Bijlage bij de Beleidsnota Warmte

Data-analyses voor de onderbouwing van de Beleidsnota Warmte en het Warmteprogramma:

1. Technisch economische analyses met het Vesta MAIS model
2. Ruimtebeslag van warmteoplossingen
3. Boven- en ondergronds ruimtegebruik
4. Impact van warmteoplossingen op het energiesysteem
5. Koeling
6. Beslisboom

Colofon

Opstellers

Mirjam Harmelink

Els van der Roest

Dick Joosten

Jan-Berno van Lochem

Vera Haaksma

Review

De inhoud van dit rapport is gereviewed door TNO in februari 2025. De juistheid van de berekeningen in Vesta MAIS en specifieke technologische data is daarbij niet meegenomen

In opdracht van

Ontwikkelorganisatie Ruimte

Afdeling Energie

Internet

www.utrecht.nl

Informatie

energie@utrecht.nl

Datum

27 juni 2025

INHOUDSOPGAVE

Inhoudsopgave **3**

1 Inleiding **6**

1.1 Beleidsnota warmte en warmteprogramma 6

1.2 Een brede integrale afweging 6

Technisch economische analyses met het Vesta MAIS model **8**

2 Geanalyseerde alternatieven naar aardgasvrij & gehanteerde uitgangspunten **9**

2.1 Context: inzet van het Vesta MAIS model 9

2.2 Nieuwe inzichten in de warmtevraag van woningen 9

2.3 Nieuwe inzichten in het potentieel voor hernieuwbare warmtebronnen 11

2.3.1 Potentieel MT en LT-bronnen 11

2.3.2 Potentieel voor inzet groen gas en groene waterstof 12

2.4 Geanalyseerde alternatieven naar aardgasvrij 13

2.4.1 MT stadswarmtenet 13

2.4.2 MT-buurtwarmtenet 14

2.4.3 ZLT Buurtwarmtenet 15

2.4.4 Individuele bodem- of luchtwarmtepomp 15

2.5 Specifieke veronderstellingen voor de modelberekeningen met het Vesta MAIS model 16

2.5.1 Referentie situatie 16

2.5.2 Doorrekening van strategieën vanuit greenfield situatie 16

2.5.3 Veronderstellingen t.a.v. bestaande warmtenet 17

2.5.4 Beschikbaarheid en kosten lokale hernieuwbare warmtebronnen 18

2.6 Geactualiseerde inzichten in het Vesta MAIS model 20

3 Resultaten van technisch economische analyses met het Vesta MAIS-model **22**

3.1 Model output: nationale kosten 22

3.2 Resultaten: Gemiddelde nationale kosten per woningequivalent 23

3.3 Voorkeursalternatief o.b.v. laagste nationale kosten 24

3.3.1 Aanpak 24

3.3.2 Gevoeligheidsanalyses buurten 25

3.3.3 Voorkeursalternatieven op basis van laagste nationale kosten 26

3.4 Vergelijking met de data-analyses uit de TVW deel 1 en 2 27

3.5 Capita Selecta: Doorrekening alternatief duurzaam gas (waterstof) 28

Boven- en ondergronds ruimtegebruik van warmteoplossingen 29

4 Bovengronds ruimtegebruik 30

4.1 Inleiding 30

4.2 Aanpak 30

4.3 Ruimtegebruik in de woning 30

4.4 Ruimtegebruik in de wijk 32

4.5 Ruimtegebruik in en aan de rand van de stad 36

4.6 Totaalbeeld bovengronds ruimtegebruik 40

5 Ondergronds ruimtegebruik 41

5.1 Aanleiding 41

5.2 Analyse van beschikbare ruimte voor warmte-infrastructuur in de ondergrond 41

Impact van warmteoplossingen op het energiesysteem 44

6 Analyse netimpact van warmtepoplossingen 45

6.1 Aanleiding 45

6.2 Impact van piekvraag voor warmte op piekvraag voor elektriciteit 45

6.3 Totaalbeeld 46

Koeling 47

7 Toekomstige energievraag voor koeling in de gebouwde omgeving 48

7.1 Inleiding 48

7.1.1 Beperkte beschikbaarheid van data over vraag naar koeling 48

7.1.2 Aanpak: eerste inschatting impact van toenemende koelvraag op het elektriciteitsgebruik 48

7.2 Beschikbare kennis/info over koudevraag van gebouwen en koeltechnieken 49

7.2.1 Componenten die de koudevraag beïnvloeden 49

7.2.2 Latente/functionele koudevraag (koelbehoefte) 49

7.2.3 Aanwezigheid en gebruik van actieve koelsystemen (elektriciteitsvraag) 50

7.2.4 Efficiency en energiegebruik van koelsystemen (elektriciteitsvraag) 50

7.2.5 Maatregelen: Effect van (passieve) gebouwmaatregelen op latente/functionele koudevraag 51

7.3 Analyse: inschatting impact van vraag naar koeling op de elektriciteitsvraag 53

7.3.1 Inleiding 53

7.3.2 Stap 1: Het berekenen van de latente/functionele koudevraag 53

7.3.3 Stap 2: Het berekenen van de energiebehoefte voor koeling 54

7.4 Resultaten 56

7.5 Conclusies 57
7.6 Warmteoplossingen en mogelijkheden voor koeling 58

Beslisboom 59

8 Beslisregels om te komen tot een voorkeursalternatief per buurt (WAT-kaart) .. 60
8.1 Inleiding 60
8.2 Onderbouwing van de beslisregels 60
8.3 Resulterend voorkeursalternatief per buurt (WAT-kaart) en beschouwing 62
8.3.1 Vergelijking met vorige versie WAT-kaart 63
8.3.2 Gevoeligheidsanalyses 63

BIJLAGE 1: Vergelijking met Startanalyse 2025 65

BIJLAGE 2: Uitgevoerde onderzoeken 66

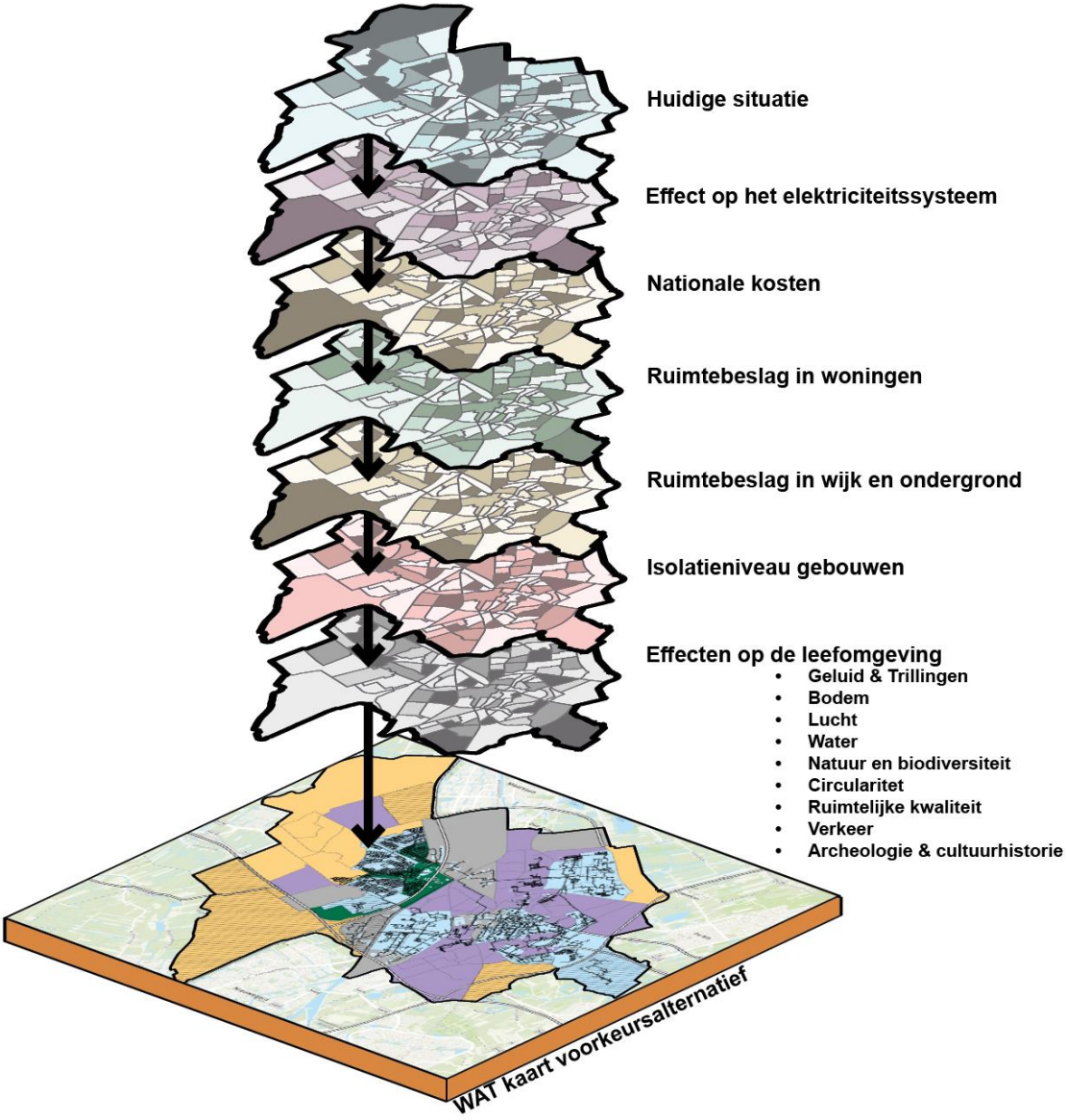
1 Inleiding

1.1 Beleidsnota warmte en warmteprogramma

In 2021 is de Transitievisie Warmte (TVW) vastgesteld door de Utrechtse gemeenteraad. In deel 1 staat de Wat-kaart “Verwachtte warmteoplossing per buurt” en criteria voor de gebiedsgerichte aanpak en in deel 2 staat de Wanneer-kaart, in welke buurten we verwachten wanneer aan de slag te gaan. Beide documenten worden nu herzien en vervangen door de beleidsnota warmte vervolgens uitgewerkt in een Warmteprogramma De beleidsnota beschrijft de kaders die leidend zijn voor het voorkeursalternatief naar aardgasvrij per buurt, wat leidt tot een nieuwe Wat-kaart. Met behulp van door de raad vastgestelde kaders stellen wij vervolgens een Warmteprogramma op waarin nader uitgewerkt wordt waar we de komende 10 jaar aan de slag gaan met welke warmteoplossing.

