

Ontwerp-analyserapport Warmteprogramma



Ontwerp-analyserapport Warmteprogramma

Rapportage

Opdrachtgever: Gemeente Haarlem
Contactpersoon: Iris de Jongh
Projectnummer: P10328
Datum: 4 September 2025
Auteur: Franca Majoor, Thomas Gietema, Leon Grevink
Versie: 1.0
Gecontroleerd door: Leon Grevink, Lisa van der Ham

Inhoudsopgave

1	Inleiding & aanpak	1
2	Onderzoeksgebieden	2
3	Warmteoplossingen	4
4	Methode en uitgangspunten	8
5	Resultaten	13
6	Conclusies & aanbevelingen	19
	Bijlagen	22
A.	Methode en uitgangspunten	22
B.	Vergelijking Warmtetool – Startanalyse	52
C.	Literatuurlijst	64



1 Inleiding & aanpak

In het Warmteprogramma omschrijft de gemeente Haarlem welke warmteoplossingen in welke gebieden de voorkeur hebben. Het Rijk vraagt deze voorkeur te baseren op de oplossing met de laagste totale nationale kosten (TNK). Echter worden gemeenten ook gevraagd om de eindgebruikerskosten (TCO) mee te wegen.

Voor de Transitievisie Warmte van 2021 heeft CE Delft alle buurten in Haarlem geanalyseerd. In 2023, 2024 en 2025 hebben De WarmteTransitieMakers dit voor een aantal buurten geactualiseerd. In een serie aan “wijkenanalyses” hebben wij voor meerdere gebieden verschillende warmteoplossingen technisch en financieel doorgerekend. Dit rapport geeft een overzicht van de onderzochte gebieden en systemen, de resultaten en uitleg hoe de resultaten tot stand zijn gekomen. Ook gaat dit rapport in op wat de resultaten betekenen en welke conclusies getrokken kunnen worden op basis van de wijkenanalyses.

Aanpak

De hoofdvraag is: welke warmteoplossing heeft per gebied de laagste totale nationale kosten en/of eindgebruikerskosten in gemeente Haarlem? Om dit te beantwoorden hebben we de volgende aanpak gevolgd:

1. Voor meerdere onderzoeksgebieden (en verschillende schaalgroottes) zijn meerdere warmteoplossingen onderzocht (zie hoofdstuk 2 en 3). Sommige onderzoeksgebieden beschouwen we in hun geheel (het “hoofdcluster”) en in deelgebieden (“deelclusters”). We verwijzen naar beide als *cluster* wanneer het onderscheid niet uitmaakt.
2. Per gebied zijn warmteoplossingen doorgerekend met [DWTM's Warmtetool](#), aan de hand van een aantal uitgangspunten (zie hoofdstuk 4 en bijlage 1.A.A Methode en uitgangspunten).

3. Deze doorrekening geeft per warmteoplossing per onderzoeksgebied de volgende resultaten:

- De totale nationale kosten
- Eindgebruikerskosten in de vorm van *total cost of ownership*
- CO₂-prestatie
- Toename elektriciteitsvraag en netbelasting
- Vergelijking met de huidige situatie (aardgasreferentie) op bovenstaande punten

Hier verzamelen we de overkoepelde inzichten en algemene resultaten (zie hoofdstuk 5).

4. Per gebied kijken we of een collectieve of individuele warmteoplossing de laagste totale nationale kosten en/of laagste eindgebruikerskosten heeft (zie hoofdstuk 6).

Bij een aantal wijkenanalyses zijn buurtinitiatieven betrokken. Zij gaven de lokale kennis van hun buurten en daarin voorkomende woningen mee. De resultaten uit de analyses zijn met hun besproken en hun bevindingen zijn meegenomen in het vervolg.

De gemeente heeft gekozen voor een gedetailleerde, lokaal verrijkte analyse om bovenstaande resultaten voor verschillende warmtevoorzieningen weer te geven. Het planbureau voor de leefomgeving (PBL) heeft een Actualisatie Startanalyse (ASA) ontwikkeld en gepubliceerd. Hierin staan, ook op gebiedsniveau, nationale kosten voor verschillende warmtetechnieken. De ASA van het PBL gebruiken we in dit rapport als toets om de resultaten van de Warmtetool te controleren en eventuele afwijkingen te verklaren (zie sectie 5.2). Dit voorkomt dat er kansen voor warmteoplossingen over het hoofd worden gezien.

2 Onderzoeksgebieden

In 2021 heeft gemeente Haarlem in haar Transitievisie Warmte (TVW) vastgelegd welke alternatieven voor aardgasvrij wonen er op dat moment per gebied de laagste TNK hadden. De gemeente heeft DWTM gevraagd om in een aantal gebieden* opnieuw warmteoplossingen te vergelijken (zie Tabel 1 en Figuur 1 Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.).

Voor de volgende gebieden wenste de gemeente een actualisatie:

1. gebieden die in de TVW zijn aangeduid als mogelijk warmtenet-gebied, en/of
2. gebieden die in de TVW groen gas (met hybride warmtepompen) als eindoplossing hebben, en/of
3. gebieden waar de komende jaren grootschalig onderhoud aan de openbare ruimte gepland is, en/of
4. gebieden waar buurtinitiatieven actief zijn op het gebied van duurzaamheid.

Onderzoeksgebieden*	Code	Buurtinitiatief
Rozenprieel	RP0	-
Houtvaartkwartier	HV0	Duurzaam Houtvaart
Koninginnenbuurt & Bos en vaart	KB4	De Groene Kroon
Haarlemmerhoutkwartier (Welgelegen & Zuiderhout)	WGN_ZH	Welgelegen
Garenkokerskwartier & Hasselaersbuurt	GK0	Duurzaam Garenkokerskwartier
Leidsebuurt	LB01	-
Woonwijken in Delftwijk, Vogelenwijk en Vondelkwartier (Haarlem-Noord)	HNT	-
Planetenwijk	PW0	De Groene Planeet
Kleverpark-noord	KPN01	Duurzaam Kleverpark
Generaalsbuurt	GB0	-
Patrimoniumbuurt	PB0	Patrimoniumbuurt
Frans Halsbuurt	FA	-
Indische wijk	IW01	-
Haarlem-Oost	HO0	-
Schalkwijk	S0	Belangenvereniging BEOspaan

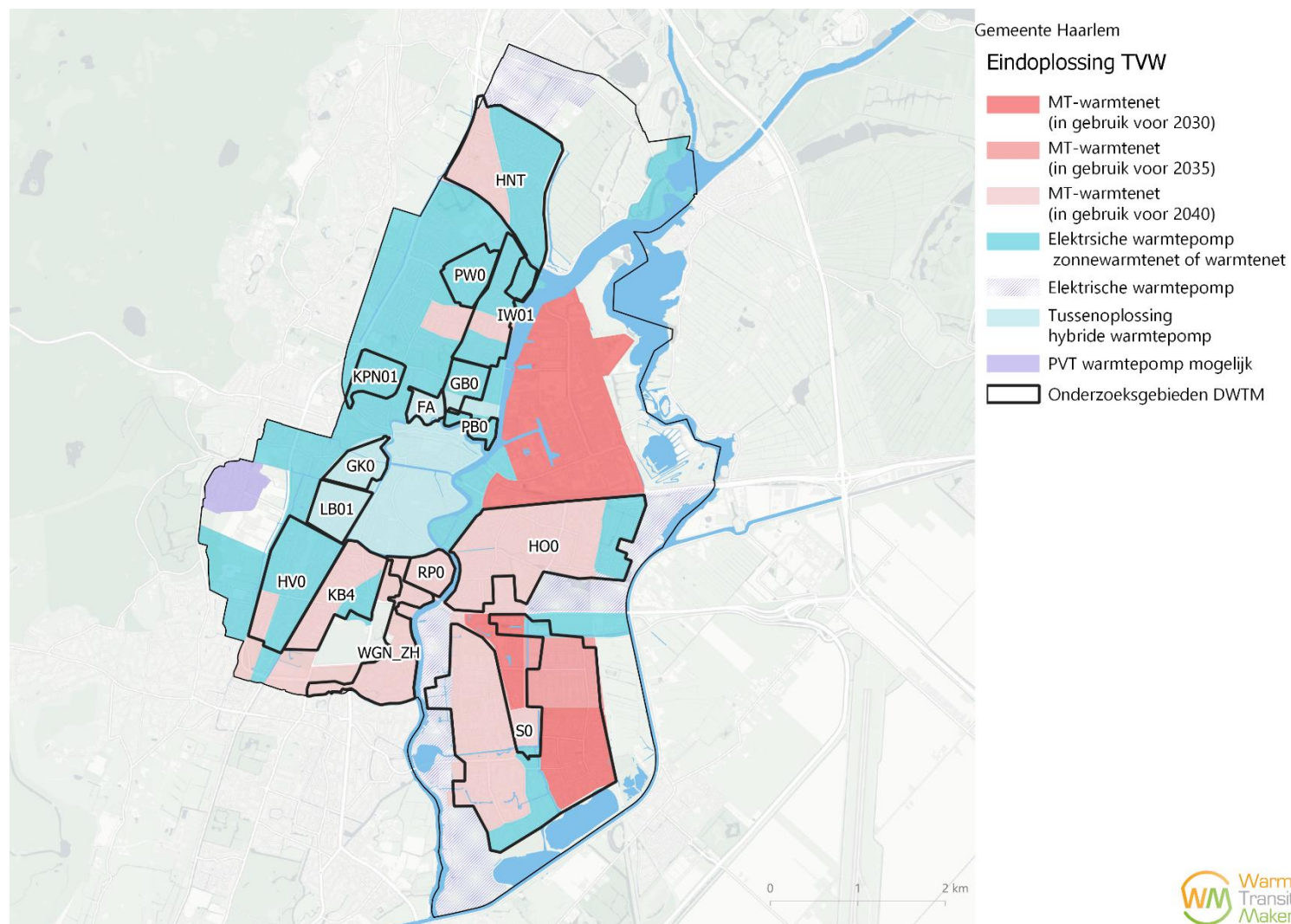
Tabel 1 Onderzoeksgebieden wijkanalyses (naam, code/afkorting, actief buurtinitiatief)

Motivatatie selectiecriteria buurtselectie

De criteria zijn om de volgende reden geselecteerd

1. **Warmtenet-gebied in TVW:** kosten voor de realisatie van warmtenetten hebben zich de afgelopen jaren ontwikkeld. Een update van de vergelijking van nationale- en eindgebruikerskosten van verschillende warmteoplossingen is daarmee gewenst. Daarnaast is de aanleg van een warmtenet een zeer grote investering en moet zo'n beslissing goed gemotiveerd worden genomen.
2. **Hybride warmtepomp groen gas in TVW:** groen gas en andere hernieuwbare gassen zijn niet beschikbaar voor individuele woningverwarming. Andere sectoren (bv. industrie en mobiliteit) hebben geen of minder goede alternatieven voor fossiele brandstoffen en maken zo meer aanspraak op het gebruik ervan. De verwachte hoge prijzen van groen gas maken deze warmteoplossing niet concurrerend met andere warmteoplossingen. Dit tezamen heeft de rijksoverheid doen besluiten de inzet van groen gas voor individuele woningverwarming af te raden. De gemeente Haarlem onderzoekt alternatieve warmteoplossingen voor de gebieden waar in de TVW 'hybride warmtepomp met groen gas' als eindoplossing werd voorzien.
3. **Grootschalig onderhoud openbare ruimte:** in gebieden waar de komende jaren grootschalig onderhoud aan de openbare ruimte wordt voorzien, is het van belang te weten wat de verwachte toekomstige warmtevoorziening van dat gebied is, zodat hiermee rekening gehouden kan worden bij de uitvoering: een zogenaamde 'koppelkans'.
4. **Gebied met buurtinitiatief:** In Haarlem zijn veel bewonersinitiatieven actief op het gebied van duurzaamheid en de energietransitie. Deze bewoners hebben veel kennis en zijn erg waardevol om samen mee op te trekken. De gemeente moedigt deze initiatieven aan en voorziet hen graag van up to date informatie over de kosten van verschillende warmtetechnieken.

* Let op dat de onderzoeksgebieden of hun benamingen niet overal overeenkomen met CBS-buurtten.



Figuur 1 Onderzoeksgebieden van de wijkanalyses. Op de achtergrond: eindoplossing per gebied zoals aangegeven in de TVW van 2021.

3 Warmteoplossingen

3.1 Warmteoplossingen

Per onderzoeksgebied zijn verschillende warmteoplossingen doorgerekend. Deze vallen in drie hoofdtechnieken:

- **Warmtenetten (Wnet)**
Een warmtenet brengt warmte van een centrale warmtebron naar gebouwen. Een midden-temperatuur (MT) warmtenet levert warmte op 70°C bij de woningen via een afleverset. De warmte is direct inzetbaar voor ruimteverwarming en warm tapwater. De gebouweigenaar hoeft niet per se verregaand te isoleren, al biedt extra isoleren wel meer comfort en een lagere energierekening. Een lage-temperatuur (LT) warmtenet levert warmte op 50°C bij de woningen. Hierbij is het wel nodig voldoende te isoleren en/of het afgiftesysteem aan te passen. Daarnaast is er een extra installatie nodig voor het bereiden van warm tapwater.
- **Bronnetten (Bnet)**
Een bronnet brengt warmte op de temperatuur van een open bodembron (warmte-koude opslag of WKO) naar gebouwen. Deze warmte van ca. 20°C is niet direct inzetbaar voor ruimte- en tapwaterverwarming. Daarom moet deze nog binnen de gebouwen worden opgewaardeerd naar bijvoorbeeld 50°C om nuttig te zijn. Dit doet een water-waterwarmtepomp. Ook is een boiler vat voor tapwater nodig, net zoals bij andere LT-oplossingen. Dit energiesysteem kan tevens efficiënt koelen. Ook de efficiëntie van verwarming is hoger dan bij individuele oplossingen. Wel moet de isolatie en het afgiftesysteem daarvoor geschikt zijn en moet het elektriciteitsnet meestal worden verzwakt om deze oplossing mogelijk te maken. De bron voor een bronnet zorgt voor het in balans houden van de WKO.
- **Individuele oplossingen (Ind)**
Bij deze oplossingen neemt elk gebouw een eigen warmtepomp met een individuele bron, zoals de buitenlucht (luchtwarmtepomp (LWP), met een buiten-unit) of de bodem (bodemwarmtepomp (BWP), met een bodemlus). In de woning is naast de warmtepomp ook een boiler vat nodig. Een individuele warmtepomp werkt het meest efficiënt wanneer deze warmte opwekt tot maximaal 55°C. Hierdoor is een juiste combinatie van goede isolatie en een geschikt afgiftesysteem nodig. Het elektriciteitsnet moet meestal ook verzwakt worden.

Ook is er in elk onderzoeksgebied een aardgasreferentie doorgerekend met HR cv-ketels.

In onderstaand overzicht (Figuur 2) staat welke bronnen bij de verschillende technieken per onderzoeksgebied zijn doorgerekend. Deze keuze is gebaseerd op

- de bronnenstrategie van gemeente Haarlem van 2021;
- welke bronnen voldoende dichtbij gelegen zijn;
- een juiste verhouding tussen de warmtevraag en de bronpotentie. Zo zetten we een geo- of datathermiebron bijvoorbeeld enkel in voor grote onderzoeksgebieden omdat die veel bronpotentie hebben.

3.2 Warmtebronnen

Geothermie

Warmte van 0,5 tot 4 km diepte kan direct worden ingezet voor verwarming van gebouwen. Uit het rapport 'Potentieonderzoek geothermie Noord-Holland en Flevoland' (IF Technology) blijkt de Formatie van Slochteren een geschikt zandpakket. In deze formatie zijn op andere locaties al operationele geothermiebronnen. De gemeente onderzoekt komende jaren de potentie en mogelijkheden voor geothermie.

Er worden twee varianten doorgerekend:

- Diepe geothermie, tussen 1.500 en 4.000 meter diep met een aanvoer temperatuur van 70°C (DiepGEO/DGEO)
- Ondiepe geothermie, tussen 500 tot 1.500 meter diep met een aanvoer temperatuur van 40°C: in de wijk wordt dit met een collectieve warmtepomp opgewaardeerd naar 70°C (OGEO)

Aquathermie

Bij aquathermie wordt warmte uit water gewonnen. In het geval van TEO is dat uit oppervlaktewater zoals grachten, rivieren, kanalen of plassen. Dit water is in de zomer het warmst (ca 20°C), daarom wordt de warmte opgeslagen in een ondergrondse warmte-koude opslag (WKO). In de winter wordt deze warmte weer uit de bodem gehaald.

	Warmtenet							Bronnet					Individueel		
	Diepe geothermie	Ondiepe geothermie	Aquathermie		Data center	Droge koeler		Collectieve luchtwarmtepomp	Aquathermie	PVT op dak		PVT op veld	Droge koeler	Luchtwarmte pomp	Bodemwarmte pomp
	Diep/DGEO	OGE0	TEO		DC/Data	DK/DRY		LWP	TEO	PVT/PVTdak/ZON/ZON(LbC)		PVT	DK	LWP	BWP
Afgiftetemperatuur	70	70	50	70	70	50	70	70	50	50	60	50	50	50	50
Rozenprieel	x					x	x						x	x	x
Houtvaartkwartier						x	x			x			x	x	x
Koninginnenbuurt & Bosch en vaart	x	x						x	x	x			x	x	x
Welgelegen & Zuiderhout	x		x	x					x	x				x	x
Garenkokerskwartier & Hasselaersbuurt				x					x	x				x	x
Leidsebuurt			x	x					x	x				x	x
Haarlem-Noord	x		x	x	x				x					x	x
Planetenwijk						x	x			x	x		x	x	x
Kleverpark-noord						x	x			x			x	x	x
Generaalsbuurt						x	x			x	x		x	x	x
Patrimoniumbuurt			x	x					x					x	x
Frans Halsbuurt			x	x					x					x	x
Indische wijk	x		x	x	x				x					x	x
Haarlem-Oost	x				x	x	x						x	x	x
Schalkwijk	x			x	x		x					x		x	x

Figuur 2 Onderzochte warmteoplossingen per onderzoeksgebied

De TEO bron wordt met de drie verschillende warmteconcepten gecombineerd. Deze combinatie wordt door de volgende afkortingen weergegeven.

- TEO | MT, warmtenet centraal opgewaardeerd met warmtepompen naar een afgiftetemperatuur van 70 graden in de woning.
- TEO | LT, warmtenet centraal opgewaardeerd met warmtepompen naar een afgiftetemperatuur van 50 graden in de woning met naverwarmer per woning voor warm tapwater.
- TEO | ZLT, bronnet decentraal opgewaardeerd in de woningen met een water-waterwarmtepomp naar 50 graden inclusief een boilervat voor warm tapwater.

Datathermie (datacenter)

Bij het uitkoppelen van datacenter restwarmte (DC) wordt warmte van ongeveer 30°C uitgekoppeld vanuit het datacenter. Deze restwarmte wordt vervolgens met warmtepompen opgewaardeerd naar het juiste niveau nodig voor het warmtenet.

Droge koelers

Bij een droge koeler (DK/DRY) wordt er thermische energie uit de lucht onttrokken. Door middel van droge koelers, oftewel grote ventilatoren in de buitenlucht, wordt warmte in de zomermaanden onttrokken aan de buitenlucht en opgeslagen in een warmte/koude opslag (WKO). Aandachtspunten zijn geluid, het vinden van een geschikte en voldoende ruimte voor de droge koelers. Daarnaast komt dit concept niet in aanmerking voor een SDE++subsidie.

Collectieve luchtwarmtepomp

Een collectieve, decentrale lucht-water warmtepomp kan duurzame warmte opwekken voor een warmtenet door thermische energie uit de lucht te onttrekken.

Deze warmtebron is relatief eenvoudig realiseerbaar wat betreft vergunningen en stakeholders. Belangrijke randvoorwaarden zijn een relatief grote elektra-aansluiting en de afstand (minimaal 25 meter) van de locatie van de warmtepomp tot de dichtstbijzijnde woning vanwege geluidshinder.

Een voorbeeld is het BES (Buurt Energie Systeem) concept van Alliander, waarbij de warmtepompen worden geleverd in prefab modules en het systeem modulair is uit te breiden. In Didam staat het eerste BES warmtenet in Nederland dat operationeel is. Op andere plekken wordt het systeem momenteel ontwikkeld.

PVT op dak (zonthermie)

Dit concept wordt momenteel onderzocht voor de Haarlemse buurt Ramplaankwartier. Hierbij wordt warmte uit PVT-panelen op de daken van gebouwen 'teruggeleverd' om één of meerdere WKO's te regenereren. Een PVT-paneel is een zonnepaneel waarin ook water wordt verwarmd door de zon. Daarnaast wordt ca. 40% van de opgewekte warmte direct gebruikt voor de woning zelf.

Om een *eerlijke* vergelijking tussen de verschillende warmteoplossingen te maken, zijn in de onderzoeken alleen de warmte-componenten van het PVT-paneel beschouwd. Kosten en opbrengsten van zonnestroom zijn niet meegerekend, en de investering is gebaseerd op het warmte opwekkingscomponent van de panelen.

PVT op veld (zonthermie)

Dit systeem werkt op dezelfde manier als bij PVT op dak, enkel staan de panelen op een veld (of andere plek bij elkaar) en niet op daken.

