ontwikkeld wordt, scoren warmtenetten positief in de kern van Castricum

In de gemeente Castricum komt, indien geothermie beschikbaar is, het MT-warmtenet als kansrijke optie uit de bus. In de gemeente is een MT-warmtenet de goedkoopste optie voor bewoners, vooral vanwege de lagere investeringskosten voor isolatie. Ook neemt een MT-warmtenet de minste ruimte in huis in. We adviseren de gemeente om met de belangrijkste stakeholders (HVC, Firan en EBN) in gesprek te gaan met het doel om hier meer duidelijkheid in te krijgen. Daarnaast kan er onderzocht worden of de gemeente eventueel zelf een warmtebedrijf willen oprichten. Dit vereist echter veel capaciteit, specialistische kennis en daarmee ook kosten.

Individuele spoor meest kansrijk

We adviseren de gemeente om door te pakken op het individuele spoor en de uitvoeringsplannen. Daarnaast adviseren we om tijdens het opstellen van de uitvoeringsplannen in gesprek te gaan met de belangrijkste warmtenetstakeholders om uitsluitsel te geven over deze warmteoptie.

Voor- en nadelen van de warmtetechniek MT-warmtenet

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



 Toch zijn er ook nadelen. Hoewel bewoners minder geld hoeven uit te geven aan isolatie, zijn de maandelijkse energiekosten in de huidige kostenstructuur voor een warmtenet wel hoger. In Castricum lijkt geothermie een mogelijke warmtebron voor een MT-warmtenet, maar is er vooralsnog geen partij die een warmtenet in ontwikkeling wil nemen. Bovendien is de gemiddelde voorbereidings-/ontwikkeltijd van een warmtenet gemiddeld tien jaar of langer, terwijl met warmtepompen direct gestart kan worden.

Tekstkader 4 - Wet- en regelgeving omtrent warmtenetten onduidelijk

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

Voor- en nadelen van de warmtetechniek warmtepomp

Een warmtepomp scoort positief op meerdere vlakken. Namelijk op nationale kosten, duurzaamheid en koeling. Een voordeel van een warmtepomp is dat bewoners met de huidige kostenstructuur lagere maandlasten hebben dan bij een MT-warmtenet. Daarnaast is een warmtepomp voor nu een duurzamere keuze, omdat alleen elektriciteit nodig is voor het verwarmen. Ook kan een warmtepomp koelen, wat het comfort in de woning in de zomer verhoogt.



 Er zijn ook nadelen. Veel woningen moeten flink geïsoleerd worden om een warmtepomp goed te laten werken. Dit vraagt om hoge investeringen van de bewoners en neemt meer ruimte in huis in beslag. De buitenunit van een warmtepomp maakt geluid. De buitenunit moet slim worden gekozen en geplaatst om geluidsoverlast te voorkomen of er kan gekozen worden voor een geluidsdempende kast.

Een ander belangrijk nadeel is dat een keuze voor warmtepompen veel meer stroom vraagt dan een keuze voor een MT-warmtenet. Dit kan de problematiek rondom netcongestie versterken. De gemeente Castricum is in gesprek met de netbeheerder Liander over hoe op een goede manier om kan worden gegaan met de belasting van het elektriciteitsnet.

Voor- en nadelen van de warmtetechniek LT-warmtenet

Een warmtenet op lagere temperatuur scoort minder goed op de criteria dan de andere technieken. Toch biedt het meerdere voordelen. Dit type warmtenet kan gebruik maken van duurzame bronnen, zoals oppervlaktewater. Verder is alleen elektriciteit nodig om de warmte te vervoeren en verder op te warmen. Er is geen buitenunit nodig, dus is er ook geen risico op geluidsoverlast.



Qua flexibiliteit is het voor een bewoner mogelijk om van een lagetemperatuurwarmtenet over te stappen op een warmtepomp. Daarnaast is een lagetemperatuurwarmtenet robuust; er zijn veel mogelijke warmtebronnen voor het net.



Aan de andere kant is een warmtenet op een lage temperatuur voor nu wel de duurdere optie. De woningen moeten namelijk goed geïsoleerd worden én er moeten kosten gemaakt worden voor de aanleg en afname van het warmtenet. Daarnaast is koeling alleen mogelijk wanneer er een extra leiding wordt aangelegd. Verder is een LT-warmtenet voor nu lastig te realiseren vanwege dezelfde onduidelijkheid rondom warmtenetten en doordat grote warmtepompen wegens net-congestie niet aangesloten kunnen worden op het elektriciteitsnet.

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

Benodigde isolatie en aanpassing radiatoren

Om op **middentemperatuur** te verwarmen, hoeven woningen die na 1975 gebouwd zijn meestal niet extra geïsoleerd te worden. Voor woningen die vóór 1975 gebouwd zijn, is het nodig om minimaal de ramen te isoleren met HR++-glas. Daarnaast zijn er ventilatieroosters nodig om de woning goed te blijven ventileren. In sommige woningen zouden de bestaande radiatoren mogelijk aangepast moeten worden. Voor een echt toekomstbestendige woning, kunnen woningeigenaren ook nog denken aan aanvullende isolatiemaatregelen. Bijvoorbeeld het isoleren van het dak of de vloer, een isolerende deur of extra kozijnisolatie.