1.2 Een brede integrale afweging

Nieuwe ontwikkelingen en inzichten geven aanleiding tot het opnieuw uitvoeren van de achterliggende techno-economische berekeningen met het Vesta MAIS model (zie hoofdstuk 2) en een bredere afweging te maken dan in de Transitievisie Warmte deel 1 en 2. In de nationale kosten berekening met het Vesta MAIS model worden bijvoorbeeld de kosten voor ruimtegebruik, koeling of effecten op de leefomgeving niet meegenomen. Daarom zijn hier aparte analyses voor uitgevoerd. In de beleidsnota Warmte wordt de uiteindelijke integrale afweging van alle aspecten gemaakt (zie Figuur 1) die resulteert in een voorkeurs-alternatief per buurt. In deze rapportage worden de analyses beschreven die de data leveren voor onder-delen van deze afweging. Het gaat om: de nationale kosten (Vesta MAIS analyses, hoofdstuk 2&3), het ruimtebeslag van warmteoplossingen in de woning, de wijk, aan de randen van de stad (hoofdstuk 4) en in de ondergrond (infrastructuur) (hoofdstuk 5), de effecten op het hogere niveau van het elektriciteitssys-teem (hoofdstuk 6) en koeling als onderdeel van effecten op de leefomgeving (hoofdstuk 7). Het isolatie-niveau van gebouwen wordt ook meegenomen en is gebaseerd op externe analyses over het energiebe-sparingspotentieel in woningen (Energiepaleis, 2024a). Ten slotte wordt op basis van de planMER nog bekeken of milieueffecten aanleiding geven tot herziening van een voorkeursalternatief voor een buurt. Uiteindelijk leidt dat aan het eind van deze rapportage tot een beslisboom die is gebruikt om op basis van de data in dit rapport en de planMER tot een voorkeursalternatief per buurt te komen (hoofdstuk 8).



Figuur 1 Criteria die worden meegenomen in de afweging tot een voorkeursalternatief per buurt

TECHNISCH ECONOMISCHE ANALYSES MET HET VESTA MAIS MODEL

2 Geanalyseerde alternatieven naar aardgasvrij & gehanteerde uitgangspunten

2.1 Context: inzet van het Vesta MAIS model

Ter onderbouwing van de Transitievisie Warmte deel 1 en deel 2 zijn technische economische analyses uitgevoerd met het Vesta MAIS model in 2020 (Gemeente Utrecht, 2020). Voor de technisch economische analyses is evenals voor de TVW deel 1 en 2 gebruik gemaakt van het Vesta MAIS model. Dit is een open source model ontwikkelt door het PBL met het doel inzicht te genereren in de kosten voor vermindering van het energiegebruik en de CO_2-uitstoot van de gebouwde omgeving tot 2050. Het model is en wordt momenteel toegepast om alle Nederlandse gemeenten een eerste inschatting te geven van de kosten van verschillende aardgasvrije strategieën (de zogenaamde Startanalyse).

Dit hoofdstuk start met een overzicht van de belangrijkste nieuwe inzichten en nieuwe ontwikkelingen die hebben geleid tot aanpassing van de definitie en gehanteerde uitgangspunten voor de door te rekenen alternatieven naar aardgasvrij. Vervolgens zijn de geanalyseerde alternatieven naar aardgasvrij beschreven.

2.2 Nieuwe inzichten in de warmtevraag van woningen

Bij het opstellen van de TVW deel 1 en 2 is op basis van de op dat moment beschikbare informatie over energielabels van gebouwen geconcludeerd dat isolatie van een groot aantal gebouwen tot een niveau waarop zij kunnen worden verwarmd met MT of LT-warmte zeer hoge kosten met zich meebrengt. Daarom was het uitgangspunt bij de definitie van oplossingen naar aardgasvrij dat deze gebouwen nog lange tijd warmte op een hoge temperatuur (HT-warmte) nodig voor een comfortabele verwarming.

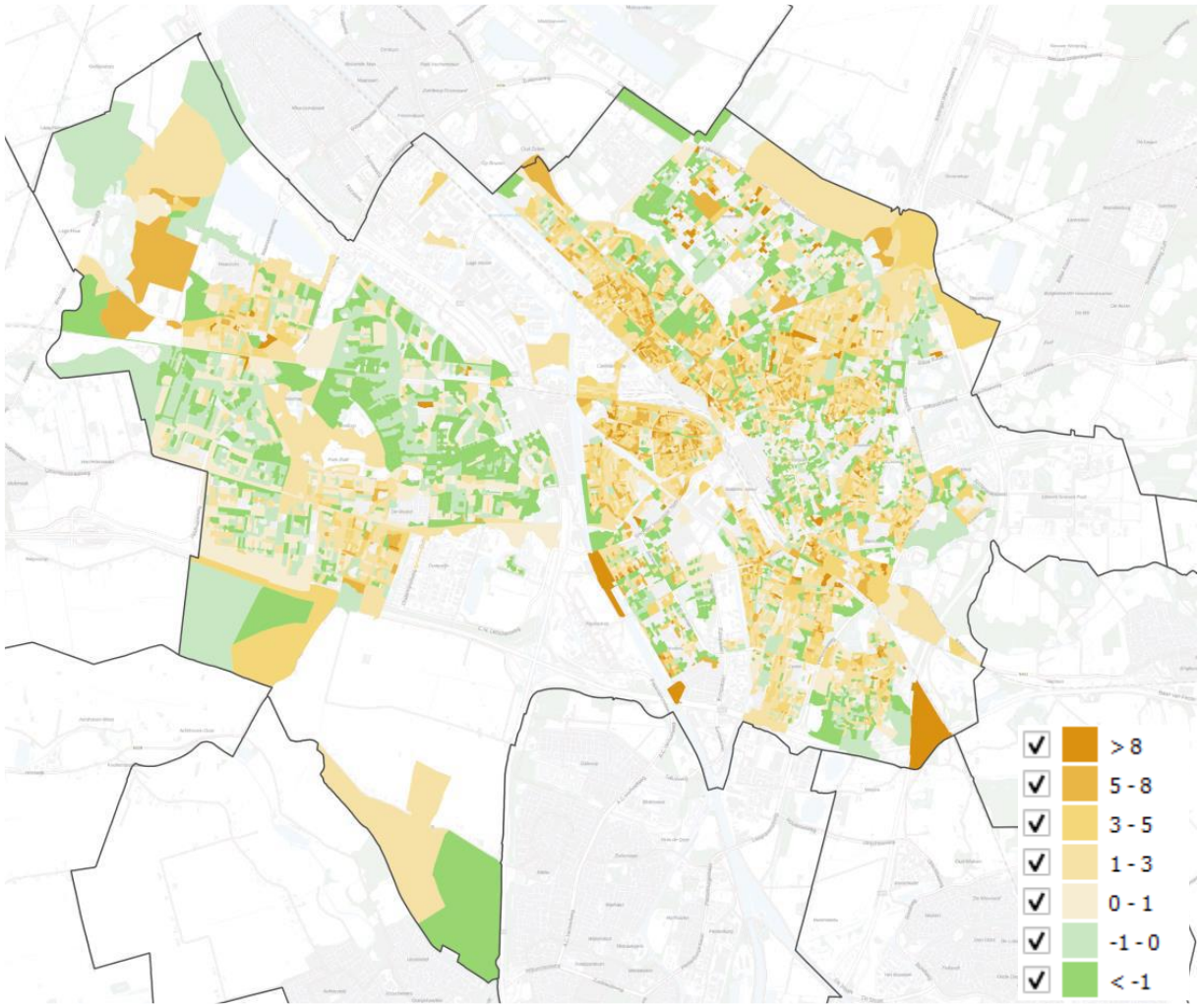
Nieuwe onderzoeken tonen aan dat een groot gedeelte van de woningen reeds verschillende energiebesparende maatregelen heeft getroffen en al (bijna) klaar zijn voor gebruik van MT-warmte (55-75ºC) of LT-warmte (<55ºC) voor een comfortabele binnentemperatuur:

- In Warming Up (2022) zijn metingen aan 220 woningen uitgevoerd waaruit blijkt dat 60% van de woningen nu al met water van 55 graden of lager comfortabel kan worden verwarmd, en 95% van de woningen op 70 graden. De belangrijkste parameter om te bepalen of een woning geschikt is voor LT of MT is de omvang van de onderbenutte radiatorcapaciteit die de bestaande warmtevoorziening in een woning heeft. Uit het onderzoek kwam naar voren dat veel vooral oudere woningen over gedimensioneerd zijn ten aanzien van radiatorcapaciteit, en goed geïsoleerde woningen vaak relatief weinig radiatorcapaciteit hebben.
- Uit onderzoek van Het Energiepaleis (2024a)[1] blijkt dat 32% van de woningen in Utrecht al geschikt is voor MT, en dat met 11% energiebesparing alle woningen geschikt gemaakt kunnen worden voor MT (zie Figuur 2) . Om naar LT-niveau te komen moeten in 96% van de woningen nog maatregelen worden getroffen (zie Figuur 3), die samen zouden leiden tot 31% energiebesparing. In dit onderzoek is het gemiddelde gemeten aardgas- en warmtegebruik op postcode 6 niveau van Utrechtse woningen met aansluiting op het gasnet en het warmtenet vergeleken met een theoretisch te verwachten gas- en warmtegebruik op basis van gebouwkenmerken. Daaruit blijkt dat het gemiddeld gemeten warmtegebruik in een groot aantal postcode gebieden duidelijk lager is dan theoretisch verbruik en dat veel woningeigenaren dus al maatregelen hebben getroffen. Naast gebouwmaatregelen speelt ook het