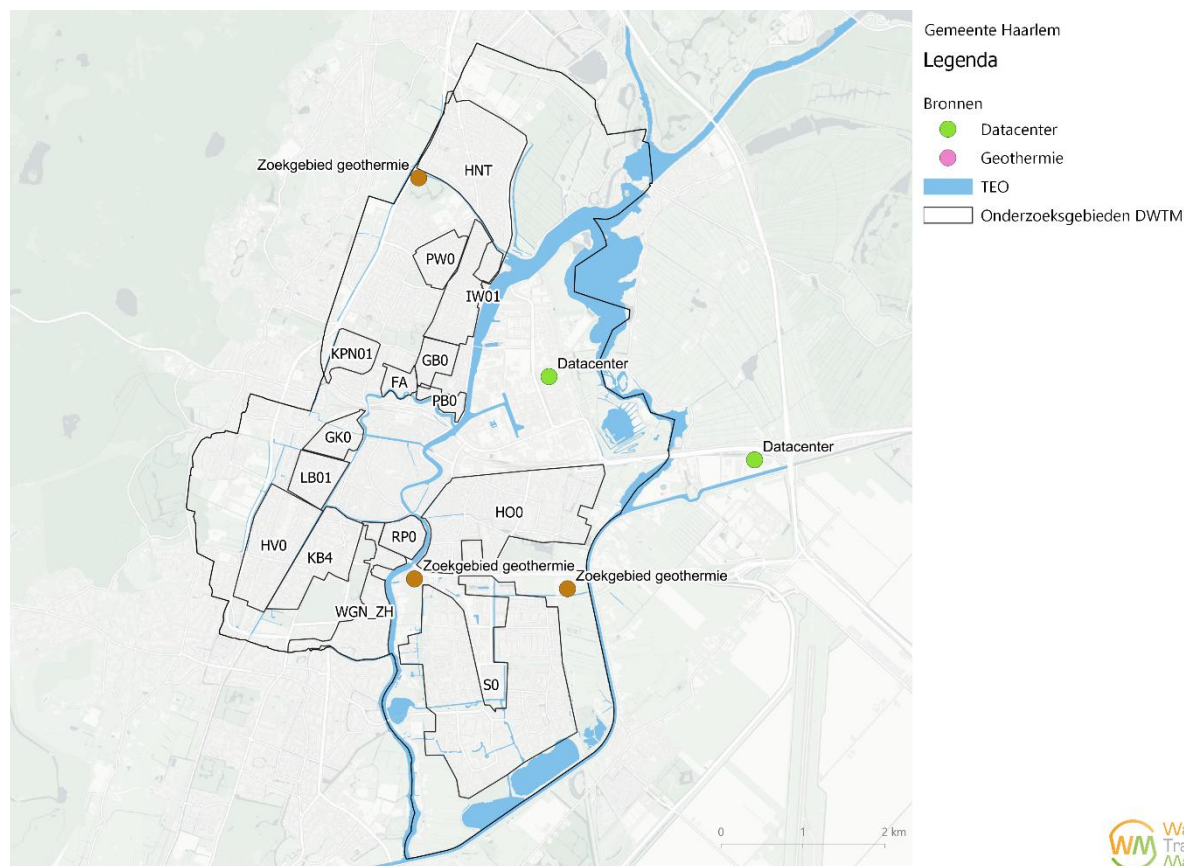
3.3 Bronnenstrategie

In 2021 heeft gemeente Haarlem een bronnenstrategie¹ vastgesteld voor het ontwikkelen en benutten van bronnen voor collectieve warmte. De twee hoofdpijlers van deze strategie zijn het ontwikkelen van geothermiebronnen en het toepassen van restwarmte van datacenters. Hiernaast wordt ruimte gegeven aan het onderzoeken en ontwikkelen van een Zonnewarmteconcept in Ramplaankwartier. Ook wordt erkend dat er andere bronnen zijn, zoals aquathermie, die in gemeente Haarlem mogelijk geschikt zijn.

Voor de wijkanalyses was dit het vertrekpunt voor welke warmtebronnen we in een onderzoeksgebied meenamen. Daarnaast keken we welke bronnen voldoende dichtbij gelegen zijn en de juiste verhouding tussen de warmtevraag en de bronpotentie hebben.

In de wijkanalyses zijn geo- en datathermie op de de grote hoofdclusters Schalkwijk, Haarlem-Oost en Haarlem-Noord toegepast. Voor alle clusters is – op basis van aanwezigheid of juist gebrek aan bronnen – een selectie uit de volgende bronnen gemaakt: aquathermie en maakbare bronnen zoals droge koelers, collectieve luchtwarmtepompen en zon op dak of veld doorgerekend (zie Figuur 2). In Figuur 3 zie je de locatie van de verschillende doorgerekende warmtebronnen (of hun zoekgebied). De maakbare bronnen kunnen op elke geschikte locatie worden geplaatst.

In juli 2025 is de bronnenstrategie gereviseerd in de Nadere uitwerking bronnenstrategie voor Warmteprogramma (juli 2025, De WarmteTransitieMakers). Hierin is aquathermie ook een hoofdpijler geworden.



Figuur 3 Overzicht van de geothermie zoekgebieden, de datacenters en de wateren waar TEO benut kan worden

¹ <https://gemeentebestuur.haarlem.nl/Vergaderingen/Besluitenlijst-BenW/2021/16-februari/10:00/Haarlemse-transitievisie-warmte/20210049560-3-Bijlage-1-bij-bijlage-1-Bronnenstrategie-Haarlem.pdf>

4 Methode en uitgangspunten

4.1 Warmtetool

De verschillende warmteoplossingen (hoofdstuk 3) zijn geanalyseerd met de Warmtetool. Dit is een rekenmodel waarmee de implicaties en effecten van verschillende duurzame warmtetechnieken voor specifieke gebieden kunnen worden vergeleken. Het rekenmodel houdt rekening met de karakteristieken van gebouwen, straten en andere elementen in de buurt.

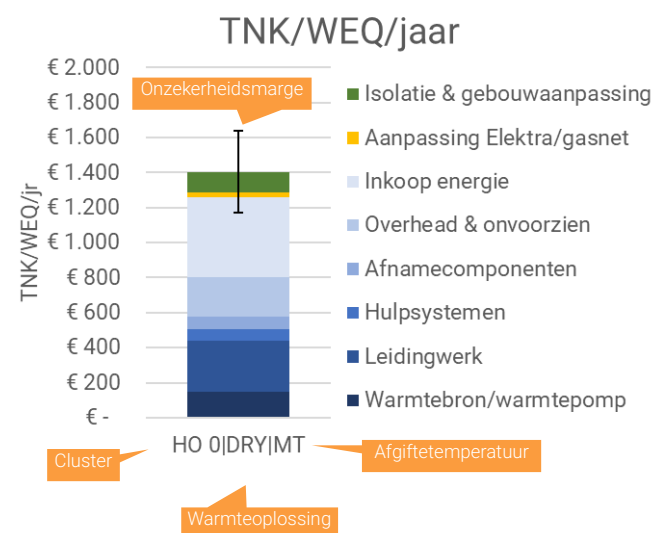
Per warmteoplossing hebben we de volgende resultaten per onderzoeksgebied (of cluster):

- **Totale nationale kosten (TNK)**
Alle nationale kosten, of directe maatschappelijke kosten, per woningequivalent (WEQ) per jaar, weergegeven in euro's.
- **Total cost of ownership (TCO)**
Ook wel eindgebruikerskosten genoemd; alle kosten voor de eigenaar-gebruiker per WEQ, per jaar, weergegeven in euro's.
- **CO₂-prestatie**
De hoeveelheid CO₂ die een warmteoplossing minder uitstoot ten opzichte van verwarmen met een cv-ketel op aardgas (percentage en in kilo/WEQ/per jaar).
- **Toename elektriciteitsvraag**
De hoeveelheid elektriciteit die een warmteoplossing verbruikt, weergegeven in kilowattuur (kWh), per jaar.
- **Toename netbelasting**
Het benodigde elektrische vermogen voor de warmteoplossing en de impact ervan op het laag-, midden- en hoogspanningsnet (of respectievelijk decentraal en centraal niveau). Ook wel de benodigde capaciteit van het laag-, midden- en hoogspanningsnet per warmteconcept, in kW.
- **Vergelijking met verwarmen met cv-ketel op aardgas op bovenstaande punten**

Totale nationale kosten

Nationale kosten zijn de totale kosten in Nederland van alle maatregelen die nodig zijn om een scenario uit te voeren, voor aanleg en gebruik, **ongeacht wie die kosten betaalt**, inclusief de baten van energiebesparing, maar exclusief binnenlandse kasstromen zoals belastingen, heffingen, subsidies en de warmterekening. Op deze manier kunnen concepten goed vergeleken worden op de maatschappelijke kosten.

De TNK is berekend over 30 jaar en teruggebracht naar een bedrag per woningequivalent (WEQ) per jaar. Deze kosten zijn verdisconteerd over de tijd. Dit wil zeggen dat er rekening gehouden wordt met de waarde van het product in de toekomst. Een WEQ is gelijk aan de gemiddelde woning in het gebied.



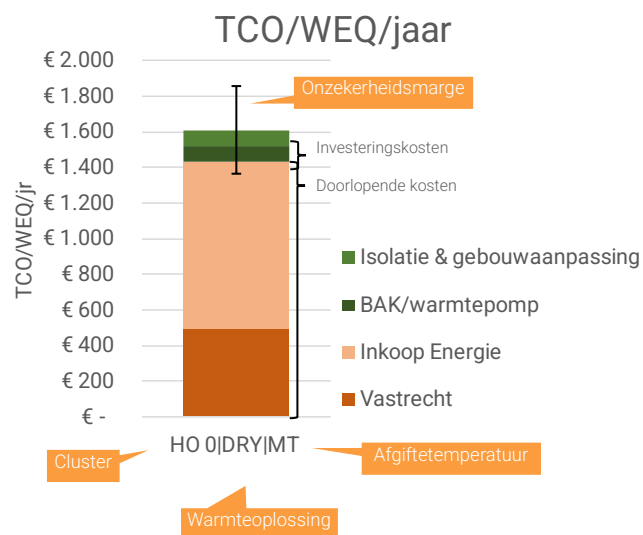
Figuur 4 Voorbeeld van de totale nationale kosten van een warmteoplossing

Total cost of ownership

Total cost of ownership kosten zijn de totale kosten die de eigenaar/gebruiker van een woning betaalt, inclusief btw en subsidies.

De kosten² voor de gebouweigenaar bestaan uit de investeringskosten voor bijvoorbeeld aansluiting op een warmtenet (BAK: bijdrage aansluitkosten), de investering van een warmtepomp en isolatiemaatregelen en de bijbehorende ISDE-subsidies. De kosten voor de eindgebruiker zijn de doorlopende kosten, ook wel de energierekening.

In de Warmtetoel is de bijdrage aansluitkosten (BAK) voor het warmtenet de sluitpost. Dit betekent dat dit getal zo wordt bepaald dat de business case sluit. Deze BAK zal in praktijk **niet** zo worden doorgerekend aan de afnemers.



Figuur 5 Voorbeeld van de total cost of ownership van een warmteoplossing

² Het kan zijn dat bijvoorbeeld een woningcorporatie haar investering verhaalt op haar huurders middels een huurverhoging. Dit effect zit niet verwerkt in de resultaten, maar kan in de werkelijkheid voor een andere kostenverdeling tussen eigenaar en gebruiker zorgen.

De BAK wordt door het warmtebedrijf bepaald en is afhankelijk van het bouwtype, de schaal van het gebied en subsidies voor het warmtebedrijf. In onze analyse kan de BAK ook een negatief getal zijn. In de grafieken geven we dit weer als 'netto TCO'. De netto TCO wordt weergegeven met het zwart streepje. De TCO is berekend over 30 jaar en teruggebracht naar een bedrag per WEQ per jaar. Deze kosten zijn verdisconteerd over de tijd. Dit wil zeggen dat er rekening gehouden wordt met de waarde van het product in de toekomst. Een WEQ is gelijk aan de gemiddelde woning in het gebied.

Wij hanteren dezelfde definitie voor de totale nationale kosten en eindgebruikerskosten als is opgenomen in het [Begrippenkader Warmtenetten](#). Deze is recent opgesteld door VIVET in samenwerking met overheden, warmtebedrijven, woningcorporaties en kennisinstellingen. Onze berekening sluit aan bij de methode zoals is beschreven in de [Werkwijzer Nationale Kosten](#) van PBL.

4.2 Methode

De Warmtetoel doorloopt de volgende stappen om een warmtesysteem voor een bepaald gebied te ontwerpen en begroten:

1. Woninganalyse

Eerst wordt het volgende in kaart gebracht voor de woningen in het gebied:

- Warmtevraag voor ruimteverwarming en tapwater
- Vereist energielabel voor de afgiftetemperatuur en de kosten om de labelsprong te maken
- Warmtevraag na isolatie

Hiervoor gebruiken we onze kengetallen en de Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG).

2. Warmtenet ontwerpen

Deze stap begint met een grof ontwerp van een warmtenet, van bron tot afnemer:

- Warmtebron
 - Investeringskosten en onderhoud warmtebronnen
 - Aansluitkosten elektriciteits- en gasnet
- Leidingwerk
 - Tracé-ontwerp en leidinglengte
 - Bronleiding
 - Primair en secundair tracé
 - Dimensioneren en begroten warmteleidingen
 - Onderhoudskosten
- Aflevercomponenten en hulpsystemen
 - Kosten afleverset
 - Kosten warmteoverdrachtstations en filters, waterbehandeling etc.
- Overhead en post onvoorzien
- Klantzijdige kosten

Er zijn een aantal kostenposten die door de afnemer betaald worden en die nodig zijn om gebruik te kunnen maken van een warmtenet, zoals isolatie, aanpassingen aan de ventilatie, aan het afgiftesysteem en kosten voor het inpassen van de warmtenet-aansluiting.

3. Individuele oplossingen

De kosten van een individuele oplossing bestaan uit:

- Aanschaf, installatie en onderhoud
- Jaarlijkse energie- en netbeheerkosten en energiebelasting
- Gebouw- en installatieaanpassingen
- Verzwaring elektra-aansluiting

4. Subsidies

De Warmtetoel rekent met een aantal verschillende subsidies, die vanuit de overheid uitgekeerd worden aan de warmte-exploitant of gebouw-eigenaar. Er zijn drie categorieën subsidies waar de Warmtetoel mee kan werken: exploitatiesubsidies (bijv. SDE++), investeringssubsidies (bijv. WIS en ISDE) en projectsubsidies (bijv. PAW).

5. Financiële analyse

In deze stap worden verschillende tijdsafhankelijke factoren verrekend, zoals inflatie, prijsontwikkelingen en warmtevraag reductie door klimaateffect.

De gebieden die we hebben doorgerekend zijn de onderzoeksgebieden zoals weergegeven in hoofdstuk 2. Ook is elk onderzoeksgebied in verschillende deelgebieden (of deelclusters) doorgerekend. Zo wordt gezocht naar een optimum voor de warmteoplossingen. De deelgebieden in Welgelegen & Zuiderhout, Haarlem-Noord, Haarlem-Oost en Schalkwijk zijn zodanig groot dat we de resultaten ook los presenteren in het volgende hoofdstuk.

Voor verdere verdieping op de methode zie bijlage A Methode en uitgangspunten.

Onzekerheidsmarge en significante resultaten

De resultaten komen uit een data-gedreven scenario-analyse. Op basis hiervan ontstaat een beeld van de kansrijkheid van verschillende technieken, maar kan geen sluitende conclusie geformuleerd worden over technische of economische haalbaarheid. Het gaat om indicatieve resultaten die om twee hoofdredenen een mate van onzekerheid met zich meebrengen:

1. data en kengetallen die we niet exact weten (zoals de warmtevraag per gebouw), en
2. aannames in bepaalde ontwikkelingen (zoals prijsontwikkelingen en participatiegraad bij collectieve systemen).

Dit betekent dat de resultaten vooral geschikt zijn om scenario's per gebied onderling te vergelijken. Om te beoordelen of het relatieve verschil tussen scenario's (dus; binnen hetzelfde onderzoeksgebied) **significant** is, dient rekening te worden gehouden met een marge van 20%. Bij de interpretatie van de resultaten als absoluut en op zichzelfstaand, dient rekening gehouden te worden met een onzekerheidsmarge van 40%.

Alle resultaten zijn gemiddelden op gebiedsniveau. Tussen individuele woningen, of individuele woningtypen zijn grote verschillen mogelijk.

4.3 Uitgangspunten

Hieronder staan een aantal uitgangspunten en aannames die in de analyses zijn toegepast. Zie de Methode en uitgangspunten in bijlage A voor een uitgebreider overzicht.

- Bij warmtenetten is uitgegaan van een participatiegraad van 80%;
- De piekvraag wordt voorzien door aardgasketels die op jaarbasis in 19% van de vraag voorzien;
- De looptijd van de berekeningen is 30 jaar. Restwaarde van investeringen na 30 jaar worden meegenomen als positieve kasstroom (sectie 2.5 in de bijlage Methode en uitgangspunten);
- Bij warmtenetten is uitgegaan van een redelijk rendement voor de exploitant, zijnde 4,23% voor de wijkanalyses die in 2023 zijn gestart en 5,2% voor de analyses die vanaf 2024 zijn gestart. De rendementen volgen het maximale rendement volgens de WIS. Dit bepaalt de aansluitbijdrage (BAK). De BAK is in de Warmtetoel de sluitpost van de business case en bepaalt daarmee de onrendabele top. De BAK in onze berekening staat niet gelijk aan wat de eindgebruiker daadwerkelijk moet betalen. Het is met name een indicator voor de rendabiliteit van de business case voor een exploiterend warmtebedrijf. In sommige resultaten van de analyses komt het voor dat er geen BAK benodigd is om het rendement te behalen. Wanneer er bij geen BAK nog steeds een hoger rendement wordt berekend dan 4,23% of 5,2%, wordt er een korting berekend op het warmtetarief;
- Energieprijzen zijn gebaseerd op de huidige energiemarkt en recent opgestelde prognoses voor de toekomst (peildatum voorjaar 2023 en 2024);
- Subsidies: WIS (leidingwerk bij warmtenet), SDE++ (warmtebronnen bij warmtenet) en ISDE (isolatie, warmtepompen en aansluiting warmtenet);
- Woningen en gebouwen worden niet altijd naar de Standaard³ geïsoleerd, maar naar wat nodig is voor het doorgerekende warmteconcept. Dit is voor midden temperatuur oplossingen (70 °C) minimaal schillabel D, en voor lage temperatuur oplossingen (50 °C) minimaal schillabel B;

³ De Nationale Isolatiestandaard is een energetische staat van volledig geïsoleerde woning. In het kort stelt de Standaard dat vooroorlogse woningen tot energielabel D en naoorlogse

- De kosten voor woningisolatie zijn in de onderzoeksgebieden waarin we samenwerkten met een bewonersinitiatief door hen gecontroleerd en zo nodig bijgesteld.

4.4 Gevoeligheidsanalyse

Voor de berekeningen zijn bepaalde aannames gedaan. Inputparameters als participatiegraad en energietarieven (zie vorige sectie) zijn als bepaalde waarde ingevoerd: de *default*-waarde. In de meeste onderzoeken zijn gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. Hiermee wordt de impact van deze en andere inputparameters op de resultaten onderzocht. Dit gebeurt door de analyses meerdere malen opnieuw uit te voeren waarbij we de *default*-waarde van de inputparameters één voor één veranderen naar een variatie.

Het resultaat is inzicht in

- hoeverre de resultaten afwijken wanneer een waarde van een inputparameter verandert,
- of het afwijken van resultaten voor alle warmteoplossingen geldt, of sterker geldt voor een bepaald (type) concept.

In Tabel 2 staan de variaties die we hebben doorgerekend. In de onderzoeksgebieden Leidsebuurt, Frans Halsbuurt en Indische wijk zijn geen gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. De wijkanalyse in Schalkwijk bevatte afwijkende gevoeligheidsanalyses, deels over andere deelclusters dan waar we hier de resultaten van tonen. Zodoende zijn de gevoeligheidsanalyses hier buiten beschouwing gelaten. De resultaten ervan staan weergegeven in het eindrapport van de wijkanalyse Schalkwijk.

woningen tot label A/B zijn geïsoleerd. (Meer informatie en bron: [Rapport standaard en streefwaardes bestaande woningbouw – Nieman \(februari 2021\)](#))

	Participatiegraad			Energietarieven			Rendementseis			Inzet piekvoorziening		Wamtenet investeringssubsidie	
	Variatie	Default	Variatie	Variatie	Default	Variatie	Variatie	Default	Variatie	Default	Variatie	Default	Variatie
Rozenprieel	60%	80%	100%	-25%	0%	+25%							
Houtvaartkwartier	60%	80%	100%	-25%	0%	+25%							
Koninginnenbuurt & Bosch en vaart	60%	80%	100%	-25%	0%	+25%		4,23%	6%	Aardgas	Elektrisch		
Welgelegen & Zuiderhout	60%	80%	100%	-25%	0%	+25%	3,2%	5,2%	7,2%	81%/19%	95%/5%		
Garenkokerskwartier & Hasselaersbuurt	60%	80%	100%	-25%	0%	+25%						Met WIS	Zonder WIS
Haarlem-Noord	60%	80%	100%	-25%	0%	+25%	3,2%	5,2%	7,2%	81%/19%	95%/5%		
Planetenwijk	60%	80%	100%	-25%	0%	+25%							
Kleverpark-noord	60%	80%	100%	-25%	0%	+25%	3,2%	5,2%	7,2%	81%/19%	95%/5%		
Generaalsbuurt	60%	80%	100%	-25%	0%	+25%							
Patrimoniumbuurt		Met VvE De pionier	Zonder VvE De pionier	-25%	0%	+25%							
Haarlem-Oost	60%	80%	100%	-25%	0%	+25%							

Tabel 2 Uitgevoerde gevoeligheidsanalyses

Participatiegraad

De participatiegraad kan veel invloed hebben op de businesscase van een warmtenet. Het maakt ook veel uit of de participatiegraad vóór of na de investering in het warmtenet duidelijk is. In deze gevoeligheidsanalyse wordt er vanuit gegaan dat de participatiegraad bekend is vóór de investeringen gemaakt worden. Hierdoor wordt er bij een hogere of lagere participatiegraad ook meer of minder geïnvesteerd in de warmtebron, opslag, piekopwekker en het leidingwerk (met name de aansluitleidingen).

Wanneer pas ná de investering de participatiegraad duidelijk is, is de kans groot dat er in sommige componenten van het warmtenet te veel is geïnvesteerd. Een voorbeeld hiervan is dat de leidingen en de warmtebron te groot zijn gedimensioneerd, wat extra kosten met zich meebrengt.

Energietarieven

De energiemarkt is erg onzeker. Een verschil in energietarieven kan veel invloed hebben op de businesscase van een warmtenet en ook op de eindgebruikerskosten bij individuele én collectieve concepten. In deze gevoeligheidsanalyse is er inzichtelijk gemaakt wat het effect is van 25% hogere én 25% lagere energiekosten ten opzichte van onze prognose.

Rendement

De rendementseis van het warmtebedrijf is een parameter die veel invloed kan hebben op het vaststellen van de tarieven en het berekenen van de BAK. De rendementseis is standaard 4,23%/5,2% (zie vorige sectie) in lijn met de eis van de RVO voor het aanvragen van de WIS. Er bestaan scenario's waarin het exploiterende warmtebedrijf een ander rendement rekent. Bijvoorbeeld wanneer de aanleg van het warmteconcept meer risico met zich meebrengt, of een buurtinitiatief dat het warmteconcept in eigen beheer neemt een lager rendement nastreeft. Daarom variëren we het rendement om het effect te berekenen. Let op: de hoogte van de WIS wordt bepaald aan de hand van default rendementseis van 4,23%/5,2%.