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

Literatuurlijst

- Berenschot. (2024). *De keuze voor warmtenetten of andere warmteoplossingen*.
- CBS. (2019). *Kerncijfers wijken en buurten 2019*. <https://www.cbs.nl/nl-nl/maatwerk/2019/31/kerncijfers-wijken-en-buurten-2019>
- CE Delft. (2017). *Factsheets heat technologies for households, Dutch only*. CE Delft. www.warmtetechnieken.nl
- CE Delft. (2021a). *CEGOIA*. CE Delft. <https://ce.nl/method/cegoia/>
- CE Delft. (2021b). *CEKER Kosten voor Eindgebruikers Rekenmodel, methode*. CE Delft. <https://ce.nl/method/ceker/>
- CE Delft. (2023a). *Factsheet Warmte. Achtergrondinformatie per warmtebron. Versie november 2023*.
- CE Delft. (2023b). *Impact van de warmtetransitie op het lokale elektriciteitsnet*.
- ElectraBoiler. (lopend). *Alle collecties*. <https://electraboiler.nl/products/>
- Eneco. (2021). *Brief van Eneco aan de Gemeente Utrecht d.d. 05-03 -2021 : Zienswijze Ruimtelijke Strategie Utrecht 2040 (inspraakreactie)*. Eneco. <https://online.ibabs.eu/ibabsapi/publicdownload.aspx?site=Utrecht&id=251bf966-a002-498c-9d90-8cd96f86ce5c>
- IF Technology. (2022). *Publieksrapportage - Potentieonderzoek geothermie Noord-Holland/provincie Flevoland*.
- Itho Daalderop. (lopend). *HP-S 55 lucht/water warmtepomp, binnendeel*. <https://www.ithodaalderop.nl/nl-NL/consument/product/03-00635>
- Liander. (2024). *Hoe ziet een elektriciteitshuisje eruit?* Liander. <https://www.liander.nl/elektriciteitshuisjes/hoe-ziet-een-elektriciteitshuisje-eruit>
- Milieu Centraal. (lopend-a). *Hybride warmtepomp*. Milieu Centraal. Retrieved 28 januari from <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/duurzaam-verwarmen-en-koelen/hybride-warmtepomp/>
- Milieu Centraal. (lopend-b). *Volledige elektrische warmtepomp*. Milieu Centraal. Retrieved 30-10-2024 from <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/duurzaam-verwarmen-en-koelen/volledige-warmtepomp/>
- Milieu Centraal. (lopend-c). *Warmtepomp: duurzaam elektrisch verwarmen*. Milieu Centraal. <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/duurzaam-verwarmen-en-koelen/warmtepomp-duurzaam-elektrisch-verwarmen/>
- Mulatu, A., Gerlagh, R., Rigby, D., & Wossink, A. (2010). Environmental Regulation and Industry Location in Europe. *Environmental and Resource Economics*, 45(4), 459-479. <https://doi.org/10.1007/s10640-009-9323-3>
- NIBE. (lopend). *Verwarming, koeling, warmtapwater en ventilatie van NIBE*. <https://www.nibe.eu/nl-nl/producten/>
- TKI Urban Energy. (lopend). *Koudenetten (Cold Networks (Dutch only))*.
- Vaillant GmbH. (lopend). *Lucht-water warmtepomp aroTHERM pure*. <https://www.vaillant.nl/consument/producten/arotherm-pure-warmtepomp-102848.html>
- WarmingUp. (2020). *Definities warmtebranche*.



A Beschrijving van warmtebronnen en -technieken

A.1 Warmtetechnieken

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

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

Individuele warmtetechnieken

Elektrische warmtepomp



Een elektrische warmtepomp is een individuele elektrische warmteoplossing. Gebouweigenaren kunnen zelfstandig overschakelen op deze techniek. De luchtwarmtepomp, de bodemwarmtepomp en de PVT-warmtepomp⁵ zijn de bekendste typen warmtepompen. Deze warmtepompen gebruiken warmte uit de lucht, bodem en zonnewarmte en brengen dit met behulp van elektriciteit naar een temperatuurniveau dat geschikt is voor het verwarmen van gebouwen en tapwater. Doordat warmtepompen voornamelijk energie uit de lucht of bodem gebruiken en een kleiner deel elektriciteit, hebben ze een hoger rendement dan de hr-ketel. Voor het toepassen van een reguliere elektrische warmtepomp moet een woning of utiliteitsgebouw zeer goed worden geïsoleerd, naar een isolatieniveau van 50 kWh/m². Dit is met name kostbaar bij vooroorlogse bouw. Ook moeten de radiatoren worden vervangen door vloerverwarming of LT-radiatoren. Wanneer een groep gebouwen overschakelt naar een elektrische oplossing, kan het zijn dat het elektriciteitsnet moet worden verzwaaard.

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

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

⁵ PVT-panelen zetten licht om in elektriciteit (photovoltaïsch) en warmte (thermisch).