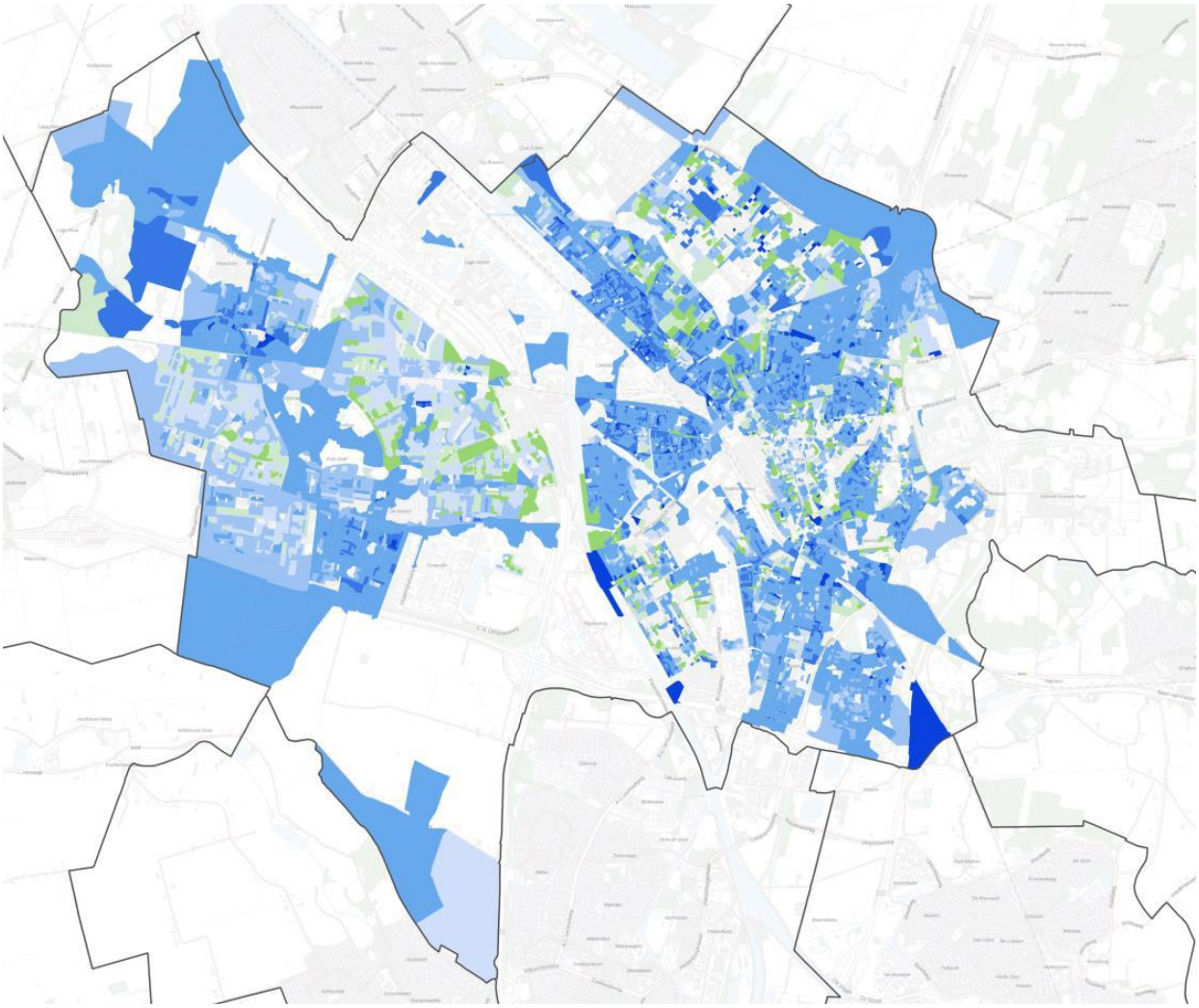
[1] Energiepaleis (20240 Energiedata Utrecht. 13 februari 2024

gedrag van bewoners een rol, dit is lastig exact uit elkaar te halen. We weten dat een deel van de besparing het gevolg is van gebouwmaatregelen, omdat woningen een beter energielabel hebben gekregen. Nieuwe energielabels worden echter niet altijd na een verbouwing aangevraagd.

Op basis van de resultaten van deze onderzoeken kan worden geconcludeerd dat veel gebouwen toekunnen met MT-warmte en geen HT-warmte (>75ºC) meer geleverd hoeft te worden aan slecht/niet geïsoleerde gebouwen zoals nog is verondersteld bij de analyses voor de TVW deel 1 en 2. Dit sluit ook aan bij strategie van Eneco om de temperatuur in het hele bestaande Utrechtse warmtenet naar beneden te brengen van van HT naar MT (max. 70 graden) (Eneco, 2022). Dit is verder in lijn met het gemeentelijk programma energie besparen in de gebouwde omgeving 2022-2030 dat in 2020 is vastgesteld (Gemeente Utrecht, 2022). Daarbij is afgesproken het energiegebruik voor de gebouwde omgeving te verminderen met 35% in 2050 en dat gebouweigenaren op natuurlijke momenten gebouwdelen isoleren naar de landelijke streefwaarden. Bij de geanalyseerde alternatieven naar aardgasvrij is daarom verondersteld dat alle woningen in 2050 minimaal naar een isolatieniveau vergelijkbaar met label C zijn geïsoleerd.



Figuur 2: Besparingspotentieel per postcode 6 gebied in 2021 gegeven als de woningschil vanuit de huidige situatie verbeterd gaat worden naar het MT-niveau uitgedrukt in m^3 aardgas (eq.) besparing per m^2 woningoppervlakte (Energiepaleis, 2024a). De woningen in de groene gebieden hebben al voldoende kwaliteit voor MT-niveau (32% van de woningen) en woningen in de oranje gebieden moeten nog extra maatregelen treffen om toe te kunnen met warmte op MT-niveau.



Figuur 3: Besparingspotentieel per postcode 6 gebied in 2021 gegeven als de woningschil vanuit de huidige situatie verbeterd gaat worden naar het LT-niveau uitgedrukt in m^3 aardgas (eq.) besparing per m^2 woningoppervlakte (Energiepaleis, 2024a). De woningen in de groene gebieden hebben al voldoende kwaliteit voor LT-niveau (4% van de woningen) en woningen in de blauwe gebieden moeten nog extra maatregelen treffen om toe te kunnen met warmte op LT-niveau (96% van de woningen).

2.3 Nieuwe inzichten in het potentieel voor hernieuwbare warmtebronnen

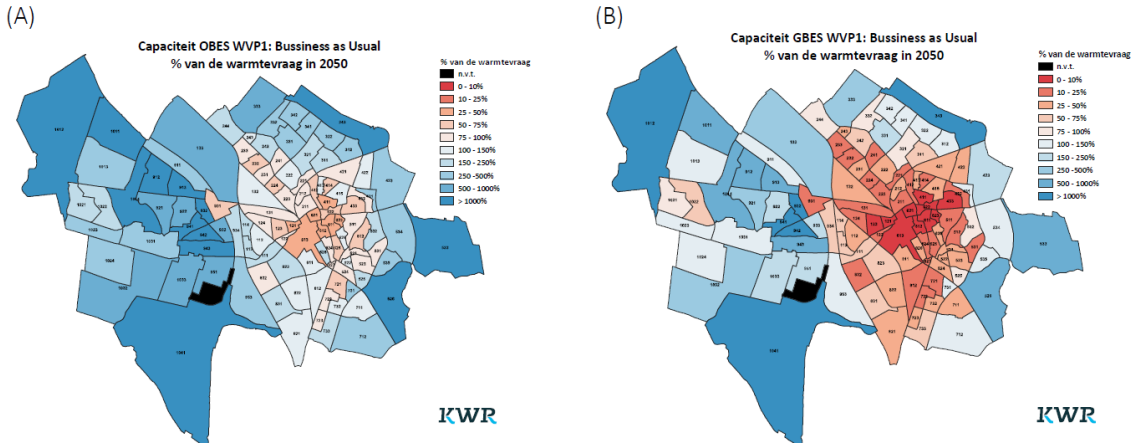
2.3.1 Potentieel MT en LT-bronnen

Ten opzichte van de TVW deel 1 en 2 zijn inzichten ten aanzien van de beschikbaarheid van hernieuwbare energiebronnen veranderd.

- Greenvis heeft de studie uit 2019 geactualiseerd en daarbij is het praktisch potentieel voor geothermie en aquathermie (TEO) gedetailleerd in kaart gebracht (Greenvis, 2021), terwijl in de TVW deel 1 en 2 nog is gerekend met het technisch potentieel van hernieuwbare energiebronnen. Nieuwe inzichten betreffen o.a. het naar beneden bijstellen (met ca een factor 10) van het maximaal praktisch potentieel voor diepe en ultradiepe geothermie en voor Thermische Energie uit Oppervlaktewater (TEO).
- Inzet van lokale LT-bronnen voor warmtelevering op HT/MT niveau in het stadsverwarmingsnet. In de TVW deel 1 was de veronderstelling dat beschikbaarheid van HT-warmtebronnen een beperkende factor was voor uitbreiding van het stadsbrede warmtenet. Ontwikkelingen laten echter zien dat ook lokale LT-bronnen kunnen worden ingezet voor invoeding van MT- of HT-warmte op het stadsbrede warmtenet. Daarvoor worden grote collectieve warmtepompen ingezet om warmte uit de lucht, afval

of oppervlakte warmte op te waarderen tot MT-niveau. Dit betekent dat de beschikbaarheid geen beperkend criterium is, maar dat dit wel bepalend is voor de hoogte van de kosten van de bron.

