



Technisch-economische analyse

Als onderdeel van de warmtevisie Nijmegen
2024



Technisch-economische analyse

Als onderdeel van de warmtevisie Nijmegen 2024

Dit rapport is geschreven door:
Frederique de Groen, Marijke Meyer en Benno Schepers

Delft, CE Delft, juni 2024

Publicatienummer: 24.240121.072

Opdrachtgever: Royal Haskoning DHV Nederland B.V.

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

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Marijke Meyer (CE Delft)

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

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



Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	6
	1.1 Aanleiding	6
	1.2 Doel en onderzoeksvragen	6
	1.3 Afbakening	6
	1.4 Leeswijzer	7
2	Huidige warmtevraag en verduurzamingsopties	8
	2.1 Inleiding	8
	2.2 Huidige warmtevraag	8
	2.3 Aardgasvrije warmtetechnieken	9
	2.4 Isoleren	12
3	Nationale kosten voor aardgasvrij verwarmen	13
	3.1 Wat zijn nationale kosten?	13
	3.2 Methode	14
	3.3 Beschikbaarheid van gasvormige energiedragers	15
	3.4 Warmtebronnen in Nijmegen	16
	3.5 Aannames per scenario	17
	3.6 Warmtetechniek per buurt	18
	3.7 Conclusies nationale kosten	24
4	Eindgebruikerskosten voor aardgasvrij verwarmen	25
	4.1 Wat zijn eindgebruikerskosten?	25
	4.2 Methode	25
	4.3 Aannames per scenario	26
	4.4 Techniek met laagste kosten voor eindgebruiker	27
	4.5 Gemiddelde eindgebruikerskosten per buurt in het basisscenario	32
	4.6 Gemiddelde eindgebruikerskosten per woningtype en bouwjaar in het basisscenario	34
	4.7 Conclusies eindgebruikerskosten	35
5	Conclusies	36
6	Literatuur	38
A	Benodigde energie en vermogen van de ARN per buurt	41
B	Tabellen nationale kosten	43
	B.1 Gemiddelde nationale kosten per buurt in het basisscenario	43



	B.2 Kostenverschil tussen gekozen oplossing en eerstvolgende alternatief in het basisscenario	44
C	Parameters nationale kosten	47
D	Parameters eindgebruikerskosten	58



Samenvatting

Voor de gemeente Nijmegen wordt de warmtevisie uitgewerkt. Onderdeel van deze warmtevisie is een onderbouwing van de keuzes voor warmteoplossingen op basis van onder andere twee technisch-economische analyses: een analyse naar *nationale kosten* en naar *eindgebruikerskosten*. In deze rapportage worden de aanpak en de resultaten van deze analyses weergegeven.

Het doel van de technisch-economische analyses is om antwoord te geven op de volgende vragen:

- Wat zijn de kosten, zowel nationale als eindgebruikerskosten, van de aardgasvrije warmtetechnieken?
- In welke buurten is er qua nationale kosten een grote kostenafstand tussen de goedkoopste warmtetechniek en de andere warmtetechnieken? En in welke buurten is er een klein verschil?
- Komt de techniekkeuze op basis van laagste nationale kosten overeen met de laagste kosten voor de eindgebruiker?

Nationale kosten

Voor het bepalen van de nationale kosten van de transitie naar een aardgasvrije gebouwde omgeving is gebruik gemaakt van het [CEGOIA](#)-model van CE Delft. Dit model berekent de kosten van alle ingestelde warmteoplossingen, zowel individueel als collectief. Hierbij wordt alleen gekeken naar de nationale kosten. Dat betekent dat naar de kosten *exclusief* belastingen en subsidies wordt gekeken en naar de niet-gesocialiseerde kosten van de energie-infrastructuur (in plaats van de nettarieven). Er vindt bij het inzichtelijk maken van deze kosten geen verdeling van de kosten plaats over de stakeholders in warmteketen.

Eindgebruikerskosten

De eindgebruikerskosten zijn de kosten die een bewoner, huurder/verhuurder werkelijk betaalt voor de transitie naar aardgasvrij. Hiervoor is gebruik gemaakt van het [CEKER](#)-model van CE Delft. In dit model wordt gekeken naar de prijzen van energie, installaties, isolatie en aansluitingen, *inclusief* belastingen en subsidies. Het gaat dus om een onderbouwde inschatting van de rekening die een bewoner krijgt van de energieleveranciers, netbeheerder en/of aannemer. De eindgebruikerskosten zijn afhankelijk van beleid. Wie de nationale kosten uiteindelijk betaalt en met name hoe die kosten over burgers, bedrijven en overheden verdeeld worden, hangt af van hoe en welke belastingen, heffingen en subsidies worden ingezet en hoe wetten en regelingen worden aangepast. Dit onderzoek houdt bij het berekenen van de eindgebruikerskosten de bestaande en aangekondigde regelgeving aan.

Scenario's

Om een goed beeld te krijgen van de mogelijkheden van de Nijmeegse buurten in de warmtetransitie, is er een uitgebreide set van technieken doorgerekend. Deze variëren tussen individuele en collectieve technieken en op isolatieniveau. Bij het doorrekenen is gebruik gemaakt van een vijftal scenario's om inzicht te krijgen in de effecten van verschillen in aannames. Dit zijn bijvoorbeeld de beschikbaarheid van groengas en grootschalige

warmtebronnen, de energietarieven en de hoogte van de aansluitbijdrage voor een warmtenet.

Conclusies

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

Uit de analyses blijkt dat de hybride warmtepomp in 2035 zowel de laagste nationale kosten heeft voor veel buurten in Nijmegen, als ook de laagste eindgebruikerskosten voor de meeste woningen. Hierbij geldt echter wel dat een gasvormige energiedrager (groengas) beschikbaar moet zijn. De hoeveelheid groengas dat in de toekomst beschikbaar is voor de gebouwde omgeving is nog erg onzeker.

Als groengas niet beschikbaar is, blijkt uit de modelberekening dat in veel buurten de nationale kosten voor een warmtenet of een elektrische warmtepomp dicht bij elkaar liggen. Bij de uiteindelijke keuze voor een techniek zullen andere afwegingen hier dus de doorslag moeten geven. Ook de gemiddelde eindgebruikerskosten per buurt van de verschillende technieken liggen steeds dicht bij elkaar, en zijn dus niet doorslaggevend voor een buurt.

De eindgebruikerskosten verschillen uiteraard wel sterk van woning tot woning. Hierdoor zal een techniekkeuze voor een buurt op basis van nationale kosten niet voor alle woningen in die buurt ook de laagste eindgebruikerskosten hebben. Met uitzondering van de hele oude woningen (<1900) liggen de eindgebruikerskosten van de hybride warmtepomp, het warmtenet en de luchtwarmtepomp voor een bepaald woningtype vaak wel weer dicht bij elkaar.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Gemeente Nijmegen werkt aan een update van haar warmtevisie. Input voor deze warmtevisie is onder andere een technisch-economische analyse van zowel de nationale kosten als eindgebruikerskosten van aardgasvrije warmteoplossingen voor de gemeente. Royal Haskoning-DHV begeleidt de gemeente Nijmegen in het actualisatie proces. Zij hebben CE Delft gevraagd om de technisch-economische analyse uit te voeren. Deze analyse zal één van de puzzelstukken zijn die samen bijdragen aan een nieuwe routekaart voor duurzame warmte in Nijmegen.

1.2 Doel en onderzoeksvragen

Het doel van de technisch-economische analyse is om antwoord te geven op de volgende vragen:

- Wat zijn de kosten, zowel nationale als eindgebruikerskosten, van de aardgasvrije warmtetechnieken?
- In welke buurten is er qua nationale kosten een grote kostenafstand tussen de goedkoopste warmtetechniek en de andere warmtetechnieken? En in welke buurten is er een klein verschil tussen technieken met de goedkoopste kosten?
- Komt de techniekkeuze op basis van laagste nationale kosten overeen met de laagste kosten voor de eindgebruiker?

1.3 Afbakening

Deze technisch-economische analyse focust zich op het berekenen van de optimale combinaties van warmtebronnen en woningen en utiliteitsgebouwen (exclusief industrie) wat betreft nationale en eindgebruikerskosten. De focus lag niet op de beschikbaarheid van de bronnen, dit is veelal overgenomen uit de bronnenstrategie van Nijmegen.

De technische-economische analyse is berekend met twee modellen. Het model genaamd [CEGOIA](#) is gebruikt om nationale kosten te berekenen. De eindgebruikerskosten zijn berekend met [CEKER](#). Het tekstkader hieronder legt uit hoe de modelresultaten geïnterpreteerd kunnen worden.

Tekstkader 1 - Interpretatie van modelresultaten

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

1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 begint met de huidige warmtevraag van de gemeente Nijmegen en beschrijft de verschillende opties om de warmtevoorziening te verduurzamen. De uitkomsten van de analyse naar nationale en eindgebruikerskosten staan respectievelijk in Hoofdstukken 3 en 4. Hoofdstuk 5 bevat de conclusies van de analyses.

In de bijlagen zijn veel aannames en kengetallen terug te vinden die zijn gebruikt bij de analyses.

2 Huidige warmtevraag en verduurzamingsopties

2.1 Inleiding

Dit hoofdstuk start met de uitgangssituatie van de warmtevraag van de gebouwde omgeving¹ in Nijmegen. Daarna worden de aardgasvrije warmtetechnieken en isolatieniveaus beschreven die zijn meegenomen in de analyses.

2.2 Huidige warmtevraag

De huidige warmtevraag van utiliteitsgebouwen (exclusief panden met industrie functie en exclusief proceswarmte) en woningen in Nijmegen is ongeveer 4 PJ per jaar, zie Tabel 1. Twee derde van de warmtevraag is van de woningen en één derde is van de utiliteitsgebouwen.

Voor de woningen is de dataset referentieverbruik warmte van het PBL (PBL, 2023b) gebruikt om de totale warmtevraag per buurt te bepalen. Voor de utiliteit is de gebouwgebonden warmtevraag berekend aan de hand van de parameters uit Tabel 22. De buurt Stadscentrum heeft in totaal de grootste warmtebehoefte, namelijk 10% van de totale warmtebehoefte. Het stadscentrum heeft ook het grootste aantal woningequivalenten.

Tabel 1 - Huidige warmtevraag voor utiliteitsgebouwen en woningen in Nijmegen voor warm tapwater en ruimteverwarming. De buurten Vogelzang, Westkanaaldijk en Bijsterhuizen zijn niet weergegeven omdat het merendeel van de gebouwen hier industrieel zijn. De buurten Oosterhout, Ressen en Lent zijn ook niet weergegeven omdat hier al warmtenet ligt.

Buurtcode	Buurtnaam	Utiliteit		Woningen	
		Warm tapwater behoefte (GJ/jaar)	Ruimteverwarming behoefte (GJ/jaar)	Warm tapwater behoefte (GJ/jaar)	Ruimteverwarming behoefte (GJ/jaar)
BU02680735	Aldenhof	218	6.314	4.919	34.306
BU02680204	Altrade	381	25.825	12.640	108.121
BU02680100	Benedenstad	883	45.422	5.574	49.455
BU02680320	Biezen	548	15.912	18.144	111.356
BU02680202	Bottendaal	671	24.335	10.151	70.973
BU02680618	Brakkenstein	300	10.986	7.711	66.613
BU02680841	De Kamp	488	16.207	10.735	75.988
BU02680203	Galgenveld	640	48.950	13.910	120.486
BU02680512	Goffert	4.233	77.629	4.304	29.608
BU02680208	Groenewoud	2.136	60.009	6.703	44.438
BU02680615	Grootstal	579	12.321	11.068	78.378
BU02680616	Hatert	677	26.882	20.513	131.516
BU02680614	Hatertse Hei	201	6.649	8.084	63.530

¹ Woningen en utiliteitsgebouwen, exclusief panden met een industrie functie.

Buurtcode	Buurtnaam	Utiliteit		Woningen	
		Warm tapwater behoefte (GJ/jaar)	Ruimteverwarming behoefte (GJ/jaar)	Warm tapwater behoefte (GJ/jaar)	Ruimteverwarming behoefte (GJ/jaar)
BU02680425	Haven- en industrieterrein	1.232	89.766	393	7.052
BU02680511	Hazenkamp	727	32.228	9.727	84.462
BU02680422	Hees	470	21.854	5.937	52.892
BU02680517	Heijendaal	7.109	194.222	4.082	33.930
BU02680206	Hengstdal	525	21.889	13.527	109.331
BU02680423	Heseveld	498	24.490	12.721	95.169
BU02680205	Hunnerberg	689	33.194	7.993	79.089
BU02680843	Kerkenbos	899	45.513	101	610
BU02680207	Kwakkenberg	720	19.464	3.780	34.608
BU02680734	Lankforst	20	1.488	4.082	32.697
BU02680736	Malvert	243	7.553	4.687	37.835
BU02680733	Meijhorst	519	13.136	6.915	46.502
BU02680424	Neerbosch-Oost	1.283	35.302	14.828	93.149
BU02680848	Neerbosch-West	378	8.988	282	1.977
BU02680510	Nije Veld	431	15.134	12.459	76.722
BU02680209	Ooyse Schependom	7	338	524	4.253
BU02680513	St. Anna	246	19.773	7.096	60.716
BU02680739	Staddijk	220	5.107	433	1.303
BU02680101	Stadscentrum	3.691	260.913	18.325	120.270
BU02680840	't Acker	385	5.206	11.078	68.123
BU02680842	't Broek	171	5.536	7.631	49.279
BU02680731	Tolhuis	357	8.444	6.713	51.013
BU02680737	Weezenhof	60	2.601	7.167	64.232
BU02680321	Wolfskuil	276	22.359	12.912	84.053
BU02680732	Zwanenveld	322	22.869	9.405	66.260

2.3 Aardgasvrije warmtetechnieken

Voor de warmtetransitie kunnen meerdere warmtetechnieken worden ingezet. Voor een CO₂-neutrale warmtevoorziening is de voorwaarde dat de energie die wordt gebruikt afkomstig is van duurzame energiebronnen. In deze paragraaf geven we een overzicht van de technieken die geschikt zijn voor een aardgasvrije warmtevoorziening. De factsheets op www.warmtetechnieken.nl gaan uitgebreider in op de verschillende warmtetechnieken. De beschrijvingen gaan uit van de huidige stand van de techniek.

Sommige warmtetechnieken vereisen een minimaal isolatieniveau:

- warmtetechnieken op middentemperatuur (MT) vereisen een isolatieniveau van 70 kWh/m² (dit komt ongeveer overeen met het vroegere energielabel C);
- warmtetechnieken op lagetemperatuur (LT) vereisen een isolatieniveau van 50 kWh/m² (dit komt ongeveer overeen met het vroegere energielabel B).

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

Individuele warmtetechnieken

Elektrische warmtepomp



Een elektrische warmtepomp is een individuele elektrische warmteoplossing. Gebouweigenaren kunnen zelfstandig overschakelen op deze techniek. De luchtwarmtepomp, de bodemwarmtepomp en de PVT-warmtepomp² zijn de bekendste typen warmtepomp. Deze warmtepompen gebruiken warmte uit de lucht, bodem en zonnewarmte en brengen dit met behulp van elektriciteit naar een temperatuurniveau dat geschikt is voor het verwarmen van gebouwen en tapwater. Doordat warmtepompen voornamelijk energie uit de lucht of bodem gebruiken en een kleiner deel elektriciteit, hebben ze een hoger rendement dan de hr-ketel. Voor het toepassen van een elektrische warmtepomp moet een woning of utiliteitsgebouw zeer goed worden geïsoleerd³, naar een isolatieniveau van 50 kWh/m². Dit is met name kostbaar bij vooroorlogse bouw. Ook moeten de radiatoren worden vervangen door vloerverwarming of LT-radiatoren. Wanneer een groep gebouwen overschakelt naar een elektrische oplossing, kan het zijn dat het elektriciteitsnet moet worden verzwaaard.

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

Hybride warmtepomp



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

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

Een hybride warmtepomp is nog niet aardgasvrij: deze gebruikt aardgas op die momenten dat de hr-ketel bijspringt. Op de langere termijn (verwacht wordt zeker na 2030), kan groengas bijvoorbeeld, dit aardgas mogelijk vervangen. Op dat moment is het mogelijk om zonder CO₂-uitstoot te verwarmen met een hybride warmtepomp. **Het is echter nog zeer de vraag of, en zo ja wanneer, duurzame gassen beschikbaar komen (zie ook Paragraaf 3.3).**

² PVT-panelen zetten licht om in elektriciteit (photovoltaïsch) en onttrekken warmte uit de lucht (thermisch).

³ Er zijn ook warmtepompen die op middentemperatuur kunnen leveren, dit gaat echter wel samen met een lager rendement en een hogere investering. Daartegenover staat dat er minder ver geïsoleerd hoeft te worden.

Collectieve warmtetechnieken (warmtenetten)

Hogetemperatuurwarmtenet



Voor een hogetemperatuur (HT-)warmtenet is een nieuwe infrastructuur nodig voor het vervoeren van water met een temperatuur van minimaal 75°C. Dit water wordt verwarmd met een HT-warmtebron, zoals geothermie (afhankelijk van de diepte) of restwarmte uit de industrie. Een HT-warmtenet is warm genoeg voor het verwarmen van het gebouw en verzorgen van warm tapwater. In het gebouw zelf wordt de cv-ketel vervangen door een kleinere afleverset, bestaande uit een warmtewisselaar en warmtemeter. De afleverset komt doorgaans in de meterkast te hangen. De afleverset moet nog gekoppeld worden aan het warmteafgiftesysteem, hiervoor moeten de verwarmingsleidingen worden omgelegd. Extra isolatie is niet nodig, hoewel dit wel wenselijk kan zijn vanuit comfortoverwegingen en energiebesparing (besparing op de energielasten, zuinig omgaan met schaarse warmtebronnen en CO₂-reductie). Een aandachtspunt bij het ontwikkelen van een warmtenet is de afstemming tussen de huidige en toekomstige warmtevraag en de warmte die het net kan leveren.

In Nijmegen is de enige potentiële HT-warmtebron de Afvalenergiecentrale ARN te Weurt (zie ook Paragraaf 3.4). In de doorrekening gaan we er echter vanuit dat deze HT-warmtebron aan het middentemperatuurwarmtenet levert.

Middentemperatuurwarmtenet



Voor een middentemperatuur (MT-)warmtenet is ook een nieuwe infrastructuur nodig. Een MT-warmtenet heeft een temperatuur van tussen de 55°C en 75°C en wordt meestal gevoed met LT-bronnen, waarna de temperatuur wordt opgewaardeerd met een collectieve warmtepomp. Voorbeelden van LT-bronnen zijn ondiepe geothermie (tot 1.250 meter diep, met een temperatuur van 15-40°C) en aquathermie. Bij aquathermie wordt warmte onttrokken aan water, zoals oppervlaktewater of afvalwater. Dit is doorgaans in combinatie met een wko (warmte-koudeopslag). Door het omhoog brengen van de temperatuur van het water in het warmtenet met een collectieve elektrische warmtepomp, is het water dat bij de woningen en overige gebouwen aankomt warm genoeg voor het verwarmen van HT-radiatoren en tapwater. Een MT-warmtenet kan ook een warmtebron van hogere temperatuur hebben, zoals geothermie⁴ of de retourleiding van een HT-warmtenet. De gebouwen moeten voor verwarmen met een MT-warmtenet wel een redelijk isolatieniveau hebben (70 kWh/m²), maar niet zo goed als bij een LT-warmtenet. De geleverde temperatuur is immers hoger, waardoor de woningen sneller opwarmen.

In Nijmegen kan een MT-warmtenet, naast de ARN, gevoed worden met aquathermie uit de Waal, vanuit de Afvalenergiecentrale ARN of ondiepe geothermie (zie ook Paragraaf 3.4).