Hybride warmtepomp



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

Momenteel is het niet zinvol om een hybride warmtepomp te plaatsen in een slecht geïsoleerd gebouw (Milieu Centraal, lopend-a). In zo'n gebouw zal de warmtepomp minder vaak de warmte leveren: de hr-ketel moet vaak bijspringen om het gebouw voldoende warm te krijgen. In een matig geïsoleerd gebouw (dubbel glas, spouwmuurisolatie en 5-7 cm vloerisolatie en dakisolatie) levert een hybride warmtepomp zowel besparing op de energierekening als CO₂-reductie op. Bij een goed tot zeer goed geïsoleerd gebouw (minimaal Label B) is het verstandiger om direct over te stappen op een volledig elektrische warmtepomp.

Een hybride warmtepomp is nog niet aardgasvrij: deze gebruikt aardgas op die momenten dat de hr-ketel bijspringt. Op de langere termijn (verwacht wordt zeker na 2030), kunnen groengas of groene waterstof dit aardgas mogelijk vervangen. Op dat moment is het mogelijk om zonder CO₂-uitstoot te verwarmen met een hybride warmtepomp. Het is echter nog zeer de vraag of, en zo ja wanneer, deze gassen beschikbaar komen (zie ook Paragraaf A.3). Het is mogelijk om een hybride warmtepomp om te bouwen naar een volledig elektrische warmtepomp. Echter moet de woning of het utiliteitsgebouw dan voldoen aan de eisen voor een elektrische warmtepomp, namelijk een isolatieniveau van minstens 50 kWh/m², vloerverwarming of LT-radiatoren en een voldoende zware elektriciteitsaansluiting.

Tekstkader 5 - Biopelletkachel

Een andere individuele warmtetechniek is de biopelletketel, gestookt met houtpellets. De BUCH-gemeenten beschouwen biomassa echter niet als alternatief voor een gehele buurt, enkel als uitzondering in landelijke gebieden.

Collectieve warmtetechnieken (warmtenetten)

Hogetemperatuurwarmtenet



Voor een hogetemperatuur (HT)-warmtenet is een nieuwe infrastructuur nodig voor het vervoeren van water met een temperatuur van minimaal 75 °C. Dit water wordt verwarmd met een HT-warmtebron, zoals geothermie (afhankelijk van de diepte) of restwarmte uit de industrie. Een HT-warmtenet is warm genoeg voor het verwarmen van het gebouw en verzorgen van warmtapwater. In het gebouw zelf wordt de cv-ketel vervangen door een kleinere afleverset, bestaande uit een warmtewisselaar en warmtemeter. De afleverset komt doorgaans in de meterkast te hangen. De afleverset moet nog gekoppeld worden aan het warmteafgifte-systeem, hiervoor moeten de verwarmingsleidingen worden omgelegd.

Extra isolatie is niet nodig, hoewel dit wel wenselijk kan zijn vanuit comfortoverwegingen en energiebesparing (besparing op de energielasten, zuinig omgaan met schaarse warmtebronnen en CO₂-reductie). Een aandachtspunt bij het ontwikkelen van een warmtenet is de afstemming tussen de huidige en toekomstige warmtevraag en de warmte die het net kan leveren.

MT-warmtenet



Voor een middentemperatuur (MT-)warmtenet is ook een nieuwe infrastructuur nodig. Een MT-warmtenet heeft een temperatuur van tussen de 55 °C en 75 °C en wordt meestal gevoed met LT-bronnen, waarna de temperatuur wordt opgewerkt met een collectieve warmtepomp. Voorbeelden van LT-bronnen zijn ondiepe geothermie (tot 1.250 meter diep, met een temperatuur van 15-40 °C) en aquathermie. Bij aquathermie wordt warmte onttrokken aan water, zoals oppervlaktewater of afvalwater. Dit is doorgaans in combinatie met een wko (warmte-koudeopslag). Door het omhoog brengen van de temperatuur van het water in het warmtenet met een collectieve elektrische warmtepomp, is het water dat bij de woningen en overige gebouwen aankomt warm genoeg voor het verwarmen van HT-radiatoren en tapwater. Een MT-warmtenet kan ook een warmtebron van hogere temperatuur hebben, zoals geothermie⁶ of de retourleiding van een HT-warmtenet. De gebouwen moeten voorverwarmen met een MT-warmtenet deze moeten wel een redelijk isolatieniveau hebben (70 kWh/m²), maar niet zo goed als bij een LT-warmtenet. De geleverde temperatuur is immers hoger, waardoor de woningen sneller opwarmen.