Potentieel voor WKO: In de TWV deel 1 is verondersteld dat voor grote delen van Utrecht alleen het eerste watervoerende pakket beschikbaar is. KWR heeft in opdracht van de gemeente Utrecht in kaart gebracht wat de potentie is van zowel het eerste als het tweede watervoerende pakket als LT-bron en voor seizoensopslag. Deze studie laat zien dat de potentie van bodemenergie in Utrecht ruim voldoende is voor het dekken van de warmtevraag, namelijk 15,5 PJ in het eerste watervoerend pakket (versus een warmtevraag in Utrecht voor de gebouwde omgeving van ca 9 PJ). In het tweede watervoerend pakket zou in theorie ruim 41 PJ beschikbaar zijn. Echter, de potentie wisselt sterk per buurt, zoals te zien is in Figuur 4. Vooral in dichtbebouwde gebieden is de potentie beperkt in verhouding tot de warmtevraag, en daar zou benutting van het tweede watervoerend pakket op termijn nodig kunnen zijn.



Figuur 4: Capaciteit OBES (A) en GBES (B) in relatie tot de warmtevraag per buurt. Bron: KWR (2024)

In Utrecht worden de watervoerende pakketten onderscheiden in zones waar verschillende regels geleden ten aanzien van gebruik:

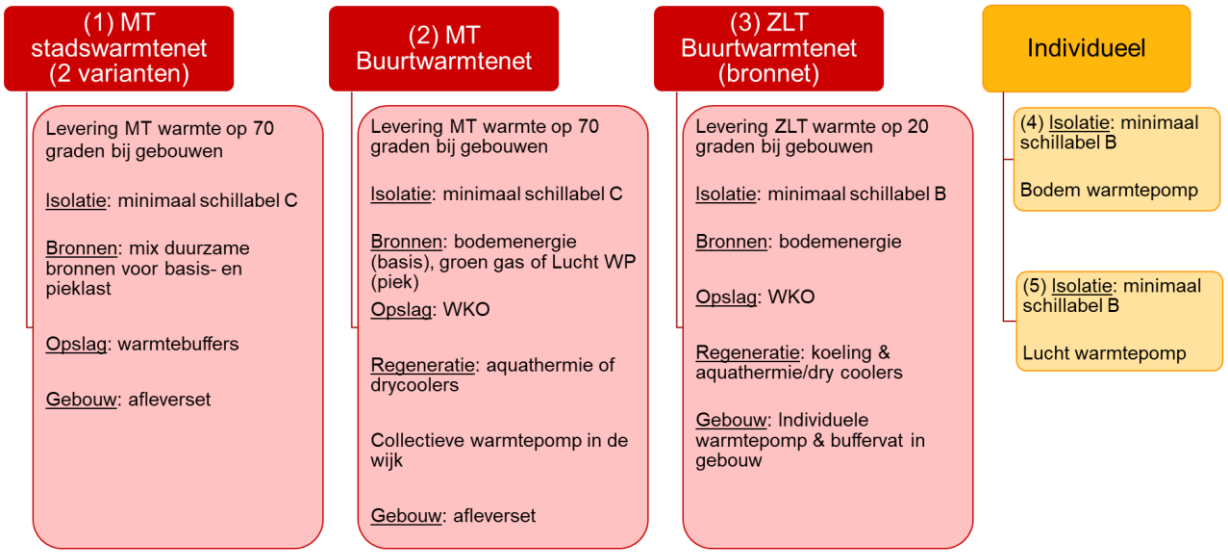
- Dynamische zone. Dit zijn de meest vervuilde zones en daar is op dit moment de regel dat alleen gebruik gemaakt mag worden van het eerste watervoerende pakket.
- Bufferzone. Deze ligt rond de dynamische zone en ook hier mag op dit moment niet geboord worden naar het tweede watervoerende pakket. Vrijwel de gehele oppervlakte van de gemeente valt in de dynamische zone of bufferzone. Alleen Leidsche Rijn, Lunetten, Papendorp en USP vallen erbuiten.
- Schone zone. In deze gebieden is het op dit moment toegestaan zowel het eerste als tweede watervoerende pakket te gebruiken.

2.3.2 Potentieel voor inzet groen gas en groene waterstof

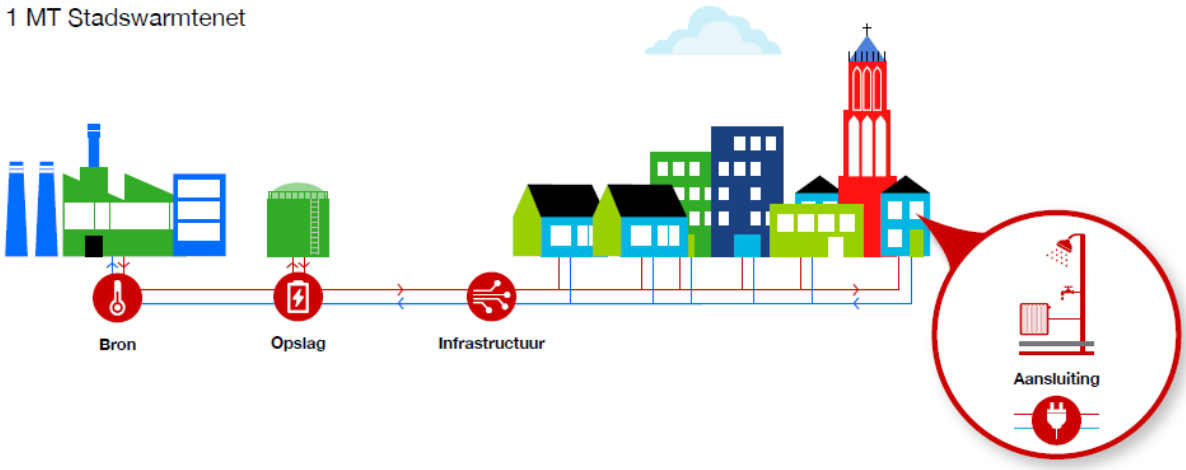
In de vorige TVW werd groen gas nog als (beperkt beschikbare) optie meegenomen. Inmiddels wordt groen gas niet langer gezien als een serieuze optie voor de gebouwde omgeving voor de komende decennia. Oud-minister de Jonge heeft in een brief aan Colleges van B&W aangegeven “Het is belangrijk om te benadrukken dat waterstof én groen gas, zelfs na 2030, slechts in beperkte mate beschikbaar zullen zijn voor het verwarmen van gebouwen. Mocht groen gas of waterstof als transitiestrategie in uw Transitie Visie Warmte (TVW) hebben opgenomen, dan adviseren wij u dit voornemen waar mogelijk te wijzigen in een andere duurzame bron” (Rijksoverheid, 2023). Groen gas wordt daarom niet meer als optie meegenomen in de Vesta MAIS modelberekeningen.

In de TVW deel 1 en 2 was reeds veronderstelt dat groene waterstof voor 2030 geen optie is voor de gebouwde omgeving. De veronderstelling is daarom gehandhaafd dat waterstof geen optie is voor de gebouwde omgeving en om die reden niet doorgerekend.

2.4 Geanalyseerde alternatieven naar aardgasvrij



2.4.1 MT stadswarmtenet[2]



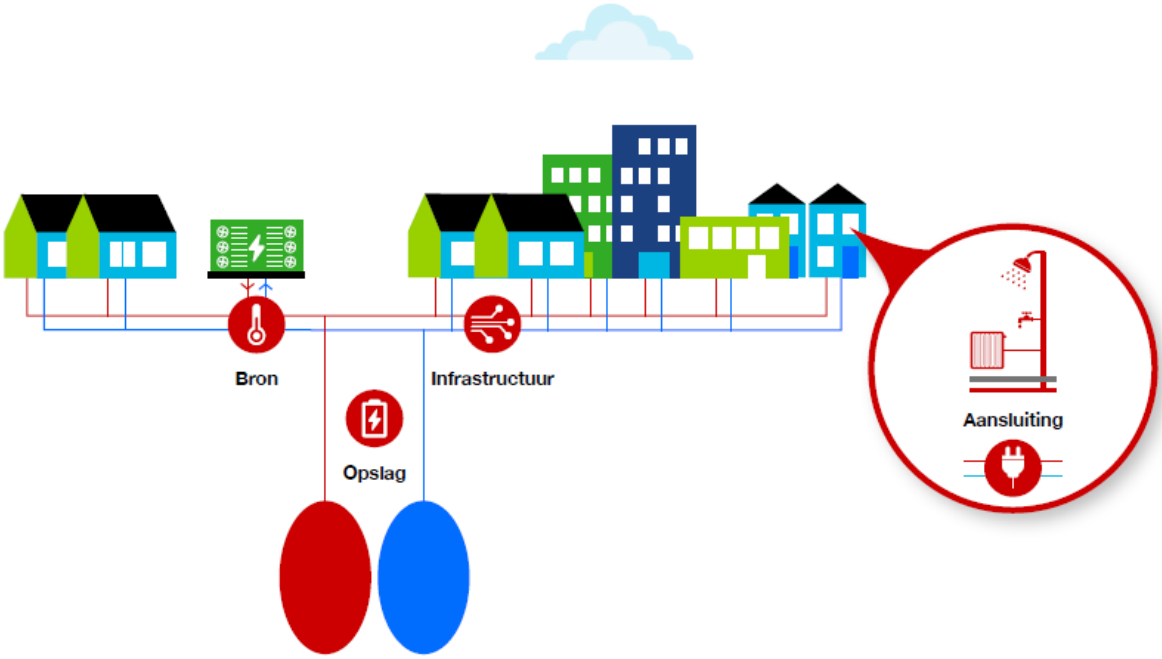
Gebouwen worden verwarmd door Midden-Temperatuur (MT) (55- 75 graden) warmte geleverd via een stadsbreed warmtenet. Voor de modelberekening met het Vesta MAIS model is verondersteld dat:

- Gebouwen die nu al geschikt zijn voor MT niet verder worden geïsoleerd.
- De andere gebouwen isoleren naar minimaal label C.
- Het MT warmtenet wordt gevoed door een mix van duurzame MT-warmtebronnen waarbij een scenario met een lage beschikbaarheid van geothermie is verondersteld (“‘Weinig HT-bronnen beschikbaar”) en daarmee is rekening gehouden in de kosten voor de hernieuwbare bronnenmix (zie paragraaf 2.3).