Lagetemperatuurwarmtenet



Ook voor een (zeer)lagetemperatuur (ZLT-/LT-)warmtenet is een nieuwe infrastructuur nodig. Bij een LT-warmtenet gaat het om warmte met een temperatuur tussen de 30°C en 55°C. Een ZLT-warmtenet, of bronnet, heeft een temperatuur van maximaal 30°C. Bij een ZLT-warmtenet moet de temperatuur van de warmte nog omhoog gebracht worden met een indivi-

⁴ Afhankelijk van de diepte kan geothermie warmte leveren van 70-90°C.

duele warmtepomp in het gebouw. LT-warmtebronnen zijn bijvoorbeeld warmte uit bedrijfsprocessen, waterzuiveringsinstallaties, datacenters, bodemenergie of aquathermie. Gebouwen moeten zeer goed worden geïsoleerd, namelijk naar een isolatieniveau van 50 kWh/m². Daarnaast moet worden overgeschakeld op een LT-afgiftesysteem (bijvoorbeeld vloerverwarming of LT-radiatoren) en is er een aparte voorziening nodig voor warmtapwater.

In Nijmegen zijn we uitgegaan van aquathermie uit de Waal of ondiepe geothermie om een ZLT- of LT-warmtenet te voeden (zie ook Paragraaf 3.4).

2.4 Isoleren

We rekenen met verschillende isolatiepakketten. Elk pakket bevat een aantal maatregelen, maakt de woning geschikt voor een bepaald temperatuurniveau, leidt tot een bepaalde warmtevraag en brengt bepaalde investeringskosten met zich mee. Deze isolatiepakketten met bijbehorend temperatuurniveau, warmtevraag en investeringskosten komen uit een studie van Merosch (2020).

We rekenen met vier isolatieniveaus;

1. Huidige isolatie:
 - in de meeste gevallen betekent dit dat de woning geschikt is voor verwarming op het HT-niveau;
 - de warmtevraag is gelijk aan de huidige warmtevraag (zie Paragraaf 2.2);
 - dit isolatiepakket brengt geen kosten met zich mee.
2. Isolatie naar het MT-niveau:
 - de woning is geschikt voor verwarming op het MT-niveau;
 - de warmtevraag na isolatie van de woning is 70 kWh/m²;
 - dit niveau is vergelijkbaar met het oude energielabel C.
3. Isolatie naar het LT-niveau:
 - de woning is geschikt voor verwarming op het LT-niveau;
 - de warmtevraag na isolatie van de woning is 50 kWh/m²;
 - dit niveau is vergelijkbaar met het oude energielabel B.
4. Isolatie naar het BENG-niveau:
 - de woning is geschikt voor verwarming op het LT-niveau;
 - de warmtevraag na isolatie van de woning is 30 kWh/m²;
 - dit niveau is vergelijkbaar met het oude energielabel A.

3 Nationale kosten voor aardgasvrij verwarmen

3.1 Wat zijn nationale kosten?

In het Klimaatakkoord is afgesproken dat gemeenten hun keuze voor een aardgasvrije warmteoplossing onder andere programmeren op basis van de laagste nationale kosten. Nationale kosten zijn de totale kosten voor de maatschappij van alle maatregelen die nodig zijn om ergens (bijvoorbeeld in een buurt) over te stappen op een aardgasvrije warmte-techniek, ongeacht wie die kosten betaalt. Dit zijn de kosten over de gehele keten:

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

Deze nationale kosten wijken af van de kosten die de verschillende partijen in de keten dragen. De verschillende partijen hebben te maken met tarieven, in plaats van daadwerkelijke kosten. Gebruikerskosten zijn de kosten die iedereen dagelijks ervaart en die mensen en bedrijven elkaar betalen, dus kosten inclusief winstopslagen, belastingen (btw en andere belastingen) en heffingen (zoals accijns op benzine), etc. In Tekstkader 2 staat een voorbeeld van het verschil tussen nationale kosten en eindgebruikerskosten.

Door de nationale kosten te bepalen, kunnen technieken objectief met elkaar vergeleken worden, zonder dat de keuze wordt beïnvloed door huidige marktwerking, winstoogmerken, belastingen en subsidies. De warmtetechniek met de laagste nationale kosten is dus niet vanzelfsprekend de warmtetechniek met de laagste kosten voor bewoners. Vanuit de gedachte dat de kosten uiteindelijk worden doorberekend aan de eindgebruikers, kan het echter wel een logische keuze zijn te richten op de warmtetechniek met de laagste nationale kosten.

Tekstkader 2 - Voorbeeld: verschil nationale kosten en eindgebruikerskosten



Een buurt wordt aangesloten op een warmtenet. De kosten voor deze aanpak bestaan onder andere uit het aanleggen van een warmtenet, het plaatsen van installaties in de woning om van de warmte gebruik te maken, het aanbrengen van eenvoudige isolatie om de warmte beter binnen te houden en de kosten voor het gebruik van warmte.

Bij nationale kosten worden al deze kosten bij elkaar opgeteld. Er wordt geen rekening gehouden met het feit dat de warmteleverancier de kosten voor het aanleggen uiteindelijk doorrekent naar een woningeigenaar: de kosten worden gemaakt, en bij wie de kosten terechtkomen is voor deze berekening niet relevant. Op deze wijze kunnen verschillende technieken, waarbij er andere regels gelden over eigendom en doorrekenen van kosten, objectief met elkaar worden vergeleken.

De kosten voor een bewoner zijn slechts deels gerelateerd aan deze nationale kosten. Een bewoner draagt enkel de kosten aan installaties en woningisolatie, en betaalt verder een energierekening. Hiernaast kan een bewoner gebruik maken van subsidies waardoor de kosten voor hem lager worden. Op basis van deze kostenberekening bepaalt een woningeigenaar of hij een warmtetechniek kan en wil betalen. De totale investering die dit vraagt is hiermee echter buiten beeld.

De kosten van een bewoner worden weergegeven door middel van de *eindgebruikerskosten*. Deze methodiek kijkt enkel naar de kosten voor de eindgebruiker. De eindgebruikerskosten zijn lastig te bepalen: deze hangen erg af van de op dat moment aanwezige subsidies, de wijze waarop kosten worden doorberekend aan de klant, welke winstmarges partijen hiervoor willen vragen, et cetera. De berekende eindgebruikerskosten zijn daarmee altijd slechts een indicatie, en zullen daarmee ook nog altijd verschillen van de daadwerkelijke kosten.

3.2 Methode

Buurtniveau als basis

Er zijn verschillende soorten oplossingen om de warmtevraag van gebouwen klimaatneutraal in te vullen. Sommige oplossingen zijn individueel, andere oplossingen zijn collectief. Wat de kostenoptimale oplossing per buurt is, hangt sterk af van het type, de eigenschappen en mogelijkheden van de gebouwen in de buurt. Gaat het bijvoorbeeld om dichtbebouwde historische binnensteden, recente hoogbouw, een dorpskern, buitengebied of bedrijventerrein? En zijn er mogelijkheden voor restwarmte, geothermie, wko of groengas? CEGOIA maakt daarom berekeningen op buurtniveau (CBS-indeling), waarbij de karakteristieken van een buurt worden gebruikt als input voor het model. Hierbij valt te denken aan het type bebouwing (gestapeld, grondgebonden, gemiddeld oppervlak, woningtype), het bouwjaar van de gebouwen, de gebouwfuncties (woningen, kantoren, winkels, etc.) en de dichtheid van de bebouwing (aantal gebouwen per hectare).

Totale jaarlijkse kosten

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

Combinatie woningen en utiliteit

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

Kostenoptimalisatie voor de hele gemeente, gegeven de beschikbaarheid van bronnen

Met het CEGOIA-model worden voor elke buurt alle mogelijke combinaties doorgerekend van isolatieniveau van de gebouwen en warmtetechniek, inclusief de daarbij behorende kosten van energie-infrastructuur. Vervolgens wordt er een kostenoptimalisatie uitgevoerd om een eindbeeld van de warmtevoorziening te bepalen. Bij deze optimalisatie rekent het model uit welke verdeling van beschikbare warmtebronnen en energiedragers over de buurten leidt tot de laagste nationale kosten voor de hele gemeente.

Wat zit er niet in het model

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

- De ruimtelijke inpasbaarheid van verschillende warmteoplossingen.
- Huidige status van installaties in gebouwen en de energie-infrastructuur⁵.
- Schaalvoordelen die ontstaan als een warmtenet groter wordt.
- Organisatorische uitvoerbaarheid (de ene oplossing is organisatorisch eenvoudiger te realiseren dan de ander).
- De kosten van de transportleiding tussen de warmtebron en de buurten waarin de warmte wordt toegepast. Er wordt geen tracé bepaald.

3.3 Beschikbaarheid van gasvormige energiedragers

Groengas en waterstof zijn energiedragers die op termijn aardgas mogelijk kunnen vervangen als brandstof voor de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving. Groengas en waterstof zullen zeker tot 2030 echter geen significante rol kunnen spelen in de verduurzaming van de gebouwde omgeving. Ook de toekomstige beschikbaarheid en prijs van deze gassen is zeer onzeker, waardoor waterstof en groengas ook na 2030 voor de gebouwde omgeving naar verwachting alleen een logische optie zijn als er geen andere reële warmtealternatieven voorhanden zijn (Ministerie van BZK, 2021).

⁵ Denk hierbij aan of de installatie al aan het einde van zijn levensduur is of dat de infrastructuur al economisch is afgeschreven.

Groengas



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

De potentiële groengasproductie in Nederland, ligt ver onder de huidige aardgasvraag (CE Delft, 2021). In het Klimaatakkoord heeft de groengassector het streven uitgesproken om in Nederland 70 PJ groengas te produceren in 2030. Dit is ongeveer 6% van de huidige aardgasvraag. Het is nog onbekend of deze ambitie gehaald wordt, maar groengas zal sowieso een schaars product blijven. Daarnaast is het lastig om al toekomstbestendig groengas te alloceren aan bepaalde sectoren. Aangezien er voor de industrie en transportsector minder alternatieven zijn dan voor de gebouwde omgeving, is het zeer de vraag hoeveel groengas er over zal blijven voor verwarming in de gebouwde omgeving.

We gaan in deze analyse in het basisscenario uit van de een beschikbaarheid van 1,6 bcm (56 PJ) groengas voor de gebouwde omgeving (excl. industrie) voor Nederland (CE Delft, 2023) in het basisscenario. ***Naar rato van het huidig aardgasverbruik van de gebouwde omgeving in Nijmegen ten opzichte van huidig aardgasverbruik van de gebouwde omgeving in heel Nederland komt dit neer op 0,5 PJ voor Nijmegen.***

Waterstof

Waterstof komt niet op grote schaal als molecuul in de natuur voor, maar kan worden geproduceerd uit aardgas, waarbij CO₂ vrijkomt ('grijze waterstof'), maar kan ook klimaatneutraal zijn. Dit kan door CO₂ af te vangen en op te slaan ('blauwe waterstof') of door waterstof direct te produceren uit duurzame elektriciteit of vergassing van biomassa ('groene waterstof'). Waterstof opgewekt uit duurzame elektriciteit heeft in Nederland een beperkt productiepotentieel. De ambitie van de overheid is om in 2030 250-350 kton aan waterstof te produceren in Nederland. Dit is 30-40% van de hoeveelheid waterstof die nu in Nederland wordt gemaakt uit aardgas voor gebruik in de industrie. De rijksoverheid en natuurorganisatie Natuur en Milieu hebben aangegeven waar waterstof het meest zinvol kan worden ingezet (Ministerie van EZK, 2020). Dit is allereerst in de industrie en voor het zwaar transport omdat hiervoor geen goede alternatieven voorhanden zijn. ***Daarom nemen we waterstof niet mee in deze analyse (CE Delft, 2020).***

3.4 Warmtebronnen in Nijmegen

Geothermie

Een potentieonderzoek van geothermie in Gelderland laat zien dat een deel van Nijmegen technisch een redelijke tot goede kans heeft om diepe geothermie te gebruiken voor warmtevoorziening. Het gaat hier om warmte uit de Rotliegend Formatie (Witteveen+Bos & PanTerra, 2022). Uiteindelijk is het nog onzeker of en hoe geothermie gebruikt zou kunnen worden voor warmtevoorziening in Nijmegen. ***Voor de kostenberekeningen zijn wij***

uitgegaan van de beschikbaarheid van ondiepe (lage temperatuur) geothermie in heel Nijmegen.

ARN

De Afvalenergiecentrale ARN te Weurt is voor Nijmegen de enige potentiële HT-warmtebron. Deze levert maximaal 120°C. Van de drie warmtebronnen in Nijmegen rekenen we alleen met een limiet voor warmte van de ARN. ***Wij gaan uit van een vermogen van maximaal 85 MW voor de gemeente Nijmegen in het basisscenario.*** Of het volledige vermogen van de ARN in de toekomst echt beschikbaar is voor Nijmegen is nog niet bekend. Naast de HT-warmte kan de ARN in de toekomst waarschijnlijk ook nog extra warmte produceren uit de rookgassen, in de ordegrootte van 6 MW.

Aquathermie

Bij aquathermie wordt er thermische energie (warmte en soms koude) gewonnen uit water. De warmte die hieruit gewonnen kan worden is tussen de 7 en 25°C en is daarmee een zeer-lagetemperatuurbron (ZLT). De warmte wordt vooral gewonnen als het warm is en opgeslagen in een wko-systeem tot de winter.

Alhoewel aquathermie een bestaande techniek is, wordt deze op dit moment nog niet veel toegepast. Factoren die hierbij een rol spelen zijn de relatief hoge investeringskosten, kennis van de lokale situatie en het isolatieniveau van de gebouwen. Aquathermie is vooral kansrijk in nieuwbouw, mede vanwege de goede isolatiegraad.

Als de warmte collectief opgewaardeerd wordt, kan aquathermie ook als bron dienen voor een MT-warmtenet (hiervoor is wel elektriciteit nodig). Aquathermie wordt meestal gebruikt in combinatie met een warmte-koudeopslag (wko), het is daarom van belang dat de bodem hiervoor geschikt is. Aquathermie kent verschillende varianten: thermische energie uit oppervlaktewater (TEO), afvalwater (TEA) en drinkwater (TED).

De rioolwaterzuiveringsinstallatie van Nijmegen is gelegen naast de ARN en zou in de toekomst een extra warmtebron (TEA) kunnen vormen voor Nijmegen. Deze wordt niet expliciet als optie genoemd in de expertreview warmtenetstrategie van Berenschot (2023), maar wel in hun eerdere warmtenetstrategie (Innoforte & Berenschot, 2019). Wij hebben de rioolwaterzuiveringsinstallatie niet meegenomen in de berekening.

Nijmegen heeft voldoende oppervlaktewater beschikbaar vanuit de Waal en het Maas-Waalkanaal voor TEO. In onze berekening nemen wij deze optie mee als ongelimiteerde warmtebron voor buurten in een straal van 500 meter.

Warmte-koudeopslag (wko)

Voor seizoensopslag kun je gebruikmaken van een aquifer in de bodem. Dit is een waterlaag in de ondergrond waar de warmte (of koude) in opgeslagen kan worden. Een wko-systeem maakt hiervan gebruik. Zomers wordt er warm water de grond in gepompt en wordt koud water onttrokken. In de winter wordt de zomerwarmte weer uit de grond opgepompt en wordt de koude voor de zomer terug gestopt. Vaak gebeurt dit in combinatie met een warmtepomp. Hiermee is deze techniek dus vooral interessant als er zowel een warmte- als koudevraag is, en dus vooral geschikt voor kantoren en meerdere, goed geïsoleerde woningen. Bij een wko-systeem zijn de vaste kosten relatief hoog, waardoor het wenselijk

is om deze over zo veel mogelijk verbruik (warmte en koude) te delen. Deze optie is dan ook vooral geschikt voor grootschaliger systemen en minder goed voor een enkele woning.

In Nijmegen is de toepassing van wko niet toegestaan in het verbodsgebied als gevolg van drinkwaterwinning in de buurt Brakkenstein en omgeving.

3.5 Aannames per scenario

Deze paragraaf begint met een overzicht van de belangrijkste aannames die zijn gebruikt in de basisdoorrekening van de nationale kosten. Een volledig overzicht van alle gebruikte parameters is opgenomen in Bijlage A. Naast het basisscenario hebben we ook een aantal andere scenario's doorgerekend om inzicht te kunnen geven in het effect van de onzekerheid op de verschillende aannames.

Overzicht aannames in het basisscenario

- **Zichtjaar:** De nationale kosten zijn berekend voor het zichtjaar **2035**. Dit betekent dat er in de kostenberekeningen rekening is gehouden met de verwachte kosten van installaties en klimaatneutrale energiedragers in 2035. Voor de bepaling van de toekomstige energiekosten gebruiken we de voorspellingen van de KEV (PBL, 2023a). Voor de investeringen gebruiken we de huidige investeringen met een indexatie van 2% per jaar.
- **Beschikbaarheid gas:** Voor de berekening van de nationale kosten zijn we uitgegaan van een aardgasvrij Nijmegen (dus zonder aardgas) en een **beperkte hoeveelheid groengas** (zie ook Paragraaf 3.2).
- **Isolatie-niveau:** We gaan ervanuit dat de woningen in Nijmegen de komende jaren een isolatieslag maken en in 2035 minimaal geïsoleerd zijn naar **MT-niveau** (ongeveer label C).
- **Beschikbaarheid warmte:** Voor ondiepe geothermie en aquathermie uit de Waal hebben we aangenomen dat deze kunnen voorzien in de vraag van Nijmegen. Voor berekening van de nationale kosten hebben we de warmte uit de ARN gelimiteerd. In het basisscenario gaan we uit van **85 MWth**⁶.

Verschillen in aannames per scenario's

Tabel 2 geeft een overzicht van de verschillen in aannames per scenario voor berekening van de nationale kosten met CEGOIA.

Tabel 2 - Verschillen in scenario-instellingen CEGOIA

Scenario	Hoeveelheid groengas	Elektriciteitskosten	Isolatie-niveau	Hoeveelheid warmte van de ARN
Basis	0,5 PJ (zie 3.3)	23,3 €/GJ (KEV midden)	Minimaal MT	85 MW
Geen groengas	0,0 PJ	23,3 €/GJ	Minimaal MT	85 MW
Hoge elektriciteitskosten	0,5 PJ	29,8 €/GJ (KEV hoog)	Minimaal MT	85 MW

⁶ Dit is de huidige capaciteit vanuit de ARN. De warmte uit de ARN zal echter niet enkel voor Nijmegen worden gebruikt, maar ook voor de buurgemeenten. Hoeveel er voor Nijmegen beschikbaar zal zijn in de toekomst is nog niet bekend.

Geen minimaal isolatieniveau	0,5 PJ	23,3 €/GJ	Geen minimum	85 MW
Geen minimaal isolatieniveau en geen ARN	0,5 PJ	23,3 €/GJ	Geen minimum	0 MW

3.6 Warmtetechniek per buurt

De verdeling van warmtetechnieken die leidt tot de laagste nationale kosten voor de gehele gemeente Nijmegen⁷ verschilt per scenario. We vergelijken het basisscenario met de alternatieve scenario's. Het is van belang om rekening te houden met het feit dat de gepresenteerde kosten een resultaat zijn van modelberekeningen. In iedere modelberekening zit een vorm van onzekerheid. De resultaten zijn dus geen absolute waarheid, maar een schatting op basis van de best beschikbare informatie en zeer afhankelijk van de aannames die gedaan zijn. In de praktijk betekent dit dat modelresultaten nuttig zijn om mee te nemen in de afweging tussen aardgasvrije technieken, maar dat dit geen absolute zekerheid biedt. Het is dus van belang om met die bril de resultaten te interpreteren.