Inzet piekvoorziening

In de huidige analyse wordt gerekend met een opstelling waarin de basislast van het warmteconcept 81% van de warmte levert. De overige 19% is de piek- en back-up voorziening die in dit onderzoek gasgestookt is. Deze inrichting / verhouding is momenteel veelvoorkomend. Een inrichting met een andere verhouding (hogere basislast, lagere piek en back-up) is een stuk duurzamer. In sommige studies onderzoeken we een variatie op de verhouding die meer duurzaam is.

5 Resultaten

De resultaten en conclusies voor de verschillende wijkanalyses zijn in afzonderlijke rapportages opgemaakt (zie de Literatuurlijst in bijlage C). Hier geven we algemene en overkoepelende conclusies kijkend naar alle wijkanalyses. Daarna vergelijken we de resultaten met de Startanalyse van het planbureau voor de leefomgeving.

Uit de onderzoeken blijken een aantal algemene resultaten voor de typen energie-infrastructuur (individuele oplossing en warmtenet). Deze worden als volgt behandeld:

1. Totale nationale kosten en *total cost of ownership* - hoofdenergie-infrastructuur deelclusters en hoofdclusters
2. Warmteoplossingen binnen type hoofdenergie-infrastructuur
3. CO₂-prestatie
4. Benodigd vermogen elektriciteitsnet - centraal en decentraal
5. Gevoeligheidsanalyses

5.1 Algemene resultaten wijkanalyses

1.1 Totale nationale kosten en total cost of ownership – deelclusters

Figuur 6 en Figuur 7 laten zien in welke deelclusters een type warmteoplossing (individuele oplossing of warmtenet) significant het goedkoopst is qua totale nationale kosten en *total cost of ownership*.

- In slechts een beperkt aantal deelclusters komt een significant goedkoopste warmteoplossing uit de analyse naar voren op basis van totale nationale kosten of *total cost of ownership*. Oftewel; in veel gebieden liggen de kosten voor alternatieve warmteoplossing dicht bij elkaar (binnen

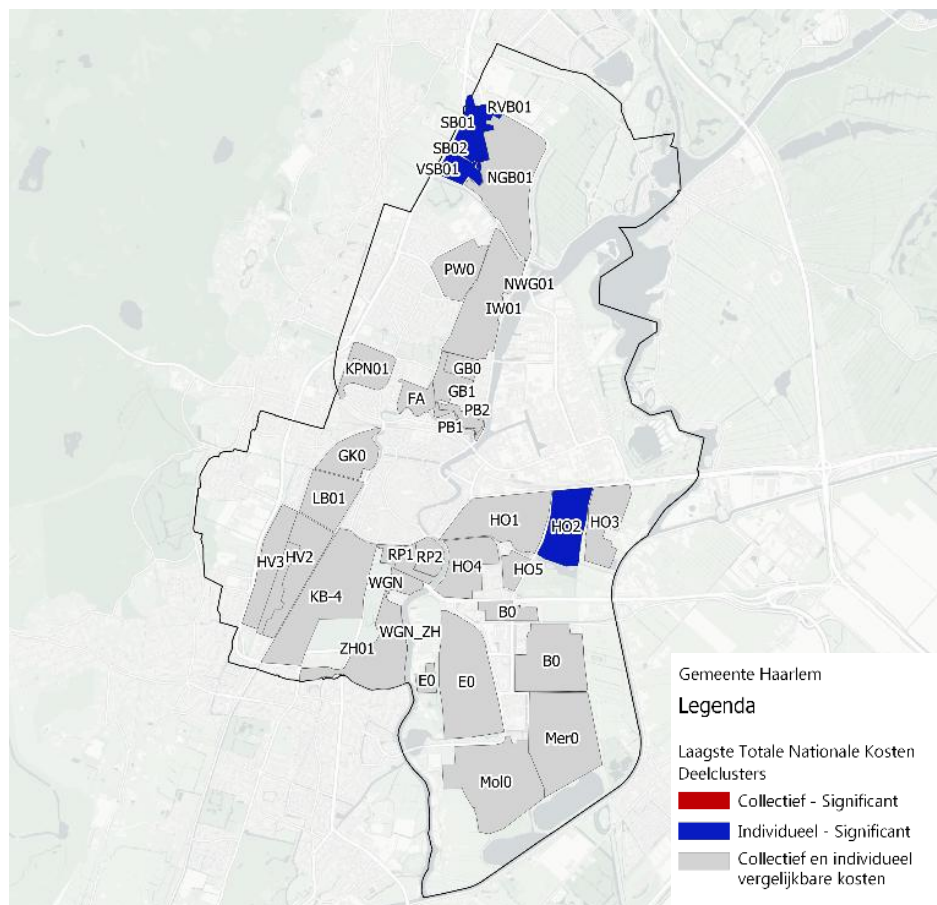
de onzekerheidsmarge van 20%). In de deelclusters waar een oplossing significant het goedkoopst is, is dit een individuele oplossing.

- Voor de meeste deelclusters hebben individuele oplossingen de laagste nationale kosten en/of *total cost of ownership* (niet significant). Voor enkele onderzoeksgebieden heeft een collectief systeem lagere kosten dan het individuele systeem.
- Het feit dat individuele oplossingen er in sommige buurten als significant goedkoopste warmteoplossingen uitkomen, heeft altijd met het type bebouwing van die onderzoeksgebieden te maken. De bebouwing is meestal een combinatie van goed geïsoleerde woningen, woningen vanaf de jaren '95 gebouwd en veel meergezinswoningen⁴. In de volgende clusters is de individuele oplossing significant de goedkoopste⁵:

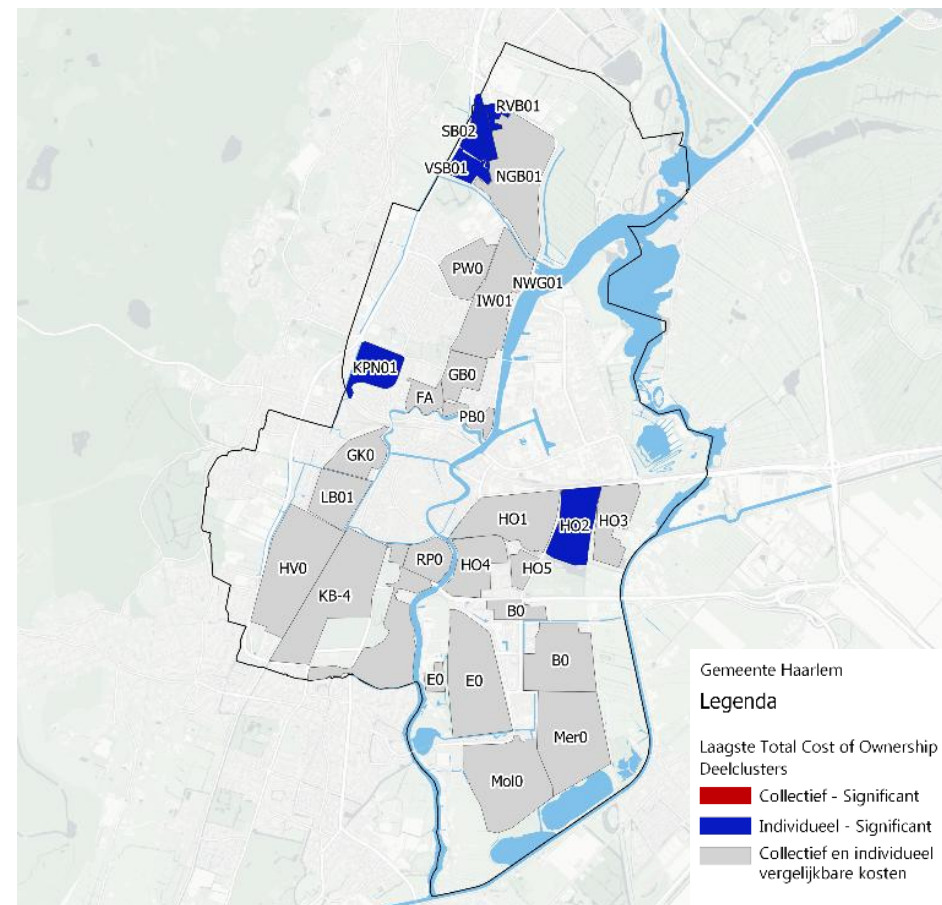
○ Roemer Visscherbuurt	RVB01	(TNK en TCO)
○ Schrijversbuurt 01	SB01	(TNK en TCO)
○ Schrijversbuurt 02	SB02	(TNK en TCO)
○ Van Schendelbuurt 01	VSB01	(TNK en TCO)
○ Architectenbuurt & Kunstschilderbuurt	HO2	(TNK en TCO)
○ Kleverpark-noord	KPN01	(alleen TCO)

⁴ In de wijkanalyses is voor meergezinswoningen bij scenario warmtepomp (LWP, of BWP) uitgegaan van een collectieve warmtepomp voor het gebouw. Dit is kostenefficiënter te realiseren dan individuele warmtepompen per wooneenheid.

⁵ Ook in kleinere gebieden binnen deelclusters Molenwijk (Mol0) en Europawijk (E0) in Schalkwijk is een individuele oplossing significant het goedkoopst (zie Figuur 10 in de conclusies).



Figuur 6 Overzicht van oplossing met laagste totale nationale kosten per deelcluster



Figuur 7 Overzicht van oplossing met laagste total cost of ownership per deelcluster

1.2 Totale nationale kosten en total cost of ownership – hoofdclusters

Figuur 8 en Figuur 9 laten voor de hele onderzoeksgebieden (hoofdclusters) zien waar een type warmteoplossing (individuele oplossing of warmtenet) significant het goedkoopst is op basis van totale nationale kosten en *total cost of ownership*.

- Er is op deze schaalgrootte in geen van de onderzoeksgebieden, behalve Kleverpark-Noord, een type warmteoplossing significant het goedkoopste;
- Wanneer schaalgrootte van doorgerekende clusters toeneemt en ook grootschalige bronnen (geo- en datathermie) worden toegepast, scoren collectieve warmteoplossingen beter dan bij de kleinere deelclusters op beide criteria. Dat laat zien dat de betaalbaarheid van collectieve oplossingen toeneemt naarmate het gebied groter wordt.
- Bij criterium totale nationale kosten scoren warmtenetten in de grootste onderzoeksgebieden (niet significant) beter dan de individuele oplossingen;
- Bij criterium *total cost of ownership* scoort de individuele oplossing iets, maar niet significant (<20%), beter dan warmtenetten in alle gebieden. Het verschil tussen de oplossingen is kleiner dan wanneer kleinere deelclusters beschouwd worden.

2. Warmteoplossingen binnen type hoofdennergie-infrastructuur

Binnen de twee typen hoofdennergie-infrastructuur zien we de volgende resultaten:

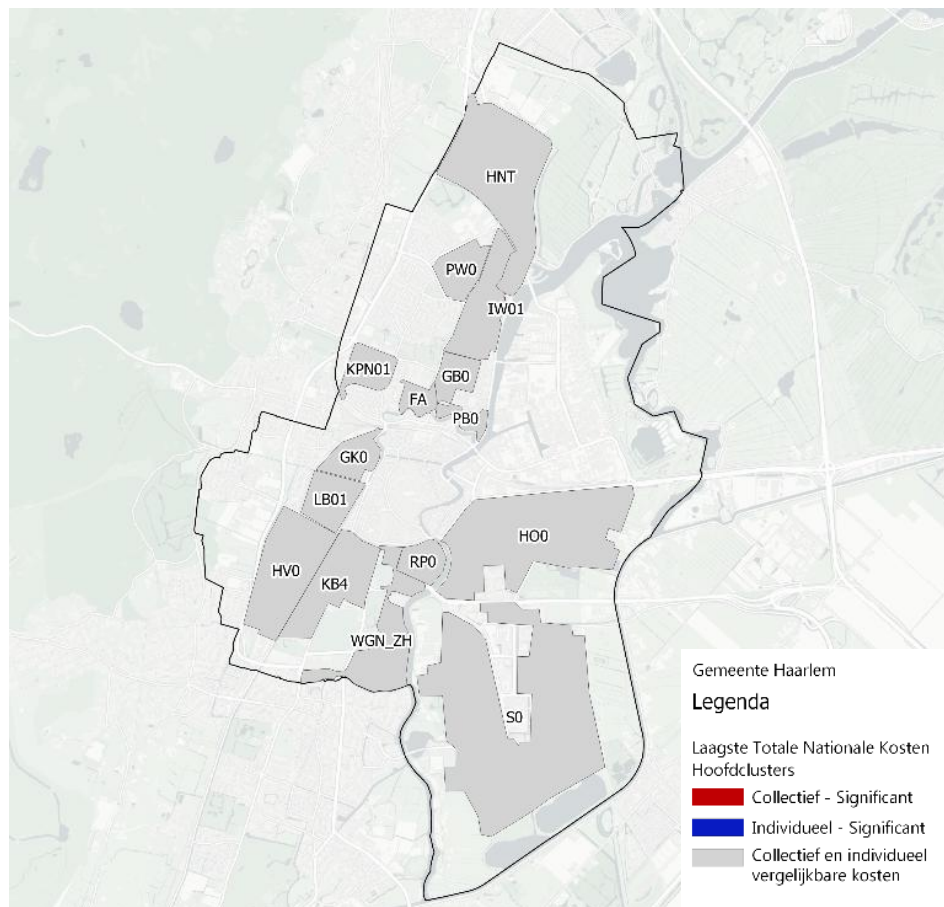
- Bij de individuele oplossing heeft de lucht-warmtepomp in elk onderzoeksgebied lagere kosten dan de bodem-warmtepomp.
- MT-warmtenetten op geothermie of aquathermie hebben in de meeste onderzoeksgebieden lagere kosten dan de warmtenetten op lagere temperatuur of andere bronnen. Uitzonderingen hierop zijn:
 - Houtvaartkwartier, Planetenwijk, Amsterdamsewijk, Zuiderpolder-noord & zuid, Kruisochtbuurt & Karolingenbuurt, Componistenbuurt; MT-warmtenet op droge koelers het goedkoopst (TNK en TCO)
 - Nachtegaalbuurt; MT-warmtenet op aquathermie het goedkoopst qua TNK, en LT-warmtenet op aquathermie het goedkoopst qua TCO

- Van Schendelbuurt; LT-warmtenet op aquathermie het goedkoopst (TNK en TCO)
- Kleverpark-noord en Generaalsbuurt; MT-warmtenet op droge koelers het goedkoopst qua TNK, en (Z)LT- warmtenet op droge koelers het goedkoopst qua TCO
- Architectenbuurt & Kunstschildersbuurt; ZLT- warmtenet op droge koelers het goedkoopst (TNK en TCO)
- Het verschil in resultaten tussen LT- en ZLT-warmtenetten is klein: een temperatuurregime is niet aanzienlijk goedkoper dan de ander.
- In de enkele deelgebieden waarbinnen LT- of ZLT-warmtenetten goedkoper zijn dan het MT-warmtenet is een significant deel van de bouwvoorraad naoorlogse bouw. Dit zijn gebouwen die goed 'isoleerbaar' zijn en daarmee goed gereed te maken zijn voor lage temperatuur warmte. Dit geldt ook voor een aantal van de meergezinswoningen in het gebied. De extra isolatiestap is in dat geval goedkoper dan de duurdere energierekening voor 30 jaar. Dit kunnen de verklaring zijn voor de positievere uitkomst voor een (Z)LT-warmtenet. Let wel: in al deze gebieden
 - Is de luchtwarmtepomp – al dan niet significant – het goedkoopst
 - zijn verschillen tussen de goedkoopste collectieve concepten – zeker bij TCO – klein.

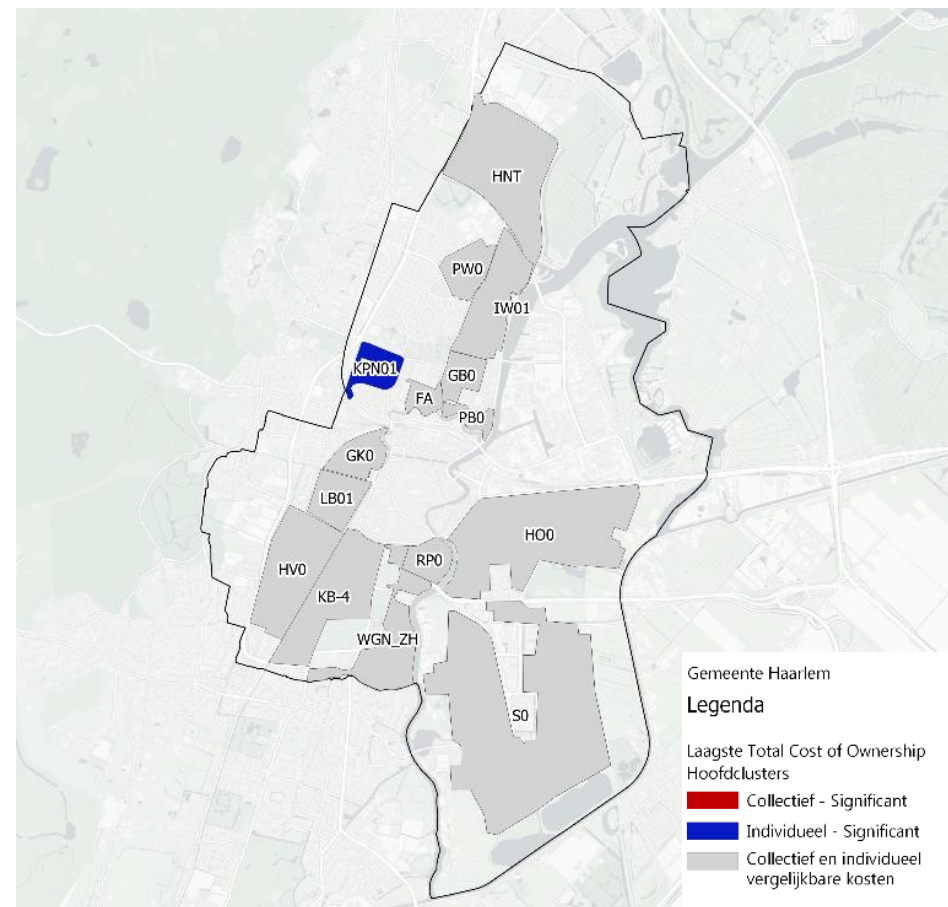
3. CO₂-prestatie

De individuele LT- en collectieve ZLT-oplossingen hebben de hoogste CO₂-besparing (~87-92% ten opzichte van een individuele HR ketel). Collectieve LT-oplossingen scoren gemiddeld (~74-76%), gevolgd door diepe geothermie (MT; ~67%). De collectieve MT-concepten (DC, TEO, DK) scoren het laagst op dit criterium (60-61%).

Deze emissiereductie is van twee factoren afhankelijk: het gasverbruik van de piekinstallatie en het elektriciteitsverbruik van de warmtebron- en distributiepompen. De individuele LT- en collectieve ZLT-oplossingen hebben geen piekinstallatie op aardgas en hebben daarom een hoge besparing. Verder verbruiken LT-oplossingen minder elektriciteit om de warmte op te waarden, omdat deze op een lagere temperatuur werken, dan een MT-oplossing.



Figuur 8 Overzicht laagste totale nationale kosten hoofdclusters



Figuur 9 Overzicht laagste total cost of ownership hoofdclusters

De collectieve MT oplossingen hebben de laagste reductie doordat deze systemen zowel een piekinstallatie hebben, als een hoger verbruik door een hogere opwaardeer temperatuur. Diepe geothermie heeft geen elektriciteitsverbruik voor het opwaarderen van de warmte, wel voor de bron- en distributiepompen. De uitstoot bij diepe geothermie komt door bijvangst bij de bron en aardgasverbruik van de piekinstallatie.

In de toekomst kunnen aardgas piekinstallaties worden vervangen door elektrische of op basis van klimaatneutrale gassen. Ook wordt de elektriciteitsmix steeds groener, zodat de CO₂-prestatie van de verschillende oplossingen steeds beter wordt en dichter bij elkaar komen te liggen. Op termijn wordt de CO₂-prestatie van de warmteconcepten dus nagenoeg gelijk. Om relatief snel grote hoeveelheden gebouwaansluitingen op het warmtenet te realiseren – hetgeen flinke vermindering van CO₂-uitstoot betekent – kan een strategie waarbij MT-warmtenetten wél gebruik maken van piek- en back-up-voorziening op aardgas een duurzame strategie zijn.

4. Benodigd vermogen elektriciteitsnet - centraal en decentraal

De individuele LT- en collectieve ZLT-oplossingen hebben met name een effect op het decentrale laagspanningsnet, de collectieve oplossingen op het middenspannings- of hoogspanningsnet. De precieze effecten op het lokale elektriciteitsnet zijn echter moeilijk in kaart te brengen.

De individuele lucht-waterwarmtepomp, die in veel clusters de laagste TNK en TCO heeft, drukt het zwaarst op het elektriciteitsnet. Ook voor een collectieve ZLT-oplossing is veel vermogen nodig op het decentrale net, maar minder vergeleken met de lucht-waterwarmtepomp.

De collectieve LT oplossingen hebben door de productie van warm tapwater in de woningen een klein maar aanwezig effect op het laagspanningsnet. De collectieve MT-oplossingen hebben op het centrale vermogen een grote invloed. Door het gelijktijdigheidsvoordeel van warmtenetten is het benodigde vermogen van een MT-oplossingen een stuk lager dan een individuele oplossing. De laagste vermogensvraag komt voor bij een diepe geothermie warmtenet. Omdat de bron al geschikt is voor het verwarmen van woningen hoeft deze niet met extra energie te worden opgewaardeerd.

5. Gevoeligheidsanalyse

Zoals beschreven in sectie 4.4 hebben we in de meeste wijkanalyses gevoeligheidsanalyses uitgevoerd.

De *default* participatiegraad bij een collectieve oplossing is 80%, en varieerden we tussen 60% en 100%. Dit invloed is echter gering en leidt niet tot aanzienlijk andere resultaten in totale nationale kosten en eindgebruikerskosten tussen de warmteoplossingen. Enkel een midden temperatuur-warmtenet op geothermie laat een grotere gevoeligheid zien op de participatiegraad, door de grote bronkosten. Verder laat de analyse zien dat een daling in participatiegraad een groter effect heeft op een stijging van de TNK en TCO vergeleken met een stijging van de participatiegraad. Het kosteneffect is dus groter wanneer de participatiegraad lager uitvalt. Dit komt omdat de vaste kosten door een kleinere groep gedeeld worden.