[2] Bewerkte figuren overgenomen uit Warmtenetten ontrafeld. Een praktische handleiding (TKI 2021)

2.4.2 MT-buurtwarmtenet

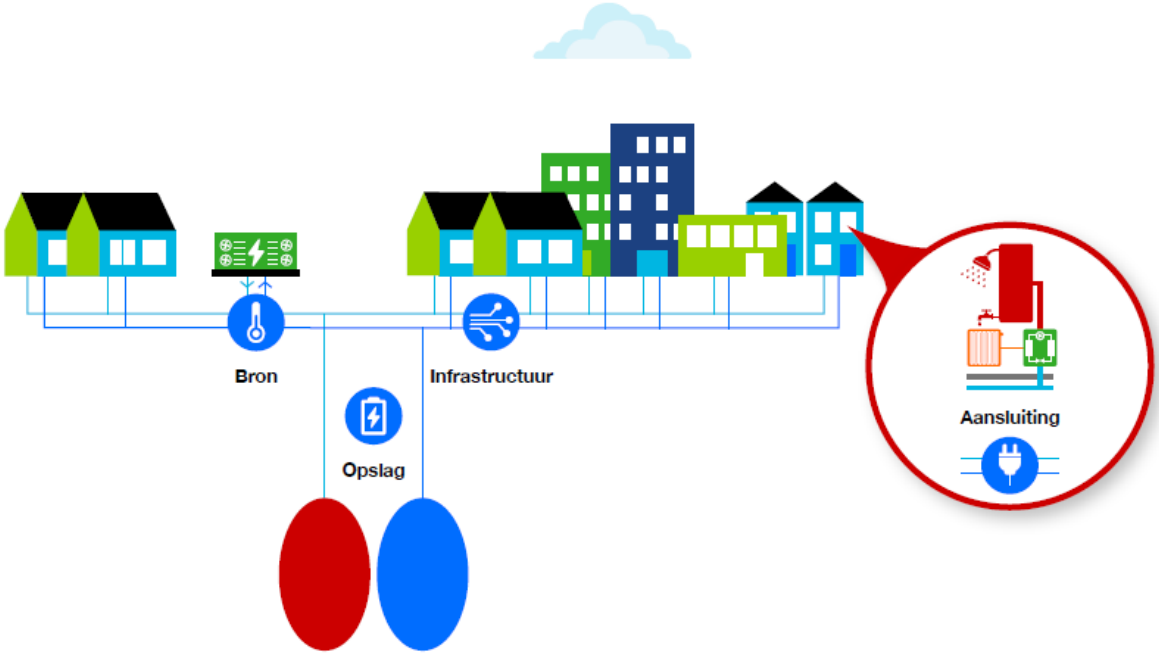
2 MT Buurtwarmtenet



Gebouwen worden verwarmd door Midden-Temperatuur (MT) (55- 75 graden) warmte geleverd via een collectief buurtwarmtenet. Voor de modelberekening met het Vesta MAIS model is verondersteld dat:

- Gebouwen die nu al geschikt zijn voor MT niet verder gaan isoleren.
- De andere gebouwen isoleren naar minimaal label C.
- Een WKO wordt ingezet als LT-bron.
- WKO in heel Utrecht onbeperkt beschikbaar is.
- M.b.v. een collectieve warmtepomp wordt MT-warmte van 70 graden geproduceerd die bij de gebouwen direct kan worden ingezet voor ruimteverwarming en warm tapwater,
- Regeneratie van de WKO door dry coolers of TEO, hiervoor worden 10% extra kosten verondersteld in Vesta MAIS.

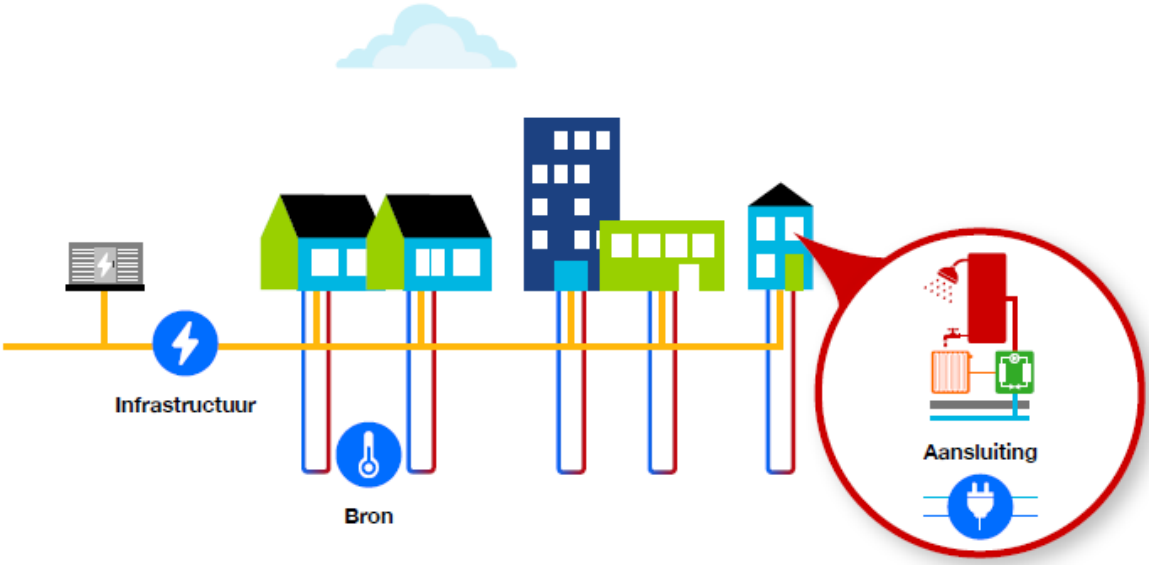
2.4.3 ZLT Buurtwarmtenet



Gebouwen krijgen LT-warmte geleverd via een collectief LT warmtenet (10-30 graden), voor de modelberekening met het Vesta MAIS model is verondersteld dat:

- Gebouwen die nu al geschikt zijn voor LT niet verder gaan isoleren.
- Gebouwen worden geïsoleerd naar minimaal label B.
- Warmte wordt bij de gebouwen geleverd op 20 graden en op woningniveau opgewaardeerd met een warmtepomp tot 35-40 graden voor ruimteverwarming & 60-65 graden voor warm tapwater.
- Regeneratie van de WKO door koude levering, dry coolers of TEO.

2.4.4 Individuele bodem- of luchtwarmtepomp

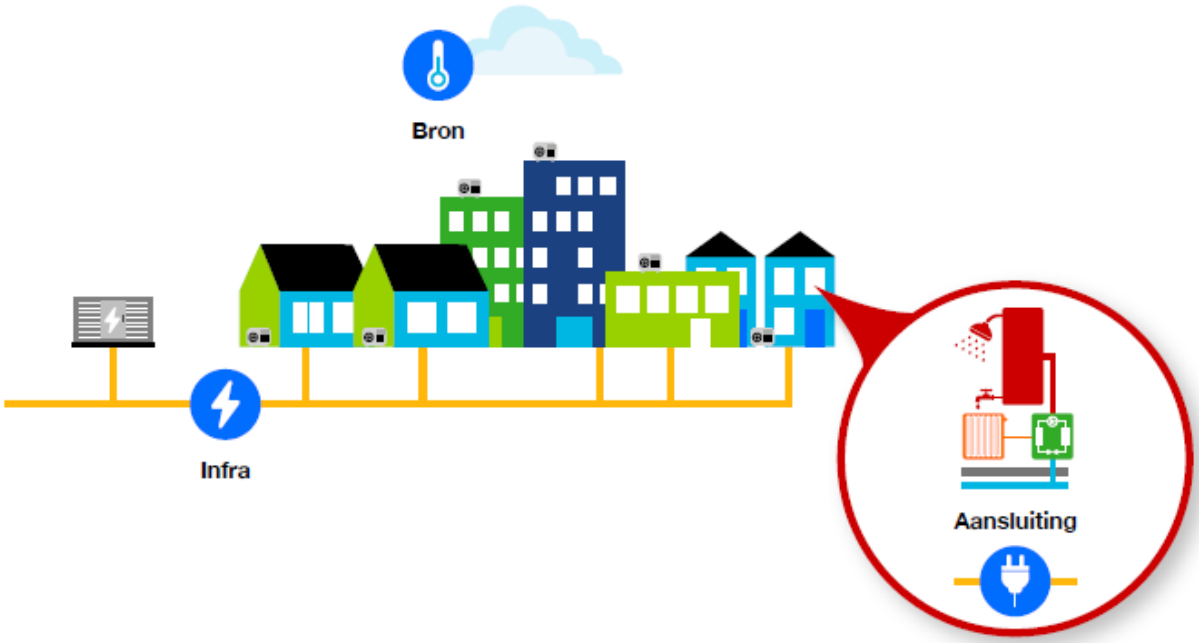


Bodemwarmtepomp

Gebouwen worden verwarmd met een bodemwarmtepomp, voor de modelberekening met het Vesta MAIS model is verondersteld dat:

- De gebouwen worden geïsoleerd naar minimaal label B.