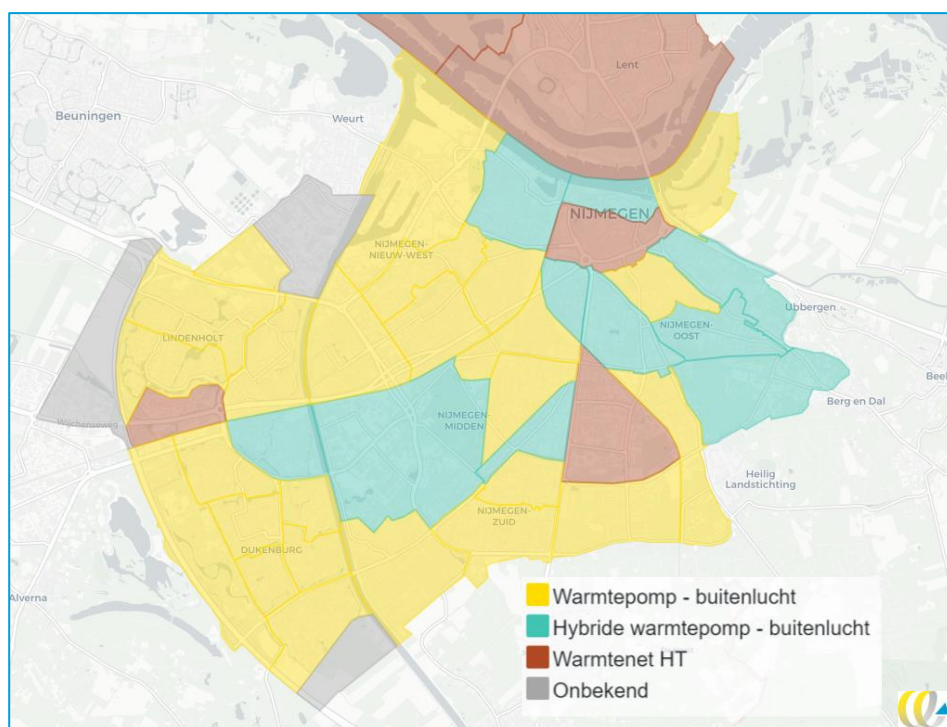
Basisscenario

De verdeling van warmtetechnieken die in het basisscenario leidt tot de laagste nationale kosten zijn weergegeven in Figuur 1. De kosten zijn berekend met de aannames van het basisscenario (zie Paragraaf 3.5). Bij de toewijzing van technieken wordt rekening gehouden met de beschikbare hoeveelheid warmte en groengas. De hybride warmtepomp heeft voor veel buurten de laagste nationale kosten, maar door de beperkte hoeveelheid groengas kan deze niet overal worden toegewezen.

De warmtepomp is de meest voorkomende techniek. Voor 25 buurten komen op een elektrische warmtepomp uit en in tien buurten wordt de hybride warmtepomp toegewezen. De drie buurten die een warmtenet krijgen toegewezen maken gebruik van de warmte van de ARN. Deze drie buurten maken hierbij gebruik van 17,6 MW van het vermogen van de ARN (zie tabel in Bijlage A). Bij deze modeluitkomst zijn de drie warmtebuurten verspreid over de stad. De kosten van de transportleiding tussen de warmtebron en de buurten waarin de warmte wordt toegepast zijn niet berekend in dit eindbeeld. Bij bepaling van een werkelijk tracé zal deze afstand een grote rol spelen.

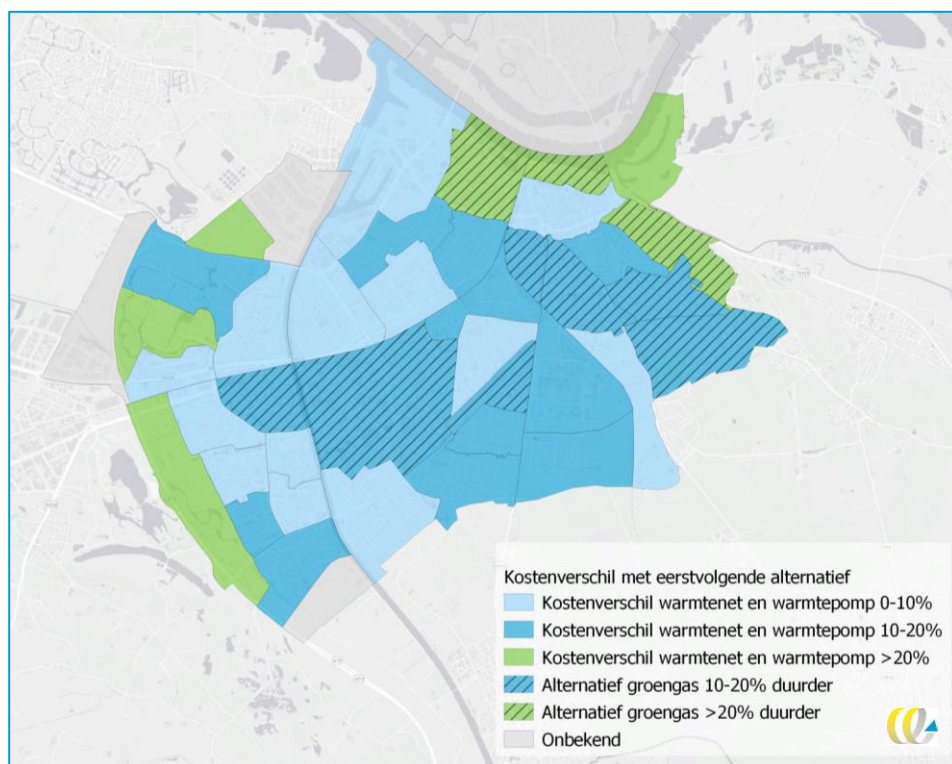
⁷ De drie noordelijkste buurten van Nijmegen (Oosterhout, Ressen en Lent) zijn niet weergegeven, omdat hier al warmtenet ligt en deze al (grotendeels) aardgasvrij zijn. Voor de woningen in deze buurten die nog niet zijn aangesloten op het warmtenet is geen berekening gedaan. De buurten Vogelzang, Westkanaaldijk en Bijsterhuizen zijn niet weergegeven omdat het merendeel van de gebouwen hier industrieel zijn.

Figuur 1 - De verdeling van warmtetechnieken op basis van laagste nationale kosten in het basisscenario



De verschillen tussen de nationale kosten van de technieken zijn soms erg klein. Het nadeel van de uitkomst op de kaart is dat het verschil met het eerstvolgende alternatief niet zichtbaar is. In sommige buurten liggen de kosten van het warmtenet en een warmtepomp namelijk erg dicht bij elkaar. Als dit verschil kleiner is dan 10% is er geen duidelijke voorkeur op basis van de kosten. In Figuur 2 is het relatieve kostenverschil gegeven tussen de uitkomst in Figuur 1 en het eerstvolgende beschikbare alternatief. Aangezien groengas al volledig is toebedeeld in het eindbeeld is dit alternatief een warmtenet of elektrische warmtepomp. De hybride warmtepomp is niet meer beschikbaar als alternatief. Voor een derde van de buurten is het kostenverschil 10% of kleiner. Voor de helft van de buurten ligt het kostenverschil tussen de 10 en 20%. Voor de buurten die in het basisscenario groengas toegewezen hebben gekregen is het kostenverschil altijd meer dan 10%.

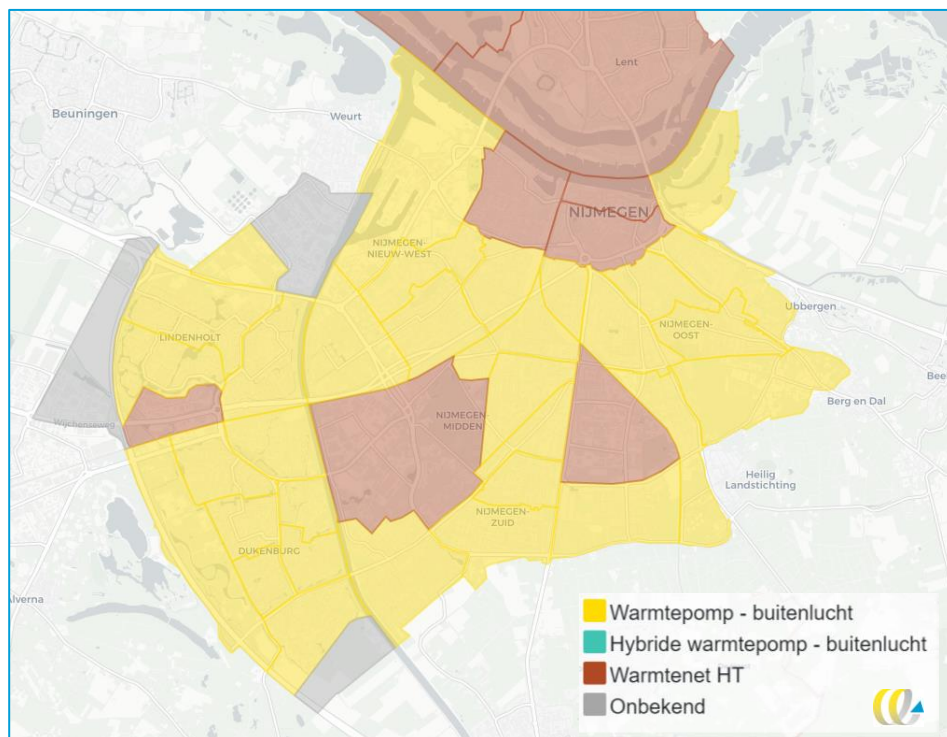
Figuur 2 - Relatieve verschil in nationale kosten tussen uitkomst in het basisscenario en het eerstvolgende beschikbare alternatief



Geen groengas

In dit scenario is er helemaal geen groengas beschikbaar en is het dus niet mogelijk om te verwarmen met een hybride warmtepomp. Vergeleken met het basisscenario worden er drie extra buurten (Biezen, Benedenstad en Goffert) aangesloten op het warmtenet, gevoed door de ARN. In de rest van de buurten wordt een luchtwarmtepomp toegewezen.

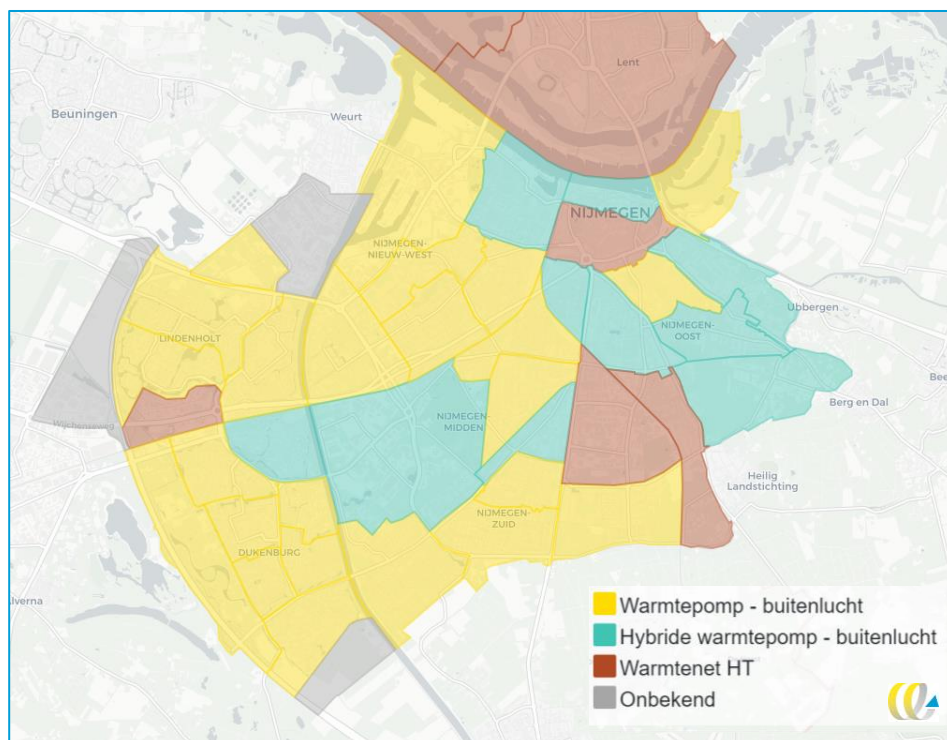
Figuur 3 - De verdeling van warmtetechnieken o.b.v. laagste nationale kosten in het scenario zonder groengas



Hoge elektriciteitskosten

De technieken per buurt die volgen uit de berekening met hogere elektriciteitskosten verschillen weinig van het beeld dat volgt uit het basisscenario. Door de hogere elektriciteitskosten is er één buurt (Groenewoud) waarin het warmtenet van de ARN goedkoper is in vergelijking met de luchtwarmtepomp die in het basisscenario wordt toegewezen. Het effect van de hogere elektriciteitskosten is beperkt, omdat de energiekosten van een warmtepomp maar een klein deel zijn van de totale kosten. Het merendeel van de kosten bestaan uit de investering in installatie en de extra isolatie die nodig is. Door het hoge rendement van de warmtepomp blijven de energiekosten beperkt.

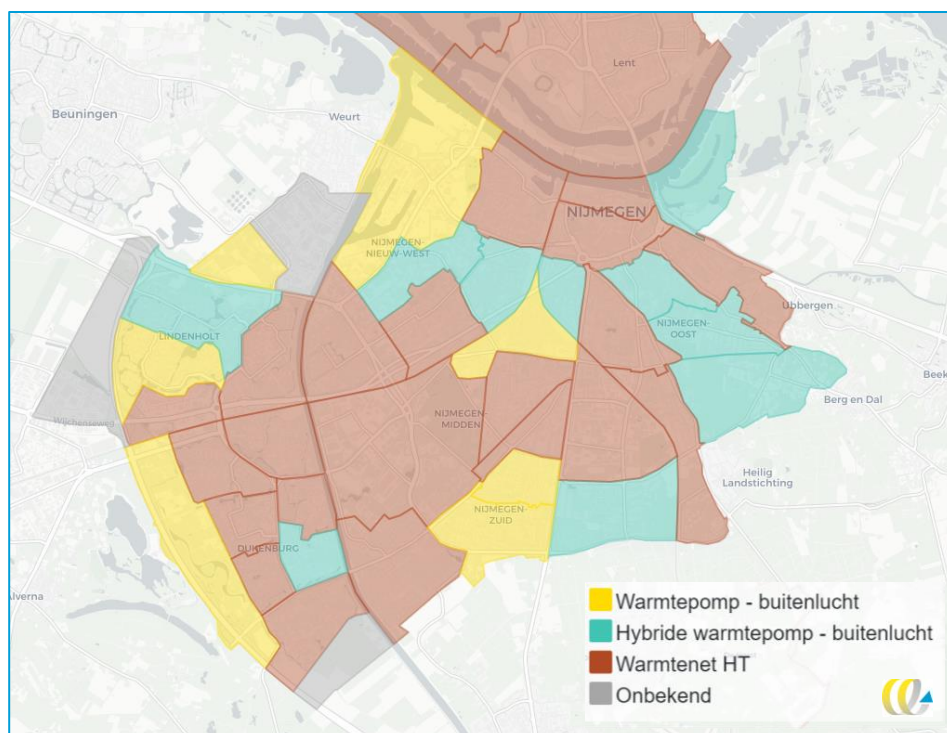
Figuur 4 - De verdeling van warmtetechnieken o.b.v. laagste nationale kosten in het scenario met hoge elektriciteitskosten



Geen minimaal isolatieniveau

In het basisscenario nemen we aan dat de woningen minstens worden geïsoleerd naar een warmtevraagniveau van 70 kWh/m² (ongeveer het oude energielabel C) en daarmee verwarmd kunnen worden op midden temperatuur. In dit scenario gaan we uit van de huidige isolatiegraad van de woningen en bepaald de modeloptimalisatie op laagste nationale kosten welke aanvullende isolatie er nodig is. Dit scenario verschilt het meest met het basisscenario. Het merendeel (21) van de buurten in gemeente Nijmegen komt op een warmtenet uit. Het vermogen van de ARN wordt helemaal opgebruikt in dit scenario. Er zijn drie buurten waarbij de hybride warmtepomp werd toegewezen in het basisscenario en waarbij dat in dit scenario ook zo is: Kwakkenberg, Hengstdal en Bottendaal.

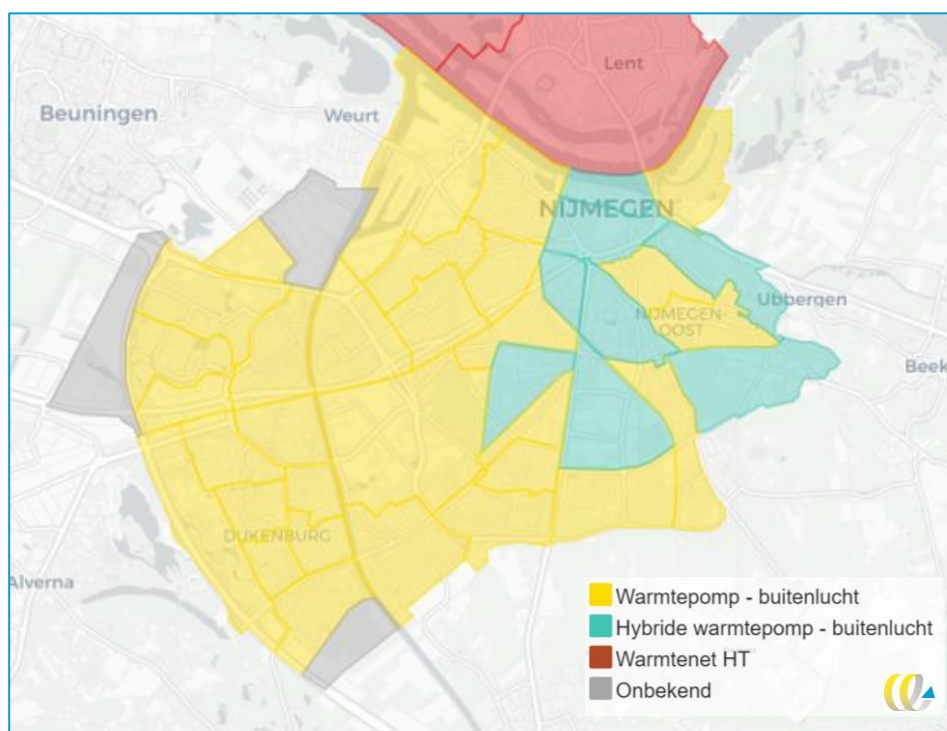
Figuur 5 - De verdeling van warmtetechnieken o.b.v. laagste nationale kosten in het scenario zonder minimaal isolatieniveau



Geen minimaal isolatieniveau en geen ARN

In het vorige scenario, waarbij er geen minimaal isolatieniveau van de woningen is aangenomen, werd de warmte uit de ARN volledig gebruikt. De beschikbare warmte vanuit de ARN is onzeker en op de lange termijn is verduurzaming van de warmtebron gewenst. Om de mogelijkheden van duurzame warmte te onderzoeken is in dit scenario zonder minimaal isolatieniveau gerekend en zonder warmte uit de ARN. Een MT- of LT-net op basis van aquathermie of ondiepe geothermie zijn duurder dan een warmtenet met de ARN als bron. De optimalisatie op nationale kosten laat zien dat een warmtepomp dan goedkoper is. Vanwege de beperkte beschikbaarheid van groengas worden komen de meeste buurten uit op een elektrische warmtepomp. Voor acht buurten in Nijmegen wordt de hybride warmtepomp toegewezen, veelal zijn deze buurten hetzelfde als de buurten met hybride warmtepomp in het basisscenario.

Figuur 6 - De verdeling van warmtetechnieken o.b.v. laagste nationale kosten in het scenario zonder minimaal isolatieniveau en zonder warmte uit de ARN



3.7 Conclusies nationale kosten

Voor de meeste buurten in Nijmegen heeft een hybride warmtepomp de laagste nationale kosten in een aardgasvrij eindbeeld voor 2035. Echter zal in 2035 niet genoeg groengas beschikbaar zijn om al deze buurten te voorzien. Door de beperking op groengas laat het eindbeeld in het basisscenario voor de meeste buurten een elektrische warmtepomp zien.