Lagetemperatuurwarmtenet



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

A.2 Warmtebronnen

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

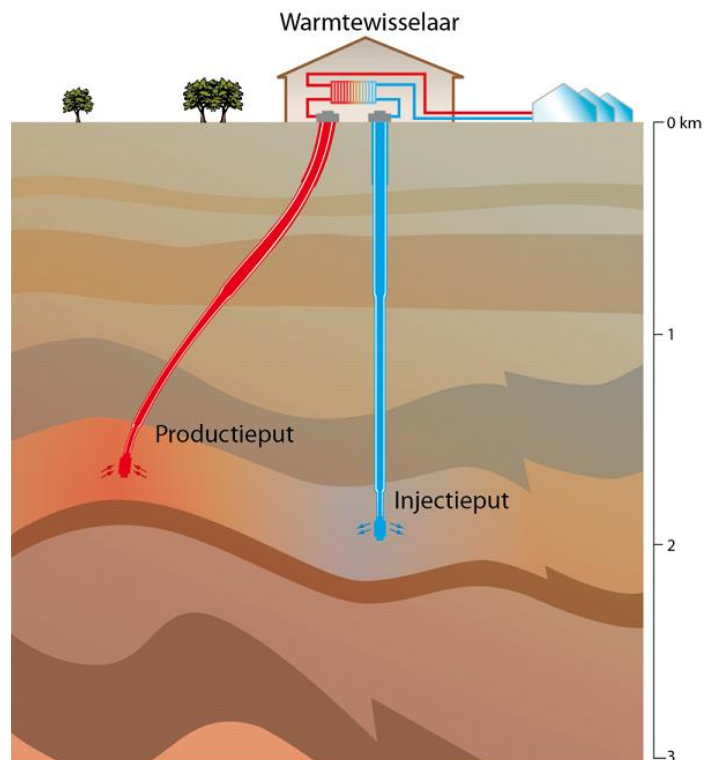
Geothermie

Diepe aardwarmte, geothermie, levert warmte op temperaturen van 60-80°C. Een geothermiedoublet maakt de aardwarmte beschikbaar aan het oppervlak met een warmtewisselaar. Figuur 13 toont het principe van een geothermiedoublet bestaande uit een productieput en een injectieput van enkele kilometers diep.

⁶ Afhankelijk van de diepte kan geothermie warmte leveren van 70-90°C.

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

Figuur 13 - Principeschets geothermie



Bron: (Thermogis, lopend)

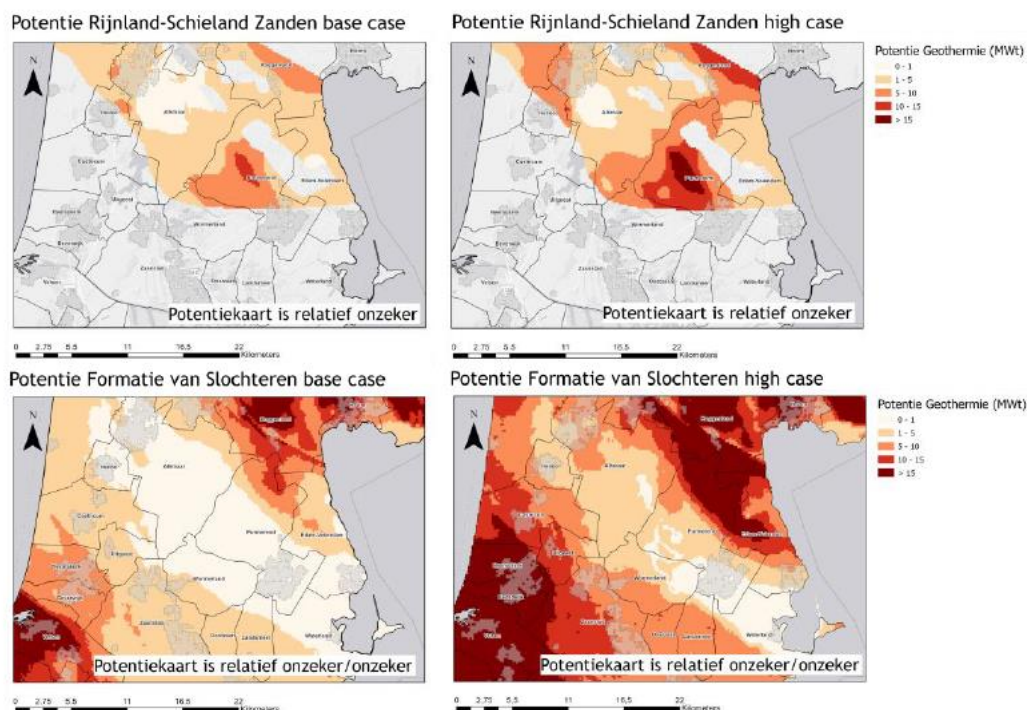
If Technology heeft in opdracht van de provincie Noord-Holland een onderzoek uitgevoerd naar de potentie voor geothermie (If Technology, 2022) Uit dit onderzoek komen de volgende conclusies naar voren (p.42) :

“

De behaalde resultaten voor de Formatie van Slochteren zijn in dit gebied redelijk onzeker. Daarom kan er in dit gebied zowel naar de base - als high case potentiekaarten worden gekeken (bijgevoegd onder citaat). Deze kaarten geven aan dat in dit deelgebied kansen voor geothermie liggen aan de noordkant van Purmerend en in de regio's Alkmaar, Heerhugowaard en Castricum. De onzekerheid in de geothermievotentie voor elk van deze regio's kan worden verkleind door lokaal specifieke haalbaarheidsstudies uitvoeren waarbij meer lokale putten worden meegenomen.

“

Figuur 14 - Boven: geothermische potentie in Noord-Holland midden voor de Zanden van de Rijnland - en Schieland groep met de base case (links) en high case (rechts). Onder: geothermische potentie in Noord-Holland midden voor Formatie van Slochteren met de base case (links) en high case (rechts).



Bron: (If Technology, 2022)

Bestaande grootschalige warmtebronnen

Er zijn geen bestaande grootschalige warmtebronnen aanwezig in de gemeente Castricum. Wel is er een grootschalige warmtebron in de gemeente Alkmaar. Deze ligt echter op een afstand, en er is geen indicatie dat deze warmte getransporteerd gaat worden naar de gemeente Castricum.