- Regeneratie van de bodembron d.m.v. passieve koeling.
- Bodemenergie overal in Utrecht kan worden toegepast (en waarbij dus nog geen rekening is gehouden met het feit dat percelen te klein kunnen zijn voor het slaan van voldoende bodemlussen om de woning comfortabel te kunnen verwarmen).



Luchtwarmtepomp

Gebouwen worden verwarmd met een luchtwarmtepomp. Daarbij is verondersteld dat gebouwen worden geïsoleerd naar minimaal label B en dat er voldoende ruimte beschikbaar is voor een warmtepomp in de woning en het plaatsen van een buitenunit.

2.5 Specifieke veronderstellingen voor de modelberekeningen met het Vesta MAIS model

2.5.1 Referentie situatie

De referentiesituatie is gedefinieerd als de situatie in 2050 wanneer vanaf het startjaar 2020 geen investeringen worden gedaan in nieuwe warmteproductietechnieken en extra isolatiemaatregelen (dus ook geen autonome verbeteringen), maar wel effecten van klimaatverandering op vermindering van de warmtevraag in 2050 worden meegenomen. Dit betekent dat gebouwen waar nu aardgas wordt verbruikt dit blijven inzetten tot 2050, gebouwen die al zijn aangesloten op warmtenetten aangesloten blijven maar er geen duurzame bronnen worden ingezet.

2.5.2 Doorrekening van strategieën vanuit greenfield situatie

De alternatieven naar aardgasvrij zijn doorgerekend vanuit een greenfield situatie voor de hele stad. Dat wil zeggen dat is verondersteld dat alle gebouwen in Utrecht bij de start nog zijn aangesloten op het aardgasnet en overal in de stad nieuwe investeringen moeten worden gedaan om het alternatief naar aardgasvrij te realiseren. Hierdoor ontstaat een zuivere vergelijking tussen de verschillende alternatieven. In een tweede stap wordt de kosten gecorrigeerd voor het feit dat:

- In buurten waar al een warmtenet ligt de gebouwen die al zijn aangesloten op het warmtenet ook aangesloten blijven.

- Voor gebouwen die dicht bij (of aan) het bestaande warmtenet liggen de kosten lager zijn omdat investeringen in de hoofdinfrastructuur al zijn gemaakt en alleen nog investeringen nodig zijn voor het maken van de huisaansluiting.

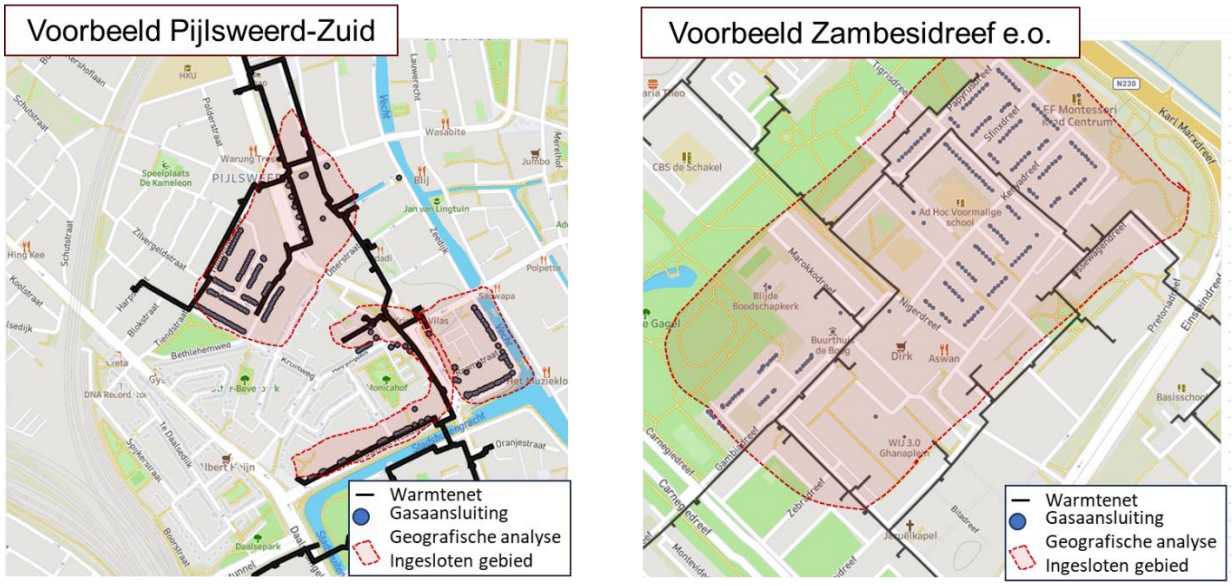
2.5.3 Veronderstellingen t.a.v. bestaande warmtenet

In Utrecht ligt in een groot aantal wijken al een hoge temperatuur warmtenet. In deze wijken liggen de initiële gebiedsinvesteringen lager omdat een deel van de infrastructuur er al ligt, waar woningen die nu nog niet zijn aangesloten ook van kunnen profiteren. In deze gebieden liggen de gemiddelde initiële investeringen per woningequivalent daarom lager dan in gebieden waar een volledig nieuw warmtenet moet worden aangelegd. In de berekeningen is verondersteld dat voor alle gebouwen die al aangesloten zijn, plus alle woningen binnen een straal van 12 meter (die aan de leiding liggen) vanaf het warmtenet geen extra gebiedsinvesteringen nodig zijn. Ten behoeve van de analyses zijn twee scenario's doorgerekend:

- Stadsbreed MT warmtenet waarbij iedereen in Utrecht al is aangesloten op het warmtenet
- Stadsbreed MT warmtenet waarbij niemand in Utrecht al is aangesloten op het warmtenet

Beide scenario's zijn doorgerekend voor zowel de hoge als de lage beschikbaarheid van duurzame warmtebronnen.

Naast panden die al aan de leiding liggen, is ook gekeken naar panden die niet direct aan de leiding liggen, maar waarbij het warmtenet zodanig in de buurt ligt dat het lastig wordt om hier een andere collectieve oplossing te realiseren. Ook andere barrières zoals een snelweg of grote drukke weg, (groter) water, spoorlijn of combinaties hiervan worden meegenomen. Buurtgrenzen worden niet als strikte begrenzing gezien. Als een gebied is ingesloten maar wel meer dan ca 200 woningen heeft, dan zou er ook nog een andere collectieve oplossing gerealiseerd kunnen worden. Deze ingesloten gebieden zijn bepaald met een geografische analyse, waarvan in Figuur 5 een voorbeeld is gegeven. Voor Pijlsweerd-Zuid worden bijvoorbeeld ca 400 panden gezien als ingesloten gebied voor het huidige warmtenet. Dit betekent dat is verondersteld dat hier of aansluiten op het bestaande warmtenet, of een individuele oplossing (warmtepomp) het enige alternatieven zijn. Dit wordt op het niveau van het wijkuitvoeringsprogramma verder bepaald. Voor de overige ca 1200 panden in Pijlsweerd-Zuid worden alle mogelijke warmtealternatieven vergeleken. In het andere voorbeeld voor de Zambesidreef e.o. zijn nog ca 240 panden niet aangesloten op het bestaande warmtenet, en deze panden liggen verspreid door de buurt. Deze panden worden allemaal aangemerkt als ingesloten gebied door het huidige stadsbrede warmtenet en er is verondersteld dat hier geen andere collectieve oplossing kan worden gerealiseerd. Wel kan het voor sommige woningen beter zijn om een individuele oplossing te realiseren, maar dat kan met deze stadsbrede analyses nog niet worden bepaald. Dit wordt op het niveau van het wijkuitvoeringsprogramma verder uitgewerkt. Op dit moment houden we in gebieden met een collectieve oplossing rekening met een percentage van 30% van de woningen die uiteindelijk een individuele oplossing realiseert en niet aansluit op een collectieve oplossing.



Figuur 5 Geografische analyse van ingesloten gebieden voor het huidige warmtenet. Twee voorbeelden voor Pijlsweerd-Zuid (links) en Zambesidreef en omstreken (rechts).

2.5.4 Beschikbaarheid en kosten lokale hernieuwbare warmtebronnen

HT Bronnen: in ontwikkeling of al in gebruik

- Biomassa HT warmte (60 MWth): 1.600 TJ/jaar (Eneco, 2023a). Site visit 1 november 2023).
- TEA: RWZI WP bron (27MWth) : 583 TJ/jaar (Bron: Eneco, 2023b). Site visit 1 november 2023).
- Electroboiler (20-80 MWth): 100-400TJ/jaar (Bron: Eneco). 20MWth is al gerealiseerd. Bij aanvraag van SDE ++ regeling is maximum gesteld aan het aantal productie-uren per jaar waarvoor SDE-vergoeding kan worden aangevraagd. Daarnaast is de verwachting van Eneco dat de eboilers alleen draaien op goedkope uren en dat dit niet meer dan 1500 uur per jaar zal zijn.
- Luchtwarmtepompen (75 MWth) ofwel Thermische Energie uit Lucht (TEL): productie 1.600 TJ. De potentie is gebaseerd op de gesprekken met Eneco en de plannen voor TEL plus een eigen inschatting. Aantal draaiuren is gezet op 6000/jaar.