De nationale kosten voor de elektrische warmtepomp en een warmtenet blijken in veel buurten dicht bij elkaar te liggen. Voor een derde van de buurten is het kostenverschil tussen de uitkomst in het basisscenario en het eerstvolgende beschikbare alternatief 10% of kleiner. In deze buurten zullen andere factoren dan de nationale kosten doorslaggevend zijn. Voor de helft van de buurten is dit kostenverschil tussen de 10 en 20%.

Het eindbeeld blijkt gevoelig voor de aanname dat woningen minstens al isoleren naar een niveau van 70 kWh/m² (ongeveer het oude energielabel C). Als er geen minimaal isolatieniveau wordt aangenomen laat het eindbeeld juist veel potentie zien voor een warmtenet met de ARN als bron. Als de woningen niet verder worden geïsoleerd heeft dit warmtenet in veel buurten de laagste nationale kosten. De beschikbare warmte uit de ARN wordt in dit scenario volledig toegewezen. De aanname uit het basisscenario dat woningen wel verder geïsoleerd zullen worden, leidt er toe dat de warmtepomp lagere nationale kosten heeft in veel buurten.

Een warmtenet op aquathermie of ondiepe geothermie heeft hogere nationale kosten dan een warmtenet met warmte uit de ARN. Als we aannemen dat er geen warmte uit de ARN beschikbaar is, blijkt in de meeste buurten de elektrische warmtepomp goedkoper dan een warmtenet.

4 Eindgebruikerskosten voor aardgasvrij verwarmen

4.1 Wat zijn eindgebruikerskosten?

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

De eindgebruikerskosten zijn afhankelijk van beleid. Wie de nationale kosten uiteindelijk betaalt en met name hoe die kosten over burgers, bedrijven en overheden verdeeld worden, hangt af van hoe en welke belastingen, heffingen en subsidies worden ingezet en hoe wetten en regelingen worden aangepast. Dat zorgt ervoor dat er grote onzekerheden zitten in de eindgebruikerskosten. Beleid is, zeker in het huidige politieke klimaat, veranderlijk en de keuzes over wie welke kosten draagt zijn nog lang niet allemaal gemaakt. Dit onderzoek houdt bij het berekenen van de eindgebruikerskosten de bestaande/aangekondigde regelgeving aan.

Het belangrijkste verschil met de nationale kosten, is dat de eindgebruikerskosten rekening houden met alle kosten en opbrengsten die specifiek zijn voor de eindgebruiker, wat betekent dat deze ook tarieven, belastingen en subsidies omvatten. De eindgebruikerskosten geven inzicht in de rekening die de eindgebruiker uiteindelijk betaalt bij verschillende warmtetechnieken. Deze informatie kan worden gebruikt bij de discussie over de betaalbaarheid van de energietransitie. Wat niet in de berekeningen is meegenomen, is dat investeringen een positief effect kunnen hebben op de waarde van een woning of gebouw.

De berekening van de eindgebruikerskosten is alleen gedaan voor de woningen niet voor de utiliteit.

4.2 Methode

Om de eindgebruikerskosten van de verschillende aardgasvrije warmtetechnieken te berekenen, hebben we het CEKER-model (CE-kosten voor eindgebruikers rekentool) van CE Delft gebruikt.

Grofweg ziet de berekening er als volgt uit:

- Elke buurt bestaat uit een verzameling van verschillende typen woningen, uit verschillende bouwjaren, en met een verschillend isolatieniveau. Daarnaast bestaan er ook verschillende vormen van eigenaarschap: koopwoningen, particuliere huurwoningen en sociale huurwoningen. Voor elke woning (type, bouwjaar, label en eigenaarschap) is berekend wat de eindgebruikerskosten zijn voor een specifieke warmtetechniek.
- Vervolgens hebben we deze kosten bij elkaar opgeteld en gedeeld door het aantal woningen in een buurt.

- Het eindresultaat geeft de gemiddelde eindgebruikerskosten van een warmtetechniek in de buurt weer. Dit betekent dat deze inschatting niet geldt voor individuele eindgebruikers.

Figuur 7 geeft een overzicht van de verschillende kostencomponenten die worden meegenomen in het CEKER-model van CE Delft.

Figuur 7 - Overzicht kostencomponenten CEKER-model



Bij het berekenen van de gemiddelde eindgebruikerskosten per buurt hebben we, zoals hiervoor genoemd, rekening gehouden met de verhouding huurder en bewoner-eigenaren in een buurt. Bewoner-eigenaren dragen zowel de kosten voor de investeringen als de doorlopende kosten zoals de energierekening. Voor huurders geldt vaak dat een gedeelte van de investeringen wordt gedaan door de verhuurder. Echter worden niet alle investeringen door de verhuurder gedaan. Hoe verhuurders de investeringen doorberekenen in de huurprijs is op voorhand niet te zeggen.

4.3 Aannames per scenario

Deze paragraaf begint met een overzicht van de belangrijkste aannames die zijn gebruikt in de basisdoorrekening van de eindgebruikerskosten. Een volledig overzicht van alle gebruikte parameters is opgenomen in Bijlage D. Naast het basisscenario hebben we ook een aantal andere scenario's doorgerekend om inzicht te kunnen geven in het effect van de onzekerheid op de verschillende aannames. Deze worden onderaan deze paragraaf beschreven.

Overzicht aannames in het basisscenario

- **Zichtjaar:** De berekeningen zijn gedaan met de kosten en tarieven die we verwachten in het jaar 2035. Voor de bepaling van de toekomstige energiekosten gebruiken we de voorspellingen van de KEV (PBL, 2023a). Voor de investeringen gebruiken we de huidige investeringen met een indexatie van 2% per jaar.
- **Beschikbaarheid gas:** Voor de eindgebruikerskosten hebben we zowel gerekend met de kosten van aardgas (ter referentie) als met groengas. In het basisscenario is geen rekening gehouden met een beperking op de beschikbaarheid van groengas. Er is wel een scenario doorgerekend zonder groengas en aardgas.
- **Isolatie-niveau:** We gaan ervanuit dat de woningen in Nijmegen de komende jaren een isolatieslag maken en in 2035 minimaal geïsoleerd zijn naar **MT-niveau** (ongeveer label C).

- **Aansluitkosten warmte:** Voor berekening van de eindgebruikerskosten hebben we de bijdrage aansluitkosten (BAK) gevarieerd. De BAK zijn de éénmalige kosten die een gebouweigenaar betaalt om aangesloten te worden op een warmtenet. In het basisscenario gaan we uit van een BAK van 4.000 €/woning, wat aansluit bij de huidige ISDE-subsidie voor aansluiting op een warmtenet.

Scenario's

Tabel 3 geeft een overzicht van de aannames voor berekening van de eindgebruikerskosten met CEKER.

Tabel 3 - Verschillen per scenario in modelinstellingen CEKER.

Scenario	Variabele energietarieven in 2035 (incl. btw en energiebelasting, excl. indexatie)			Isolatie-niveau	BAK
	Gas	Elektriciteit	Warmte		
Basis	1,53 €/m ³ (groengas)	0,18 €/kWh (KEV midden)	43,56 €/GJ	Minimaal MT	BAK laagbouw en hoogbouw: 4.000 €/woning
Aardgas i.p.v. groengas	1,11 €/m ³ (aardgas)	0,18 €/kWh	43,56 €/GJ	Minimaal MT	BAK laagbouw en hoogbouw: 4.000 €/woning
Geen (groen)gas	n.v.t.	0,18 €/kWh	43,56 €/GJ	Minimaal MT	BAK laagbouw en hoogbouw: 4.000 €/woning
Hoge elektriciteitskosten	1,53 €/m ³	0,21 €/kWh (KEV hoog)	43,56 €/GJ	Minimaal MT	BAK laagbouw en hoogbouw: 4.000 €/woning
Geen minimaal isolatie-niveau	1,53 €/m ³	0,18 €/kWh	43,56 €/GJ	Geen minimum	BAK laagbouw en hoogbouw: 4.000 €/woning
Hoge BAK	1,53 €/m ³	0,18 €/kWh	43,56 €/GJ	Minimaal MT	BAK laagbouw en hoogbouw: 6.000 €/woning

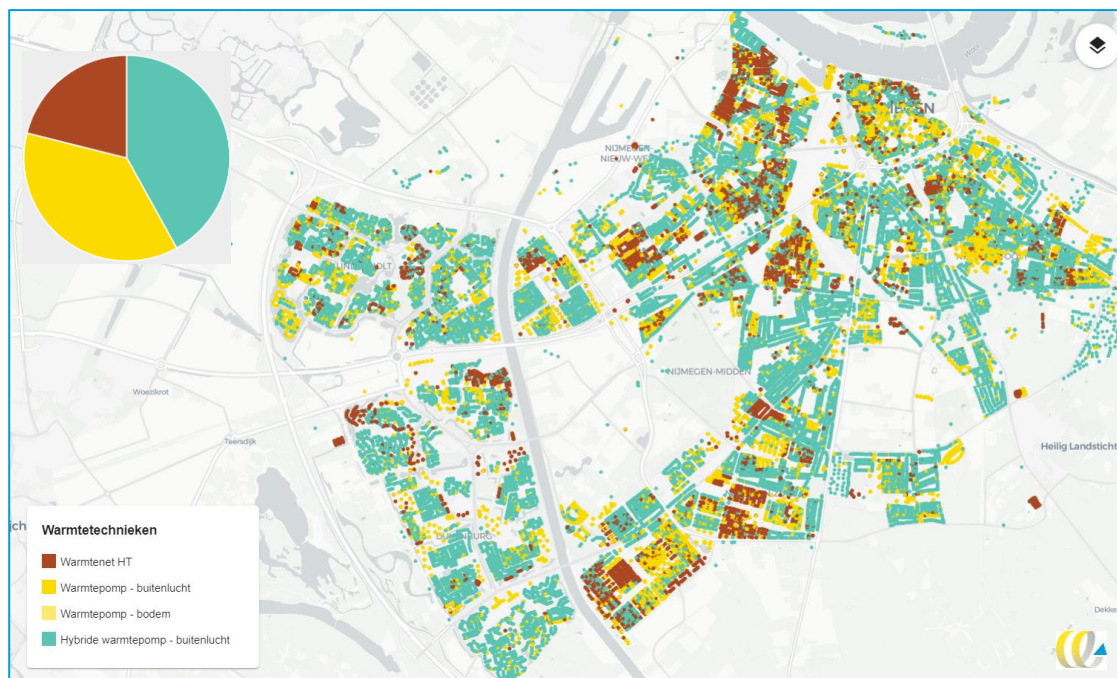
4.4 Techniek met laagste kosten voor eindgebruiker

De warmtetechniek met de laagste kosten voor de eindgebruiker verschilt per scenario. We vergelijken het basisscenario met de alternatieve scenario's.

Basisscenario

De warmtetechniek met de laagste eindgebruikerskosten in 2035 in het basisscenario is per woning weergegeven in Figuur 8. Voor ongeveer 40% van de woningen heeft de hybride warmtepomp de laagste kosten. De hybride warmtepomp op groengas is goedkoper dan de hr-ketel. Voor een derde van de woningen is een elektrische warmtepomp het goedkoopst. Het warmtenet is voor een vijfde deel van de woningen het goedkoopst.

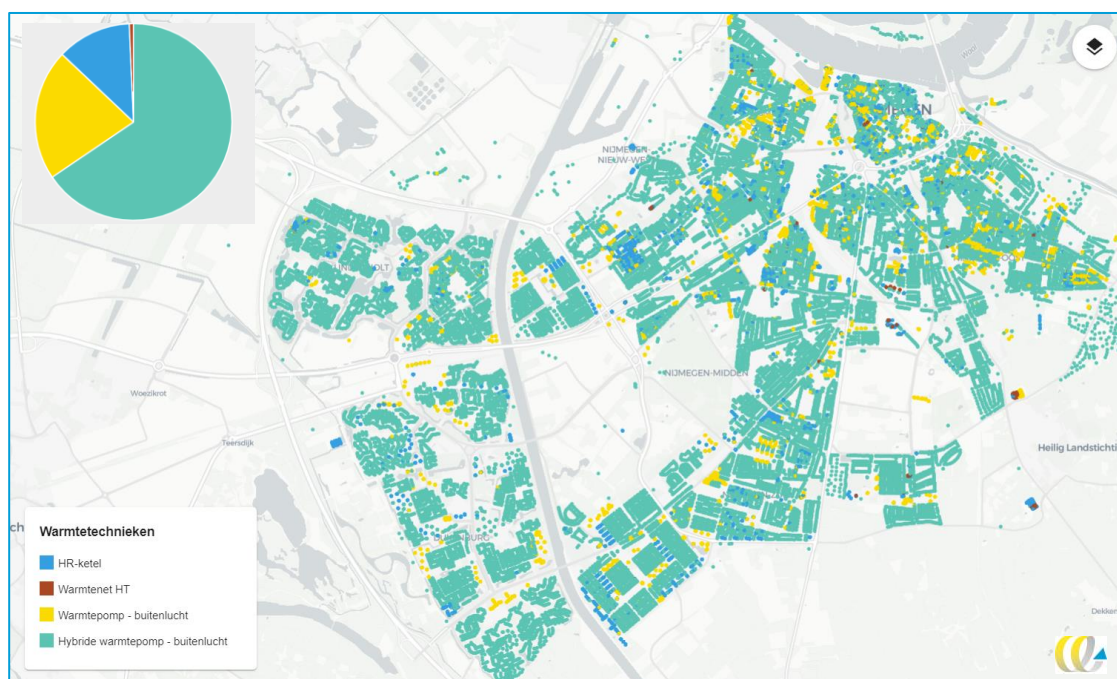
Figuur 8 - Warmtetechniek met de laagste eindgebruikerskosten in het basisscenario



Aardgas in plaats van groengas

In 2035 zal aardgas nog niet verdwenen zijn uit de gebouwde omgeving. Daarom hebben we voor de eindgebruikerskosten ook naar een scenario gekeken waarbij we uit gaan van de aardgasprijs in plaats van de groengasprijs. De warmtetechniek met de laagste eindgebruikerskosten in dit scenario is per woning weergegeven in Figuur 9. Voor twee derde van de woningen heeft de hybride warmtepomp de laagste kosten, de hr-ketel is maar voor 10% van de woningen het goedkoopst. Voor een vijfde van de woning is een elektrische warmtepomp het goedkoopst. Het warmtenet is maar voor een heel klein deel van de woningen het goedkoopst.

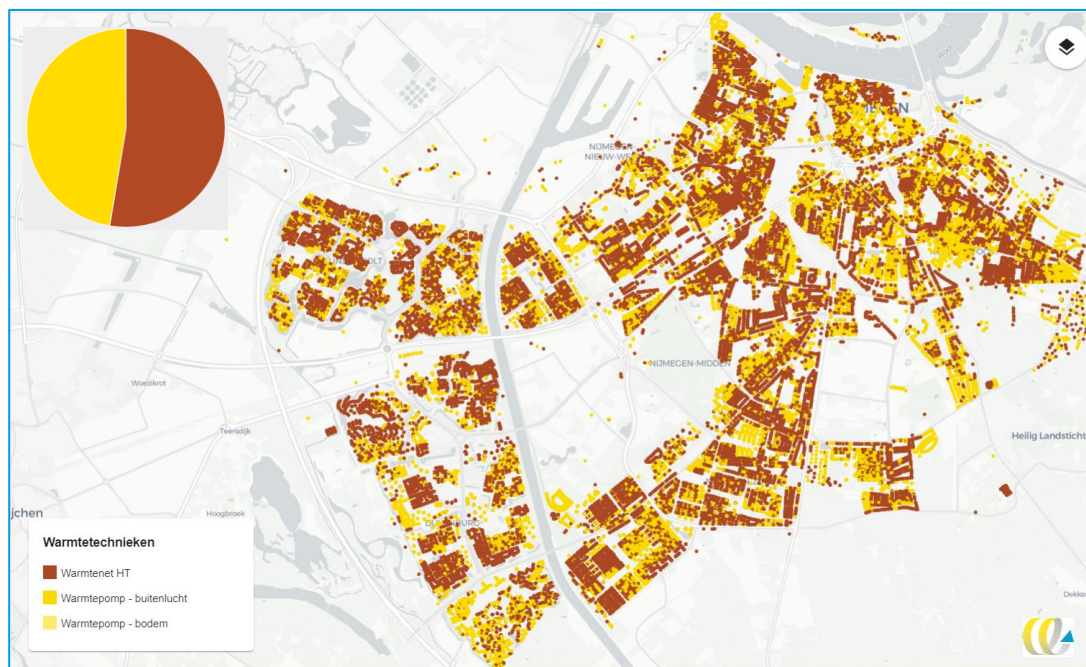
Figuur 9 - Warmtetechniek met de laagste eindgebruikerskosten in het scenario met aardgas i.p.v. groengas



Geen (groen)gas

In 2035 zal er niet voldoende groengas beschikbaar zijn voor de gebouwde omgeving. Daarom hebben we voor de eindgebruikerskosten ook naar een scenario gekeken waarbij we helemaal geen groengas (en geen aardgas) meenemen. De warmtetechniek met de laagste eindgebruikerskosten in dit scenario is per woning weergegeven in Figuur 10. Voor ongeveer de helft van de woningen is het warmtenet het goedkoopst en voor de andere helft een elektrische warmtepomp.

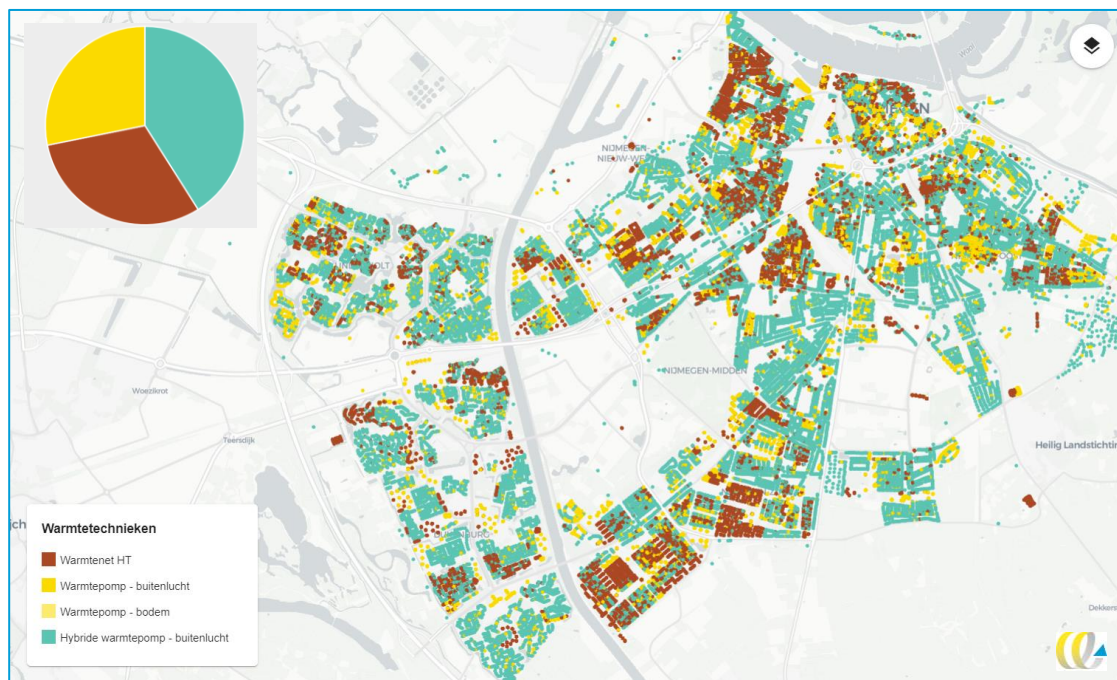
Figuur 10 - Warmtetechniek met de laagste eindgebruikerskosten in het scenario zonder (groen)gas



Hoge elektriciteitskosten

Dit scenario verschilt niet heel veel met het basisscenario. De hybride warmtepomp blijft het goedkoopst voor 40% van de woningen. Het aantal woningen waarvoor het warmtenet goedkoper is neemt iets toe ten opzichte van het basisscenario (van ongeveer 20 naar 30%). Dit gaat ten koste van het aandeel woningen met een elektrische warmtepomp als goedkoopste oplossing.