Let op dat in de gevoeligheidsanalyses er vanuit wordt gegaan dat de participatiegraad bekend is vóór de investeringen gemaakt worden. Hierdoor wordt er bij een hogere of lagere participatiegraad ook meer of minder geïnvesteerd in het systeem. Het effect op de kosten is uiteraard veel groter wanneer de participatiegraad bekend is nadat de investeringen zijn gemaakt.

De rendementseis van het warmtebedrijf is een parameter die veel invloed heeft op de business case en daarmee op de TCO. Het rendement wordt gegenereerd bij kasstromen. Kasstromen zijn geen onderdeel van de TNK, en beïnvloedt dit hierdoor niet. Een hogere rendementseis zorgt wel voor een hoger tarief en een hogere BAK (of onrendabele top). Om de rendementseis te variëren hebben we de WIS-subsidie vastgezet op het maximale rendement van RVO (4,23% of 5,2%). Vervolgens hebben we het subsidiebedrag toegevoegd en de rendementseis gevarieerd (van 4,23% naar 6%, en van 5,2% naar 3,2% en 7,2%). Het verlagen van de rendementseis maakt dat de TCO van een collectieve oplossing in sommige gevallen lager wordt dan de individuele oplossing. Ook zorgt het verhogen dat het verschil tussen collectief en individueel in sommige gevallen significant wordt. De invloed is dus groot.

De energietarieven zijn erg volatiel gebleken de afgelopen jaren. Systemen met een lager energieverbruik zijn minder vatbaar voor deze schommelingen, zoals geothermie. Alle systemen waar de warmte van de bron moet worden opgewaardeerd (individueel all-electric, collectieve systemen met collectieve of individuele warmtepompen) zijn sterk afhankelijk van schommelingen in de elektriciteitsprijs. Collectieve systemen vullen daarentegen ook ongeveer 20% van de warmtevraag in met gas dus hebben ook een (kleiner) effect van variatie in de gasprijs.

Variatie van de energieprijzen leidt bij totale nationale kosten niet tot aanzienlijk andere resultaten tussen de verschillende warmteoplossingen, in eindgebruikerskosten ontstaat er in sommige gevallen wel een significant verschil. Bij de eindgebruikerskosten wordt de gevoeligheid van de energietarieven vergroot bij systemen waar het warmtebedrijf een bepaalde rendementseis heeft (midden en lage temperatuur-warmtenetten). Met buffering kunnen schommelingen in de dagprijs van energie goed opgevangen worden. Dat is geen uitgebreid onderdeel geweest van deze studie.

Uit de gevoeligheidsanalyse volgt dat het voor de betaalbaarheid van collectieve systemen van belang is om een hoge participatiegraad te behalen, een laag rendement voor het warmtebedrijf te hanteren en warmtebuffers in het systeem aan te leggen.

5.2 PBL startanalyse

In de wijkanalyses zijn we in een lokaal verrijkte analyse met de Warmtetoel tot bovenstaande resultaten gekomen. Het planbureau voor de leefomgeving (PBL) heeft een Actualisatie Startanalyse (ASA) ontwikkeld waarin, ook op gebiedsniveau, nationale kosten voor verschillende warmtetechnieken worden weergegeven. De ASA van het PBL gebruiken we als toets om de resultaten van de Warmtetoel te controleren en eventuele afwijkingen te verklaren.

Uitkomsten van de warmtetoel komen grotendeels overeen met de Startanalyse

De voorkeursoplossingen die uit de Warmtetoel-analyse komen op basis van nationale kosten hebben we vergeleken met de resultaten van de Startanalyse van

het Planbureau voor de Leefomgeving. De resultaten van de modellen liggen voor het grootste deel van de buurten dicht bij elkaar. Uitgangspunten en kengetallen zijn ook vergelijkbaar, maar een aantal kleine verschillen leidt ertoe dat de Startanalyse vaker naar een collectieve oplossing neigt dan de Warmtetoel. Bijvoorbeeld, de Startanalyse gaat uit van 100% deelname aan een warmtenet, waar de Warmtetoel uitgaat van 80%.

Verschillen tussen de twee methoden vallen binnen de onzekerheidsmarge

De verschillen zijn zelden significant, gegeven een 20% onzekerheidsmarge in de resultaten. Waar deze resultaten wel significant afwijken zijn ze te verklaren door de meer gedetailleerde, lokaal verrijkte aanpak van de Warmtetoel. De Startanalyse maakt gebruik van openbare data over warmtebronnen die niet altijd compleet of up-to-date zijn, en gebruikt als gebiedsindeling de CBS-buurtkaart. In de Warmtetoel hebben we in samenspraak met de gemeente een maatwerk clusterindeling gemaakt die beter past bij de realiteit van de warmtetransitie en er is in detail gekeken naar beschikbare warmtebronnen.

In de wijkanalyses kijken we in meer detail naar beschikbare warmtebronnen en de indeling van clusters

De Startanalyse deelt geautomatiseerd bronnen toe aan buurten, waardoor uit de resultaten komt dat er een warmtenet voor restwarmte van Tata-staal zou kunnen worden aangelegd die een klein aantal verspreide buurten in Haarlem van warmte voorziet. De inzet van restwarmte van Tata-staal voor een warmtenet dat reikt tot Haarlem is zeer onzeker, waardoor de gemeente ervoor heeft gekozen deze optie nu niet in berekeningen mee te nemen. Er is lokaal onderzocht welke bronnen wel beschikbaar zijn. Voor Haarlem is dit met name de mogelijkheid om geothermie in te zetten of restwarmte van datacentra. Deze verbetering van input in de Warmtetoel verklaart een groot deel van de verschillen en maakt dat de berekeningen van de Warmtetoel meer recht doen aan de praktijksituatie dan de meer abstracte berekeningen in de Startanalyse. In bijlage B van dit rapport zijn kaarten en tabellen opgenomen die per buurt laten zien hoe de uitkomsten van beide analyses overeenkomen of verschillen en hoe eventuele afwijkingen kunnen worden verklaard.

6 Conclusies & aanbevelingen

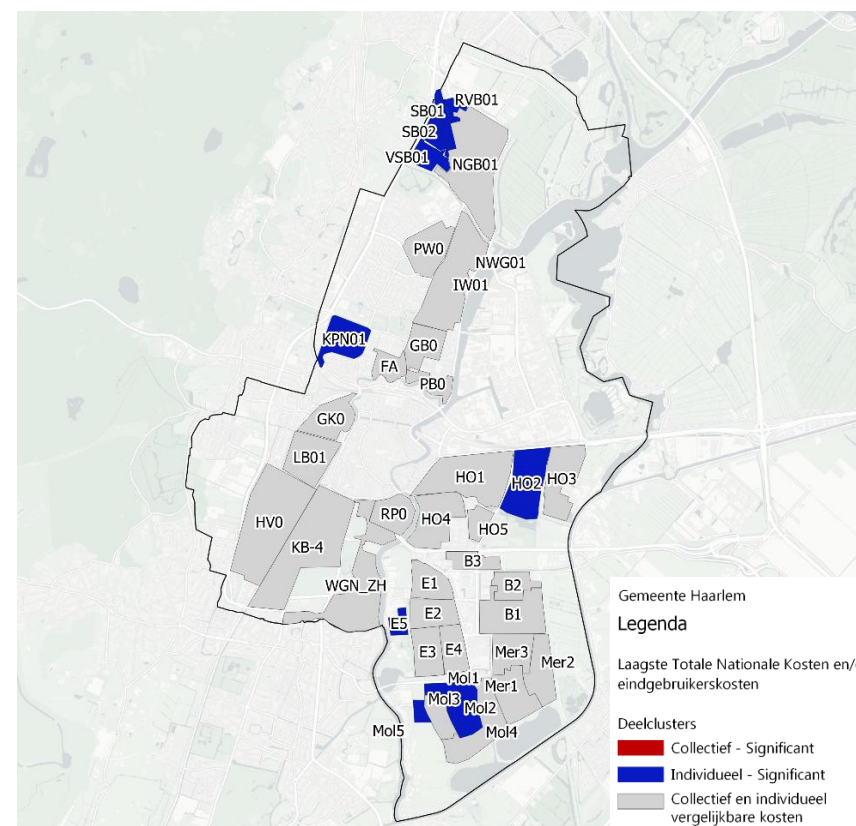
In dit analyserapport was de hoofdvraag: welke warmteoplossing heeft per gebied de laagste totale nationale kosten en/of eindgebruikerskosten in gemeente Haarlem? Hieronder beantwoorden we deze vraag en geven we aanbevelingen voor het vervolg.

6.1 Conclusies

In de blauwe gebieden in Figuur 10 heeft een individuele oplossing doorslaggevend⁶ de laagste kosten (totale nationale kosten en/of eindgebruikerskosten). Dit zijn:

Gebied	Clustercode	Doorslaggevend de laagste kosten in
Westelijke deel Roemer Visscherbuurt	RVB01	Nationale kosten en eindgebruikerskosten
Schrijversbuurt	SB01 en SB02	Nationale kosten en eindgebruikerskosten
Van Schendelbuurt	VSB01	Nationale kosten en eindgebruikerskosten
Kleverpark-noord	KPN01	Eindgebruikerskosten
Architectenbuurt & Kunstschildersbuurt	HO2	Nationale kosten en eindgebruikerskosten
Ontwikkelzone Molenwijk Noord/Waddenbuurt (noordelijke deel Molenwijk)	Mol1	Nationale kosten en eindgebruikerskosten
De Burgen (centrale deel Molenwijk)	Mol2	Nationale kosten
Westelijke deel Hondsbos-Dever (in Molenwijk)	Mol5	Nationale kosten
Zuidelijke deel Schoolnaer (westelijke deel Europawijk)	E5	Nationale kosten en eindgebruikerskosten

⁶ Het resultaat is doorslaggevend wanneer de kosten van twee oplossingen significant van elkaar verschillen. Het begrip significant wordt uitgelegd in sectie 4.2. Wanneer het verschil niet significant is, zeggen we dat de kosten vergelijkbaar zijn.



Figuur 10 Gebieden in Haarlem waar een warmteoplossing doorslaggevend lagere nationale kosten en/of eindgebruikerskosten heeft dan andere warmteoplossingen

In geen van de gebieden heeft een collectieve oplossing doorslaggevend de laagste kosten.

In de overige grijze gebieden zijn de kosten tussen individuele en collectieve oplossingen vergelijkbaar. Hierdoor kan in die gebieden geen goedkoopste oplossing worden aangewezen, en volgt hier ook geen voorkeursoplossing uit. Wel wordt duidelijk welke oplossingen per gebied interessant zijn verder te onderzoeken.

In deze gebieden hebben de individuele lucht-warmtepomp en een midden of lage temperatuur-warmtenet de laagste nationale kosten. En hier hebben individuele bodemwarmtepompen en zeer lage temperatuur-netten (bronnnetten) doorslaggevend de hoogste nationale kosten. In enkele gebieden hebben deze wel vergelijkbare eindgebruikerskosten met de andere warmteoplossingen.

Uit de wijkanalyses blijkt verder dat de kosten van collectieve oplossingen lager worden wanneer de schaalgrootte van het gebied en de bron toeneemt. Dit geldt zowel voor nationale kosten als eindgebruikerskosten.

Ten slotte hebben we de gevoeligheid van de resultaten op sommige aannames getest:

- Het variëren van de *participatiegraad* en de *inzet van de piek en back-up voorziening* zorgt niet voor aanzienlijk andere resultaten in totale nationale kosten en eindgebruikerskosten; de invloed van deze uitgangspunten is gering. Enkel een midden temperatuur-warmtenet op geothermie laat een grotere gevoeligheid zien op de participatiegraad.
- Een daling in *participatiegraad* bij een warmtenet heeft een groter effect op een stijging van de kosten vergeleken dan een stijging van de participatiegraad. Het kosteneffect is dus groter wanneer de participatiegraad lager uitvalt.
- De *rendementseis* van het warmtebedrijf heeft grote invloed op de eindgebruikerskosten van collectieve systemen, en kan tot aanzienlijk andere resultaten leiden.
- Variatie in *energietafzet* zorgt niet voor aanzienlijk andere resultaten in totale nationale kosten tussen de verschillende warmteoplossingen, in eindgebruikerskosten ontstaat er in sommige gevallen wel een doorslaggevend verschil. Variatie in energietarieven hebben de grootste invloed op de totale nationale kosten van collectieve systemen waar de warmte centraal wordt opgewaardeerd.

6.2 Aanbevelingen

Wanneer de gemeente voor alle onderzoeksgebieden een voorkeuroplossing wenst aan te wijzen, bieden deze onderzoeken geen uitsluit, maar geven wel aan welke warmteoplossingen interessant zijn verder te onderzoeken. Hier volgen enkele aanbevelingen voor het verder uitwerken van voorkeursoplossingen. Sommige punten heeft de gemeente al reeds vervolg aan gegeven.

Afwegingskader

De aanbeveling is om een beslismethodiek te ontwikkelen met draagvlak onder inwoners, ondernemers en professionele stakeholders, waarmee de keuze voor een voorkeursoplossing wel kan worden gemaakt. En daarin aanvullende criteria mee te nemen, zoals milieueffecten van de warmteoplossingen, mate van inpasbaarheid van installatie- en warmtetechnieken in openbare ruimte en ruimte in en om de woning, financiële draagkracht en denk- en doen-vermogen van inwoners, de koudevraag en behoefte aan koelmogelijkheid van de warmtetechniek.

- De gemeente heeft hier vervolg aan gegeven door het ontwikkelen van een afwegingskader met interne en externe stakeholders, en De WarmteTransitieMakers (zie het rapport Voorkeursoplossingen warmteprogramma). Ook is een plan mer doorlopen voor extra beslisinformatie voor de uitvoeringsplannen.

Grootschalig warmtenet

Een andere aanbeveling is om de mogelijkheid van een grootschalig warmtenet op midden temperatuur in de gemeente verder te onderzoeken. Het opschalen in gebiedsgrootte en aantal aansluitingen, en het inzetten van grootschalige bronnen zorgde voor een verbetering van de positie van een midden temperatuur-warmtenet ten opzichte van een individuele oplossing binnen de kostenvergelijkinganalyse.

- Ook hier heeft de gemeente reeds invulling aan gegeven. Dit door zich te laten adviseren over een te volgen kavelstrategie en een revisie van haar bronnenstrategie waarin warmtevraag en -aanbod op elkaar zijn afgestemd (zie het rapport Nadere uitwerking bronnenstrategie voor Warmteprogramma).

Bijzondere positie van de luchtwarmtepomp

De individuele oplossing – voornamelijk de lucht-warmtepomp – scoort in alle onderzoeken goed en heeft daarmee een bijzondere positie. Ons advies is om deze warmtetechniek in het vervolg – bijvoorbeeld een uitvoeringsplan in een wijk – altijd mee te nemen in de afweging (voor de gemeente, of voor de inwoner). Ook wanneer met het aanvullende afwegingskader in eerste instantie voor een collectieve warmteoplossing voor het gebied wordt gekozen. Zo kan de betaalbaarheid van verschillende (type) warmteoplossingen met elkaar worden vergeleken.

Inpassing en haalbaarheid warmtetechniek

Tenslotte benadrukken we dat in de wijkanalyses de verschillende warmteoplossingen enkel modelmatig zijn vergeleken op economische, technische en duurzaamheidscriteria. We adviseren om bij vervolgstappen óók aandacht te besteden aan inpasbaarheids- en haalbaarheidsvraagstukken. Denk aan vraagstukken als

- isoleerbaarheid, of het geschikt maken van gebouwen voor lage temperatuur;
 - voldoende ruimte in de woning voor installaties behorend bij de verschillende typen warmteoplossing;
 - voldoende ruimte in de openbare ruimte – zowel bovengronds als ondergronds – voor en voldoende tijd voor realisatie van energie-infrastructuur.
- De gemeente heeft reeds in diverse gebieden de inpassing van de verschillende warmteoplossingen in gebouwen onderzocht én onderzoekt wat in de openbare ruimte benodigd is voor realisatie van de warmtetechnieken

Bijlagen

A Methode en uitgangspunten
B Vergelijking Warmtetoel – Startanalyse
C Literatuurlijst

A. Methode en uitgangspunten

In deze bijlage worden de uitgangspunten en de methode van de wijkanalyses voor het warmteprogramma van de gemeente Haarlem toegelicht. De wijkanalyses zijn uitgevoerd met de Warmtetoel van DeWarmteTransitieMakers (DWTM). De Warmtetoel is een rekenmodel waarmee de technische en economische implicaties en effecten van verschillende duurzame warmtetechnieken voor specifieke gebieden kan worden vergeleken. Het rekenmodel houdt rekening met de karakteristieken van gebouwen, straten en andere elementen in de buurt. De analyses voor de verschillende buurten in Haarlem zijn uitgevoerd tussen 2023 en 2025. De Warmtetoel wordt continu geüpdatet. Dit betekent dat de uitgangspunten tussen versies kunnen verschillen. In dit memo zetten we de belangrijkste verschillen in uitgangspunten op een rij. Vervolgens wordt de werking van de Warmtetoel toegelicht. Daarnaast wordt de warmtetoel continu geüpdatet. Wijzigingen tussen versies van de warmtetoel worden tot slot toegelicht. Het memo is verdeeld drie hoofdstukken:

1. Algemene uitgangspunten
2. De werking van de warmtetoel
3. Toelichting wijzigingen tussen verschillende warmtetoelversies.

1 Algemene uitgangspunten

De uitgangspunten tussen de verschillende wijkanalyses worden naast elkaar weergegeven om de verschillen en overeenkomsten overzichtelijk weer te geven. De meeste belangrijke uitgangspunten zijn gelijk voor de meeste analyses. Daarnaast is het rendement van het warmtebedrijf en de energieprijzen van een verschillende peiljaar.

Tabel 1 Overzicht uitgangspunten Warmtetoelstandstudies

Uitgangspunt	Eenheid	Koninginne- buurt	Schalkwijk	Wijkanalyses 2023	Wijkanalyses 2024
Onderzoeksgebieden	-	Koninginne- buurt Bosch en Vaart	Schalkwijk	Gardenkokers- kwartier Generaalsbuurt Haarlem – Oost Houtvaart- kwartier Patrimonium- buurt Planetenwijk Rozenprieel	Haarlem Noord Haarlemmer- houtkwartier Kleverpark- Noord
Participatiegraad	%	80%	80%	80%	80%
Inzet piekbron	% van warmtevr aag	19%	19%	19%	19%
Looptijd berekening	Jaar	30	30	30	30
Rendement warmtebedrijf	%	4,23%	4,23%	5,20%	5,20%
Energieprijzen	Peildatum	Voorjaar 2023	Voorjaar 2023	Voorjaar 2023	Voorjaar 2024
Subsidies	-	SDE++, ISDE, WIS	SDE++, ISDE, WIS	SDE++, ISDE, WIS	SDE++, ISDE, WIS
Woningisolatie	-	MT → min. Label D LT → min. Label B	MT → min. Label D LT → min. Label B	MT → min. Label D LT → min. Label B	MT → min. Label D LT → min. Label B
PV panelen	-	Niet meegenomen	Niet meegenomen	Niet meegenomen	Niet meegenomen

2 Werking Warmtetoel

De werking van de warmtetoel is onderverdeeld in verschillende secties:

1. Woninganalyse – Hier worden de huidige warmtevraag en het vermogen van woningen berekend op basis van kengetallen voor ruimteverwarming en tapwater.
2. Warmtenet – Dit hoofdstuk bespreekt de verschillende warmtebronnen, de bijbehorende investerings- en onderhoudskosten, en de benodigde infrastructuur voor het aanleggen van warmtenetten.
3. Individuele Warmtepomp – De werking van individuele warmtepompen wordt behandeld, evenals de kosten en installatievereisten.
4. Subsidies – Een overzicht van de gebruikte subsidies..
5. Financiële Analyse – Hier wordt gekeken naar de tijdseffecten, herinvesteringen en de kosten en baten voor zowel de exploitant als andere actoren over de looptijd van het project.

Tussen de verschillende versies van de warmtetoel zijn andere kengetallen gebruikt omdat de Warmtetoel door de tijd heen updates krijgt. Verderop in het document wordt een onderscheid gemaakt tussen deze kengetallen middels de kengetal groep. Hieronder is een overzicht van de kengetal groepen. Er is wordt alleen gebruikgemaakt van de kengetal groep als er verschil in kengetal tussen versies van de warmtetoel is.

Kengetal groep	A	B	C
Warmtetoelversie	2.2.0	2.2.1	2.2.2
Onderzoeksgebieden	Koninginnebuurt Bosch en vaart Schalkwijk	Garenkokerskwartier Generaalsbuurt Haarlem-Oost Houtvaarkwartier Patrimoniumbuurt Planetenwijk Rozenprieel	Haarlem-Noord Haarlemmerhoutkwartier Kleverpark-Noord Indische wijk Frans Halsbuurt Leidsebuurt

2.1 Woninganalyse

In de woninganalyse wordt ingegaan op de huidige warmtevraag en vermogen, de afgiftetemperatuur bij verschillende labelsprongen en de resulterende kosten van de labelsprong.

2.1.1 Huidige warmtevraag en vermogen

Voor het bepalen van de huidige warmtevraag in de *Warmtetoel* wordt gerekend met kengetallen. DWTM heeft deze kengetallen zelf bepaald om een zo robuust en betrouwbaar mogelijke inschatting te maken van werkelijke warmtevraag. Er zijn aparte kengetallen voor de jaarlijkse warmtevraag en het piekvermogen van de ruimteverwarming, en voor de jaarlijkse warmtevraag en het vermogen van tapwater. De tool waarmee DWTM dit berekent heet de BAG verrijking, genoemd naar de landelijke database van het kadaster, De Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG). De BAG verrijking heeft gedurende het uitvoeren van de analyses een update gekregen. Een gedetailleerde beschrijving van de BAG verrijking en de updates worden beschreven in hoofdstuk 3.1

Warmtevraag woningen – ruimteverwarming

De berekening van de warmtevraag voor de ruimteverwarming van woningen volgt de volgende formule:

$$Q = a \cdot S + b$$

Met het gebruiksoppervlak van de woning in m^2 . De parameters a en b zijn afhankelijk van woningtype, energielabel en bouwjaar. Let op: later in dit document wordt expliciet onderscheid gemaakt tussen energielabel en schillabel. Voor de warmtevraag kengetallen werken we met het energielabel, aangezien de kengetallen bepaald zijn op basis van de onderverdeling hiernaar.