Lagetemperatuurwarmtebronnen

Kleinschalige warmtebronnen zijn aquathermie, restwarmte uit een rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) en warmte-koudeopslag. Hiervoor zijn er een aantal verbodsgebieden in de regio.

A.3 Beschikbaarheid van gasvormige energiedragers

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

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

Groengas



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

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

Waterstofgas



Waterstof komt niet op grote schaal als molecuul in de natuur voor, maar kan worden geproduceerd uit aardgas, waarbij CO₂ vrijkomt, maar kan ook klimaatneutraal zijn. Dit kan door CO₂ af te vangen en op te slaan ('blauwe waterstof') of door waterstof direct te produceren uit duurzame elektriciteit of vergassing van biomassa ('groene waterstof'). Voor omschakeling naar verwarming op 100% waterstof dient de cv-ketel te worden vervangen door een brandstofcel, of door een hr-ketel of hybride warmtepomp die op waterstof kan draaien. In de gebouwen hoeft, behalve de installatie en eventueel de leidingen, niets aangepast te worden. Wel moeten de leidingen van het huidige aardgasnet geschikt worden gemaakt voor waterstof. Dit houdt in dat bepaalde onderdelen moeten worden vervangen of soms zelfs het hele net, als de technische staat van de leidingen onvoldoende is. Er is nog bijna geen praktijkervaring met het gebruik van waterstof voor verwarming van gebouwen of het transport ervan in bestaande gasleidingen.

Waterstof opgewekt uit duurzame elektriciteit heeft in Nederland een beperkt productiepotentieel. De ambitie is om in 2030 250-350 kton aan waterstof te produceren. Dit is 30-40% van de hoeveelheid waterstof die nu in Nederland wordt gemaakt uit aardgas voor gebruik in de industrie. De Rijksoverheid (Ministerie van EZK, 2020a), maar ook natuurorganisatie Natuur en Milieu⁷ hebben aangegeven waar waterstof het meest zinvol kan worden ingezet. Dit is allereerst in de industrie en voor het zwaar transport omdat hiervoor geen goede alternatieven voorhanden zijn.

⁷ [Waterstof: de waterstofladder | Natuur & Milieu](#)

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

A.4 Benodigde isolatie en aanpassing radiatoren voor warmtetechnieken

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

Maatregelen om te verwarmen op middentemperatuur

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

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

Maatregelen om te verwarmen op lage temperatuur

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

Figuur 15 - Aanbrengen van isolatiemateriaal

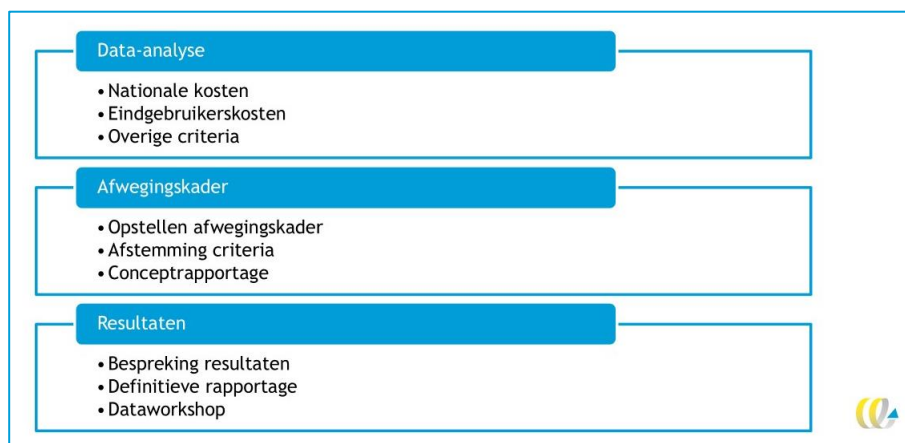


B Methode

B.1 Stappen van het onderzoek

De uitvoering van dit project bestaat uit drie stappen (zie Figuur 16). In deze bijlage gaan we nader in op de belangrijkste onderzoeksmethodes.

Figuur 16 - Projectaanpak



B.2 Data-analyse

Voor de data-analyse hebben we de benodigde input voor het afwegingskader verzameld en geanalyseerd. Hiervoor hebben we de volgende zaken meegenomen:

- **Nationale kosten.** De nationale kosten berekenen we met ons CEGOIA-model (zie Tekstkader 6 en voor een uitgebreide toelichting Bijlage C). Om de nationale kosten te kunnen bepalen werken we met vijf scenario's. Deze scenario's zijn afgestemd met de Gemeente Castricum. De scenario's waarmee we werken zijn:
 1. Basisscenario: scenario met standaard CEGOIA-instellingen.
 2. Geothermie niet mogelijk: scenario waarin geothermie uitgesloten is.
 3. Vooroorlogse standaard: scenario met geothermie waarin alle gebouwen naar minimaal de vooroorlogse standaard worden geïsoleerd.
 4. Isolatiekosten 30% minder: scenario met geothermie waarin de isolatiekosten 30% lager zijn.
 5. Zichtjaar 2030: scenario met geothermie waarin alle warmtetechnieken in 2030 worden gerealiseerd.
- **Eindgebruikerskosten.** De eindgebruikerskosten voor woningen berekenen we met ons CEKER-model (zie Tekstkader 6 en voor een uitgebreide toelichting Bijlage D). Hierbij hanteren we dezelfde uitgangspunten als voor de nationale kostenberekening.
- **Overige criteria.** Naast kosten hebben we ook andere aspecten meegenomen. Tijdens de uitvoering van dit project hebben we onderzocht welke data er beschikbaar is en welke criteria meegenomen kunnen worden in het afwegingskader. We hebben dit afgestemd met de gemeente Castricum.