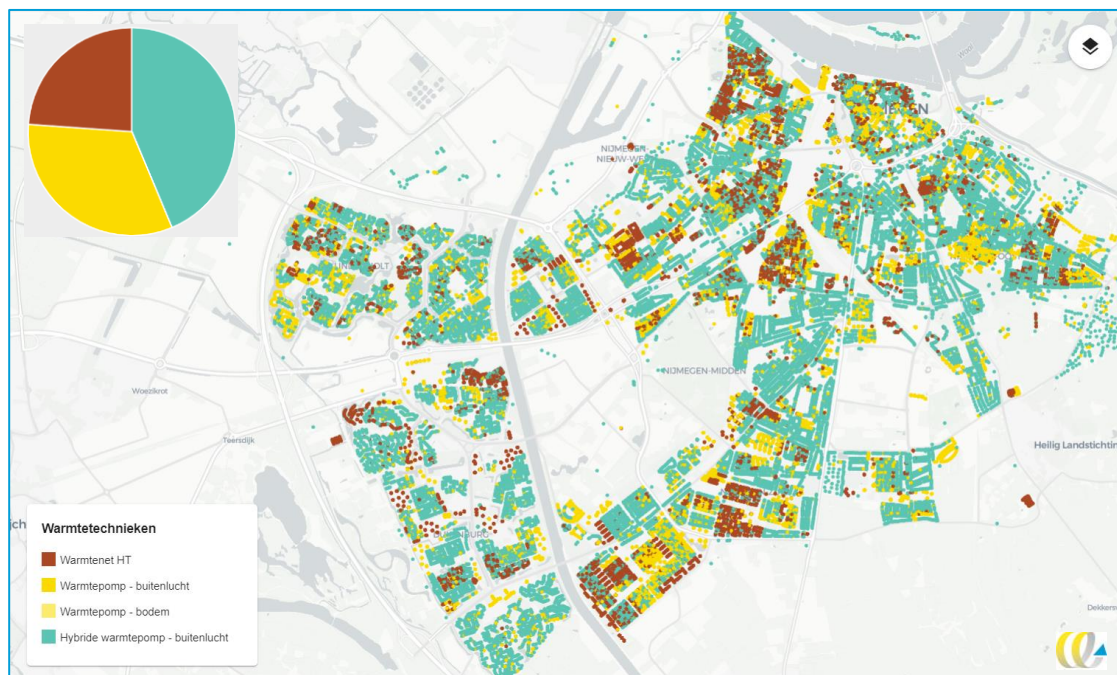
Figuur 11 - Warmtetechniek met de laagste eindgebruikerskosten in het scenario met hoge elektriciteitskosten



Geen minimaal isolatieniveau

In dit scenario gaan we er niet vanuit dat de woningen minimaal isoleren naar een warmtevraag niveau van 70 kWh/m² (ongeveer label C). In tegenstelling tot wat we zagen bij de nationale kosten, scheelt dit scenario weinig met het basisscenario. Er is een kleine verschuiving van het aantal woningen met een elektrische warmtepomp als goedkoopste optie naar het aantal woningen met een warmtenet als goedkoopste optie.

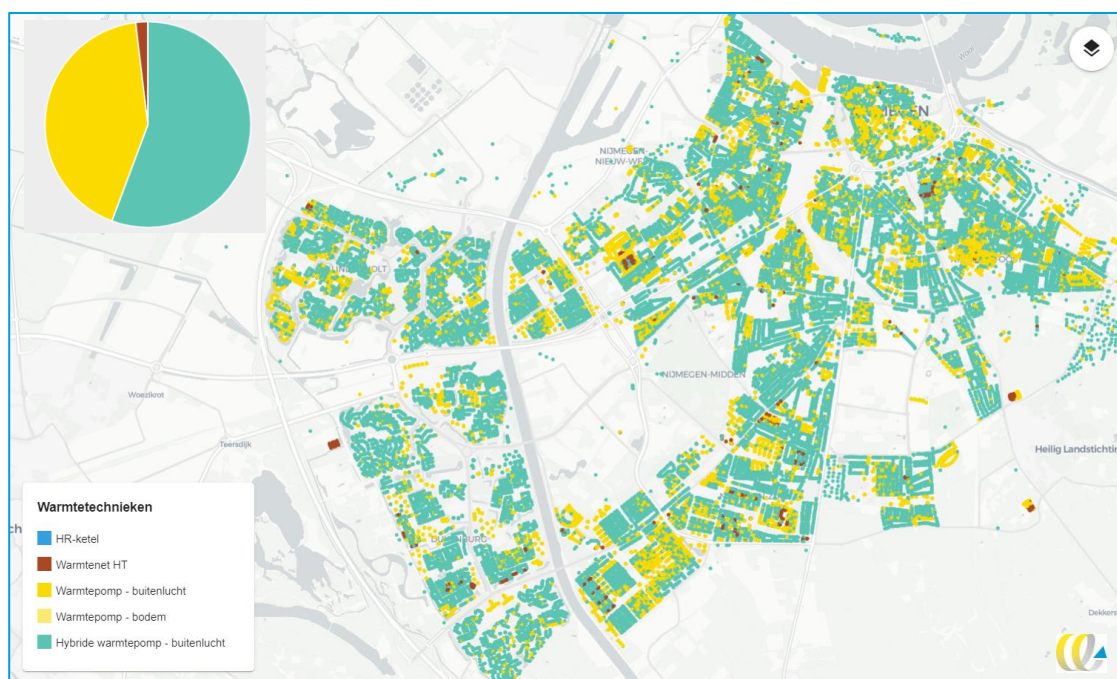
Figuur 12 - Warmtetechniek met de laagste eindgebruikerskosten in het scenario zonder minimaal isolatieniveau



Hoge BAK

Wat de hoogte zal zijn van de aansluitbijdrage als er een warmtenet wordt aangelegd is lastig in te schatten. Daarom is er ook gerekend met een verhoging van de BAK van € 4.000 per woning naar € 6.000 per woning. De BAK heeft een groot effect op het aantal woningen waarvoor een warmtenet de goedkoopste optie is in de berekening van de eindgebruikerskosten. Ten opzichte van het basisscenario daalt het aandeel woningen met het warmtenet als goedkoopste optie van 20 naar 2%. Voor een deel komt hier de hybride warmtepomp als goedkoopste optie voor in de plaats, maar ook het aantal woningen met de elektrische warmtepomp als goedkoopste optie neemt toe ten opzichte van het basisscenario.

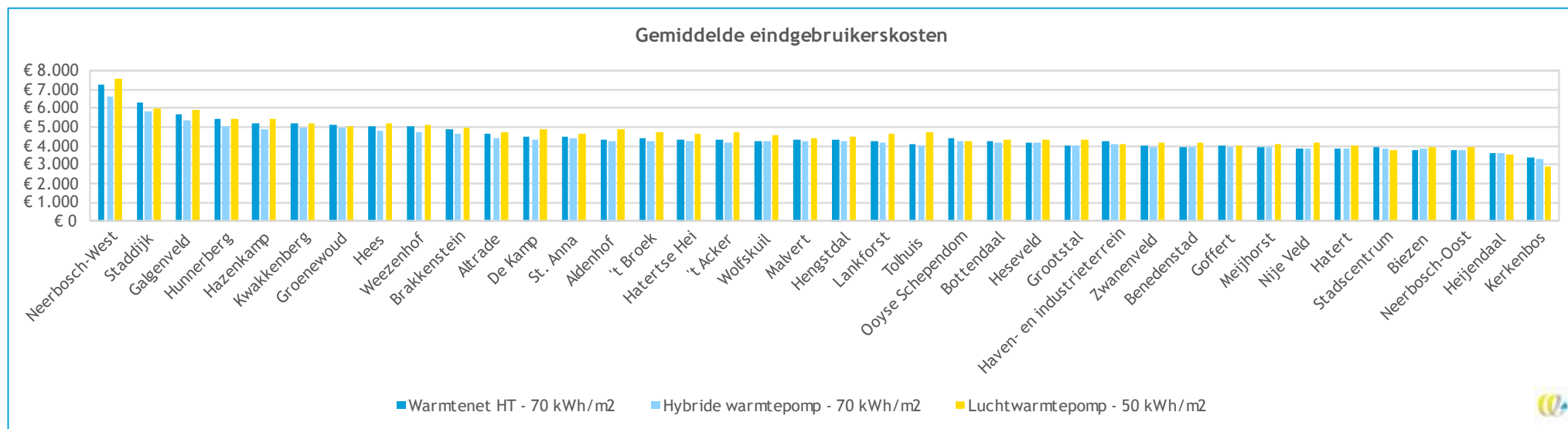
Figuur 13 - Warmtetechniek met de laagste eindgebruikerskosten in het scenario met een hogere BAK



4.5 Gemiddelde eindgebruikerskosten per buurt in het basisscenario

Om een vergelijking te kunnen maken met de nationale kosten voor een aardgasvrij Nijmegen hebben we per buurt de gemiddelde eindgebruikerskosten bepaald. In tegenstelling tot de toewijzing op basis van nationale kosten hebben we geen optimalisatie uitgevoerd om rekening te houden met de beschikbare hoeveelheid warmte en gas. Voor veel buurten heeft de hybride warmtepomp op groengas de laagste eindgebruikerskosten, echter zal er niet voldoende groengas beschikbaar komen voor al deze buurten. De verschillen tussen de gemiddelde eindgebruikerskosten voor de verschillende warmtetechnieken zijn niet groot (zie Figuur 14). De eindgebruikerskosten van de hr-ketel zijn ook doorgerekend, maar niet opgenomen in de grafiek. In 2035 zijn de kosten voor de hr-ketel voor het merendeel van de woningen hoger dan die voor de hybride warmtepomp in het basisscenario.

Figuur 14 - Gemiddelde eindgebruikerskosten voor woningen per buurt in Nijmegen, geordend van hoge naar lage kosten

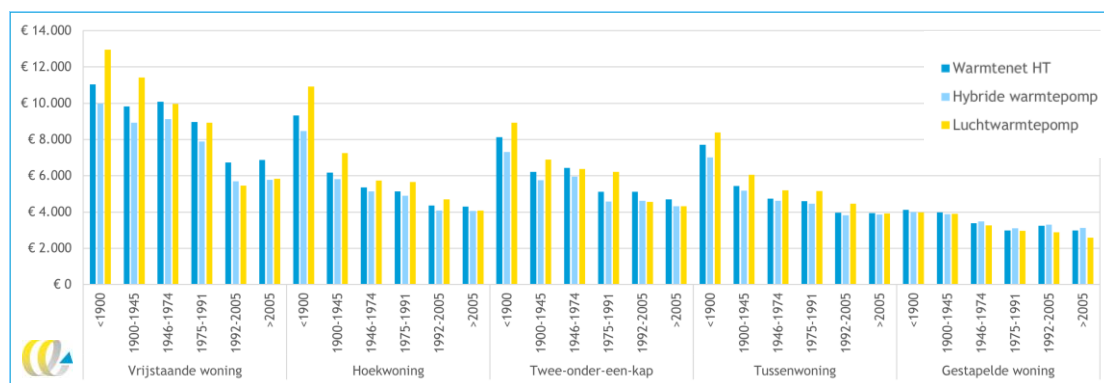


4.6 Gemiddelde eindgebruikerskosten per woningtype en bouwjaar in het basisscenario

De verschillen tussen eindgebruikerskosten van verschillende warmtetechnieken voor woningen binnen een buurt zijn veel kleiner dan de verschillen tussen de eindgebruikerskosten voor verschillende soorten woningen. Gemiddeld genomen zijn vrijstaande woningen het duurste om aan te sluiten op een warmtenet of (hybride) warmtepomp en gestapelde woningen het goedkoopste (zie Figuur 15). Dit komt omdat het gebruiksoppervlak en de warmtevraag van vrijstaande woningen ook gemiddeld het grootst is en die van gestapelde woningen gemiddeld het laagst. De huidige kosten voor verwarmen met een HR-ketel op aardgas zijn immers ook het hoogst voor vrijstaande woningen en het laagst voor gestapelde woningen.

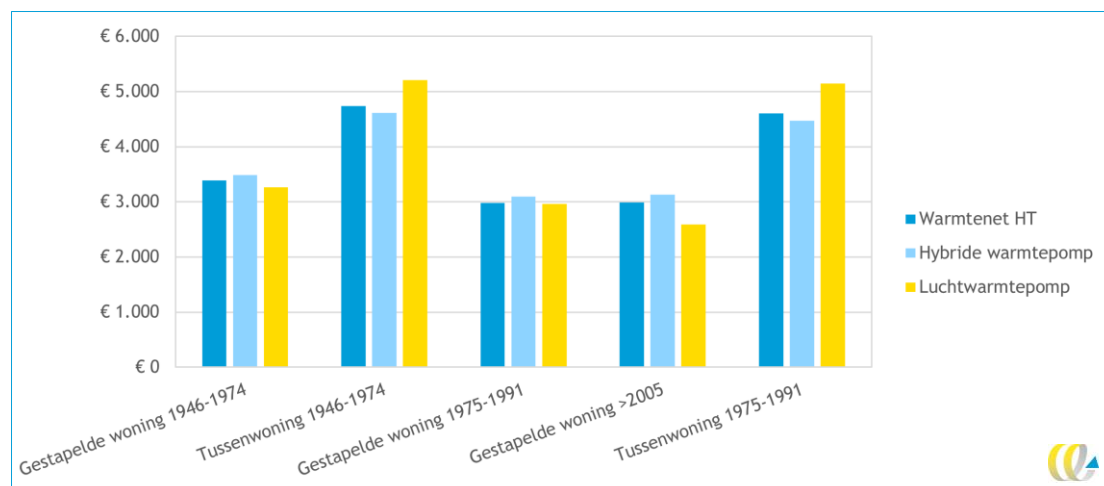
De kostenverschillen tussen de technieken zijn klein voor de gestapelde woningen. Voor de andere woningtype zien we dat de luchtwarmtepomp vaak een stuk duurder is voor hele oude woningen (voor 1900). Dit komt door de hoge isolatiekosten voor deze woningen.

Figuur 15 - Gemiddelde eindgebruikerskosten in het basisscenario per combinatie van woningtype en bouwjaar, geordend van hoog naar laag



In de gemeente Nijmegen komen gestapelde en tussenwoningen het meeste voor. Figuur 15 toont de eindgebruikerskosten voor de vijf meest voorkomende combinaties aan woningtype en bouwjaar. Per woningtype en bouwjaar combinatie zijn de kosten voor deze meest voorkomende woningtypen relatief gelijk. De eindgebruikerskosten tussen de combinaties lopen uiteen en kunnen een verschil van 100% maken.

Figuur 15 - Gemiddelde eindgebruikerskosten in het basisscenario per combinatie van woningtype en bouwjaar voor de vijf meest voorkomende combinaties aan woningtype en bouwjaar, geordend vanaf de meest voorkomende combinatie



4.7 Conclusies eindgebruikerskosten

We zien in de berekeningen voor 2035 dat de hybride warmtepomp voor bijna alle woningen goedkoper is dan de hr-ketel. Zelfs in het scenario dat uitgaat van de aardgasprijs in 2035 in plaats van een groengasprijs, is de hr-ketel maar voor 10% van de woningen de goedkoopste oplossing.

In alle scenario's is de hybride warmtepomp voor 40% of meer van de woningen het goedkoopst is. Hierbij is geen rekening gehouden met de beperkte beschikbaarheid van groengas. Voor de overige woningen is een warmtenet of elektrische warmtepomp het goedkoopst. Het aandeel woningen waarvoor het warmtenet het goedkoopst is, is erg gevoelig voor de aannamen. Het varieert van 50% (scenario zonder gas) tot bijna 0% (scenario hoge BAK).

De gemiddelde eindgebruikerskosten per buurt liggen dicht bij elkaar voor de verschillende technieken (hybride warmtepomp, elektrische warmtepomp en het warmtenet). Op buurt-niveau zullen andere factoren doorslaggevend zijn bij de keuze voor een techniek.

De gemiddelde eindgebruikerskosten per woningtype tonen wel verschillen. De kosten verschillen vooral van woning tot woning. Met uitzondering van de hele oude woningen (<1900) liggen de kosten van de hybride warmtepomp, het warmtenet en de luchtwarmtepomp voor een bepaald woningtype wel vaak dicht bij elkaar.

5 Conclusies

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

Nationale kosten

Voor bijna alle buurten in Nijmegen heeft een hybride warmtepomp op groengas de laagste nationale kosten in 2035. Echter zal in 2035 niet genoeg groengas beschikbaar zijn om al deze buurten te voorzien. Door de beperking op de beschikbaarheid van groengas komen ook elektrische warmtepomp en het warmtenet voor in het eindbeeld.

De nationale kosten voor de elektrische warmtepomp en het warmtenet gevoed door de ARN liggen in veel buurten dicht bij elkaar. In het basisscenario is het kostenverschil tussen deze twee technieken voor een derde van de buurten 10% of kleiner. In deze buurten zullen andere factoren dan de nationale kosten doorslaggevend moeten zijn bij een techniekkeuze. Voor de helft van de buurten is dit kostenverschil tussen de 10 en 20% en zullen andere factoren ook een grote rol spelen bij de techniekkeuze.

In het basisscenario krijgen de meeste buurten een elektrische warmtepomp bij de optimalisatie op laagste nationale kosten. Dit eindbeeld is gevoelig voor de aanname dat woningen minstens al isoleren naar een niveau van 70 kWh/m² (ongeveer het oude energielabel C). Als er geen minimaal isolatieniveau wordt aangehouden laat het eindbeeld juist veel potentie zien voor een warmtenet met de ARN als bron. De beschikbare warmte uit de ARN wordt in dan volledig toegewezen in de optimalisatie.

Een warmtenet op aquathermie of ondiepe geothermie heeft hogere nationale kosten dan een warmtenet met warmte uit de ARN. De nationale kosten van de elektrische warmtepomp liggen lager.

Eindgebruikerskosten

De eindgebruikerskosten zijn afhankelijk van beleid. Wie de nationale kosten uiteindelijk betaalt en met name hoe die kosten over burgers, bedrijven en overheden verdeeld worden, hangt af van hoe en welke belastingen, heffingen en subsidies worden ingezet en hoe wetten en regelingen worden aangepast. Dat zorgt ervoor dat er grote onzekerheden zitten in de eindgebruikerskosten. Beleid is, zeker in het huidige politieke klimaat, veranderlijk en de keuzes over wie welke kosten draagt zijn nog lang niet allemaal gemaakt. Dit onderzoek houdt bij het berekenen van de eindgebruikerskosten de bestaande/aangekondigde regelgeving aan.

De hybride warmtepomp is voor bijna alle woningen goedkoper dan de hr-ketel in 2035. Zelfs als wordt uitgegaan van de aardgasprijs in 2035 in plaats van een groengasprijs, is de hr-ketel maar voor 10% van de woningen de goedkoopste oplossing.

In alle scenario's is de hybride warmtepomp voor 40% of meer van de woningen het goedkoopst is. Hierbij is geen rekening gehouden met de beperkte beschikbaarheid van groengas. Voor de overige woningen is een warmtenet of elektrische warmtepomp het goedkoopst. Het aandeel woningen waarvoor het warmtenet het goedkoopst is, hangt af van de aannamen. Bij een hoge BAK is het aandeel woningen waarvoor het warmtenet het goedkoopst is nagenoeg nul. Als in plaats daarvan gerekend wordt met hoge elektriciteitskosten stijgt dit aandeel woningen tot 30%. Zonder (groen)gas komt het aandeel woningen waarvoor het warmtenet de laagste kosten heeft uit op 50%.