Om kengetallen te bepalen zijn we gestart van de kengetallen die worden gebruikt in de Startanalyse van de Leidraad voor gemeenten (versie 2020). PBL heeft voor het rekenmodel erachter (Vesta MAIS 5.0) een uitvoerige analyse gemaakt op werkelijke gasverbruiksdata in Nederland om tot een set van kengetallen te komen die de warmtevraag in alle buurten zo goed mogelijk voorspelt. Echter stelden wij in deze kengetallen nog een aantal onlogische trends vast. Zo is het mogelijk dat de warmtevraag van een kleine woning voor eenzelfde labelsprong minder afneemt dan die van een grote woning met verder dezelfde eigenschappen (bouwjaar, woningtype en uitganglabel).

Om die reden hebben wij de volgende regel opgelegd aan deze getallen: “Zowel het variabele als het vaste deel (a en b uit de formule hierboven) mogen binnen één typologie (woningtype + bouwjaar) niet lager worden voor slechtere labels.”

Warmtevraag woningen – tapwater

De tapwatervraag van een woning [GJ/jaar] wordt berekend met de volgende formule:

$$T = 2,7 * p$$

met p het aantal personen. Het aantal personen per woning is gebaseerd op de oppervlakte van de woning volgens ISSO 82.3.

Tabel 3 – Aantal personen en tapwatervraag per gebruiksoppervlakte categorie.

Gebruiksoppervlakte	Aantal personen	Tapwatervraag
< 50 m ²	1,4	3,8
50 - 75 m ²	2,2	5,9
75 - 100 m ²	2,8	7,6
100 - 150 m ²	3	8,1
> 150 m ²	3,2	8,6

Piekvermogen woningen

Piekvermogen ruimteverwarming

Het piekvermogen van ruimteverwarming in woningen wordt afgeleid van de jaarlijkse warmtevraag in combinatie met een inschatting van het aantal vollasturen. We gaan voor alle woningen uit van 1.300 vollasturen.

Piekvermogen tapwater

Het piekvermogen van woningen voor tapwater wordt standaard aangenomen op 26.2 kW, gelijk aan het vermogen van een CW4-klasse CV-ketel, wat de standaard is voor de meeste woningen in Nederland.

2.1.2 Afgifte temperatuur

De *Warmtetoel* rekent met vier varianten voor de afgiftetemperatuur. De afgiftetemperatuur is de aanvoertemperatuur van de afgiftesystemen in de gebouwen. De vier varianten zijn:

- 90 °C – het uitgangspunt is dat alle bestaande bouw zonder aanpassingen geschikt is voor 90 °C
- 70 °C
- 50 °C
- 40 °C

Voor deze studie is er gerekend met **70 °C** voor het middentemperatuur warmtenet. Lage temperatuur warmtenetten (LT), zeer lage temperatuur (ZLT) warmtenetten en individuele oplossingen zijn berekend met **50°C** afgiftetemperatuur.

Vereist schillabel voor elke afgiftetemperatuur

De *Warmtetoel* definieert voor elk van de **afgiftetemperaturen** een minimaal vereist **schillabel**. Dit wil zeggen dat wanneer een bepaalde afgiftetemperatuur geselecteerd wordt voor een scenario, de kosten voor alle schilverbeteringen worden meegenomen in de resultaten. Hieronder een overzicht van de vereiste schillabels per afgiftetemperatuur.

Afgiftetemperatuur	Vereist schillabel woningen	Vereist schillabel utiliteiten
70 °C	D	D
50 °C	A of B <i>afh. van bouwjaar & type (zie onder)</i>	A

De woningen die met label B verwarmd i.c.m. een afgiftetemperatuur van 50 °C verwarmd kunnen worden zijn:

- Vrijstaande woningen van 1975 t.e.m. 1991
- Hoekwoningen en twee-onder-één-kapwoningen van 1975 t.e.m. 1999
- Tussenwoningen van 1965 t.e.m. 1999
- Hoogbouw woningen na 1975

Kosten voor schillabelsprongen bij woningen

De **kosten** K voor een schillabelsprong van een gebouw wordt berekend aan de hand van de gebruiksoppervlakte S en twee parameters a en b via de volgende formule:

$$K = a \cdot S + b$$

De parameters a en b (hierna kortweg de *kengetallen* genoemd) zijn afhankelijk van **woningtype** (bij woningen) en **bouwjaar**, en uiteraard van het **huidige** en **te behalen schillabel**. Voor woningen levert dat een set van kengetallen op voor alle combinaties uit de volgende drie tabellen.

Bouwjaarklassen
< 1930
1930 – 1945
1946 – 1964
1965 – 1974
1975 – 1991
1992 – 1995
1996 – 1999
2000 – 2005
2006 – 2010
2011 – 2014
2015 – 2020

Schillabelsprongen
G, F, E ⁷ → D
G, F, E, D, C → B
G, F, E, D, C, B → A

Woningtypen
Vrijstaande woning
Hoekwoning/twee-onder-één-kapwoning
Tussenwoning
Hoogbouw woning

⁷ Voor elk van deze sprongen is een apart kengetal. Bijvoorbeeld: voor de sprong van G naar D, maar ook van F naar D etc.

Deze gebruikte kengetallen zijn:

- *inclusief* nodige isolatiemaatregelen aan vloer, gevel, dak, vervanging van glas en aanpassing van ventilatiesysteem (voor labels A en B).
- *exclusief* aanpassing afgiftesysteem naar LT-radiatoren of beter. Deze kosten worden apart berekend in de Excel-module van de *Warmtetoel*.

Voor het bepalen van de kengetallen is de basis de kengetallen voor labelsprongen die worden gehanteerd in de Startanalyse van de Leidraad, versie 2020. Deze komt overeen met de kengetallen uit het rekenmodel Vesta MAIS 5.0, ontwikkeld door PBL. Hoe deze set tot stand is gekomen wordt in onderstaande info-box toegelicht.

Kengetallen Startanalyse 2020/Vesta MAIS 5.0

De kengetallen in Vesta MAIS zijn afgeleid van bouwkundige kostenkengetallen voor schilmaatregelen van Arcadis (2019) ([link](#)), toegepast op modelwoningen uit het WoON-rapport 2018 ([link](#)). Beide datasets zijn ingevoerd in de Variatietool van ECN (een generieke toolkit voor statistische analyses) om gemiddelde kengetallen te produceren. De kengetallen van Arcadis bevatten een bandbreedte die is overgenomen in de statistische analyse en invulling geeft aan de min- en max-waarde in de Vesta MAIS kengetallen.

De gemiddelde kengetallen zijn door PBL onderworpen aan een handmatige toets op plausibiliteit voor modelwoningen van 30, 120 en 400 m². Er is geprobeerd om voor elke bouwjaar klasse (zie boven) een aparte set kengetallen te produceren. Een voorwaarde die hierop is gesteld is dat er minstens 10 datapunten per bouwjaar klasse moeten zijn om een voldoende accurate a en b te kunnen bepalen. Waar dit niet kon, zijn bouwjaar klassen samengevoegd. In extreme gevallen leidde dit tot eenzelfde set van kengetallen voor alle bouwjaar klassen. Ook is door PBL een handmatige correctie gebeurd om te voorkomen dat een labelsprong van G naar B goedkoper is dan van F naar B binnen één categorie.

Na deze analyse zijn kosten voor het aanpassen van het ventilatiesysteem (voor een voldoende gezond binnenklimaat) opgeteld bij de kengetallen. Rekenkundig komt het erop neer dat de b -parameter voor labelsprongen naar A en B verhoogd is met een vaste waarde (min: € 2605 per woning en max: € 2813 per woning).

Warmtevraag na isolatie

Bij een gemaakte schillabelstap hoort een nieuwe warmtevraag. De warmtevraag voor de ruimteverwarming gaat omlaag, de warmtevraag voor tapwater niet (deze is immers niet afhankelijk van de schilkwaliteit). De warmtevraag voor ruimteverwarming wordt op eenzelfde manier berekend als de warmtevraag vóór de labelsprong (dus in de uitgangssituatie), dus met kengetallen *a* en *b* die afhangen van gebouwtype en bouwjaar. De set van kengetallen voor deze berekening is gelijk aan de set van kengetallen voor de warmtevraag vóór de labelsprong met uitzondering van de oude gebouwen met een goed uitganglabel.

2.2 Warmtenet

Het hoofdstuk warmteneten bestaat uit een overzicht van kostenkengetallen van de warmtebronnen. Gevolgd door de methode van het leidingnetontwerp, de aflevercomponenten, overhead en klantzijdige kosten.

2.2.1 Warmtebronnen

Investeringskosten en onderhoud warmtebronnen

De investeringskosten van de verschillende warmtebronnen in het warmtenet hangen grotendeels af van de ontwerpcapaciteit van de bronnen. De totale investeringskosten van de bron worden vervolgens berekend a.h.v. de formule $K=a \cdot P+b$, waarbij *a* een kengetal is in €/kW en *b* een vaste waarde in €. Elke broncategorie heeft een eigen *a* en *b*, deze staan gespecificeerd in de Excel module van de Warmtetoel.

De jaarlijkse onderhoudskosten (jaarlijks, vast) worden op een gelijkaardige manier berekend, maar zonder vaste prijscomponent ($K=a \cdot P$). Ook deze kengetallen staan in de Excel module.

In deze studie zijn de onderstaande kengetallen gebruikt.

Warmtebron	Component	Eenheid	Kengetal groep A	Kengetal groep B	Kengetal groep C
Geothermie	Aanvoertemperatuur bron	°C	80	80	80
	CAPEX, vast	€	-	-	-
	CAPEX, variabel	€/kW	1979	1995	2.000
	Herinvestering na	Jaar	30	30	30
	Herinvestering %	%	-	-	-
	O&M	€/jaar/kW	139	140	140
	OPEX variabel	€/GJ	-	-	-
Datathermie	Aanvoertemperatuur bron	°C	30	30	30

	CAPEX, vast	€	-	-	-
	CAPEX, variabel	€/kW	247	249	249
	Herinvestering na	Jaar	15	15	15
	Herinvestering %	%	80	80	80
	O&M	€/jaar/kW	2,5	2,5	
	OPEX variabel	€/GJ	o.b.v. elektraprijzen	o.b.v. elektraprijzen	o.b.v. elektraprijzen
TEO	Aanvoertemperatuur bron	°C	20	20	20
	CAPEX, vast	€	175.500	177.000	177.500
	CAPEX, variabel	€/kW	124	125	125
	Herinvestering na	Jaar	15	15	15
	Herinvestering %	%	80	80	80
	O&M	€/jaar/kW	5	5	5
	OPEX variabel	€/GJ	o.b.v. elektraprijzen	o.b.v. elektraprijzen	o.b.v. elektraprijzen
Drycoolers	Aanvoertemperatuur bron	°C	18	18	18
	CAPEX, vast	€	-	-	-
	CAPEX, variabel	€/kW	95	95	96
	Herinvestering na	Jaar	15	15	15
	Herinvestering %	%	80%	80%	80%
	O&M	€/jaar/kW	0,9	1,0	1,0
	OPEX variabel	€/GJ	o.b.v. elektraprijzen	o.b.v. elektraprijzen	o.b.v. elektraprijzen
Aardgas (piek)	CAPEX, vast	€	-	-	-
	CAPEX, variabel	€/kW	97	98	98
	Herinvestering na	Jaar	15	15	15
	Herinvestering %	%	80%	80%	80%
	O&M	%	2%	2%	2%
	OPEX variabel	€/GJ	o.b.v. gasprijzen	o.b.v. gasprijzen	o.b.v. gasprijzen

Aansluitkosten energie

Alle warmtenetten hebben een centrale aansluiting op het elektriciteitsnet nodig, en bij een piekkel op aardgas ook op het gasnet. Hier zijn eenmalige en jaarlijkse kosten mee gepaard. De Warmtetoel gaat ervanuit dat alle elektrische verbruikers in het warmtenet (Warmtepomp, transportpomp, onttrekking bron, elektrische piekvoorziening (allen indien van toepassing)) dezelfde aansluiting delen. Uit de aansluit- en vaste kosten-tarieven van 2020 van de drie grootste netbeheerders is een gemiddeld kengetal bepaald voor de volgende vier kosten:

Tabel 4 – Aansluitkosten elektra en aardgas

Post	Eenheid	Kengetal groep A	Kengetal groep B	Kengetal groep C
Elektriciteitsaansluiting: eenmalige aansluitkosten	€/kWe	83	84	84
Elektriciteitsaansluiting: vaste jaarlijkse kosten	€/jaar/kWe	36	36	36
Aardgasaansluiting: eenmalige aansluitkosten	€/(m ³ /hr)	30	30	30
Aardgasaansluiting: vaste jaarlijkse kosten	€/jaar/(m ³ /hr)	24	24	24

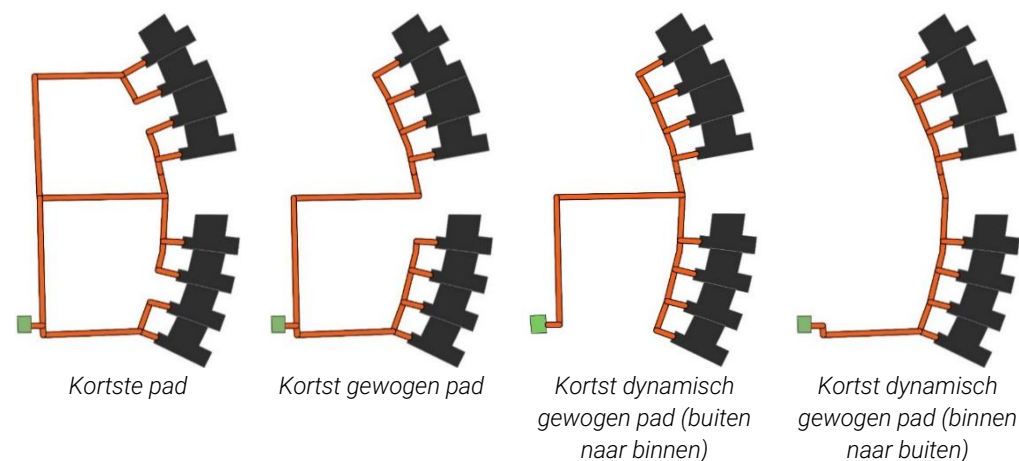
2.2.2 Leidingwerk

Tracé-ontwerp en leidinglengte

Een cluster in de Warmtetoel bestaat uit een selectie panden op de kaart. Om een inschatting te maken van de lengte warmteleidingen die aangelegd moet worden om deze panden te verbinden met een warmtebron, maakt de Warmtetoel gebruik van een automatisch leidingnet algoritme: het Dijkstra algoritme.

Dijkstra algoritme

Het Dijkstra algoritme is onderdeel van de korstepad-algoritmes binnen de grafentheorie en zoekt via de 'knopen' en 'lijnen' in een netwerk, een route van a naar b. Om het leiding-netwerk als geheel te optimaliseren op het vlak van lengte en opvoerdruk, is het algoritme aangepast. De aanpassing maakt het een '**dynamisch gewogen korste pad algoritme**'. Door het 'gewicht' van de lengte tussen 'knopen' dynamisch te maken wordt de reeds berekende routes 'goedkoper' en daardoor 'gunstiger' voor de routes die nog berekend moeten worden. Daardoor heeft ook de volgorde van routes zoeken effect op de uitkomst. Figuur 11 laat illustratief zien wat het effect is van verschillende zoekvolgorden op de uitkomst van het algoritme. Uit een aantal tests blijkt dat een **dynamische factor 0.3** en een aansluitrichting van **binnen naar buiten** een zeer goed en ook stabiel resultaat oplevert.



Figuur 11: Illustratie van de werking van het dynamisch gewogen kortste pad algoritme

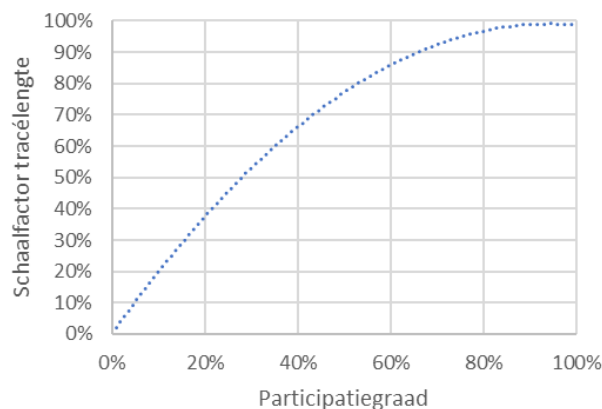
Bronleiding

Bovenop het tracé dat de panden met elkaar verbindt, wordt de leidinglengte vanaf de bron tot aan de eerste afnemer apart bepaald. Voor locatiegebonden bronnen wordt de bronleiding bepaald a.d.h.v. afstand tussen de locatie van de bron en de dichtstbijzijnde afnemer. Voor niet-locatiegebonden bronnen wordt een aanname gemaakt voor de lengte van de bronleiding (zie default waarden).

Primair en secundair tracé

Eerst wordt bepaald of er een apart primair en secundair tracé aangelegd moet worden. Dit is nodig als het totale bronvermogen groter is dan *drempelwaarde primair* is.

Om de lengte van het secundair tracé te bepalen, wordt de lengte van het getekende tracé vermenigvuldigd met een correctiefactor voor participatiegraad. Deze factor is iets hoger dan de participatiegraad zelf, omdat een lagere participatiegraad betekent dat de gemiddelde afstand tussen afnemers groter wordt. Hieronder is dit verband zichtbaar op een grafiek.



Figuur 12 – Schaalfactor tracélengte ten op zichten van participatiegraad

Tot slot, als er geen apart primair net wordt aangelegd, wordt de lengte van de bronleiding opgeteld bij het secundair tracé.

De lengte van het primair tracé (indien van toepassing) wordt bepaald als een vast percentage van 5% van het secundair tracé. Vervolgens wordt de lengte van de bronleiding erbij opgeteld.

Tabel 5 – Default waarden drempelwaarde primair tracé en lengte bronleiding

Parameter	Eenheid	Waarde
Drempelwaarde primair	MW _{th}	2,5
Lengte primair tracé	m/m	5%
Lengte bronleiding netten zonder primair tracé	m	240
Lengte bronleiding netten met primair tracé	m	480

Dimensionering en begroting warmteleidingen

Leidingen worden begroot door het aantal meters te vermenigvuldigen met integrale meterprijzen. Integrale meterprijzen bevatten alle kosten voor de aanleg en aanschaf van warmteleidingen, inclusief arbeid, materialen, overhead en winst & risico van tussenpartijen zoals aannemers. In een meterprijs zitten de kosten voor zowel aanvoer- als retourleidingen.

Secundair (distributieleidingen)

Voor het **secundaire net** wordt een **gemiddelde meterprijs** bepaald die licht afhankelijk is van de benodigde diameter, maar voornamelijk van de verharding (asfalt vs. klinkers).

Parameter	Eenheid	Kengetal groep A	Kengetal groep B	Kengetal groep C
Integrale meterprijs Bij 50% asfalt	€/meter tracé	1.315	1.325	1.328

Bij een **verharding** van 0% asfalt wordt de meterprijs met 30% verlaagd en bij 100% asfalt 30% verhoogd. Tot slot wordt deze **meterprijs** vermenigvuldigd met de **complexiteitsfactor**, die default gelijk is aan 1.

Secundair (aansluitleidingen en in pandige leidingen bij hoogbouw)

Voor aansluitleidingen wordt onderscheid gemaakt tussen kleinverbruik (kvb) en grootverbruik (gyb) afnemers. Kvb afnemers hebben een aansluitvermogen tot 100 kW, alles vanaf 100 kW zijn gyb's.

Parameter	Eenheid	Kengetal groep A	Kengetal groep B	Kengetal groep C
Aansluitleiding kleinverbruiker	€/afnemer	3.550	3.579	3.588
Aansluitleiding grootverbruiker	€/afnemer	11.834	11.929	11.959

Secundair (in pandige leidingen bij meergezinswoningen/hoogbouw)

Bij meergezinswoningen en andere panden met meerdere verblijfsobjecten binnen één pand zijn er twee situaties mogelijk: een collectieve aansluiting of individuele aansluitingen.

Bij een **collectieve aansluiting** wordt het gehele pand vanuit het warmtenet gezien als één afnemer. Het vermogen van deze collectieve afnemer wordt met dezelfde formule berekend als het gelijktijdig vermogen van een collectieve warmtebron:

$$P_{gel} = [P_{r,cum} * f_{r,gel}] + [P_{tap,cum} * f_{tap,gel}] - [\min(P_{r,cum}, P_{tap,cum}) * f_{r,gel} * f_{tap,gel}]$$

met $f_{r,gel}$ en $f_{tap,gel}$ de gelijktijdigheidsfactoren voor respectievelijk ruimte en tapwater, $P_{r,cum}$ en $P_{tap,cum}$ de cumulatieve vermogens van alle afnemers voor respectievelijk ruimte en tapwater. De gelijktijdigheidsfactoren worden bepaald o.b.v. ISSO 7 rekenregels. In het geval van een collectieve aansluiting wordt ervan uitgegaan dat er al in pandige verdeelleidingen zijn om de warmte van een centrale afleverset te verdelen naar de aparte verblijfsobjecten.

Bij **individuele aansluitingen**, wordt in pandig leidingwerk begroot. Dit wordt gedaan op basis van één vast kengetal per afnemer, inclusief stijgleidingen en aansluitleidingen.

Parameter	Eenheid	Kengetal groep A	Kengetal groep B	Kengetal groep C
In pandig leidingwerk individuele aansluiting	€/afnemer	3.550	3.579	3.588
In pandig leidingwerk collectieve aansluiting	€/afnemer	1.775	1.789	1.794

Primair

Tussen meterprijzen van primaire netten zit veel meer variatie dan secundaire netten. Daarom wordt voor de primaire meterprijs wel gekeken naar de benodigde flow. De flow wordt bepaald a.h.v. de formule:

$$\dot{m} = \frac{P}{dT \cdot c}$$

Met c de soortelijke warmte van water ($4.187 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$) en P het benodigd transportvermogen. Het benodigd transportvermogen wordt berekend a.h.v. het gelijktijdig piekvermogen van de afnemers in het warmtenet. Uit deze flow kan de diameter van de bronleiding en bijhorende integrale meterprijs worden bepaald m.b.v. onderstaande tabel.

Tabel 6 - Diameters, flows en integrale meterprijzen tracé van warmteleidingen.