We hebben de data-analyse en het afwegingskader uitgewerkt op basis van de CBS-buurt-indeling, omdat deze indeling voor inwoners herkenbaar is en een logische geografische afbakening biedt.

Tekstkader 6 - De rekenmodellen

Tijdens het project zetten we twee rekenmodellen in. Het [CEGOIA-model](#) berekent de nationale kosten van duurzame warmteopties over de hele keten: productie, distributie, besparing en consumptie. De berekeningen worden gedaan op buurtniveau, waarbij het model de vele kenmerken van elke buurt meeneemt. CEGOIA is meermaals gebruikt bij het opstellen van transitievisies warmte en sluit goed aan bij de methodiek van Vesta MAIS (ook door CE Delft ontwikkeld). Het [CEKER-model](#) geeft inzicht in de kosten voor bewoners en woningeigenaren van duurzame warmtetechnieken. Dit model rekent op woningniveau en biedt de mogelijkheid woningkenmerken aan te passen, zodat deze beter aansluiten bij de werkelijkheid.

B.3 Afwegingskader

- **Opstellen afwegingskader.** We hebben eerst het afwegingskader opgesteld. Hierin hebben we alle opgehaalde informatie uit de data-analyse samengebracht in één overzicht. Daarnaast hebben we een wegingsfunctionaliteit opgesteld waarin de verschillende criteria met elkaar afgewogen kunnen worden, en zo de voor- en nadelen van duurzame warmtetechnieken.
- **Afstemming criteria.** Daarna hebben we de criteria met de gemeente afgestemd. Hierbij hebben we gebruik gemaakt van de expertise binnen de gemeente en de stakeholderbijeenkomsten die de gemeente begin oktober 2024 heeft georganiseerd. Tijdens deze bijeenkomsten heeft de gemeente met stakeholders afgestemd over de uitgangspunten voor het warmteprogramma (CE Delft is hier niet bij aanwezig geweest). In overleg met de gemeente hebben we deze leidende principes vertaald naar een weging van de verschillende criteria voor iedere gemeente. De overeengekomen criteria en bijbehorende weging staat in Tabel 13.

Tabel 12 - Criteria en bijbehorende weging

Onderwerp	Criterium	Weging
Kosten	Procentueel verschil tussen nationale kosten betreffende warmtetechniek en eerste voorkeurstechiek volgens nationale kosten, aan de hand van CEGOIA-scenario met geothermie.	1
	Robuustheid eerste voorkeurstechiek volgens nationale kosten, aan de hand van CEGOIA scenario's.	1
	Procentueel verschil tussen eindgebruikerskosten betreffende techniek en eerste voorkeurstechiek volgens eindgebruikerskosten.	2
Leefomgeving	Ruimtebeslag in de woning.	0,5
	Ruimtebeslag in de bovengrond.	0,5
Technische aspecten	Geluidsniveau.	0,5
	Duurzaamheid van de bron.	1
	Mogelijkheid om met techniek te koelen.	1
Uitvoerbaarheid	Uitvoeringskracht.	0,5
	Impact op het elektriciteitsnet.	1

De score van het criterium, verschil tussen nationale kosten betreffende warmtetechniek en eerste voorkeurstechiek, is gebaseerd op het scenario met standaard model-aannames met geothermie en dus niet het basisscenario (zonder geothermie). Om het MT-warmtenet mee te nemen bij de scoring van dit criterium is het logisch om gebruik te maken van een scenario met een middentemperatuurwarmtebron. In het basis-scenario zijn geen middentemperatuurbronnen meegenomen.

C Het CEGOIA-model

C.1 Doel

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

C.2 Wat zijn nationale kosten?