De gemiddelde eindgebruikerskosten per buurt liggen dicht bij elkaar voor de verschillende technieken en zijn niet doorslaggevend. De gemiddelde eindgebruikerskosten per woningtype tonen wel verschillen. De kosten verschillen vooral van woning tot woning. Met uitzondering van de hele oude woningen (<1900) liggen de kosten van de hybride warmtepomp, het warmtenet en de luchtwarmtepomp voor een bepaald woningtype vaak wel weer dicht bij elkaar.

Totaalbeeld

Uit de analyses blijkt dat de hybride warmtepomp in 2035 zowel de laagste nationale kosten heeft voor veel buurten in Nijmegen, als ook de laagste eindgebruikerskosten voor de meeste woningen. Hierbij geldt echter wel dat een gasvormige energiedrager (groengas) beschikbaar moet zijn. De hoeveelheid groengas dat in de toekomst beschikbaar is voor de gebouwde omgeving is nog erg onzeker.

Als groengas niet beschikbaar is, blijkt uit de analyses dat in veel buurten de nationale kosten voor een warmtenet of een elektrische warmtepomp dicht bij elkaar liggen. Bij de uiteindelijke keuze voor een techniek zullen andere afwegingen hier dus de doorslag moeten geven. Ook de gemiddelde eindgebruikerskosten per buurt van de verschillende technieken liggen steeds dicht bij elkaar, en zijn dus niet doorslaggevend voor een buurt.

De eindgebruikerskosten verschillen wel sterk per woningtype. Hierdoor zal een techniekkeuze voor een buurt op basis van nationale kosten niet voor alle woningen in de buurt de laagste eindgebruikerskosten hebben.

6 Literatuur

- Arcadis. (2020). *Energiebesparende maatregelen: Bestaande woningbouw 2020*.
- Berenschot. (2023). *Expertreview warmtenetstrategie en advies publiek warmtebedrijf Nijmegen*.
https://www.berenschot.nl/media/4nwbjmop/eindrapport_expertreview-warmte-nijmegen_20230123.pdf
- CBS. (lopend). *Statline: Jaarmutatie consumentenprijsindex; vanaf 1963*.
CBS. <https://www.cbs.nl/nl-nl/cijfers/detail/70936ned>
- CE Delft. (2013). *Vesta 2.0 - Uitbreidingen en dataverificaties*.
<https://www.ce.nl/publicaties/1427/vesta-20-uitbreidingen-en-dataverificaties>
- CE Delft. (2018). *Vesta functioneel ontwerp warmtenetten (concept 6 juni 2018)*.
- CE Delft. (2020). *Waterstof voor de gebouwde omgeving Kennisdocument voor de gemeente Nijmegen*. https://ce.nl/wp-content/uploads/2021/03/CE_Delft_190307_Kennisdocument_Waterstof_voor_de_gebouwde_omgeving_Def.pdf
- CE Delft. (2021). *Groengas voor de gebouwde omgeving, Kennisdocument voor de gemeente Nijmegen*. https://ce.nl/wp-content/uploads/2021/11/CE_Delft_210182_Kennisdocument_Groengas_voor_de_gebouwde_omgeving_Def.pdf
- CE Delft. (2022a). *Update kengetallen installaties in Vesta MAIS (2022, Issue*. <https://ce.nl/publicaties/update-kengetallen-installaties-vesta-mais-2022/>
- CE Delft. (2022b). *Warmtenetten in Vesta MAIS (Update berekeningsmethoden, Issue*. https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2022/11/CE_Delft_210347_Warmtenetten-in-Vesta-MAIS_DEF.pdf
- CE Delft. (2023). *Vervolgstudie bijmengverplichting groen gas: Haalbaarheid en betaalbaarheid*. <https://ce.nl/publicaties/vervolgstudie-bijmengverplichting-groen-gas-haalbaarheid-en-betaalbaarheid/>
- CE Delft, PBL, Ecorys, & Objectvision. (2019). *Functioneel ontwerp Vesta 4.0*.
- IF Technology. (2019). *Kengetallen Aquathermie*.
<https://www.rvo.nl/sites/default/files/2019/05/Kengetallen%20aquathermie%20april%202019.pdf>
- Innoforte, & Berenschot. (2019). *Bronnenstrategie en warmtenetstrategie (2020)*. file:///C:/Users/sho/Downloads/bronnenstrategie-nijmegen.pdf; file:///C:/Users/sho/Downloads/bronnenstrategie-nijmegen.pdf

- Merosch. (2020). *Isolatiepakketten ten behoeve van het CEGOIA-model*.
https://ce.nl/wp-content/uploads/2021/04/Isolatiepakketten-ten-behoeve-van-CEGOIA-model_definitief.pdf
- Ministerie van BZK. (2021). *Stand van zaken Klimaatakkoord Gebouwde omgeving 12 januari 2021*.
<https://open.overheid.nl/documenten/ronl-b90b1a9a-0a74-44b6-9b4e-196725b0ebdf/pdf>
- Ministerie van EZK. (2020). *Kamerbrief over kabinetsvisie Waterstof*.
<https://open.overheid.nl/documenten/ronl-44c87a40-bac0-42ec-ae91-eb81c87e2186/pdf>
- NEN. (2020). *NTA 8800 Energieprestatie van gebouwen : Bepalingsmethode*.
<https://www.nen.nl/en/nta-8800-2022-nl-290717>
- Netbeheer Nederland. (2019). *Basisdocument over energie-infrastructuur*.
<https://www.netbeheernederland.nl/publication/basisdocument-over-energie-infrastructuur-oktober-2019>
- PBL. (2020). *Ontwikkelingen in de Energierekening tot en met 2030 : Achtergrondrapport bij de Klimaat- en Energieverkenning*.
- PBL. (2021). *Functioneel Ontwerp Vesta MAIS 5.0*.
<https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2021-functioneel-ontwerp-vesta-mais-5.0-4583.pdf>
- PBL. (2022). *Klimaat- en Energieverkenning 2022*.
<https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2022-klimaat-en-energieverkenning-4838.pdf>
- PBL. (2023a). *Klimaat- en Energieverkenning (KEV) 2023: Ramingen van broeikasgasemissies, energiebesparing en hernieuwbare energie op hoofdlijnen*. <https://www.pbl.nl/publicaties/klimaat-en-energieverkenning-2023>
- PBL. (2023b). *Referentieverbruik warmte woningen*.
<https://www.pbl.nl/publicaties/referentieverbruik-warmte-woningen>
- RVO. (2019). *Uniforme Maatlat Rekenmodel 4.3.3*. In: RVO.
- RVO. (2021). *Stimuleringsregeling aardgasvrije huurwoningen (SAH) voor verhuurders*. RVO. Retrieved 6 maart from
<https://www.rvo.nl/subsidies-financiering/sah>
- RVO. (2022). *Investeringssubsidie duurzame energie en energiebesparing voor woningeigenaren (ISDE)*. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO). <https://www.rvo.nl/subsidies-financiering/isde/woningeigenaren>
- Stedin. (lopend). *Grid reinforcement additional capacity: Mondelinge toelichting Stedin n.a.v. Toelichting Gegevens Leidraad Warmtetransitie over Distributienetten per CBS Buurt via Stedin website*. Stedin. <https://www.stedin.net/zakelijk/open-data/dataset-leidraad-warmtetransitie>
- Tieleman, Y. (2019). *Kostenraming warmtetransitienetten Tilburg : Technisch wijkenergieplan Tilburg*.
- TKI Urban Energy. (2020). *Kennisdossier: de ontwikkelingen en kansen voor warmtepompen*. Topsector Energie.

<https://topsectorenergie.nl/nl/kennisbank/de-ontwikkelingen-en-kansen-voor-warmtepompen/#toc-toekomstvisie-warmtepomp>

Witteveen+Bos, & PanTerra. (2022). *Potentieonderzoek geothermie Gelderland*. Witteveen+Bos.

<https://www.witteveenbos.com/nl/nieuws/potentieonderzoek-geothermie-gelderland/>

A Benodigde energie en vermogen van de ARN per buurt

Tabel 4 geeft per buurt aan wat de benodigde energie en het vermogen vanuit de ARN in de basislast zou moeten zijn om de woningen en utiliteit in die buurt van warmte te voorzien via een warmtenet. De tabel gaat door op de volgende pagina.

Tabel 4 - Benodigde energie en vermogen per buurt. De buurten Vogelzang, Westkanaaldijk en Bijsterhuizen zijn niet weergegeven omdat het merendeel van de gebouwen hier industrieel zijn. De buurten Oosterhout, Ressen en Lent zijn ook niet weergegeven omdat hier al warmtenet ligt.

Buurtcode	Buurtnaam	Benodigde energie (GJ/year)	Benodigde vermogen (MW)
BU02680735	Aldenhof	85.631	2,7
BU02680204	Altrade	221.476	7,0
BU02680100	Benedenstad	120.328	3,8
BU02680320	Biezen	168.954	5,4
BU02680202	Bottendaal	118.603	3,8
BU02680618	Brakkenstein	103.246	3,3
BU02680841	De Kamp	89.542	2,8
BU02680203	Galgenveld	229.091	7,3
BU02680512	Goffert	98.274	3,1
BU02680208	Groenewoud	106.909	3,4
BU02680615	Grootstal	122.719	3,9
BU02680616	Hatert	287.589	9,1
BU02680614	Hatertse Hei	112.797	3,6
BU02680425	Haven- en industrieterrein	52.998	1,7
BU02680511	Hazenkamp	113.783	3,6
BU02680422	Hees	118.214	3,7
BU02680517	Heijendaal	153.915	4,9
BU02680206	Hengstdal	230.158	7,3
BU02680423	Heseveld	234.946	7,5
BU02680205	Hunnerberg	141.109	4,5
BU02680843	Kerkenbos	35.075	1,1
BU02680207	Kwakkenberg	64.818	2,1
BU02680734	Lankforst	54.154	1,7
BU02680736	Malvert	98.410	3,1
BU02680733	Meijhorst	83.336	2,6
BU02680424	Neerbosch-Oost	211.619	6,7
BU02680848	Neerbosch-West	9.552	0,3
BU02680510	Nije Veld	154.390	4,9
BU02680209	Ooyse Schependom	4.719	0,1
BU02680513	St. Anna	131.490	4,2
BU02680739	Staddijk	10.597	0,3
BU02680101	Stadscentrum	364.754	11,6
BU02680840	't Acker	69.504	2,2
BU02680842	't Broek	48.100	1,5
BU02680731	Tolhuis	45.808	1,5

Buurtcode	Buurtnaam	Benodigde energie (GJ/year)	Benodigde vermogen (MW)
BU02680737	Weezenhof	84.293	2,7
BU02680321	Wolfskuil	203.257	6,4
BU02680732	Zwanenveld	127.360	4,0

B Tabellen nationale kosten

B.1 Gemiddelde nationale kosten per buurt in het basisscenario

De nationale kosten per buurt in het basisscenario voor de drie goedkoopste warmtetechnieken staan in Tabel 5. Deze zijn weergegeven als gewogen gemiddelde van de nationale kosten voor woningen en utiliteit, per weq., oftewel woning-equivalent. Eén weq. staat gelijk aan één woning of 130 m² utiliteitsbouw.

Het kostenverschil tussen de techniek met de laagste en de hoogste kosten in een buurt (Tabel 5) is minimaal 5 en maximaal 70%. In de buurt Haven- en industrieterrein liggen de kosten het dichtst bij elkaar en het verschil is het grootste in de buurt Ooyse Schependom. Gemiddeld ligt het kostenverschil tussen de techniek met de laagste en die met de hoogste kosten rond de € 1.000. Er moet hierbij opgelet worden dat dit gaat om de gemiddelde kosten voor woningen én utiliteitsgebouwen en voor de hybride warmtepomp, elektrische warmtepomp en het warmtenet.

Tabel 5 - Nationale kosten per weq. per jaar per buurt in het basisscenario. Het zijn de gemiddelde kosten van de woningen en utiliteitsgebouwen. De buurten Vogelzang, Westkanaaldijk en Bijsterhuizen zijn niet weergegeven omdat het merendeel van de gebouwen hier industrieel zijn. De buurten Oosterhout, Ressen en Lent zijn ook niet weergegeven omdat hier al warmtenet ligt.

Buurtcode	Buurtnaam	Aantal woningen (weq)	Aantal utiliteit (weq)	Warmtepomp (50 kWh/m ²)	Hybride warmtepomp (70 kWh/m ²)	Warmtenet HT (70 kWh/m ²)
BU02680735	Aldenhof	1.105	79	€ 4.100	€ 3.500	€ 4.600
BU02680204	Altrade	2.966	334	€ 4.800	€ 4.000	€ 5.300
BU02680100	Benedenstad	1.671	689	€ 4.700	€ 3.800	€ 4.600
BU02680320	Biezen	4.753	453	€ 3.600	€ 2.600	€ 3.400
BU02680202	Bottendaal	2.163	477	€ 4.800	€ 4.000	€ 5.100
BU02680618	Brakkenstein	1.841	195	€ 4.700	€ 4.100	€ 5.400
BU02680841	De Kamp	2.412	496	€ 4.400	€ 3.800	€ 4.700
BU02680203	Galgenveld	2.663	587	€ 5.800	€ 4.900	€ 6.100
BU02680512	Goffert	1.081	1.506	€ 5.200	€ 4.400	€ 5.000
BU02680208	Groenewoud	1.103	818	€ 5.200	€ 4.600	€ 5.200
BU02680615	Grootstal	2.878	292	€ 3.800	€ 3.200	€ 4.200
BU02680616	Hatert	5.055	457	€ 3.600	€ 3.100	€ 3.900
BU02680614	Hatertse Hei	1.917	108	€ 4.200	€ 3.500	€ 4.700
BU02680425	Haven- en industrieterrein	266	1.388	€ 6.200	€ 6.500	€ 6.300
BU02680511	Hazenkamp	2.073	711	€ 5.000	€ 4.200	€ 5.300
BU02680422	Hees	1.382	255	€ 5.100	€ 4.400	€ 5.700
BU02680517	Heijendaal	1.355	3.667	€ 4.600	€ 3.900	€ 3.900
BU02680206	Hengstdal	3.478	319	€ 4.300	€ 3.600	€ 4.800
BU02680423	Heseveld	3.081	307	€ 4.000	€ 3.400	€ 4.400
BU02680205	Hunnerberg	1.826	463	€ 5.700	€ 4.700	€ 5.900
BU02680843	Kerkenbos	23	1.154	€ 5.900	€ 5.700	€ 5.500
BU02680207	Kwakkenberg	923	319	€ 5.500	€ 4.800	€ 5.900
BU02680734	Lankforst	1.018	27	€ 4.000	€ 3.400	€ 4.300
BU02680736	Malvert	1.244	92	€ 4.000	€ 3.400	€ 4.400

Buurtcode	Buurtnaam	Aantal woningen (weq)	Aantal utiliteit (weq)	Warmtepomp (50 kWh/m ²)	Hybride warmtepomp (70 kWh/m ²)	Warmtenet HT (70 kWh/m ²)
BU02680733	Meijhorst	1.671	272	€ 4.000	€ 3.400	€ 4.100
BU02680424	Neerbosch-Oost	3.599	607	€ 3.800	€ 3.300	€ 4.000
BU02680848	Neerbosch-West	36	126	€ 7.400	€ 7.600	€ 9.600
BU02680510	Nije Veld	2.958	283	€ 3.700	€ 3.200	€ 4.300
BU02680209	Ooyse Schependom	117	8	€ 6.800	€ 6.100	€ 10.400
BU02680513	St. Anna	1.776	259	€ 4.500	€ 3.800	€ 5.000
BU02680739	Staddijk	28	164	€ 7.300	€ 7.200	€ 9.100
BU02680101	Stadscentrum	4.078	3.909	€ 5.200	€ 4.400	€ 4.900
BU02680840	't Acker	2.337	184	€ 4.200	€ 3.600	€ 4.700
BU02680842	't Broek	1.572	193	€ 4.400	€ 4.000	€ 5.500
BU02680731	Tolhuis	1.647	374	€ 4.200	€ 3.700	€ 4.500
BU02680737	Weezenhof	1.704	50	€ 4.600	€ 3.900	€ 5.100
BU02680321	Wolfskuil	2.883	302	€ 4.200	€ 3.600	€ 4.800
BU02680732	Zwanenveld	2.429	439	€ 4.100	€ 3.500	€ 4.300

B.2 Kostenverschil tussen gekozen oplossing en eerstvolgende alternatief in het basisscenario

In Paragraaf 3.6 zijn voor ieder scenario de technieken per buurt op kaart gepresenteerd. Het nadeel van deze presentatie is dat het verschil met het eerstvolgende alternatief niet zichtbaar is. In sommige buurten liggen de kosten van het warmtenet en een warmtepomp namelijk erg dicht bij elkaar. Als dit verschil kleiner is dan 10% is er geen duidelijke voorkeur op basis van de kosten. In Tabel 6 is het kostenverschil tussen de uitkomst in het basisscenario en het eerstvolgende beschikbare alternatief weergegeven. Voor een derde van de buurten is het verschil 10% of kleiner en voor de helft van de buurten is dit tussen de 10 en 20%.

Tabel 6 - Relatieve kostenverschil met gekozen optie en eerstvolgende beschikbare alternatief in het basisscenario. De buurten Vogelzang, Westkanaaldijk en Bijsterhuizen zijn niet weergegeven omdat het merendeel van de gebouwen hier industrieel zijn. De buurten Oosterhout, Ressen en Lent zijn ook niet weergegeven omdat hier al warmtenet ligt.

Buurtcode	Buurtnaam	Techniek 1	Techniek 2	Kostenverschil (%)
BU02680735	Aldenhof	Warmtepomp - buitenlucht	Warmtenet HT	12%
BU02680204	Altrade	Warmtepomp - buitenlucht	Warmtenet HT	10%
BU02680100	Benedenstad	Hybride warmtepomp - buitenlucht	Warmtenet HT	21%
BU02680320	Biezen	Hybride warmtepomp - buitenlucht	Warmtenet HT	31%
BU02680202	Bottendaal	Hybride warmtepomp - buitenlucht	Warmtepomp - buitenlucht	20%
BU02680618	Brakkenstein	Warmtepomp - buitenlucht	Warmtenet HT	15%
BU02680841	De Kamp	Warmtepomp - buitenlucht	Warmtenet HT	7%

Buurtcode	Buurtnaam	Techniek 1	Techniek 2	Kostenverschil (%)
BU02680203	Galgenveld	Hybride warmtepomp - buitenlucht	Warmtepomp - buitenlucht	18%
BU02680512	Goffert	Hybride warmtepomp - buitenlucht	Warmtenet HT	14%
BU02680208	Groenewoud	Warmtepomp - buitenlucht	Warmtenet HT	0%
BU02680615	Grootstal	Warmtepomp - buitenlucht	Warmtenet HT	11%
BU02680616	Hatert	Warmtepomp - buitenlucht	Warmtenet HT	8%
BU02680614	Hatertse Hei	Warmtepomp - buitenlucht	Warmtenet HT	12%
BU02680425	Haven- en industrieterrein	Warmtepomp - buitenlucht	Warmtenet HT	2%
BU02680511	Hazenkamp	Warmtepomp - buitenlucht	Warmtenet HT	6%
BU02680422	Hees	Warmtepomp - buitenlucht	Warmtenet HT	12%
BU02680517	Heijendaal	Warmtenet HT	Warmtepomp - buitenlucht	18%
BU02680206	Hengstdal	Hybride warmtepomp - buitenlucht	Warmtepomp - buitenlucht	19%
BU02680423	Heseveld	Warmtepomp - buitenlucht	Warmtenet HT	10%
BU02680205	Hunnerberg	Hybride warmtepomp - buitenlucht	Warmtepomp - buitenlucht	21%
BU02680843	Kerkenbos	Warmtenet HT	Warmtepomp - buitenlucht	7%
BU02680207	Kwakkenberg	Hybride warmtepomp - buitenlucht	Warmtepomp - buitenlucht	15%
BU02680734	Lankforst	Warmtepomp - buitenlucht	Warmtenet HT	8%
BU02680736	Malvert	Warmtepomp - buitenlucht	Warmtenet HT	10%
BU02680733	Meijhorst	Warmtepomp - buitenlucht	Warmtenet HT	3%
BU02680424	Neerbosch-Oost	Warmtepomp - buitenlucht	Warmtenet HT	5%
BU02680848	Neerbosch-West	Warmtepomp - buitenlucht	Warmtenet HT	30%
BU02680510	Nije Veld	Warmtepomp - buitenlucht	Warmtenet HT	16%
BU02680209	Ooyse Schependom	Warmtepomp - buitenlucht	Warmtenet HT	53%
BU02680513	St. Anna	Hybride warmtepomp - buitenlucht	Warmtepomp - buitenlucht	18%
BU02680739	Staddijk	Warmtepomp - buitenlucht	Warmtenet HT	25%
BU02680101	Stadscentrum	Warmtenet HT	Warmtepomp - buitenlucht	6%

Buurtcode	Buurtnaam	Techniek 1	Techniek 2	Kostenverschil (%)
BU02680840	't Acker	Warmtepomp - buitenlucht	Warmtenet HT	12%
BU02680842	't Broek	Warmtepomp - buitenlucht	Warmtenet HT	25%
BU02680731	Tolhuis	Warmtepomp - buitenlucht	Warmtenet HT	7%
BU02680737	Weezenhof	Warmtepomp - buitenlucht	Warmtenet HT	11%
BU02680321	Wolfskuil	Warmtepomp - buitenlucht	Warmtenet HT	14%
BU02680732	Zwanenveld	Hybride warmtepomp - buitenlucht	Warmtepomp - buitenlucht	17%

C Parameters nationale kosten

In deze bijlage is een overzicht opgenomen van de inputwaarden van het CEGOIA-model.