HT-bronnen: onzeker

- Asfaltcentrale: 110-620 TJ/jaar (Greenvis, 2021).
- Diepe geothermie: 2.400 TJ/jaar (Greenvis, 2021).
- TEO directe onttrekking: 776 TJ/jaar. Onttrekking uit AmsterdamRijnkanaal, opgewaardeerd met centrale warmtepomp en invoeding op bestaande HT/MT warmtenet Eneco in naburige verzorgingsgebieden warmtenet.

MT-bronnen: onzeker

- Restwarmte van Nedal en Douwe Egberts: samen < 100 TJ (Greenvis, 2019)
- Zonthermie; daar waar PV-velden worden gepland, is ook zonthermie te realiseren; 500 TJ/jaar

LT-bronnen: zeker

- WKO in eerste watervoerende pakket: maximaal beschikbaar voor Open Bodem Energie Systemen (OBES) 15.500 TJ per jaar of voor Gesloten Bodem Energie Systemen (GBES) 6.000 TJ. Het potentieel verschilt per buurt en in de binnenstad is de totale verwachtte warmtevraag hoger dan de capaciteit (KWR, 2024).
- Buitenlucht: Momenteel verwacht praktisch potentieel 1.600 TJ (Eneco & eigen inschatting). Ruimte is een beperkende factor, maar door de beperkte hoeveelheid stakeholders die betrokken zijn wel een redelijke realisatiekans, niet gebonden aan heel specifieke locaties.

LT bronnen: onzeker

- Buitenlucht: omdat het potentieel technisch onbeperkt is kan het aandeel buitenlucht als bron nog hoger worden, maar ruimte is een beperkende factor en het elektriciteitsverbruik is hoog, en daarmee is nog onzeker hoeveel er daadwerkelijk gerealiseerd gaat worden.
- WKO in tweede watervoerende pakket: maximaal beschikbaar voor Open Bodem Energie Systemen (OBES) 41.400 TJ per jaar of voor Gesloten Bodem Energie Systemen (GBES) 18.000 TJ. Het potentieel verschilt per buurt (Studie KWR, 2024).
- TEO i.c.m. WKO: 810 TJ/jaar. Praktische potentieel zoals ingeschat door Greenvis (2021). Dit is de potentiële hoeveelheid warmte die onttrokken kan worden, daar komt de elektriciteit die de warmtepomp verbruikt nog bij voor de bepaling van de geleverde energie aan het warmtenet. Dit is afhankelijk van de COP van de warmtepomp. Praktisch potentie en locatie TEO i.c.m. WKO. Bij inschatting van praktische potentie is rekening gehouden met inpassing in- en outlets, beperking bovengrondse ruimte en beperking WKO-opslag in eerste watervoerende pakket.
- LT-warmte uit koeling en datacenters : maximaal potentieel 36 MWth en 0 – 800 TJ per jaar (Greenvis, 2019)
- Aquathermie TED: maximaal 48 MWth en 250 TJ (Greenvis, 2019) – gezien recente uitvraag Waternet is de potentie nu aan de lage kant van de range ingeschat.

Veronderstelde duurzame bronnenmix bij uitbreiding van stadsbreed MT Warmtenet

Deze nieuwe inzichten over beschikbaarheid van bronnen zijn gebruikt om een bronnenmix te definiëren die zijn gebruik voor de berekeningen met het Vesta MAIS model voor het alternatief waarbij wordt ingezet op uitbreiding van het stadsverwarmingsnet. De warmtevraag van Utrecht is in dit scenario 6.9 PJ in 2050 volgens Vesta MAIS (zonder nieuwbouw). Daarbij zijn twee scenario's gedefinieerd: Scenario 1 met weinig aanbod van MT/HT bronnen en veel inzet van grootschalige luchtwarmtepompen en een scenario 2: een bronnenmix met veel HT-bronnen (zie Tabel 1).

Tabel 1: Beschikbaarheid lokale duurzame warmtebronnen: (bijna) gerealiseerde bronnen en veronderstellingen voor twee scenario's

Bron	Capaciteit (In PJ)	Opmerking	Bron	Capaciteit (in PJ)	Opmerking
Scenario's					
Scenario 1: "Weinig HT/MT bronnen beschikbaar"			Scenario 2: "Veel HT/MT bronnen beschikbaar"		
Geothermie	0		Geothermie	1.2	Helft van maximale potentie
Biomassa	0.8		Biomassa	0	
TEA	0.6	RWZI	TEA	0.6	RWZI
TEO	1.6		TEO	1.2	
TEL	1.6		TEL	1.2	
Restwarmte MT	0.2		Restwarmte MT	0.3	
Elektroboiler	0.2		Elektroboiler	0.2	
Zonthermie	0		Zonthermie	0	
Pieklast	Ca 0.9-1		Pieklast	Ca 0.9-1	
Totaal	6.9 PJ		Totaal	6.9 PJ	

Tabel 2: Gehanteerd kosten voor Scenario “Veel HT/MT-bronnen beschikbaar”

	Bron-temperatuur	Investering €/kWth	Variabele kosten €/GJ
Geothermie	70	2634	2.6
Biomassa	70	718	6
TEA	70	1318	10.1
TEO	70	1317	17.2
TEL	70	1437	17.2
Restwarmte	70	747	0
Elektroboiler	70	257	9.1
Zonthermie	70	435	0.1
Gewogen gemiddelde kosten Scenario 1		997	13.5
Gewogen gemiddelde kosten Scenario 2		765	11.1

Voor de kostenkentallen is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van de investeringsbedragen uit de SDE++ van PBL (PBL, 2024), aangevuld met andere bronnen. De kostenkentallen zijn gereviewed door De Warmtetransitiemakers. De piekbronnen worden in Vesta MAIS apart berekend en zijn dus geen onderdeel van de bronnenmix, die bestaat alleen uit basislast (en eventueel middenlast) bronnen. De scenario’s zelf zijn verder uitgewerkt in de apart gepubliceerde bronnenstrategie (Bronnenstrategie voor duurzame warmte, Gemeente Utrecht, 2025). Deze kosten worden alleen gebruikt bij de doorrekening van alternatief 1 (het stadsbrede warmtenet).

Voor de kosten van de andere alternatieven die we hebben geanalyseerd hebben we gebruik gemaakt van de bronkosten voor o.a een WKO installatie of collectieve of individuele warmtepomp zoals gehanteerd binnen het Vesta MAIS model. Ook de kosten voor benodigde netverzwaring tot aan de middenspanningsruimte (MS station) worden meegenomen in het Vesta MAIS model.

2.6 Geactualiseerde inzichten in het Vesta MAIS model

De TVW 1 en 2 zijn doorgerekend met Vesta MAIS versie 4.0. Voor de actualisatie is gerekend met Vesta MAIS versie 5.0 die op meerdere punten is uitgebreid en verbeterd, o.a. zijn

- Kentallen voor energiebesparing en kosten voor isolatiemaatregelen geactualiseerd.
- Kosten voor geothermie verlaagd door aanpassing van de leercurve en hogere COP.
- Netbeheerkosten voor elektriciteit verlaagd.
- De seasonal performance factor (SPF) voor bodemwarmtepompen voor tapwaterproductie is verhoogd naar 2,5 (deze was eerst gelijk aan de SPF voor een luchtwarmtepomp 2,2).
- Kosten voor lucht-water warmtepompen bij utiliteit aangepast en deze leiden over het algemeen tot lagere kosten (vanaf een 3KW aansluiting). Voor bodemwarmtepompen bij utiliteit zijn de kosten hoger geworden.

Naast de aanpassingen door het PBL, hebben we zelf ook aanpassingen gedaan aan het model op basis van feedback op de vorige resultaten bij de Transitievisie Warmte en om het mogelijk te maken met het model een buurtwarmtenet met lokale bronnen door te rekenen. Wij hebben de volgende aanpassingen gedaan:

- De kosten voor regeneratie bij een buurtwarmtenet (BuurtWKO in Vesta) zijn verhoogd van een factor 1,1 naar 1,25 (relatief tov de kosten voor de WKO) gebaseerd op studies van onder andere CE Delft (niet openbaar) en WarmingUP.

- Er zijn andere kosten gehanteerd voor warmtebronnen om een duurzame bronnenmix te reflecteren i.p.v. aardgas. Hiervoor zijn de kosten van alle bestaande warmtebronnen aangepast. Zie hoofdstuk 2.5.4 in het document de verdere uitleg.
- Toevoegen van een scenario waarin een ZLT net (BuurtWKO met lagere temperatuur) kon worden doorgerekend.

3 Resultaten van technisch economische analyses met het Vesta MAIS-model

3.1 Model output: nationale kosten

De belangrijkste output van de berekeningen met het Vesta MAIS model vormen de nationale kosten per alternatief naar aardgasvrij. De nationale kosten omvatten alle uitgaven voor de realisatie van een bepaald alternatief waaronder kosten voor aanleg of versterking van de infrastructuur, isolatie van gebouwen, installaties, jaarlijks onderhoud en uitgaven voor de productie van energie die door gebouwen wordt geconsumeerd. Dit zijn dus de kosten zonder subsidies en belastingen. Deze worden in de berekening van de nationale kosten niet meegenomen omdat het doel is te kijken welke oplossingen leiden tot een CO_2-vrije warmtevoorziening tegen de laagste nationale kosten voor Nederland als geheel.