Nominale diameter [mm]	Max flow [kg/s]	Kengetal groep A Meterprijs [€/m]	Kengetal groep B Meterprijs [€/m]	Kengetal groep C Meterprijs [€/m]
DN1000	2269,69	11.975	12.072	12.101
DN900	1828,62	10.268	10.351	10.377
DN800	1452,60	8.696	8.766	8.787
DN700	1105,78	7.258	7.316	7.334
DN600	811,08	5.954	6.002	6.016
DN500	507,68	4.784	4.823	4.834
DN450	381,31	4.250	4.284	4.294
DN400	276,86	3.749	3.779	3.788
DN350	209,79	3.282	3.308	3.316
DN300	149,22	2.848	2.871	2.878
DN250	94,64	2.448	2.468	2.474
DN200	52,11	2.082	2.098	2.103

Nominale diameter [mm]	Max flow [kg/s]	Kengetal groep A Meterprijs [€/m]	Kengetal groep B Meterprijs [€/m]	Kengetal groep C Meterprijs [€/m]
DN150	25,93	1.749	1.763	1.767
DN125	15,74	1.595	1.608	1.612
DN100	9,11	1.449	1.461	1.465
DN80	4,54	1.339	1.350	1.353
DN65	2,98	1.260	1.270	1.273
DN50	1,51	1.184	1.193	1.196
DN40	0,80	1.135	1.144	1.147
DN32	0,54	1.096	1.105	1.108
DN25	0,26	1.063	1.072	1.075
DN20	0,13	1.040	1.049	1.051
DN15	0,07	1.018	1.026	1.028

Kosten ZLT-net

De CAPEX van een ZLT-net (bronnet) wordt bepaald door de kosten van het MT of LT-net met 15% te verlagen omdat de leidingen ongeïsoleerd zijn en aanleg minder complex is. Doordat het temperatuurverschil van vraag en aanbod lager ligt zijn de leidingen van een ZLT-net gemiddeld groter dan van een MT of LT-net.

Onderhoudsbegroting

Op alle leidingelementen wordt gerekend met een onderhoudsbegroting van 2% van de initiële investering.

2.2.3 Aflevercomponenten en hulpsystemen

Aflevercomponenten

Bij de afnemers van een warmtenet vindt warmte-overdracht plaats. In moderne warmtenetten vindt dit meestal plaats met een indirecte afleverset, waarbij een warmtewisselaar de warmte uit het warmtenet overbrengt op het afgiftesysteem van de afnemer. De warmtetoel rekent met een eenvoudig kengetal voor afleversets voor kleinverbruikers incl. warmtemeter. Voor grootverbruikers wordt de kost berekend met een vast en variabel deel (voorbeeld):

$$kosten = €18.608 + 4,36 \frac{€}{kW} P$$

Met P het aansluitvermogen van de afnemer.

Parameter	Eenheid	Kengetal groep A	Kengetal groep B	Kengetal groep C
Afleverset kleinverbruiker	€/afnemer	1.243	1.253	1.256
Afleverset grootverbruiker vast	€/afnemer	18.698	18.848	18.895
Afleverset grootverbruiker variabel	€/kw/afnemer	4	4	4

Hulpsystemen

Het bronvermogen dicteert of een scheiding tussen een primair en secundair warmtenet nodig is. Als dat het geval is wordt een warmte-overdrachtsstation (WOS) in het ontwerp en de begroting meegenomen. Het aantal WOSsen wordt als volgt bepaald:

- Bronvermogen ≤ 2.500 kW → geen WOS
- Bronvermogen > 2.500 kW → aantal WOSsen = $\text{ROUNDUP}(\text{bronvermogen} / 2.500 \text{ kW})$

De Warmtetoel hanteert voor een WOS een vaste, integrale kosten.

Parameter	Eenheid	Kengetal groep A	Kengetal groep B	Kengetal groep C
-----------	---------	------------------	------------------	------------------

WOS	€/WOS	153.840	155.100	155.500
-----	-------	---------	---------	---------

Naast de WOS heeft een warmtenet nog een aantal kleinere hulpsystemen nodig zoals filters, waterbehandeling etc. De kosten voor deze hulpsystemen worden berekend als een toeslag van 1% op de totale begroting van het leidingwerk (primair + secundair + aansluitleidingen).

2.2.4 Overheadkosten en post onvoorzien

Overhead en onvoorzien tijdens realisatie

Naast de kosten voor arbeid en materialen bij de aanleg van het warmtenet, moeten nog andere kosten worden gemaakt voor de realisatie van een warmtenet. Deze worden in de Warmtetoel gevat in de volgende posten:

- **Post onvoorzien:** Het ontworpen en begrootte warmtenet gaat uit van een optimaal ontwerp. De leidingen nemen bijvoorbeeld de meest optimale route naar de gebouwen en er worden geen bijzondere en onverwachte omstandigheden ingecalculeerd. De praktijk leert dat er altijd onvoorziene zaken opduiken die een flinke impact kunnen hebben op de realisatiekosten, zoals grondverontreiniging, archeologie, moeilijke kruisingen in de ondergrond, etc. Om dit te vatten in de Warmtetoel wordt gerekend met een post onvoorzien die standaard **30%** is van de investeringskosten voor het warmtenet (het warmtenet omvat in dit geval bronnen, leidingwerk, afnamecomponenten en hulpsystemen).
- **Overhead bij realisatie:** projectmanagement en engineering. Voor deze post rekent de Warmtetoel **10%** van de investeringskosten voor het warmtenet aan (het warmtenet omvat in dit geval bronnen, leidingwerk, afnamecomponenten en hulpsystemen).
- **Ontwikkelkosten:** kosten voor het ontwikkelen van het warmtenet, zoals opstellen van een businesscase, voorlopig ontwerp en contractering. Hiervoor wordt gerekend met een eenmalige vaste kost.

Parameter	Eenheid	Kengetal groep A	Kengetal groep B	Kengetal groep C
Ontwikkelkosten	€/afnemer	178	179	179

Overhead en vennootschapsbelasting (tijdens exploitatie)

Tijdens realisatie zijn er niet alleen fysieke kostenposten (onderhoud, inkoop van energie, ...) maar ook overheadkosten zoals het factureren van klanten en andere administratietaken. Hiervoor rekent de Warmtetoel **54 € per afnemer per jaar**.

Warmtebedrijven moeten als ondernemingen vennootschapsbelasting over hun winst afdragen. De belastbare winst wordt per jaar berekend in de Warmtetoel op de volgende manier:

$$\text{Belastbare winst} = \max(EBIT, 0\text{€})$$

$$EBIT = \frac{\text{omzet} - \text{winst}}{EBITDA} - \text{afschrijvingen} - \text{amortisaties}$$

Over de belastbare winst wordt in twee staffels vennootschapsbelasting geheven: **19% tot € 200.000 winst en 25,8% daarboven**. Dit was in 2020 de voorgenomen regeling vanaf 2021. Intussen zijn de tarieven weer iets aangepast, dit wordt in een update van de Warmtetoel meegenomen.

2.2.5 Klantzijdige kosten bij een warmtenet

Er zijn een aantal kostenposten die door de afnemer betaald worden en die nodig zijn om gebruik te kunnen maken van een warmtenet, zoals isolatie, aanpassingen aan de ventilatie, aan het afgiftesysteem en kosten voor het inpassen van de warmtenet-aansluiting.

Aansluitbijdrage, levering warmte en netbeheerkosten

Net als bij elektriciteit en aardgas betaalt de warmteklant de variabele leveringskosten aan de energieleverancier en netbeheerkosten zoals vastrecht en meettarief aan de netbeheerder. Omdat de Warmtewet geen scheiding tussen de rollen van leverancier en netbeheerder oplegt, worden deze rollen bij bestaande warmtenetten bijna altijd door dezelfde partij ingenomen: de exploitant.

Onder Netbeheerkosten vallen het vastrecht, meettarief en huur van de afleverset. De Bijdrage Aansluitkosten (BAK) is de verzamelnaam voor de aansluitbijdrage (AB) en de kostendeckingsbijdrage (KDB). Voor alle afnemers geldt dat warmtevraag en het aansluitvermogen worden bepaald uit de GIS-dataset zoals beschreven in 0 2.1.1 Huidige warmtevraag en vermogen en 0 Warmtevraag na isolatie.

De Warmtetoel hanteert de volgende standaardtarieven, waarvan op projectbasis kan worden afgeweken als daar een reden voor is. De modelleur heeft in de Warmtetoel de mogelijkheid om een van deze posten automatisch in te vullen om een sluitende businesscase te halen, uiteraard gelden onderstaande tarieven niet in dit geval.

Tabel 7 – Standaardtarieven warmte (excl. btw).

Tarief	Eenheid	Kengetal groep A	Kengetal groep B	Kengetal groep C
Warmtetarief kleinverbruik	€/GJ	75,13	75,13	38,59
Warmtetarief grootverbruik	€/GJ	67,62	67,62	34,73
Vastrecht kleinverbruik MT	€/aansluiting/jr	596,04	596,04	683,73
Vastrecht kleinverbruik LT	€/aansluiting/jr	359,09	359,09	420,19
Vastrecht kleinverbruik ZLT	€/aansluiting/jr	381,14	381,14	395,13
Vastrecht grootverbruik	€/kW/jaar	29,83	29,83	33,96
Default aansluitbijdrage kleinverbruik	€/aansluiting	4411,07	4411,07	4339,04
Default aansluitbijdrage grootverbruik	€/kW	75	75	75

Isolatie en aanpassing ventilatie

Afhankelijk van de gekozen afgiftetemperatuur van het warmtenet moeten de panden die erop aansluiten de isolatiegraad van hun schil verbeteren. Hoe de Warmtetoel de benodigde mate van isolatie en bijhorende kosten bepaalt, wordt beschreven in Kosten voor schillabelsprongen bij woningen. Vanaf label B wordt aangenomen dat er ook een verbeterd ventilatiesysteem nodig is om het binnenklimaat gezond te houden.

Aanpassing naar lage-temperatuur afgiftesysteem

Voor scenario's met een afgiftetemperatuur van 50 °C of lager, is een lage-temperatuur afgiftesysteem nodig. Dit kan bestaan uit LT-radiatoren of -convectoren, of vloer- of muurverwarming. De eerste categorie zijn goedkoper en beter inpasbaar in bestaande bouw en daarom de standaard aanname in de Warmtetoel. Vloer- en/of muurverwarming zijn opties kunnen worden overwogen door afnemers voor extra comfort tegen een meerprijs. Er wordt aangenomen dat bestaande bouw nog nergens LT-afgiftesystemen heeft, wat natuurlijk niet overal waar is. Daarom wordt deze kostenpost in sommige gebouwen overschat. In een toekomstige versie van de Warmtetoel zal per adres kunnen worden ingevoerd of er al een LT-afgiftesysteem aanwezig is. Voor het aanschaffen en installeren van een LT-afgiftesysteem wordt standaard gerekend met € 1.967 per woning (natuurlijk moment⁸: € 810 en zelfstandig moment: € 3.124).

⁸ Een natuurlijk moment voor een gebouwmaatregel betekent dat de maatregel kan worden gecombineerd met andere gebouwaanpassingen zoals grootschalig(e) onderhoud of renovatie.

Inpassen afleverset: bouwkundige en installatietechnische aanpassingen

In bestaande bouw zijn meestal nog extra kosten nodig om het warmtenet goed te verbinden met het afgiftesysteem:

- Een mantelbuis voor de aansluitleiding
- Doorvoeren door muren en plafonds tussen de plek waar de aansluitleiding het pand binnenkomt en waar de afleverset komt te hangen.
- Aansluiten van de afleverset op de bestaande installatie. Vaak moeten hiervoor in een pand nog extra leidingen worden aangelegd. Deze leidingen moeten ook netjes worden afgewerkt.

Voor deze kosten wordt een vast bedrag aangerekend van

- € 3.533 voor kleinverbruik, grondgebonden aansluitingen,
- € 1.767 voor kleinverbruik aansluitingen in gestapelde bouw, en
- € 3.533 + 88 €/kW voor grootverbruik aansluitingen

Deze kosten vallen buiten de businesscase van het warmtenet maar wel binnen de nationale kosten die de Warmtetoel doorrekent.

Naverwarmer warmtapwater bereiding voor LT-net

In het geval van een laag temperatuur warmtenet is er een extra installatie nodig voor het produceren van warm tapwater. Dit gebeurt met een naverwarmer.

Parameter	Eenheid	Kengetal groep A	Kengetal groep B	Kengetal groep C
Naverwarmer LT-net	€/stuk	924	931	934

Warmtepomp voor ZLT-net

Bij een ZLT-net heeft elke afnemer zijn eigen water-waterwarmtepomp of een PVT warmtepomp. De kosten van deze warmtepomp zijn afhankelijk van de vermogensvraag van de afnemer. De warmtepomp gaat uit van een afgiftetemperatuur van 50 graden. De kosten bestaan uit een vast deel en een variabel deel.

Parameter	Eenheid	Kengetal groep A	Kengetal groep B	Kengetal groep C
Water-water warmtepomp vaste kosten	€/stuk	7.400	7.400	7.702
Water-water warmtepomp variabele kosten	€/kW/stuk	714	714	653
PVT warmtepomp vaste kosten	€/stuk	20.744	15.455	15.734
PVT warmtepomp variabele kosten	€/kW/stuk	909	1.570	714

2.3 Individuele warmtepomp

De tweede hoofdcategorie warmteconcepten in de Warmtetool, naast warmtenetten, zijn de individuele warmtepompen. Met individueel wordt bedoeld dat gebouwen individueel verwarmd worden, maar binnen een gebouw kan nog steeds sprake zijn van een collectieve voorziening, vergelijkbaar met een collectieve gasketel in een appartementencomplex.

In deze studie zijn er twee technieken voor individuele warmtepompen geïmplementeerd:

1. Lucht-water warmtepompen (all-electric)
2. Bodem-water warmtepompen (all-electric)

De kosten van de warmtepompen van een ZLT-net staan in het sectie 0 vermeld.

2.3.1 Aanschaf en onderhoud warmtepompen

De integrale kost voor het aanschaffen en installeren van een warmtepomp is afhankelijk van het type warmtepomp, het outputvermogen (thermisch) en de te produceren temperatuur. In deze studie is de lucht-water warmtepomp met 50°C afgiftetemperatuur als referentie scenario gebruikt. De kengetallen hiervoor staan in onderstaande tabel.

Parameter	Eenheid	Kengetal groep A	Kengetal groep B	Kengetal groep C
Luchtwaterwarmtepomp vaste kosten	€/stuk	7.355	7.355	6.033
Luchtwaterwarmtepomp variabele kosten	€/kW/stuk	661	661	661
Bodemwarmtepomp vaste kosten	€/stuk	21.901	21.901	18.595
Bodemwarmtepomp variabele kosten	€/kW/stuk	909	909	909

De vermelde kosten zijn integrale kosten inclusief binnen-unit, buiten-unit, bodemlus, PVT panelen, buffervat voor tapwater en installatiekosten.

Voor **onderhoud** en beheer rekent de Warmtetool met een jaarlijkse kost gelijk aan **2%** van de initiële investering.

2.3.2 Jaarlijkse energie- & netbeheerkosten en energielasting

Het gemiddelde rendement van een warmtepomp over een heel jaar wordt uitgedrukt met de sCOP. Deze wordt opgesplitst in de sCOP voor ruimteverwarming en die voor tapwaterbereiding. Voor ruimteverwarming hanteert de Warmtetool de volgende aannames.

Tabel 8 – Rekenwaarden voor de jaargemiddelde COP (sCOP) voor ruimteverwarming.

Type warmtepomp	Afgiftetemperatuur	SCOP
Lucht-water warmtepomp	50 °C	3,6
Bodemwarmtepomp	50 °C	4,4
PVT + Warmtepomp	50 °C	4,4

2.3.3 Inpassen warmtepomp: bouwkundige en installatietechnische aanpassingen

In bestaande bouw zijn meestal nog extra kosten nodig om een warmtepomp goed te installeren en te verbinden met het bestaande afgiftesysteem:

- Doorvoeren door buiten- en binnenmuren tussen buiten- en binnen-unit.
- Bouwkundige aanpassingen om plaats te maken voor de warmtepomp en het buffervat.

Voor deze kosten wordt een vast bedrag aangerekend van

- € 3.533 voor kleinverbruik, grondgebonden aansluitingen,
- € 1.767 voor kleinverbruik aansluitingen in gestapelde bouw, en
- € 3.533 + 88 €/kW voor grootverbruik aansluitingen

2.3.4 Verzwaring elektra-infrastructuur

De kosten voor het verzwaren van de elektra-aansluitingen worden behandeld in Jaarlijkse energie- & netbeheerkosten en energiebelasting. Zoals daar aangegeven is dit meestal niet noodzakelijk.

Het verzwaren van de laagspanning distributiekabels is vaak wel noodzakelijk. De kosten hiervoor worden gemaakt door de netbeheerder en hiervoor rekent de Warmtetoel met de volgende totale kosten:

$$K = L * 131 \frac{\text{€}}{\text{m}}$$

met L de lengte van het te verzwaren distributienet. Deze lengte wordt overgenomen van de automatisch bepaalde tracélengte van de secundaire warmteleidingen voor het cluster. Uiteraard worden de kosten voor de warmteleidingen dan niet in rekening gebracht, enkel de meters tracé worden overgenomen.

2.4 Subsidies

De Warmtetoel rekt met een aantal verschillende subsidies, die vanuit de overheid uitgekeerd worden aan de warmte-exploitant of gebouw-eigenaar. Er zijn drie categorieën subsidies waar de Warmtetoel mee kan werken: exploitatiesubsidies (bijv. SDE++), investeringssubsidies (bijv. ISDE) en projectsubsidies (bijv. PAW).

Subsidies hebben enkel effect op de kosten van specifieke actoren, niet op de nationale kosten.

2.4.1 Exploitatiesubsidie: SDE++

Sommige collectieve warmtebronnen maken aanspraak op SDE++ subsidie. De volgende eigenschappen hiervoor zijn overgenomen uit het SDE++ eindadvies 2020:

- Basisbedrag (€/kWh)
- Correctiebedrag (€/kWh)
- Duur (jaar)
- Max. aantal vollasturen (hr/jaar)

Voor de bronnen in deze studie is geen SDE++ subsidie beschikbaar.

2.4.2 Investeringsubsidies (ISDE)

ISDE Warmtepompen

Voor warmtepompen tot 70 kW kan een investeringssubsidie worden aangevraagd. Dit kan dus het geval zijn bij individuele warmtepompen of kleinschalige warmtenetten met collectieve warmtepompen. De Warmtetoel rekt met de volgende waarden:

Parameter	Kengetal groepen A & B	Kengetal groep C
Lucht-water warmtepomp	2.207 € + 198 €/kW	2.100 € + 150 €/kW
Bodemwarmtepomp	6.570 € + 273 €/kW	4.200 € + 150 €/kW
PVT + Warmtepomp	6.223 € + 273 €/kW	4.200 € + 150 €/kW

Er is ook een subsidie beschikbaar voor VvE's en woningcorporaties. Deze ligt ongeveer even hoog als de ISDE subsidie en is daarom hiermee opgenomen.

ISDE Isolatiemaatregelen

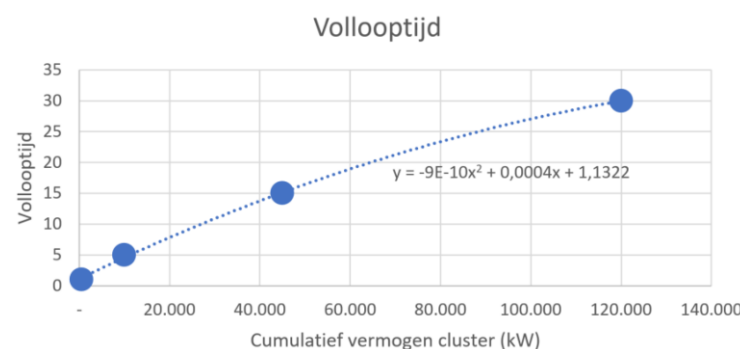
Wanneer je als woningeigenaar isolatiestappen onderneemt kan je aanspraak maken op een investeringssubsidie. Aan deze subsidie hangen meerdere voorwaarden waaraan moet worden voldaan. In de Warmtetoel is er uitgegaan van **25%** subsidie op de totale isolatiekosten wanneer er wordt geïsoleerd naar 40 of 50 °C (schillabel B of beter). Deze aannames komen ruwweg overeen met de actuele subsidieregeling per 1 januari 2021.

2.5 Financiële analyse: tijd en kernresultaten

2.5.1 Tijd

Voorgaande hoofdstukken zetten uiteen hoe initiële en jaarlijks wederkerende kosten worden berekend. In dit hoofdstuk geven we aan hoe deze kosten daadwerkelijk in de tijd worden doorgevoerd om te komen tot een realistisch beeld van een businesscase en/of een total cost of ownership (zie latere secties).

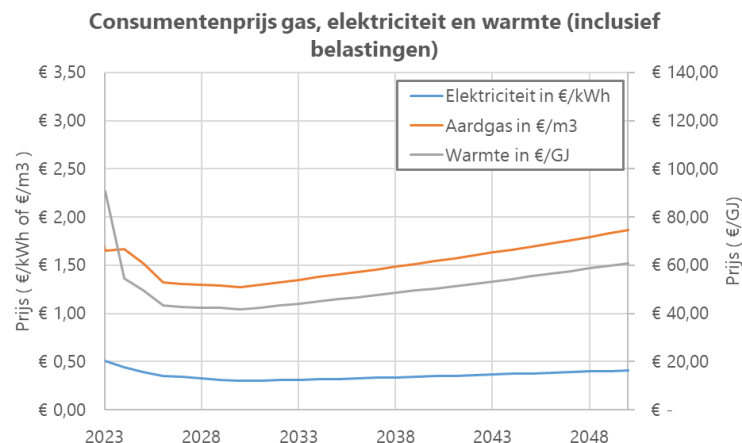
De Warmtetoel rekt 31 jaar door: jaar 0 tot en met 30. In jaar 0 wordt enkel geïnvesteerd, vanaf jaar 1 wordt deels geëxploiteerd. De voltooptijd bepaalt hoe snel 100% van het cluster is overgestapt op het nieuwe warmteconcept. De voltooptijd kan worden bepaald op twee manieren: automatisch of handmatig. Indien automatisch, dan berekent de Warmtetoel de voltooptijd zelf aan de hand van het cumulatieve vermogen van de volgens de volgende vergelijking:



De bovengrens is 30 jaar en de ondergrens 1 jaar.