Indexatie

Het CEGOIA-model gebruikt heel veel kostenparameters. Deze zijn gebaseerd op verschillende bronnen en hebben daardoor niet allemaal hetzelfde prijspeil. Om kosten uit verschillende jaartallen goed met elkaar te vergelijken moeten deze kosten geïndexeerd worden. We indexeren alle kosten naar het huidige prijsniveau (2024) op basis van de historische consumentenprijsindex (CPI), gepubliceerd door het CBS. Vervolgens kunnen de parameters verder geïndexeerd worden naar het gekozen zichtjaar, op basis van een vaste CPI inschatting per jaar.

Tabel 7 - Indexatiewaarden, historisch en toekomstig

Jaar	Waarde	Bron
2015	1,005	(CBS, lopend)
2016	1,003	(CBS, lopend)
2017	1,014	(CBS, lopend)
2018	1,014	(CBS, lopend)
2019	1,016	(CBS, lopend)
2020	1,012	(CBS, lopend)
2021	1,025	(CBS, lopend)
2022	1,118	(CBS, lopend)
2023	1,03	(CBS, lopend)
Toekomstige jaren	1,02	Aanname voor project

Energieprijzen

De gehanteerde energieprijzen voor het zichtjaar 2035 staan in Tabel 8. Dit betreft de groothandelsprijs met een leveranciersopslag van 5%. De energiebelasting en btw zijn geen onderdeel van de nationale kosten. De productiekosten voor warmtelevering staan in Tabel 13.

Tabel 8 - De aangenomen kosten van de energiedragers in het zichtjaar 2035

Energiedrager	Kosten	Prijspeil	Bron
Elektriciteit	23,3 €/GJ	2021	Aanname voor project
Hernieuwbaar gas (t.b.v. bijstook)	19,76 €/GJ	2021	(CE Delft, 2021)
Groengas	19,76 €/GJ	2021	(CE Delft, 2021)

Leercurves

Verschillende parameters in het model zijn voorzien van een leercurve die aangeeft hoe de parameter zich in de loop van de tijd ontwikkelt. De leercurves zijn te zien in Tabel 9.

Tabel 9 - Leercurves door innovaties

	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	Bron
COP-warmtepomp	1	1,16	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	(TKI Urban Energy, 2020)
COP-warmtewisselaar met individuele warmtepomp	1	1,16	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	(TKI Urban Energy, 2020)

Gehanteerde rentevoeten en afschrijftermijnen

Alle investeringen worden in het model omgerekend naar jaarlijkse kosten. Dit gebeurt met een specifieke rentevoet en afschrijftermijn, afhankelijk van het type investering. De gehanteerde rentevoeten zijn weergegeven in Tabel 10 en de gehanteerde afschrijftermijnen in Tabel 11.

Tabel 10 - Gehanteerde rentevoeten

Onderdeel	Rentievoet	Bron
Utiliteit	2,5 %	Aanname CE Delft
Woning	2,5 %	Aanname CE Delft
Corporatiewoning	2,5 %	Aanname CE Delft
Infrastructuur gas	2,5 %	Aanname CE Delft
Infrastructuur elektriciteit	2,5 %	Aanname CE Delft
Warmtenet ⁸	6 %	Aanname CE Delft

Tabel 11 - Gehanteerde afschrijftermijnen

Onderdeel	Afschrijftermijn	Bron
Gebouw aanpassingen	25 jaar	Aanname CE Delft
Gebouw installaties	15 jaar	Aanname CE Delft
Collectieve installaties	25 jaar	Aanname CE Delft
Infrastructuur	40 jaar	Aanname CE Delft

Technieken

De parameters voor de individuele warmtetechnieken zijn weergegeven in Tabel 12, voor collectieve warmtetechnieken Tabel 13 en de parameters voor de afgiftesystemen zijn weergegeven in Tabel 14.

Tabel 12 - Inputwaarden individuele warmtetechnieken (voor het warmtenet omvat dit de installatie van warmtewisselaar en indien van toepassing met warmtepomp)

Techniek	Investering	Prijspeil	Jaarlijks onderhoud	Bron
Warmtepomp - buitenlucht	8.467 €/WEQ	2021	2 %	(CE Delft, 2022a); (CE Delft, 2022a)
Warmtepomp - bodem	15.527 €/WEQ	2021	1 %	(CE Delft, 2022a); (CE Delft, 2022a)
Hr-ketel	1.943 €/WEQ	2021	5 %	(CE Delft, 2022a); (CE Delft, 2022a)

⁸ De hogere rentevoet komt door het toepassen van een risicocorrectie

Techniek	Investering	Prijspeil	Jaarlijks onderhoud	Bron
Hybride warmtepomp - ventilatielucht	5.200 €/WEQ	2021	2 %	(CE Delft, 2022a); Aannece CE Delft
Hybride warmtepomp - buitenlucht	5.414 €/WEQ	2021	4 %	(CE Delft, 2022a); (CE Delft, 2022a)
Warmtenet HT	2.000 €/WEQ	2019	2,5 %	(CE Delft et al., 2019); Aannece CE Delft
Warmtenet MT	2.000 €/WEQ	2019	2,5 %	(CE Delft et al., 2019); Aannece CE Delft
Warmtenet LT met ind. warmtepomp	8.600 €/WEQ	2019	2,5 %	(CE Delft et al., 2019); Aannece CE Delft
Warmtenet ZLT met ind. warmtepomp	8.600 €/WEQ	2019	2,5 %	Aannece CE Delft; Aannece CE Delft
Warmtenet LT	2.000 €/WEQ	2019	2,5 %	(CE Delft et al., 2019); Aannece CE Delft
Wko-net	2.000 €/WEQ	2019	2,5 %	(CE Delft et al., 2019); Aannece CE Delft
Mechanische ventilatie	3.590 €/WEQ	2020	2 %	(CE Delft, 2022a); Aannece CE Delft
Splitsysteem	0 €/WEQ	Nvt	2,5 %	Project aanname (kosten voor koude niet meenemen)
Elektrische boiler	1.558 €/WEQ	2021	2,5 %	(CE Delft, 2022a); (CE Delft et al., 2019)
Elektrisch koken	850 €/woning	2021	0 %	(CE Delft, 2022a)

De productiekosten en het rendement van de collectieve warmtebronnen weergegeven in Tabel 13, betreffen de productie van warmte bij de bron. De productiekosten van de AVI omvat de derving elektriciteitsproductie door de aftapwarmte. De productiekosten van geothermie, wko en TEO zijn 0 aangezien het omgevingswarmte betreft. Het rendement betreft de hoeveelheid elektriciteit die nodig is om de warmte op te pompen.

Tabel 13 - Inputwaarden collectieve warmtetechnieken

Techniek	Productie kosten	Investeringskosten	Jaarlijks onderhoud	Rendement	Prijspeil	Leiding verlies	Bron
AVI	3,75 €/GJ	162,50 €/kW	5 %	1	2019	20 %	(CE Delft et al., 2019); Aannece CE Delft; Aannece CE Delft; (CE Delft et al., 2019); (CE Delft et al., 2019)
Geothermie LT	0 €/GJ	1818 €/kW	5 %	20	2019	15 %	(CE Delft et al., 2019); Geen; Aannece CE Delft; (CE Delft et al., 2019); Geen
Wko	0 €/GJ	1133 €/kW	2 %	3,5	2019	15 %	Geen; Geen; Geen; Aannece CE Delft; Aannece CE Delft; (CE Delft et al., 2019); (CE Delft et al., 2019)
TEO	0 €/GJ	1000 €/kW	2 %	20	2019	7,5 %	Geen; Geen; Aannece CE Delft; (IF Technology, 2019); (IF Technology, 2019)

Tabel 14 - Inputwaarden afgiftesystemen per bruto vloeroppervlak

Afgiftesysteem	Investeringskosten	Prijspeil	Bron
LT-radiatoren	35 €/m ²	2020	(Merosch, 2020)
HT-radiatoren	17,6 €/m ²	2020	(Arcadis, 2020)

Tabel 15 - Gehanteerde rendementen voor de verschillende technieken en bijbehorend isolatieniveau

Techniek	Functie	Isolatieniveau	Rendement	Energiedrager	Bron
Warmtepomp - buitenlucht	Ruimteverwarming	Woning : LT 30 kWh/m ²	4,66	Elektriciteit	(CE Delft, 2022a)
Warmtepomp - buitenlucht	Ruimteverwarming	Woning : LT 50 kWh/m ²	3,81	Elektriciteit	(CE Delft, 2022a)
Warmtepomp - buitenlucht	Ruimteverwarming	Utiliteit: Maximale verbetering	4,66	Elektriciteit	(CE Delft, 2022a)
Warmtepomp - buitenlucht	Ruimteverwarming	Utiliteit: Minimale verbetering	3,81	Elektriciteit	(CE Delft, 2022a)
Warmtepomp - buitenlucht	Ruimteverkoeling	Alle	3	Elektriciteit	(CE Delft, 2022a)
Warmtepomp - buitenlucht	Warm tapwater	Alle	2,3	Elektriciteit	(CE Delft, 2022a)
Warmtepomp - bodem	Ruimteverwarming	Woning : LT 30 kWh/m ²	5,63	Elektriciteit	(CE Delft, 2022a)
Warmtepomp - bodem	Ruimteverwarming	Woning : LT 50 kWh/m ²	4,07	Elektriciteit	(CE Delft, 2022a)
Warmtepomp - bodem	Ruimteverwarming	Utiliteit: Maximale verbetering	5,63	Elektriciteit	(CE Delft, 2022a)
Warmtepomp - bodem	Ruimteverwarming	Utiliteit: Minimale verbetering	4,07	Elektriciteit	(CE Delft, 2022a)
Warmtepomp - bodem	Ruimteverkoeling	Alle	45	Elektriciteit	(CE Delft, 2022a)
Warmtepomp - bodem	Warm tapwater	Alle	3	Elektriciteit	(CE Delft, 2022a)
Hr-ketel	Ruimteverwarming	Alle	0,94	Gas	(CE Delft, 2022a)
Hr-ketel	Warm tapwater	Alle	0,65	Gas	(CE Delft, 2022a)
Hybride warmtepomp - ventilatielucht	Ruimteverwarming	Woning : LT 30 kWh/m ²	5,7	Elektriciteit	(CE Delft, 2022a)
Hybride warmtepomp - ventilatielucht	Ruimteverwarming	Woning : LT 50 kWh/m ²	5,1	Elektriciteit	(CE Delft, 2022a)
Hybride warmtepomp - ventilatielucht	Ruimteverwarming	Utiliteit: Maximale verbetering	5,7	Elektriciteit	(CE Delft, 2022a)
Hybride warmtepomp - ventilatielucht	Ruimteverwarming	Utiliteit: Minimale verbetering	5,1	Elektriciteit	(CE Delft, 2022a)

Techniek	Functie	Isolatieniveau	Rendement	Energiedrager	Bron
Hybride warmtepomp - ventilatielucht	Ruimteverwarming	Woning : MT 70 kWh/m ²	5	Elektriciteit	(CE Delft, 2022a)
Hybride warmtepomp - ventilatielucht	Ruimteverwarming	Woning : Huidig	5	Elektriciteit	(CE Delft, 2022a)
Hybride warmtepomp - ventilatielucht	Ruimteverwarming	Alle	0,94	Gas	(CE Delft, 2022a)
Hybride warmtepomp - ventilatielucht	Warm tapwater	Alle	0,65	Gas	(CE Delft, 2022a)
Hybride warmtepomp - buitenlucht	Ruimteverwarming	Woning : LT 30 kWh/m ²	4,25	Elektriciteit	(CE Delft, 2022a)
Hybride warmtepomp - buitenlucht	Ruimteverwarming	Woning : LT 50 kWh/m ²	4,07	Elektriciteit	(CE Delft, 2022a)
Hybride warmtepomp - buitenlucht	Ruimteverwarming	Utiliteit: Maximale verbetering	4,25	Elektriciteit	(CE Delft, 2022a)
Hybride warmtepomp - buitenlucht	Ruimteverwarming	Utiliteit: Minimale verbetering	4,07	Elektriciteit	(CE Delft, 2022a)
Hybride warmtepomp - buitenlucht	Ruimteverwarming	Woning : MT 70 kWh/m ²	3,66	Elektriciteit	(CE Delft, 2022a)
Hybride warmtepomp - buitenlucht	Ruimteverwarming	Woning : Huidig	3,66	Elektriciteit	(CE Delft, 2022a)
Hybride warmtepomp - buitenlucht	Ruimteverwarming	Utiliteit: Geen verbetering	3,66	Elektriciteit	(CE Delft, 2022a)
Hybride warmtepomp - buitenlucht	Ruimteverwarming	Alle	0,94	Gas	(CE Delft, 2022a)
Hybride warmtepomp - buitenlucht	Warm tapwater	Alle	0,65	Gas	(CE Delft, 2022a)
Warmtenet LT met ind. warmtepomp	Ruimteverwarming	Woning : LT 30 kWh/m ²	6,1	Elektriciteit	(CE Delft, 2022a)
Warmtenet LT met ind. warmtepomp	Ruimteverwarming	Woning : LT 50 kWh/m ²	6,1	Elektriciteit	(CE Delft, 2022a)
Warmtenet LT met ind. warmtepomp	Ruimteverwarming	Woning : MT 70 kWh/m ²	5,5	Elektriciteit	(CE Delft, 2022a)
Warmtenet LT met ind. warmtepomp	Ruimteverwarming	Utiliteit: Minimale verbetering	5,5	Elektriciteit	(CE Delft, 2022a)

Techniek	Functie	Isolatieniveau	Rendement	Energiedrager	Bron
Warmtenet LT met ind. warmtepomp	Ruimteverwarming	Utiliteit: Maximale verbetering	6,1	Elektriciteit	(CE Delft, 2022a)
Warmtenet LT met ind. warmtepomp	Ruimteverkoeling	Alle	41	Elektriciteit	(CE Delft, 2022a)
Warmtenet LT met ind. warmtepomp	Warm tapwater	Alle	4	Elektriciteit	(CE Delft, 2022a)
Warmtenet ZLT met ind. warmtepomp	Ruimteverwarming	Woning : LT 30 kWh/m ²	6,1	Elektriciteit	(CE Delft, 2022a)
Warmtenet ZLT met ind. warmtepomp	Ruimteverwarming	Woning : LT 50 kWh/m ²	6,1	Elektriciteit	(CE Delft, 2022a)
Warmtenet ZLT met ind. warmtepomp	Ruimteverwarming	Woning : MT 70 kWh/m ²	5,5	Elektriciteit	(CE Delft, 2022a)
Warmtenet ZLT met ind. warmtepomp	Ruimteverwarming	Utiliteit: Minimale verbetering	5,5	Elektriciteit	(CE Delft, 2022a)
Warmtenet ZLT met ind. warmtepomp	Ruimteverwarming	Utiliteit: Maximale verbetering	6,1	Elektriciteit	(CE Delft, 2022a)
Warmtenet ZLT met ind. warmtepomp	Ruimteverkoeling	Alle	20	Elektriciteit	(CE Delft, 2022a)
Warmtenet ZLT met ind. warmtepomp	Warm tapwater	Alle	4	Elektriciteit	(CE Delft, 2022a)

Infrastructuur

De kostenparameters voor de elektriciteit en gas infrastructuur zijn weergegeven in Tabel 16 en Tabel 17.

Tabel 16 - Inputwaarden voor infrastructuur kosten en kosten voor aansluiting in de woning, prijspeil 2019

Infrastructuur	Investering per meter	Investering per woning	Operationele kosten per meter	Operationele kosten per woning	Bron
Elektriciteit	110 €/m	758,33 €/aansluiting	7,70 €/m/jaar	0 €/aansluiting/jaar	(Netbeheer Nederland, 2019)
Gas	300 €/m	858 €/aansluiting	7 €/m/jaar	0 €/aansluiting/jaar	(Netbeheer Nederland, 2019)

Tabel 17 - Kosten voor aansluiting utiliteit in €/m²/jaar, prijspeil 2015

Infrastructuur	Kantoor	Winkel	Gezondheidszorg	Logies	Onderwijs	Bijeenkomst	Sport	Cel	Ander s	Bron
Elektriciteit	1,43	1,11	0,49	0,49	0,49	0,49	0,48	0,49	1,43	RVO-module
Gas	0,48	0,26	0,23	0,15	0,25	0,23	0,19	0,22	0,12	RVO-module

De kosten voor netverzwaring bij gebruik van elektrische warmtepompen bedragen 938 €/kW (Stedin, lopend) (prijspeil 2019). De aangenomen benodigde capaciteitsuitbreiding is opgenomen in Tabel 18.

Tabel 18 - Inputwaarden netverzwaring elektriciteit

Techniek	Isolatieschil	Netverzwaring (kW/weq)	Bron
Warmtepomp - bodem	LT 30 kWh/m ²	2	(Stedin, lopend)
Warmtepomp - bodem	LT 50 kWh/m ²	2	(Stedin, lopend)
Warmtepomp - buitenlucht	LT 30 kWh/m ²	2	(Stedin, lopend)
Warmtepomp - buitenlucht	LT 50 kWh/m ²	2	(Stedin, lopend)

Voor warmtelevering met een warmtenet wordt een leidingverlies aangehouden, voor de waarde hiervan zie Tabel 13. De gelijktijdigheidsfactor voor de aansluitingen op het warmtenet wordt verondersteld op 50%.