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

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

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

C.3 Berekeningen op buurniveau

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

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

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

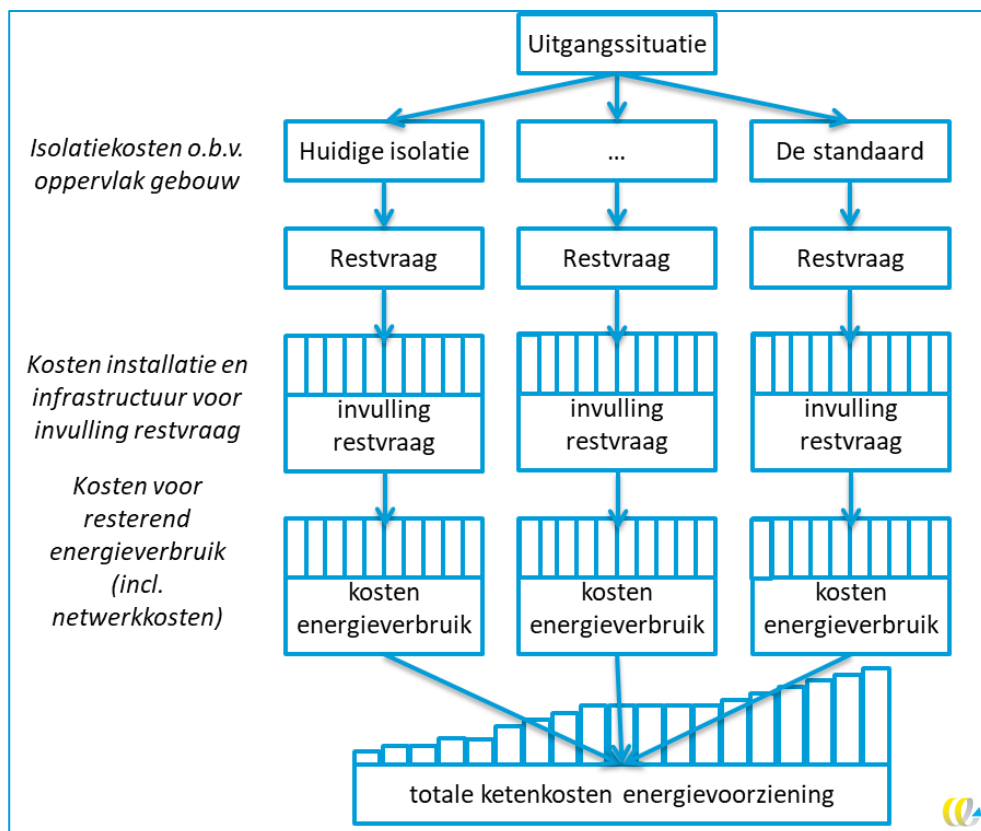
Buurteigenschappen die worden meegenomen voor de berekening van kosten voor utiliteit zijn:

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

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

CEGOIA berekent de totale ketenkosten voor alle mogelijke combinaties van technieken en isolatieniveaus in het model. Een schematisch overzicht van de berekeningen aan woningen is weergegeven in Figuur 17.

Figuur 17 - Berekening woningbouw op hoofdlijnen



Per buurt start CEGOIA vanuit de huidige situatie. Een buurt heeft een bepaalde gemiddelde isolatiegraad van de woningen. De isolatiegraad wordt ingeschat aan de hand van het bouwjaar en type van de woningen. Het model berekent vervolgens de kosten en bijbehorende besparing op de warmtevraag voor drie verschillende isolatiepakketten (Minimaal MT, de vooroorlogse standaard en de naoorlogse standaard). Vervolgens berekent CEGOIA voor ieder isolatieniveau (huidig + drie verbeterstappen) wat het kost om de bijbehorende energievraag in te vullen met alle verschillende warmteopties. Hierbij worden de kosten van de installatie en mogelijke aanpassingen in de woningen meegenomen en ook de energiekosten. Ten slotte worden ook de netkosten berekend die nodig zijn voor de warmte-techniek, bijvoorbeeld een warmtenet of een verzwaaard elektriciteitsnet.

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

C.5 Van investering naar jaarlijkse kosten

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

C.6 Combinatie berekening woningen en utiliteit

In CEGOIA worden aparte berekeningen gemaakt voor het gedeelte woningbouw en utiliteitsbouw in dezelfde buurt, maar de uitkomsten moeten uiteindelijk wel op elkaar aansluiten. Het is bijvoorbeeld niet logisch om in een gemixte buurt een warmtenet aan te leggen voor de utiliteitsgebouwen en de woningen over te laten stappen op pompen. Het model legt de uitkomsten van de woningbouw en utiliteitsbouw naast elkaar en zorgt ervoor dat er dezelfde energie-infrastructuur is in de hele buurt. Een uitzondering hierop zijn een (verzwaard) elektriciteitsnet en een wko-net. Deze drie verschillende energie-infrastructuren mogen binnen een buurt wel worden gecombineerd. Een voorbeeld hiervan is dat de woningen een verzwaard elektriciteitsnet krijgen en de utiliteit een wko-net.

C.7 Kostenoptimalisatie per gebied gegeven beschikbare bronnen

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

C.8 Wat zit er niet in het model

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

- De ruimtelijke inpasbaarheid van verschillende warmteoplossingen.
- Huidige status van installaties in gebouwen en de energie-infrastructuur.⁸
- Schaalvoordelen die ontstaan als een warmtenet groter wordt.
- Organisatorische uitvoerbaarheid (de ene oplossing is organisatorisch eenvoudiger te realiseren dan de ander).
- De kosten van de transportleiding tussen de warmtebron en de buurten waarin de warmte wordt toegepast. Er wordt geen tracé bepaald.
 - In dit project is er een uitzondering gemaakt voor de transportkosten voor een potentiële geothermiebron. Hierbij hebben we rekening gehouden dat de bron eventueel tussen de twee kernen van Castricum en Heiloo wordt geslagen. We maken hierbij een grove indicatie (we hebben geen tracé ingetekend) van 2 kilometer aan transportleiding vanuit de bron naar een eventueel warmtedistributienet plus de kosten van een overdrachtsstation.