De volgende tijdseffecten worden meegenomen die direct of indirect impact hebben op een aantal kostenposten:

- **Inflatie algemeen:** Alle kosten in een jaar n worden vermenigvuldigd met een inflatiefactor die per jaar wordt bepaald a.h.v. de formule $f(n) = (1 + infl)^n$ met $infl = 2\%$ (standaard waarde)
- **Prijscurve gas, elektra en warmte:** Door de fluctuaties in energieprijzen is een indexatie op de huidige tarieven geen reële situatie. Hierdoor is er voor de energieprijzen een aparte prijscurve bepaald aan de hand van prognoses van de KEV en futures:



- **Warmtevraag reductie door autonomie isolatie:** Autonomie isolatie zijn maatregelen die gebouweigenaren zelf besluit te nemen, onafhankelijk van wat strikt noodzakelijk is in het doorgerekende scenario. De kosten hiervoor worden niet aangerekend omdat het geen noodzakelijke kosten en misschien ook wel deels rendabele kosten zijn. Hoe sterk dit wordt meegenomen is afhankelijk van de afgiftetemperatuur in het gekozen scenario: 0,25% per jaar bij 90 °C en 70 °C en 0% bij 50 °C en 40 °C.
- **Warmtevraag reductie door klimaateffect:** Klimaateffect betekent dat door de geleidelijke opwarming van het klimaat de warmtevraag minder wordt. De Warmtetoel neemt voor deze afname standaard 0,5% per jaar.
- **Leereffect:** Je kan veronderstellen dat technologieën door innovatie en opschaling over de jaren heen goedkoper worden, dit noemen we het leereffect. De Warmtetoel onderscheidt een verschillend leereffect voor drie verschillende kostencategorieën:
 - **Voor installaties en isolatie** gaan we uit van 25% kostendaling over 30 jaar, ofwel 1% per jaar.
 - **Voor leidingwerk** gaan we uit van 20% kostendaling over 30 jaar, ofwel 0,7 % per jaar.
 - **Voor onderhoud en administratie** gaan we uit van 18% kostendaling over 30 jaar, ofwel 0,6 % per jaar.
- **Discontovoet:** Geld van nu is minder waard in de toekomst en wordt daardoor minder zwaar meegewogen.
 - **Warmte-exploitant:** 6%
 - **Gebouweigenaar en gebruiker:** 3,5%
 - **Maatschappij:** 3%

2.5.2 Minimale investeringsstap warmtebronnen

De Warmtetoel hanteert voor warmtebronnen een minimale vollooptap. Dat wil zeggen dat als de vollooptijd hoger dan 1 jaar is, de investering van de warmtebron moet worden verdeeld over de vollooptijd op een dusdanige manier dat elke investeringsstap minimaal de minimale investeringsstap is. Dit is met name van belang voor warmtebronnen zoals geothermie die niet in kleine stapjes kunnen worden gerealiseerd maar altijd in één keer een grote investering vereisen.

2.5.3 Herinvestering en restwaarde

Veel investeringen in nieuwe warmtesystemen vereisen binnen minder dan 30 jaar een herinvestering voor de vervanging van componenten. De Warmtetoel definieert voor elke investering welk percentage geherinvesteerd moet worden en na hoeveel tijd. Bijvoorbeeld bij warmtepompen (alle formaten) gaat de Warmtetoel uit van een herinvestering van 80% van de initiële investering na 15 jaar. Voor het deel dat buiten deze herinvestering valt, gaat de Warmtetoel uit van een levensduur van 50 jaar.

Tenzij een investering precies na het laatste jaar in de Warmtetoel weer aan een herinvestering toe is, zit er nog een restwaarde op. We rekenen met de technische restwaarde. Dit wordt als volgt berekend:

1. Per jaar wordt voorspeld wat van de investering die in dat jaar plaatsvindt de restwaarde zal zijn na 30 jaar. Deze inschatting gebeurt op basis van de levensduur van de asset die wordt aangeschaft en het aantal jaren tussen dat jaar en jaar 30.
2. Deze waarden worden bij elkaar opgeteld, dat is de totale restwaarde op het einde van de 30 jaar.

2.5.4 Actoren en kernresultaten

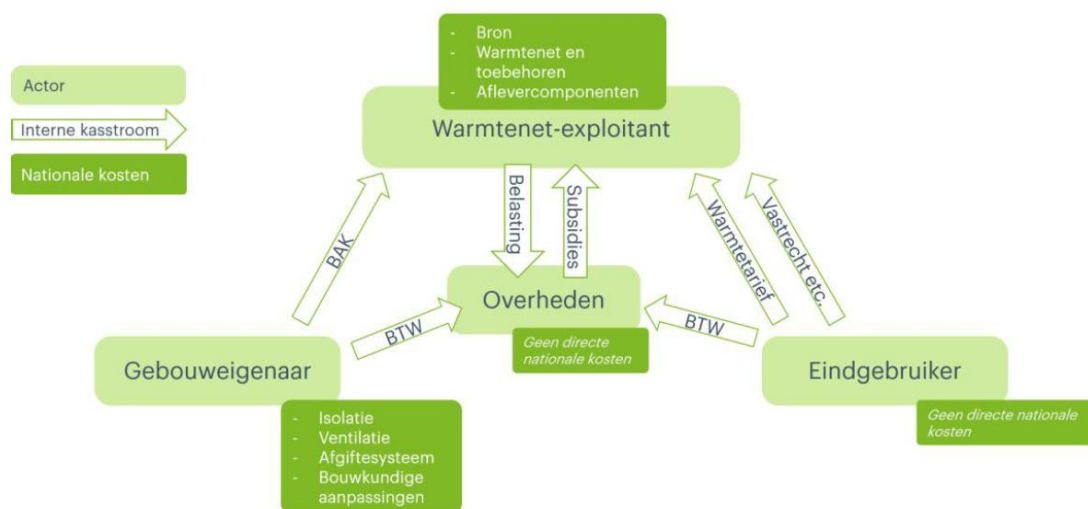
De Warmtetoel onderscheidt twee soorten kosten:

- **Nationale kosten**, ofwel totale systeemkosten.
- **Interne kasstromen**, ofwel kosten tussen stakeholders in het model.

Beide sluiten elkaar per definitie uit: een interne kasstroom is nooit een nationale kost, omdat het voor de ene stakeholder een kost is maar voor de andere een baat.

De samenhang tussen nationale kosten, interne kasstromen en stakeholders (ofwel actoren in het model) is weergegeven in onderstaande schema's. De **total cost of ownership** (TCO) voor een bepaalde partij is de som van alle nationale kosten, interne kosten (vertrekkende pijl) en baten (arriverende pijl, negatieve kosten) die bij een partij staan, over de 30 jaar. De (financiële) **business case** de warmtenet-exploitant is opgebouwd uit dezelfde kosten en baten als de TCO van de exploitant.

De nationale kosten, TCO's en businesscase van de warmtenet-exploitant noemen we de kernresultaten van de Warmtetoel.



Figuur 13 – Voorbeeldsituatie warmtenet – Samenhang tussen stakeholders (actoren), nationale kosten en interne kasstromen.



Figuur 14 – Voorbeeldsituatie individuele warmtepompen – Samenhang tussen stakeholders (actoren), nationale kosten en interne kasstromen.

3 Overzicht wijzigingen Warmtetoool

Tabel 2: Changelog Warmtetooolversies

Project	De Groene Kroon & Schalkwijk	Wijkanalyses 2023	Wijkanalyses 2024
Warmtetooolversie	2.2.0	2.2.1 (beta)	2.2.2
Gebouwanalyse			
Technisch			<ul style="list-style-type: none"> Update inschatting warmtevraag (BAG verrijking) Label A+ vereist bij 40°C.
Kosten		Indexering	<ul style="list-style-type: none"> Indexering 2024 Update gebouwmaatregelen (isolatie & ventilatie)
Warmtenet			
Technisch		ZLT-net PVT op dak toegevoegd.	<ul style="list-style-type: none"> COP onttrekking bij TEO en TEA verhoogd Vollasturen WKO + Drycooler verhoogd
Kosten		Indexering	<ul style="list-style-type: none"> Indexering kosten en energietarieven 2024 CAPEX WKO verhoogd
Individuele concepten			
Kosten		Indexering kosten	Indexering kosten 2024
Technische			Methode berekening piekvermogen lucht-waterwarmtepomp verbeterd.
Subsidie	WIS 2023 (4,23%) SDE++ 2023 ISDE 2023	WIS 2023 (4,23%) SDE++ 2023 ISDE 2023	WIS 2024 (5,2%) SDE++ 2024 ISDE 2024
Financiële analyse	-	-	-

Hieronder volgt een toelichting op de belangrijkste wijzigingen tussen de verschillende warmtetooolversies. Eerst wordt de werking van de BAG verrijking toegelicht om te verduidelijken op welke punten deze is gewijzigd.

3.1 Werking van BAG verrijking

De tool die DWTM gebruikt om de warmtevraag en het benodigde vermogen op adresniveau te berekenen is een zelf ontwikkelde plug-in voor het programma QGIS. De door DWTM ontwikkelde plug-in is gebaseerd op de BAG & RVO data.

De BAG (Basisregistratie Adressen en Gebouwen)

De BAG bevat gegevens van alle adressen en gebouwen in Nederland, zoals bouwjaar, oppervlakte, gebruiksdoel en locatie op de kaart. Het bestaat uit een dataset met alle panden, en uit een dataset met alle verblijfsobjecten (VO's).

RVO geregistreerde energielabels

Woningeigenaren zijn verplicht om bij de oplevering, verkoop of verhuur van een woning een definitief energielabel te registreren. Deze energielabels houdt de RVO (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland) voor heel Nederland bij in een database.

De eerste stap die wordt doorlopen in de tool is het verwerken van de BAG. In deze stap worden de volgende onderdelen uitgevoerd:

- De BAG data wordt verrijkt met een extra gebruiksdoel "greenhouse". Data van OSM (Open Street Maps) wordt gebruikt om te bepalen welke panden deze functie hebben.
- De gebruiksfunctie van een verblijfsobject in de BAG wordt vergeleken met de gebruiksfunctie zoals geregistreerd bij RVO. Ingeval van een mismatch is de RVO data leidend.
- Voor iedere woning wordt het woningtype bepaald op basis van de geometrie en omliggende geometrieën. Wanneer in de RVO data een andere woningtype is geregistreerd dan is dat leidend.
- Panden met status 'sloopvergunning verleend' worden verwijderd (aannname: warmtevraag nu of op korte termijn naar 0).
- Het energielabel uit de RVO data wordt gekoppeld aan de VO's uit de BAG. Als een verblijfsobject geen geregistreerd energielabel heeft, krijgt het een geschat label dat is gebaseerd op bouwjaar en type woning of utiliteit.

Wanneer de bovenstaande stap is doorlopen, begint de berekening van de warmtevraag en vermogens. De plug-in haalt de benodigde eigenschappen van de adressen en de gebouwen uit de BAG-data (locatie, gebruiksdoel, bouwjaar, energielabel, BVO, woningtype). Vervolgens wordt voor ieder VO de warmtevraag en het vermogen berekend. Ieder VO heeft een uniek adres en is deel van één pand. De warmtevraag van een VO wordt bepaald door het 'gebruiksdoel', 'bouwjaar', 'energielabel' en het 'oppervlakte verblijfsobject'; bij woningen is ook het 'woningtype' bepalend. De warmtevraag van een pand wordt bepaald door de uitkomst voor alle VO's binnen het pand op te tellen.

De warmtevraag en het vermogen van een VO met een woonfunctie wordt op de volgende manier bepaald:

- Op basis van kengetallen wordt de totale warmtevraag⁹ berekend. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de volgende kenmerken van een VO:
 - Bouwjaar, energielabel, oppervlakte, woningtype
- Het CV vermogen¹⁰ van de VO wordt berekend
- Daarna wordt er per VO met woonfunctie een Tap vermogen van 26 kW toegekend¹¹

⁹ De totale warmtevraag is opgebouwd uit de CV-vraag en tapwatervraag.

¹⁰ Het CV vermogen is bepaald op basis van de warmtevraag en het uitgangspunt van 1300 vollasturen op jaarbasis.

¹¹ Een tap vermogen van 26 kW komt overeen met tapwaterklasse CW4; de meest voorkomende klasse in woningen.

De warmtevraag van een VO met utiliteitsfunctie (alle andere functies dan woonfunctie) wordt op de volgende manier bepaald:

- Op basis van kengetallen wordt de totale warmtevraag berekend. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de volgende kenmerken van een VO:
 - Bouwjaar, oppervlakte, gebruiksdoel
- Het CV en Tap vermogen van de VO worden berekend

De warmtevraag voor ruimteverwarming van een woning [GJ/jaar] wordt berekend met de volgende formule:

$$H = a * A + b$$

Met:

H warmtevraag [GJ/jaar]

a richtingscoëfficiënt [GJ/jaar/m²]

A oppervlakte [m²]

b constante [GJ/jaar]

De constante a en b zijn beide afhankelijk van het type woning, het bouwjaar en het energielabel. De kengetallen zijn bepaald aan de hand van gasverbruikdata van het CBS voor heel Nederland. Bij het berekenen van de toekomstige warmtevraag wordt er een inschatting gemaakt van het verwachte energielabel in de toekomst.

3.2 Update BAG verrijking

De BAG verrijking is op een aantal onderwerpen geüpdatet:

- Extra bouwperiodes
- Nieuwe woningtypes
- Schillabelcorrectie

De extra bouwperiodes en nieuwe woningtypes zorgen voor een verdiepingsslag waardoor huidige en toekomstige warmtevraag gedetailleerder bepaald wordt. Daarnaast zijn alle kengetallen opnieuw bepaald met meer recente gasverbruikdata en een beter methode. Gemiddelde over alle woningtypes en bouwperiodes is de warmtevraag hierdoor iets toegenomen. Tot slot is er een correctie toegepast op het inschatten van de toekomstige warmtevraag en de besparingspotentie door middel van een correctie op het schillabel van de woning.

Schillabelcorrectie

De bij RVO bekende labels zijn mogelijk beter dan op basis van de isolatiegraad verwacht mag worden. Het bekendste en waarschijnlijk grootste effect is dat van zonnepanelen: een oude woning met label C kan deels een goed label behalen door zonnepanelen te plaatsen. Er wordt aangenomen wanneer het energielabel beter is dan verwachten, er wordt gecorrigeerd met één labelstap.

Stel een vrijstaande woning uit 1980 heeft label B. Terwijl onze inschatting zou zijn C. Dan corrigeren we het label terug naar C. Zoals in afbeelding 1.

Schil_B betekent: het schillabel dat DWTM kiest als het energielabel B is

woningtype	bouwjaar klasse van	bouwjaar klasse tot	default label	schil_A ++++	schil_A +++	schil_A ++	schil_A +	schil_A	schil_B	schil_C	schil_D	schil_E	schil_F	schil_G
Vrijstaand	1000	1920	G	A+	A+	A	B	C	D	D	D	E	F	G
Vrijstaand	1920	1946	G	A+	A+	A	B	C	D	D	D	E	F	G
Vrijstaand	1946	1966	F	A+	A+	A+	A	B	C	D	D	E	F	G
Vrijstaand	1966	1976	D	A+	A+	A+	A	B	C	D	D	E	F	G
Vrijstaand	1976	1980	C	A+	A+	A+	A	B	C	C	D	E	F	G
Vrijstaand	1980	1983	C	A+	A+	A+	A	B	C	C	D	E	F	G
Vrijstaand	1983	1988	C	A+	A+	A+	A	B	C	C	D	E	F	G
Vrijstaand	1988	1991	B	A+	A+	A+	A	B	B	C	D	E	F	G
Vrijstaand	1991	1993	B	A+	A+	A+	A	B	B	C	D	E	F	G
Vrijstaand	1993	2001	B	A+	A+	A+	A	B	B	C	D	E	F	G
Vrijstaand	2001	2013	A	A+	A+	A+	A	A	B	C	D	E	F	G
Vrijstaand	2013	2016	A+	A+	A+	A+	A+	A	B	C	D	E	F	G
Vrijstaand	2016	2030	A+	A+	A+	A+	A+	A	B	C	D	E	F	G

Figuur 1: Schillabelcorrectie voor vrijstaande woning

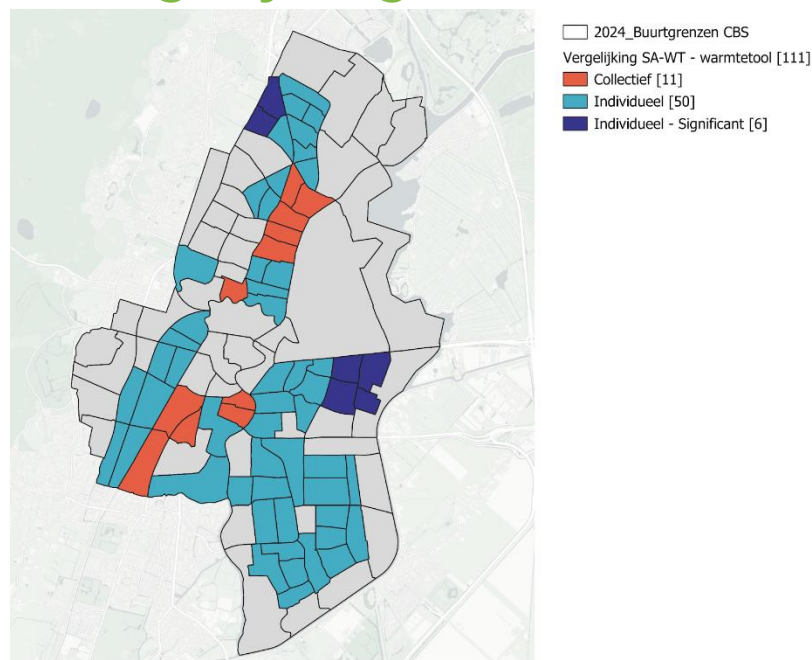
3.3 Update gebouwmaatregelen

In de update van Warmtetoollversie 2.2.0 naar 2.2.2 zijn de kosten voor isolatiemaatregelen en ventilatie van een hoger detailniveau. De kosten uit de vorige versie waren gebaseerd op het vesta MAIS model. De huidige kosten per maatregel worden per m² berekend. En zijn opgebouwd uit isolatiestappen per gebouwonderdeel. Hierdoor zijn de kosten beter onderbouwd en herleidbaar. De verandering zorgt niet voor een directe verhoging of verlaging van de kosten maar geven wel een betere onderbouwing dan voorheen.

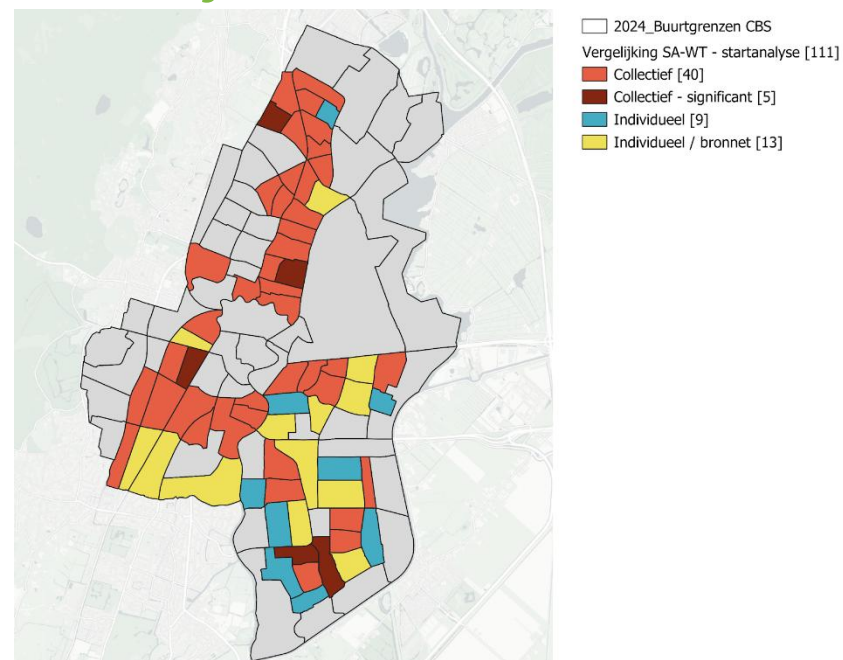
3.4 WIS rendementseis

Om de hoogte van de WIS te bepalen wordt de onrendabele top van de businesscase van een warmtenet berekend aan de hand van het rendement wat is vastgesteld door de RVO. In 2023 was dit rendement 4,23%. Na marktonderzoek onder warmtebedrijven is in 2024 dit rendement verhoogd naar 5,2%. Dit heeft direct invloed op de onrendabele top en de hoogte van de toegekende WIS. Dit werkt door in de verdiscontering en de tarieven die het warmtebedrijf aan haar klanten doorrekent. De verandering zorgt voor een mogelijke verhoging van het warmtetarief of de bijdrage aansluitkosten. Tussen de 2023 en 2024 analyses kan dit voor een verhoging van de eindgebruikskosten zorgen.