Tabel 19 - Inputwaarden warmtenet, prijspeil 2020

Type gebouw	Aansluitkosten ⁹	Aansluitwaarde	Bron
Grondgebonden woning	10.006 €/weq.	9 kW/weq.	(CE Delft, 2022b); Aanname CE Delft
Gestapelde woning	6.066 €/weq.	7,5 kW/weq.	(CE Delft, 2022b); Aanname CE Delft
Woning met blokverwarming	2.000 €/weq.	7,5 kW/weq.	Aanname CE Delft; Aanname CE Delft
Utiliteit	150 €/m ²	0,05 kW/m ²	(CE Delft, 2022b); (CE Delft, 2013)

Tabel 20 - Inputwaarden aansluiting warmtenet

Onderdeel	Waarde	Prijspeil	Bron
Investering onderstation	127 €/kW	2021	(CE Delft, 2022a)
Onderhoud onderstation	3 %		(CE Delft, 2013)
Onderhoud transportleiding	3 %		(CE Delft, 2013)
Onderhoud hoofdleiding	3 %		(CE Delft, 2013)
Onderhoud zijleiding	3 %		(CE Delft, 2013)
Investering WOS	100 €/kW	2019	(Tieleman, 2019)
Investering WOS excl. piekinstallatie	75 €/kW	2019	(CE Delft, 2013)
Onderhoud WOS	3 %		(CE Delft et al., 2019)

⁹ Dit is inclusief in pandig leidingwerk.

Onderhoud aansluiting	2,5 %		(CE Delft, 2013)
Investering collectieve warmtepomp	680 €/kW	2019	(CE Delft et al., 2019)
Onderhoud collectieve warmtepomp	0 %		(CE Delft, 2018)

Overige parameters

In CEGOIA gaan we uit van drie isolatieniveaus, een middentemperatuurniveau met een warmtevraag van 70 kWh/m², een laagtemperatuurniveau met een warmtevraag van 50 kWh/m² en een zeer laagtemperatuurniveau met een warmtevraag van 30 kWh/m².

Tabel 21 - De kosten om te isoleren per woningtype en bouwjaar voor drie verschillende isolatieniveaus. Het prijspeil voor al deze kosten is 2020

Woningtype	Bouwjaar	MT 70 kWh/m ²	LT 50 kWh/m ²	ZLT 30 kWh/m ²	Bron
Vrijstaand	voor 1900	€ 172	€ 330	€ 482	(Merosch, 2020)
Vrijstaand	1900 tot 1945	€ 172	€ 330	€ 482	(Merosch, 2020)
Vrijstaand	1946 tot 1991	€ 150	€ 236	€ 590	(Merosch, 2020)
Vrijstaand	1992 tot 2005	€ 0	€ 149	€ 296	(Merosch, 2020)
Vrijstaand	na 2005	€ 0	€ 0	€ 38	(Merosch, 2020)
hoekwoning	voor 1900	€ 114	€ 179	€ 283	(Merosch, 2020)
hoekwoning	1900 tot 1945	€ 114	€ 179	€ 283	(Merosch, 2020)
hoekwoning	1946 tot 1991	€ 103	€ 161	€ 358	(Merosch, 2020)
hoekwoning	1992 tot 2005	€ 0	€ 110	€ 231	(Merosch, 2020)
hoekwoning	na 2005	€ 0	€ 0	€ 32	(Merosch, 2020)
rijwoning	voor 1900	€ 114	€ 179	€ 283	(Merosch, 2020)
rijwoning	1900 tot 1945	€ 114	€ 179	€ 283	(Merosch, 2020)
rijwoning	1946 tot 1991	€ 103	€ 161	€ 358	(Merosch, 2020)
rijwoning	1992 tot 2005	€ 0	€ 110	€ 231	(Merosch, 2020)
rijwoning	na 2005	€ 0	€ 0	€ 32	(Merosch, 2020)
2-1 kap	voor 1900	€ 111	€ 201	€ 311	(Merosch, 2020)
2-1 kap	1900 tot 1945	€ 111	€ 201	€ 311	(Merosch, 2020)
2-1 kap	1946 tot 1991	€ 107	€ 164	€ 430	(Merosch, 2020)
2-1 kap	1992 tot 2005	€ 0	€ 136	€ 279	(Merosch, 2020)
2-1 kap	na 2005	€ 0	€ 0	€ 29	(Merosch, 2020)
Appartement	voor 1900	€ 96	€ 160	€ 320	(Merosch, 2020)
Appartement	1900 tot 1945	€ 96	€ 160	€ 320	(Merosch, 2020)
Appartement	1946 tot 1991	€ 62	€ 122	€ 350	(Merosch, 2020)
Appartement	1992 tot 2005	€ 0	€ 93	€ 223	(Merosch, 2020)
Appartement	na 2005	€ 0	€ 0	€ 46	(Merosch, 2020)

De warmtevraag voor utiliteit is afhankelijk van de utiliteitsfunctie. Voor utiliteit gaan we uit van twee isolatieniveaus, minimale besparing (Niveau B) en maximale besparing (Niveau A). De kosten voor isolatie zijn weergegeven in Tabel 23.

Tabel 22 - De warmtevraag van utiliteit in GJ/m² voor verschillende isolatieniveaus

Functie	Bouwjaar	Warmtevraag huidig (GJ/m ²)	Warmtevraag niveau B (GJ/m ²)	Warmtevraag niveau A (GJ/m ²)	Bron
Kantoor	voor 1920	0,98	0,21	0,15	(PBL, 2021)
Kantoor	1920 tot 1974	0,77	0,21	0,15	(PBL, 2021)

Functie	Bouwjaar	Warmtevraag huidig (GJ/m ²)	Warmtevraag niveau B (GJ/m ²)	Warmtevraag niveau A (GJ/m ²)	Bron
Kantoor	1975 tot 1989	0,21	0,21	0,15	(PBL, 2021)
Kantoor	1990 tot 1994	0,36	0,36	0,15	(PBL, 2021)
Kantoor	na 1994	0,3	0,3	0,15	(PBL, 2021)
Winkel	voor 1920	0,49	0,11	0,07	(PBL, 2021)
Winkel	1920 tot 1974	0,39	0,11	0,07	(PBL, 2021)
Winkel	1975 tot 1989	0,11	0,11	0,07	(PBL, 2021)
Winkel	1990 tot 1994	0,19	0,19	0,07	(PBL, 2021)
Winkel	na 1994	0,15	0,15	0,07	(PBL, 2021)
Gezondheidszorg	voor 1920	1,12	0,28	0,19	(PBL, 2021)
Gezondheidszorg	1920 tot 1974	0,82	0,27	0,19	(PBL, 2021)
Gezondheidszorg	1975 tot 1989	0,27	0,27	0,19	(PBL, 2021)
Gezondheidszorg	1990 tot 1994	0,45	0,45	0,19	(PBL, 2021)
Gezondheidszorg	na 1994	0,38	0,38	0,2	(PBL, 2021)
Logies	voor 1920	0,72	0,2	0,14	(PBL, 2021)
Logies	1920 tot 1974	0,58	0,2	0,14	(PBL, 2021)
Logies	1975 tot 1989	0,2	0,2	0,14	(PBL, 2021)
Logies	1990 tot 1994	0,3	0,3	0,14	(PBL, 2021)
Logies	na 1994	0,26	0,26	0,14	(PBL, 2021)
Onderwijs	voor 1920	0,52	0,11	0,08	(PBL, 2021)
Onderwijs	1920 tot 1974	0,39	0,11	0,08	(PBL, 2021)
Onderwijs	1975 tot 1989	0,11	0,11	0,08	(PBL, 2021)
Onderwijs	1990 tot 1994	0,2	0,2	0,08	(PBL, 2021)
Onderwijs	na 1994	0,16	0,16	0,08	(PBL, 2021)
Bijeenkomst	voor 1920	0,56	0,15	0,11	(PBL, 2021)
Bijeenkomst	1920 tot 1974	0,81	0,27	0,19	(PBL, 2021)
Bijeenkomst	1975 tot 1989	0,37	0,37	0,26	(PBL, 2021)
Bijeenkomst	1990 tot 1994	0,62	0,62	0,27	(PBL, 2021)
Bijeenkomst	na 1994	0,44	0,44	0,23	(PBL, 2021)
Sport	voor 1920	0,72	0,21	0,15	(PBL, 2021)
Sport	1920 tot 1974	0,54	0,21	0,15	(PBL, 2021)
Sport	1975 tot 1989	0,21	0,21	0,15	(PBL, 2021)
Sport	1990 tot 1994	0,33	0,33	0,15	(PBL, 2021)
Sport	na 1994	0,28	0,28	0,15	(PBL, 2021)
Cel	voor 1920	1,18	0,28	0,19	(PBL, 2021)
Cel	1920 tot 1974	0,8	0,28	0,19	(PBL, 2021)
Cel	1975 tot 1989	0,28	0,28	0,19	(PBL, 2021)
Cel	1990 tot 1994	0,47	0,47	0,19	(PBL, 2021)
Cel	na 1994	0,38	0,38	0,19	(PBL, 2021)

Tabel 23 - De investeringskosten voor isolatiemaatregelen in €/m² voor utiliteit, prijspeil 2020.

Functie	Bouwjaar	Isolatiekosten niveau B (€/m ²)	Isolatiekosten niveau A (€/m ²)	Bron
Kantoor	before-1920	125	150	(PBL, 2021)
Kantoor	1920-1974	124	150	(PBL, 2021)
Kantoor	1975-1989	115	141	(PBL, 2021)
Kantoor	1990-1994	0	119	(PBL, 2021)
Kantoor	after-1994	0	119	(PBL, 2021)

Functie	Bouwjaar	Isolatiekosten niveau B (€/m ²)	Isolatiekosten niveau A (€/m ²)	Bron
Winkel	before-1920	156	187	(PBL, 2021)
Winkel	1920-1974	155	186	(PBL, 2021)
Winkel	1975-1989	142	174	(PBL, 2021)
Winkel	1990-1994	0	148	(PBL, 2021)
Winkel	after-1994	0	148	(PBL, 2021)
Gezondheidszorg	before-1920	131	157	(PBL, 2021)
Gezondheidszorg	1920-1974	130	157	(PBL, 2021)
Gezondheidszorg	1975-1989	119	147	(PBL, 2021)
Gezondheidszorg	1990-1994	0	125	(PBL, 2021)
Gezondheidszorg	after-1994	0	125	(PBL, 2021)
Logies	before-1920	124	149	(PBL, 2021)
Logies	1920-1974	123	149	(PBL, 2021)
Logies	1975-1989	114	140	(PBL, 2021)
Logies	1990-1994	0	118	(PBL, 2021)
Logies	after-1994	0	118	(PBL, 2021)
Onderwijs	before-1920	112	134	(PBL, 2021)
Onderwijs	1920-1974	112	134	(PBL, 2021)
Onderwijs	1975-1989	99	123	(PBL, 2021)
Onderwijs	1990-1994	0	106	(PBL, 2021)
Onderwijs	after-1994	0	106	(PBL, 2021)
Bijeenkomst	before-1920	155	185	(PBL, 2021)
Bijeenkomst	1920-1974	154	184	(PBL, 2021)
Bijeenkomst	1975-1989	142	174	(PBL, 2021)
Bijeenkomst	1990-1994	0	147	(PBL, 2021)
Bijeenkomst	after-1994	0	147	(PBL, 2021)
Sport	before-1920	181	217	(PBL, 2021)
Sport	1920-1974	180	216	(PBL, 2021)
Sport	1975-1989	163	201	(PBL, 2021)
Sport	1990-1994	0	172	(PBL, 2021)
Sport	after-1994	0	172	(PBL, 2021)
Cel	before-1920	127	153	(PBL, 2021)
Cel	1920-1974	126	153	(PBL, 2021)
Cel	1975-1989	118	145	(PBL, 2021)
Cel	1990-1994	0	121	(PBL, 2021)
Cel	after-1994	0	121	(PBL, 2021)

Tabel 24 - Overige energievragen woningen

Isolatieniveau	Ventilatie (GJ/m ²)	Koude (GJ/m ²)*	Hulpenergie (GJ/m ²)	Warm tapwater (GJ/pp)	Bron
LT 30 kWh/m ²	0,03	0	0,01	2,02	Aanname CE Delft; Aanname CE Delft; (RVO, 2019); (NEN, 2020)
LT 50 kWh/m ²	0,02	0	0,01	2,02	Aanname CE Delft; Aanname CE Delft; (RVO, 2019); (NEN, 2020)
MT 70 kWh/m ²	0	0	0,01	2,02	Aanname CE Delft; Aanname CE Delft; (RVO, 2019); (NEN, 2020)
Huidig	0	0	0,01	2,02	Aanname CE Delft; Aanname CE Delft; (RVO, 2019); (NEN, 2020)

* Voor dit project is de koudevraag niet meegenomen in de berekeningen.

Tabel 25 - Overige energievragen van utiliteit

Functie	Ventilatie (GJ/m ²)	Koude (GJ/m ²)	Hulpenergie (GJ/m ²)	Apparaten (GJ/m ²)	Warm tapwater (GJ/m ²)	Bron
Bijeenkomst	0.048	0.176	0.01	0.129	0.01	(NEN, 2020)
Cel	0.048	0.086	0.01	0.454	0.015	(NEN, 2020)
Gezondheidszorg	0.046	0.032	0.01	0.232	0.033	(NEN, 2020)
Kantoor	0.019	0.086	0.01	0.454	0.005	(NEN, 2020)
Logies	0.048	0.156	0.01	0.089	0.045	(NEN, 2020)
Onderwijs	0.009	0.004	0.01	0.151	0.005	(NEN, 2020)
Sport	0.081	0.087	0.01	0.454	0.045	(NEN, 2020)
Winkel	0.008	0.035	0.01	0.567	0.005	(NEN, 2020)

Tabel 26 - Ouderdomsfactoren: kostenverhogende factor vanwege ouderdom van de gebouwen

Investeringsonderdeel	Bouwjaar voor 1900	Bouwjaar 1900-1945	Bron
Energie-infrastructuur	2,5	1,5	Aanname CE Delft
Isolatiemaatregelen	2	1	Aanname CE Delft
Amovering	2	1	Aanname CE Delft

Tabel 27 - Bijstook factoren voor collectieve warmtebronnen

Onderdeel	Waarde	Bron
Bijstook woningen - LT 30 kWh/m ²	0,1	Aanname CE Delft
Bijstook woningen - LT 50 kWh/m ²	0,15	Aanname CE Delft
Bijstook woningen - MT 70 kWh/m ²	0,2	Aanname CE Delft
Bijstook woningen - Huidig	0,25	Aanname CE Delft
Bijstook utiliteit - Maximale verbetering	0,1	Aanname CE Delft
Bijstook utiliteit - Minimale verbetering	0,15	Aanname CE Delft
Bijstook utiliteit - Geen verbetering	0,25	Aanname CE Delft

D Parameters eindgebruikerskosten

In deze bijlage is een overzicht opgenomen van de inputwaarden van het CEKER-model. Veel parameters die het CEGOIA-model gebruikt worden ook in CEKER gebruikt. In deze bijlage zijn enkel de aanvullende of afwijkende parameters opgenomen.

Indexatie

Net als in CEGOIA worden in het CEKER-model de kosten geïndexeerd, zie ook Tabel 7. Bij alle kostenparameters in deze bijlage is het prijspeil vermeld. Voor de berekeningen zijn de kostenparameters geïndexeerd naar het zichtjaar 2035.

Energietarieven

De kostenparameters voor de vaste nettatarieven zijn weergegeven in Tabel 28.

Tabel 28 - Vaste nettatarieven (incl. btw)

Infrastructuur	Vastrecht 2035	Prijspeil	Bron
Elektriciteit	379 €/jaar	2022	(PBL, 2020)
Gas	253 €/jaar	2022	(PBL, 2020)
Warmtenet	505 €/jaar	2022	Aanname CE Delft

De gehanteerde variabele energietarieven zijn weergegeven in Tabel 29.

Tabel 29 - Variabele energietarieven (incl. btw en energiebelasting)

Energiedrager	Variabel energietarief 2035	Prijspeil	Bron
Elektriciteit	0,18 €/kWh	2022	(PBL, 2022)
Gas	1,53 €/m ³	2022	(PBL, 2022)
Warmte	43,56 €/GJ	2022	Aanname CE Delft

Gehanteerde rentevoeten en afschrijftermijnen

Alle investeringen worden in het model omgerekend naar jaarlijkse kosten. Dit gebeurt met een specifieke rentevoet en afschrijftermijn, afhankelijk van het type investeerder. De gehanteerde rentevoeten zijn weergegeven in Tabel 10 en de gehanteerde afschrijftermijnen in Tabel 11.

Tabel 30 - Gehanteerde rentevoeten

Type investeerder	Waarde	Bron
Koop	2%	Energiebespaarlening Duurzaam Warmtefonds
Huur sociaal	4,82%	Waarborgfonds Sociale Woningbouw
Huur particulier	3,36%	NIBC vastgoedhypotheek

Tabel 31 - Gehanteerde lening termijnen

Onderdeel	Leningduur	Bron
Lening koopwoning eigenaren	20 jaar	Energiebespaarlening Duurzaam Warmtefonds
Lening particuliere verhuurders	25 jaar	NIBC vastgoedhypotheek
Lening sociale verhuurders	25 jaar	Waarborgfonds Sociale Woningbouw
Kortere leningsduur voor installaties met een korte levensduur	15 jaar	Levensduur installaties (www.warmtetechnieken.nl)

Technieken en afgiftesysteem en isolatie

De investeringskosten en rendementen van de warmtetechnieken zijn gelijk aan de parameters in CEGOIA (zie Tabel 12, Tabel 14, Tabel 15 en Tabel 21). Echter in CEKER komt er nog btw bovenop de investeringen.

Investeringskosten warmtenetten

Voor warmtelevering met een warmtenet worden de volgende tarieven aangehouden:

Tabel 32 - Bijdrage warmtenet (BAK)

Type kost	Kosten (€/woning)	Bron
Bijdrage aansluitkosten laagbouw	€ 4.000	Aanname voor project
Bijdrage aansluitkosten hoogbouw	€ 4.000	Aanname voor project

Belastingen

Voor de energiebelasting, vermindering energiebelasting en btw rekenen we met huidige tarieven van de belastingdienst en voor de toekomst aangekondigd beleid zoals opgenomen in de Klimaat- en Energieverkenning. De btw volgt het huidige belastingstelsel, standaard 21%. Daarnaast maken we gebruik van het gereduceerd tarief (9%) van belastingen op arbeid bij isolatiemaatregelen.

Tabel 33 - Belastingtarieven

Onderdeel	2030	Prijpeil	Bron
Btw	21% (9%)	nvt	Belastingdienst, 2022
Energiebelasting elektriciteit (incl. btw)	€ 0,08/kWh	2022	Belastingdienst, 2022 en aangekondigd beleid
Energiebelasting gas (incl. btw)	€ 0,69/m ³	2022	Belastingdienst, 2022 en aangekondigd beleid
Vermindering energiebelasting (incl. btw)	541 €/jaar	2022	(PBL, 2020)

Subsidie en ondersteuningsmaatregelen

Bij het bepalen van de subsidies hanteren we de berekeningsmethodiek zoals in de subsidie wordt voorgesteld. Er zijn verschillende subsidiemaatregelen waar eindgebruikers in verschillende eigendomssituaties recht op hebben.

Stimuleringsregeling aardgasvrije huurwoningen (SAH): voor verhuurders (RVO, 2021). Deze regeling vergoedt tot een maximaal bedrag van € 3.800 per woning voor de aansluitkosten op een warmtenet. Voor de in pandige aanpassingen geldt een vergoeding van maximaal € 1.200 per woning.

Investeringssubsidie duurzame energie en energiebesparing (ISDE): voor koopwoningen (RVO, 2022). De ISDE vergoedt een deel van de kosten van een warmtepomp of aansluiting op een warmtenet. In Tabel 34 staan hiervoor de rekenwaarden. De ISDE vergoedt daarnaast ook een deel van de kosten van isolatie (ongeveer 30%).

Tabel 34 - Rekenwaarden ISDE-subsidie warmtepompen, prijspeil 2022

Techniek	Waarde
Luchtwarmtepomp	€ 2.850
Bodemwarmtepomp	€ 4.425
Hybride warmtepomp	€ 2.475
Boosterwarmtepomp	€ 1.950
Aansluiting op warmtenet	€ 3.325