⁸ Denk hierbij aan of de installatie al aan het einde van zijn levensduur is of dat de infrastructuur al economisch is afgeschreven.

- De transportkosten zijn gebaseerd op de bedragen zoals genoemd in de WIS-subsidie welke laatst gewijzigd is op 28 mei 2024.⁹ De transportkosten zijn omgerekend naar kosten euro per kW op basis van het eindadvies basisbedragen SDE++ 2024, categorie diepe geothermie middenlast (paragraaf 7.6) (PBL, 2024).

⁹ <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2024-17344.html>

D Het CEKER-model

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

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

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

Tekstkader 7 - Interpretatie van modelresultaten

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

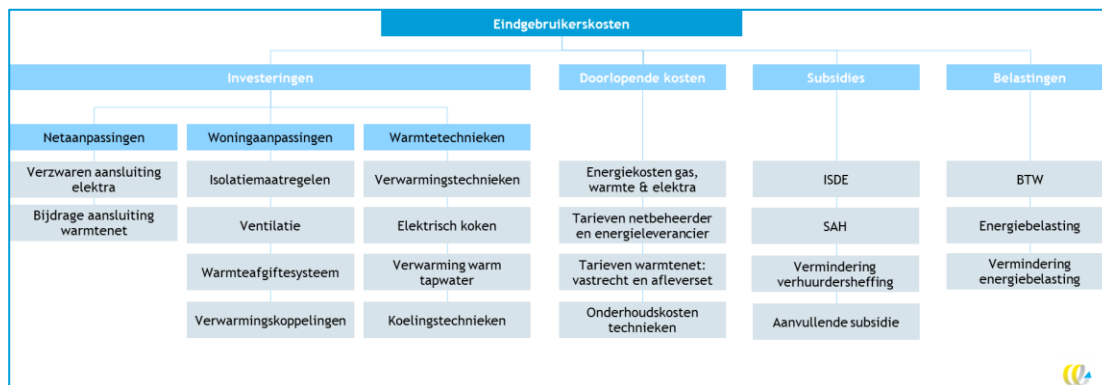
D.1 Methode

De modelberekening bestaat uit de volgende stappen:

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

Figuur 18 geeft een overzicht van de verschillende kostencomponenten die worden meegenomen in het CEKER-model van CE Delft. Voor iedere woning en techniekcombinatie wordt gekeken welke kostencomponenten relevant zijn.

Figuur 18 - Overzicht kostencomponenten CEKER-model



D.2 Woningcategorieën

Voor de gebouwgebonden investeringen baseren we ons op de karakteristieken van de voorbeeldwoningen 2011 opgesteld door RVO (2011). De volledige woningvoorraad wordt opgedeeld in categorieën van voorbeeldwoningen, zie Tabel 13. Een voorbeeld van één categorie is een “*Tussenwoning gebouwd tussen 1965-1974 met een energielabel C in de sociale huursector*”.

Tabel 13 - Opbouw categorieën voorbeeldwoningen

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

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

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

E Resultaten op buurniveau

In Tabel 14 geven we de scores van de warmtetechnieken van het afwegingskader voor de verschillende buurten in de gemeente Castricum. Omdat een MT-warmtenet op dit moment een zeer onzekere optie is geven we deze in het afwegingskader aan met een asterisk (*).

Tabel 14 - Resultaten afwegingskader voor de verschillende buurten in Castricum

buurtcode	Gemeente	Techniek met hoogste score in afweingskader	Luchtwarmtepomp	Warmtenet MT*	Warmtenet LT
BU03830001	Castricum	Warmtenet MT	1,9	2,4	1,6
BU03830011	Castricum	Warmtenet MT	2,1	2,4	1,6
BU03830101	Castricum	Warmtenet MT	1,9	2,4	1,6
BU03830111	Castricum	Warmtenet MT	1,8	2,4	1,6
BU03830201	Castricum	Warmtenet MT	1,8	2,4	1,6
BU03830211	Castricum	Warmtenet MT	1,8	2,4	1,6
BU03830221	Castricum	Warmtenet MT	2,3	2,4	1,6
BU03830301	Castricum	Warmtenet MT	2,1	2,3	1,6
BU03830311	Castricum	Luchtwarmtepomp	2,6	niet mogelijk	1,6
BU03830401	Castricum	Luchtwarmtepomp	2,1	niet mogelijk	1,6
BU03830411	Castricum	Warmtenet MT	1,9	2,4	1,6
BU03830421	Castricum	Luchtwarmtepomp	2,6	niet mogelijk	1,8
BU03830431	Castricum	Luchtwarmtepomp	2,1	niet mogelijk	1,6
BU03830501	Castricum	Luchtwarmtepomp	2,3	niet mogelijk	1,7
BU03830511	Castricum	Luchtwarmtepomp	2,1	niet mogelijk	1,7
BU03830601	Castricum	Luchtwarmtepomp	2,1	niet mogelijk	1,6
BU03830701	Castricum	Luchtwarmtepomp	2,3	niet mogelijk	1,7
BU03830711	Castricum	Luchtwarmtepomp	2,3	niet mogelijk	1,7
BU03830721	Castricum	Luchtwarmtepomp	2,3	niet mogelijk	1,7