B. Vergelijking Warmtetool – Startanalyse



Figuur 15 Voorkeursoplossing op basis van totale nationale kosten berekent met de Warmtetool



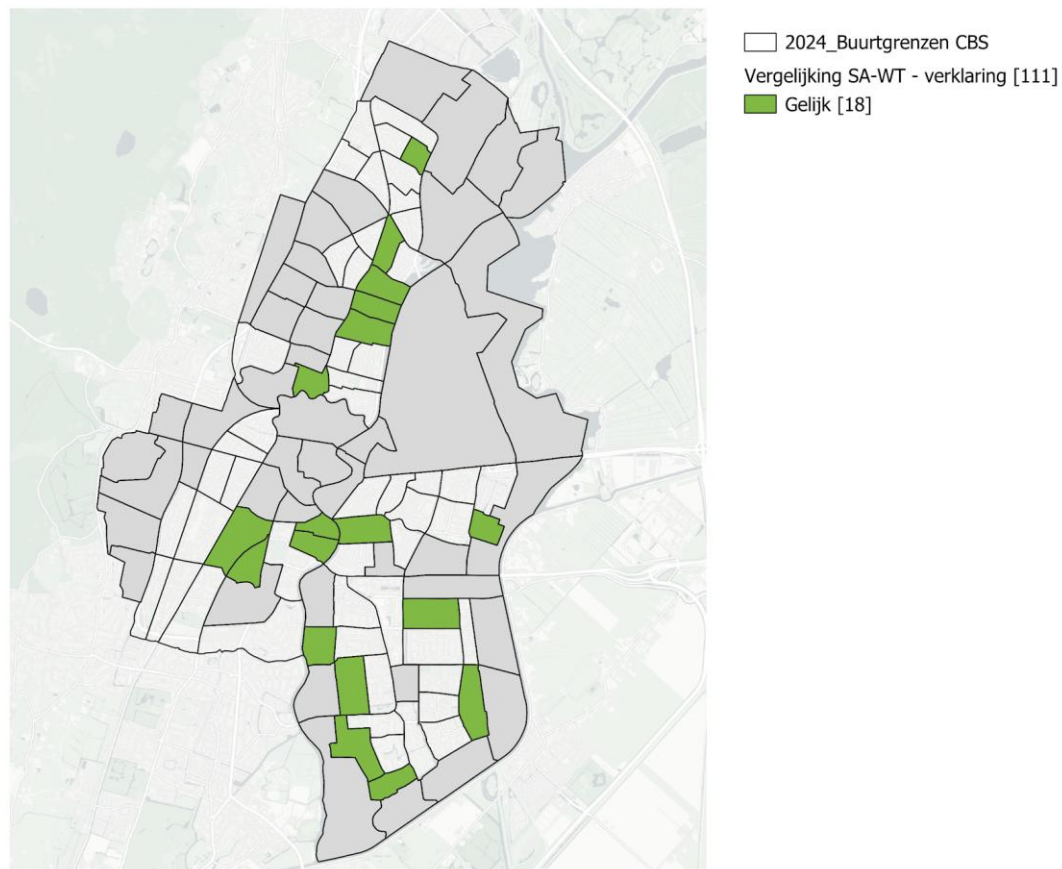
Figuur 16 Voorkeursoplossing per CBS-buurt volgens de PBL startanalyse

Op bovenstaande kaarten zijn resultaten van de Warmtetool (WT) omgezet naar dichtstbijzijnde CBS-buurt, om vergelijking met de Startanalyse (SA) mogelijk te maken:

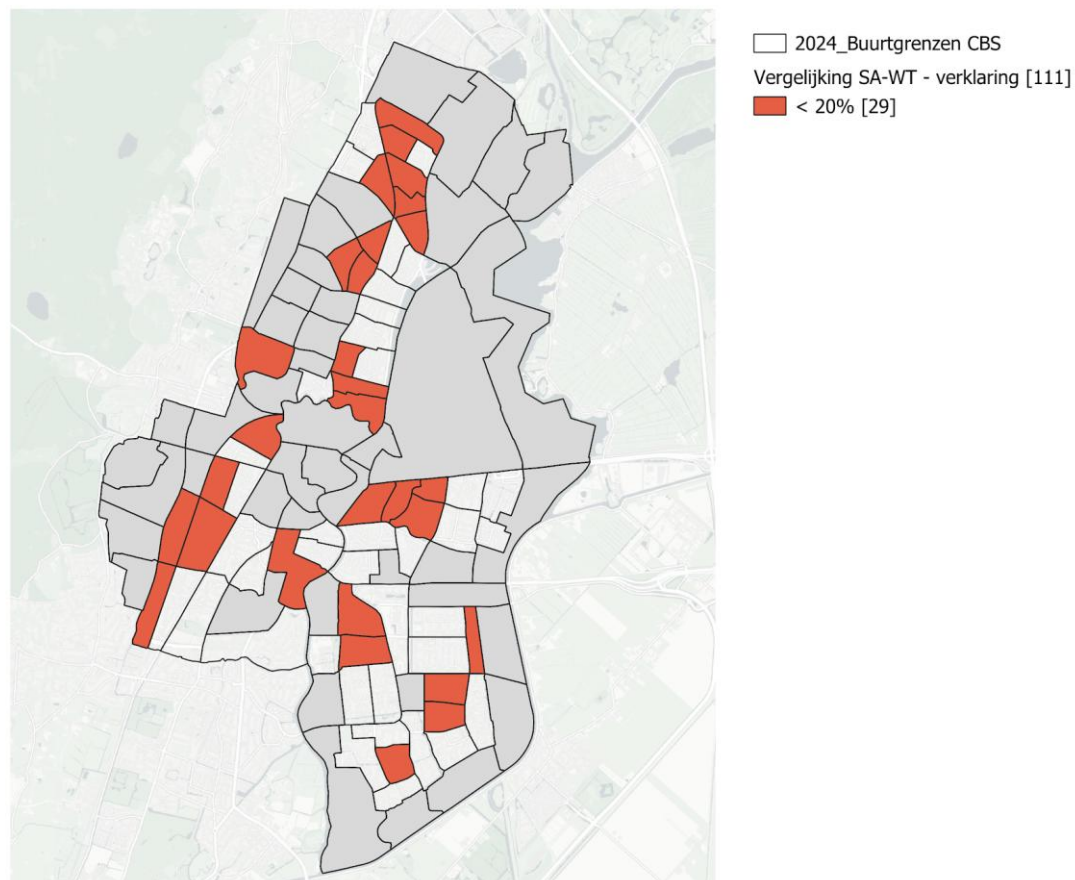
- Op het eerste gezicht lijken er grote verschillen te zijn, in de praktijk liggen ze dicht bij elkaar
- De meeste uitkomsten verschillen niet significant gegeven de 20% onzekerheidsmarge
- De startanalyse heeft een variant met groen gas/waterstof, deze is hier niet meegenomen
- Inschatting van bronnen is verschillend, in de Warmtetool is lokaal verrijkte informatie meegenomen
- De Warmtetool gebruikt een nauwkeurigere clustering van gebieden, de Startanalyse alleen de CBS-buurtkaart
- Kengetallen zijn niet enorm uiteenlopend, maar beperkte verschillen kunnen wel tot andere uitkomsten leiden. Bijvoorbeeld: SA hanteert 100% participatie bij een collectieve oplossing, WT 80%
- Aannames over isolatie zijn gelijk: isolatieniveau moet passend zijn bij het temperatuurniveau van de warmteoplossing
- De precieze technieken en typen warmtenetten/bronnen komen niet geheel overeen

Grijze buurten vallen buiten de scope van deze analyse.

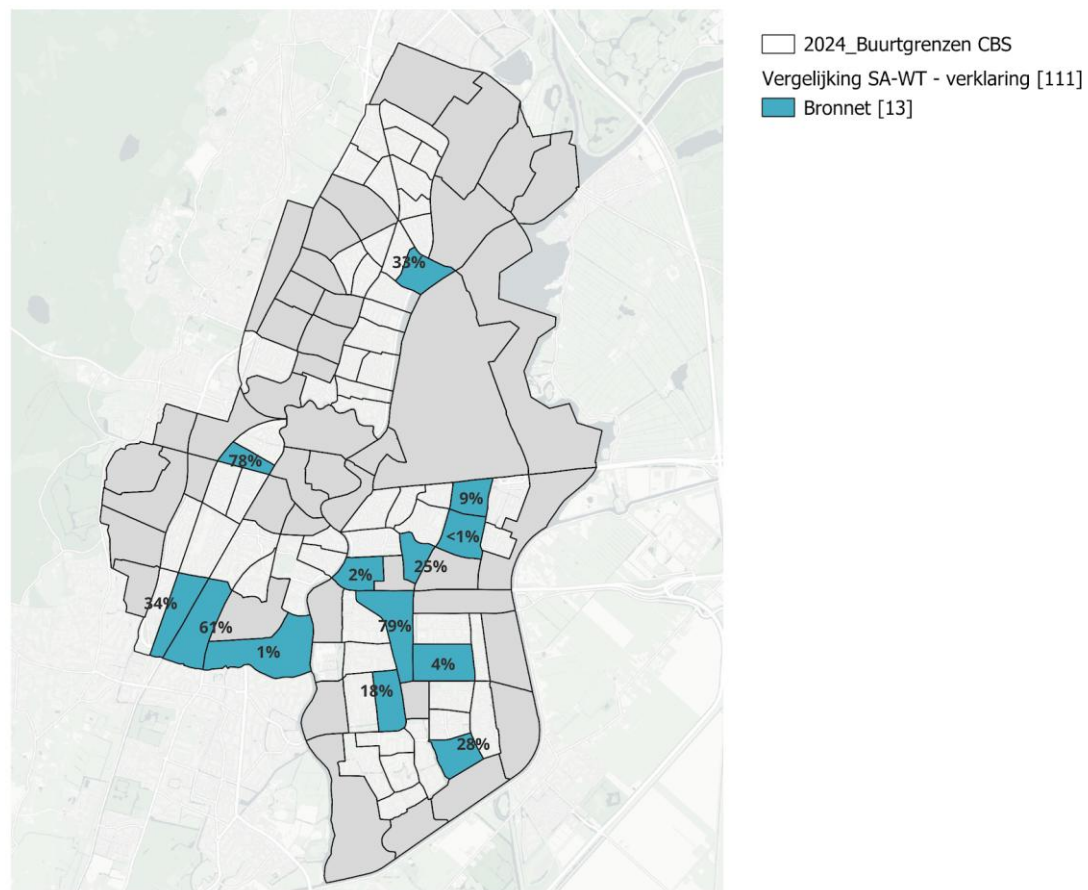
In 18 van de 111 buurten in Haarlem komen de resultaten van de Startanalyse direct overeen met de resultaten van de Warmtetoel.



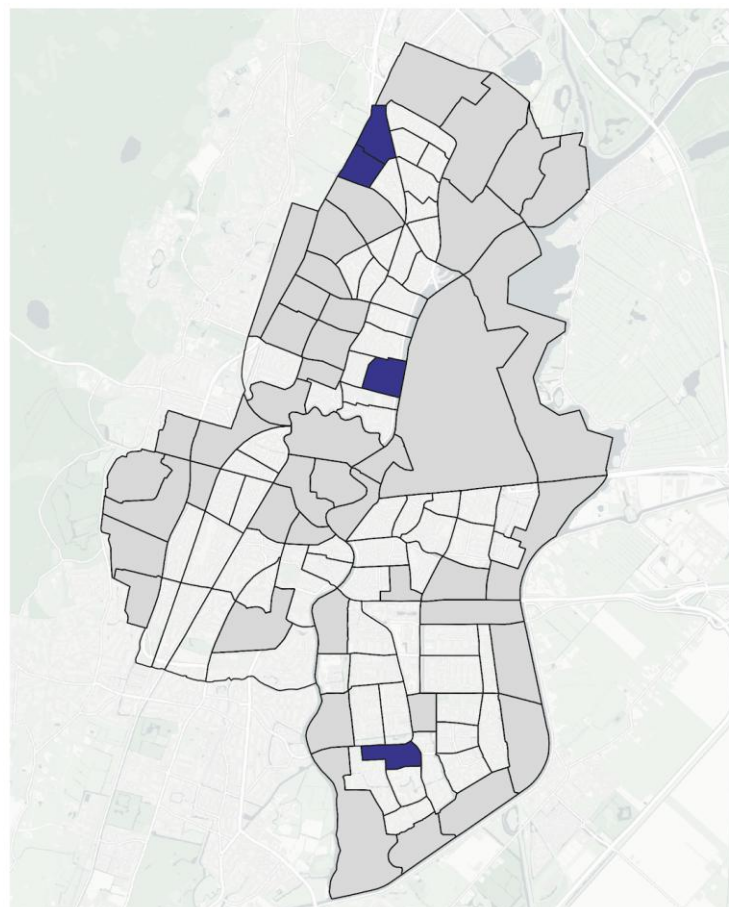
In 29 buurten verschillen de resultaten van de Startanalyse en de Warmtetool, maar zijn deze resultaten in beide methoden niet significant. Kleine verschillen in kengetallen en aannames maken dan het verschil als puur wordt gekeken naar de laagste nationale kosten in de uitkomst. De Warmtetool komt in dat geval vaker op individuele oplossingen dan de Startanalyse maar de verschillen zijn marginaal.



In 13 buurten geeft de Warmtetoel een (al dan niet significante) uitkomst voor individueel of collectief, maar geeft de Startanalyse een mix van beiden als uitkomst. In dat geval krijgt een deel van de buurt een bronnet, en de rest een individuele warmtepomp. Deze oplossing is in de Warmtetoel niet als optie meegenomen. De mix varieert in aandeel dat wordt aangesloten op een collectief bronnet (zie kaart).

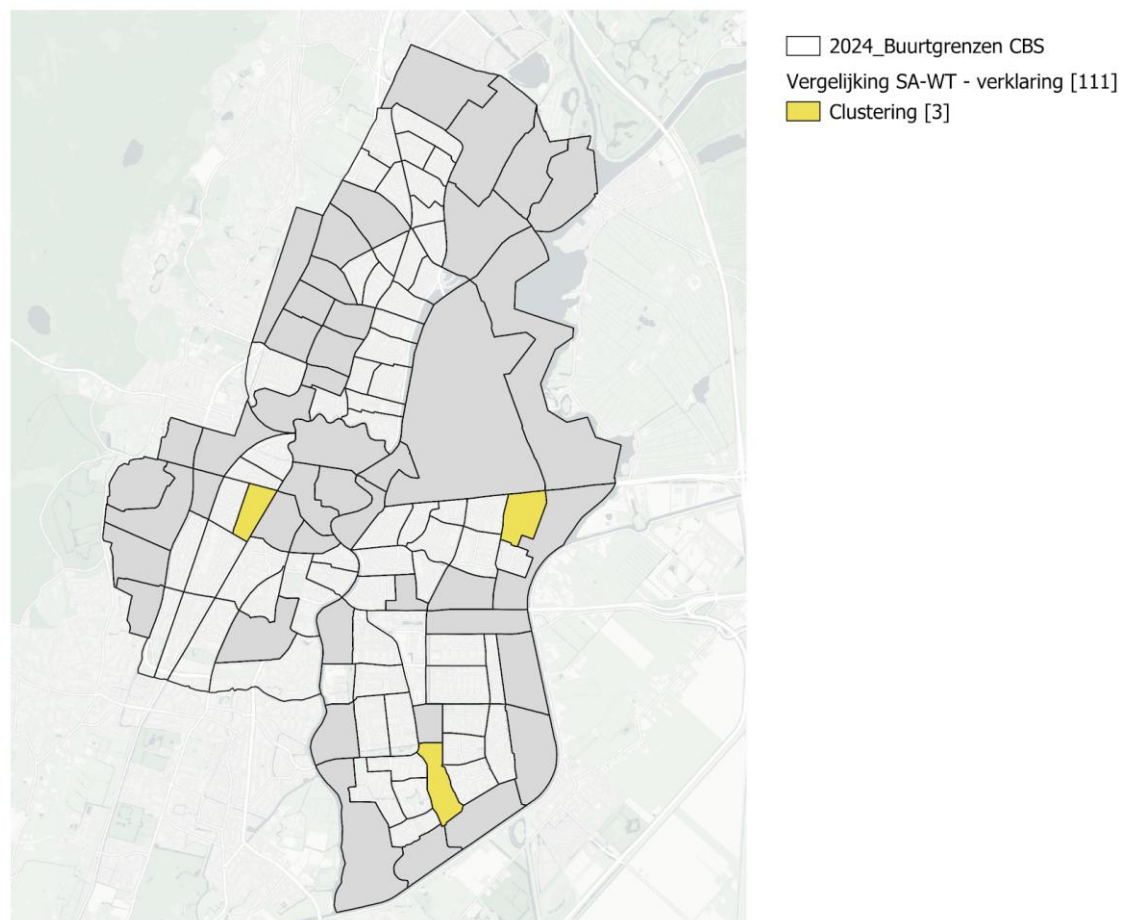


In 4 buurten geeft de Startanalyse een warmtenet op midden temperatuur met restwarmte. De gehanteerde bron is Tata Steel. Inzet van deze bron wordt voor Haarlem niet als realistische optie gezien, zeker niet als maar een klein deel van de wijken er gebruik van maakt. De overige MT-warmtenetten in Haarlem zouden volgens de Startanalyse met geothermie worden gevoed.



□ 2024_Buurtgrenzen CBS
 Vergelijking SA-WT - verklaring [111]
 ■ Tata [4]

In de 3 overgebleven buurten zijn de eerdere verklaringen niet van toepassing. Wat deze buurten wel gemeen hebben is dat ze in de Warmtetoel allen zijn ondergebracht in een groter cluster, in plaats van ze als individuele CBS buurt door te rekenen. Door dit verschil met de Startanalyse zijn de resultaten niet goed met elkaar te vergelijken.



Vergelijking per buurt:

Buurtnaam	Warmtetool	Startanalyse	Verklaring	Aandeel Bronnet
Koninginnebuurt	Collectief	Collectief	Gelijk	
Florapark	Collectief	Collectief	Gelijk	
Rozenprieel-noord	Collectief	Collectief	Gelijk	
Rozenprieel-zuid	Collectief	Collectief	Gelijk	
Bosch en Vaart	Collectief	Individueel / bronnet	Bronnet	61%
Frans Halsbuurt	Collectief	Collectief	Gelijk	
Medanbuurt	Collectief	Collectief	Gelijk	
Nieuw-Guineabuurt	Collectief	Individueel / bronnet	Bronnet	33%
Weltevredenbuurt	Collectief	Collectief	Gelijk	
Molukkenbuurt	Collectief	Collectief	Gelijk	
Soendabuurt	Collectief	Collectief	Gelijk	

Buurtnaam	Warmtetoel	Startanalyse	Verklaring	Aandeel Bronnet
Welgelegen	Individueel	Collectief	< 20% verschil	
Zuiderhout	Individueel	Individueel / bronnet	Bronnet	1%
Garenkokerskwartier	Individueel	Collectief	< 20% verschil	
Hasselaersbuurt	Individueel	Individueel / bronnet	Bronnet	78%
Leidsebuurt-west	Individueel	Collectief	< 20% verschil	
Leidsebuurt-oost	Individueel	Collectief - significant	Clustering	
Zeeheldenbuurt	Individueel	Collectief	< 20% verschil	
Geschiedschrijversbuurt	Individueel	Collectief	< 20% verschil	
Natuurkundigenbuurt-west	Individueel	Collectief	< 20% verschil	
Natuurkundigenbuurt-oost	Individueel	Individueel / bronnet	Bronnet	34%
Oude Amsterdamsebuurt	Individueel	Collectief	< 20% verschil	

Buurtnaam	Warmtetoel	Startanalyse	Verklaring	Aandeel Bronnet
Potgieterbuurt	Individueel	Collectief	< 20% verschil	
Cremerbuurt	Individueel	Collectief	< 20% verschil	
Van Zeggelenbuurt	Individueel	Collectief	< 20% verschil	
Kruistochtbuurt	Individueel	Individueel	Gelijk	
Componistenbuurt	Individueel	Individueel / bronnet	Bronnet	25%
Karolingenbuurt	Individueel	Individueel / bronnet	Bronnet	2%
Generaalsbuurt	Individueel	Collectief	< 20% verschil	
De Goede Hoop	Individueel	Collectief - significant	Tata als bron	
Nelson Mandelabuurt	Individueel	Collectief	< 20% verschil	
Patrimoniumbuurt	Individueel	Collectief	< 20% verschil	
Kleverpark-noord	Individueel	Collectief	< 20% verschil	

Buurtnaam	Warmtetoel	Startanalyse	Verklaring	Aandeel Bronnet
Schotervlieland	Individueel	Collectief	< 20% verschil	
Planetenbuurt	Individueel	Collectief	< 20% verschil	
Burgemeesterskwartier	Individueel	Collectief	< 20% verschil	
Nachtegaalbuurt	Individueel	Collectief	< 20% verschil	
Meeuwenbuurt	Individueel	Collectief	< 20% verschil	
Dietsveld	Individueel	Collectief	< 20% verschil	
Rivierenbuurt	Individueel	Collectief	< 20% verschil	
Roemer Visscherbuurt	Individueel	Collectief	< 20% verschil	
Muiderkring	Individueel	Collectief	< 20% verschil	
Van Aemstelbuurt	Individueel	Individueel	Gelijk	
Kruidenbuurt	Individueel	Collectief	< 20% verschil	

Buurtnaam	Warmtetoel	Startanalyse	Verklaring	Aandeel Bronnet
Schoolenaer	Individueel	Individueel	Gelijk	
Landenbuurt	Individueel	Collectief	< 20% verschil	
Stedenbuurt-west	Individueel	Individueel	Gelijk	
Stedenbuurt-oost	Individueel	Individueel / bronnet	Bronnet	18%
Romolenpolder-oost	Individueel	Individueel / bronnet	Bronnet	79%
Geleerdenbuurt	Individueel	Individueel	Gelijk	
Professorenbuurt	Individueel	Collectief	< 20% verschil	
Geneesherenbuurt	Individueel	Individueel / bronnet	Bronnet	4%
Hondsbos-Dever	Individueel	Individueel	Gelijk	
Waddenbuurt	Individueel	Collectief - significant	Tata als bron	
Ellertsveld	Individueel	Collectief - significant	Clustering	

Buurtnaam	Warmtetoel	Startanalyse	Verklaring	Aandeel Bronnet
De Burgen	Individueel	Collectief	< 20% verschil	
Saeftinge-Nemelaar	Individueel	Individueel	Gelijk	
Spijkerboorbuurt	Individueel	Collectief	< 20% verschil	
Nobelprijebuurt	Individueel	Individueel	Gelijk	
Archimedesbuurt	Individueel	Collectief	< 20% verschil	
Erasmusbuurt	Individueel	Individueel / bronnet	Bronnet	28%
Architectenbuurt	Individueel - Significant	Individueel / bronnet	Bronnet	9%
Zuiderpolder-noord	Individueel - Significant	Collectief	Clustering	
Kunstschildersbuurt	Individueel - Significant	Individueel / bronnet	Bronnet	<1%
Zuiderpolder-zuid	Individueel - Significant	Individueel	Gelijk	
Schrijversbuurt	Individueel - Significant	Collectief	Tata als bron	
Van Schendelbuurt	Individueel - Significant	Collectief - significant	Tata als bron	

C. Literatuurlijst

Rapporten wijkanalyses

- DWTM-P10134-GHA-Wijkanalyse Koninginnebuurt en Bos en Vaart - Herzien 2024
- DWTM-P10170-GHA-Garenkokerskwartier-Herzien 2024
- DWTM-P10170-GHA-Patrimoniumbuurt-Herzien 2024
- DWTM-P10170-GHA-Wijkanalyse Generaalsbuurt-Herzien 2024
- DWTM-P10170-GHA-Wijkanalyse Haarlem-Oost-Herzien 2024
- DWTM-P10170-GHA-Wijkanalyse Houtvaartkwartier-Herzien 2024
- DWTM-P10170-GHA-Wijkanalyse Planetenwijk-Herzien 2024
- DWTM-P10170-GHA-Wijkanalyse Rozenprieel-Herzien 2024
- DWTM-GHA-P10272 - Rapportage Haarlem Noord
- DWTM-GHA-P10272 - Rapportage Haarlemmerhoutkwartier
- DWTM-GHA-P10272 - Rapportage Kleverpark-Noord
- Eindrapportage Schalkwijk 22122023