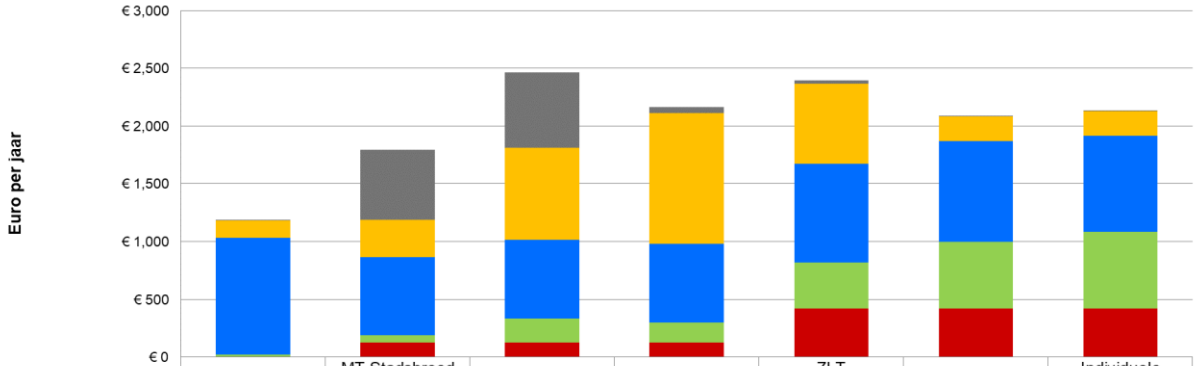
Deze kosten zijn omgerekend naar een gemiddeld jaarlijkse nationale kosten per woningequivalent per buurt voor ieder van de alternatieven naar aardgasvrij. Voor geheel Utrecht en voor elk van de 111 CBS buurten zijn de gemiddelde nationale kosten per woningequivalent (weq[3]) berekend. De gepresenteerde kosten zijn uitgesplitst naar vijf componenten. In Tabel 3 is aangeven welke kostencategorieën zijn meegenomen bij de verschillende alternatieven naar aardgasvrij.

Tabel 3: Definitie van kostencategorieën:

	Alternatief naar aardgasvrij				
Kostenpost	MT stadsbreed warmtenet	MT Buurtwarmtenet	Buurt ZLT buurtwarmtenet	Individueel WP bodem	Individueel WP lucht
Bron	Kosten ontsluiten duurzame bronnen (zieTabel 2)	WKO systeem + regeneratie	WKO systeem + regeneratie	Geen	Geen
Infra	Warmte-infrastructuur (transport + distributienet), onderhoud E-net	Warmte-infrastructuur (distributienet) + centrale WP + verzwaring & onderhoud E-net	Warmte-infrastructuur (distributienet) + verzwaring &onderhoud E-net	Verzwaring & onderhoud Elektriciteitsnet	Verzwaring & onderhoud Elektriciteitsnet
Energiegebruik	Elektriciteitsgebruik achter de meter (apparaten, verlichting)	Elektriciteitsgebruik achter de meter (apparaten, verlichting)	Elektriciteitsgebruik achter de meter (apparaten, verlichting, warmtepomp)	Elektriciteitsgebruik achter de meter (apparaten, verlichting, warmtepomp)	Elektriciteitsgebruik achter de meter (apparaten, verlichting, warmtepomp)
Huisinstallatie	Afleverset	Afleverset	Afleverset + individuele warmtepomp	Individuele warmtepomp + bodemlus	Individuele warmtepomp + buitenunit
Gebouwinvesteringen	Schilisolatiemaatregelen naar label C	Schilisolatiemaatregelen naar label C	Schilisolatiemaatregelen naar label B	Schilisolatiemaatregelen naar label B	Schilisolatiemaatregelen naar label B

[3] Weq = woningequivalent is gelijk aan 1 woning en 130 m^2 utiliteitsgebouwen

3.2 Resultaten: Gemiddelde nationale kosten per woningequivalent



	Referentie	MT Stadsbreed warmtenet (bestaand)	MT Stadsbreed warmtenet	MT Buurtwarmtenet	ZLT Buurtwarmtenet (Bronnet)	Individuele luchtwarmtepomp	Individuele bodemwarmtepomp
Bron	€ 0	€ 607	€ 649	€ 49	€ 29	€ 0	€ 0
Infrastructuur	€ 149	€ 322	€ 798	€ 1,134	€ 694	€ 213	€ 213
Energiegebruik	€ 1,007	€ 678	€ 680	€ 678	€ 852	€ 872	€ 836
Huisinstallatie	€ 24	€ 65	€ 211	€ 176	€ 397	€ 573	€ 659
GebouwVerbetering	€ 0	€ 125	€ 125	€ 125	€ 423	€ 423	€ 423

Figuur 6: Gemiddelde nationale kosten per weq voor de alternatieven naar aardgasvrij voor Utrecht

Figuur 6 toont de gemiddelde nationale kosten per weq voor Utrecht als geheel voor de verschillende alternatieven naar aardsgasvrij. Resultaten laten zien dat:

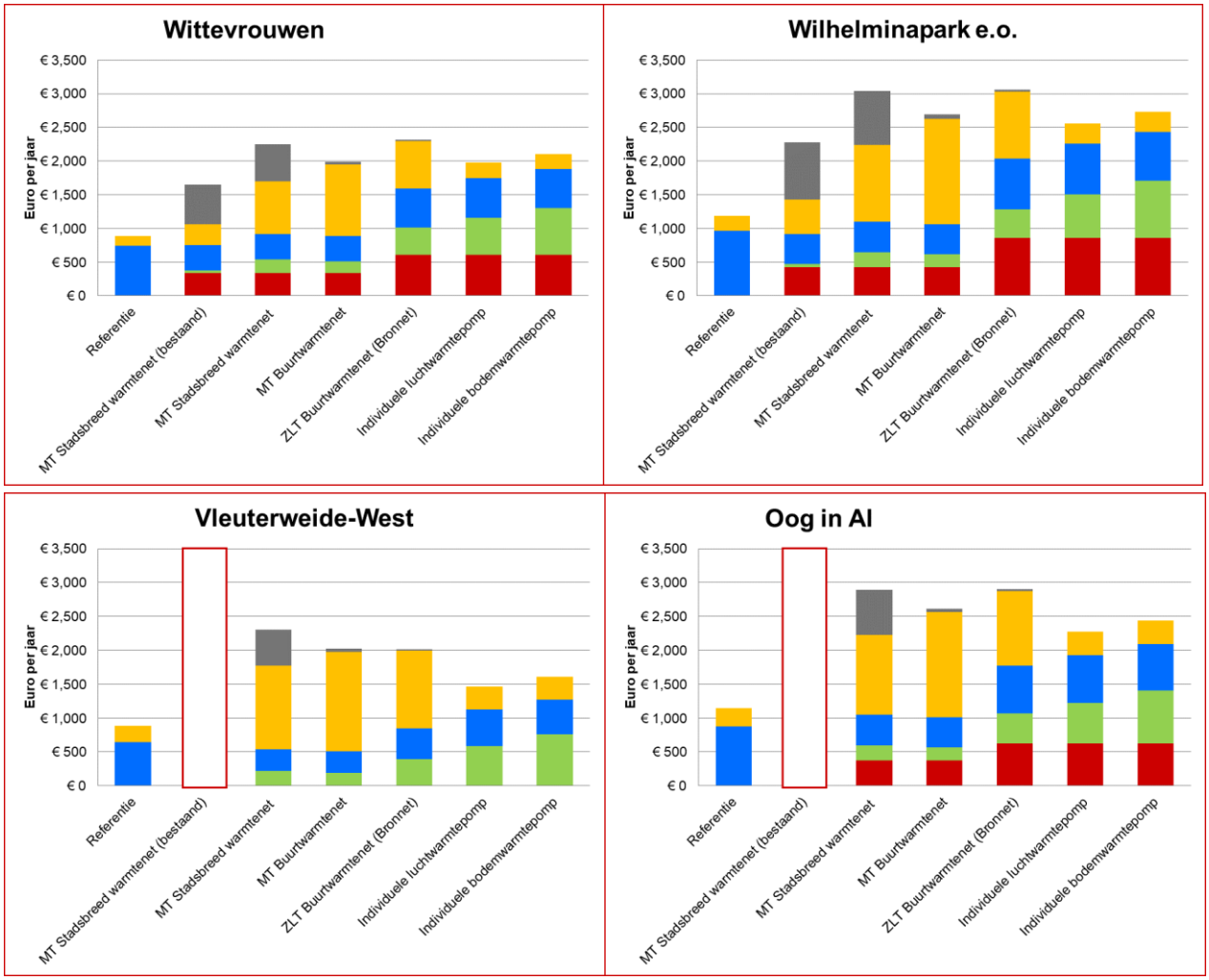
- Alle alternatieven naar aardgasvrij leiden tot (forse) extra kosten ten opzichte van de referentiesituatie waarin huidige warmteoplossingen (waaronder HR-ketels op aardgas) in gebruik blijven en gebouwen niet verder worden geïsoleerd. Hierbij moet worden opgemerkt dat hierbij is gerekend met aardgasprijzen uit de Klimaat en Energieverkenning uit 2019, omdat deze in de huidige versie van Vesta MAIS (5.0) zijn opgenomen (zie paragraaf 3.3.2 voor gevoeligheidsanalyse).
- Het alternatief met gemiddeld de laagste nationale kosten voor Utrecht is aansluiting van gebouwen op het bestaande stadsbrede warmtenet. De kosten gepresenteerd in Figuur 6 zijn de gemiddelde kosten voor alle gebouwen die nu al zijn aangesloten op het warmtenet en de gebouwen die binnen 12 meter van huidige warmtenetten liggen en waarvoor “alleen” nog maar een huisaansluiting hoeft te worden gemaakt. Deze kosten gelden dus niet voor (delen van) wijken waar het warmtenet nog moet worden aangelegd.
- De kosten voor de andere alternatieven naar aardgasvrij voor Utrecht als geheel relatief dicht bij elkaar liggen, waardoor voor veel buurten geen niet één alternatief significant lagere nationale kosten heeft. Daarbij is verondersteld dat een alternatief significant lagere kosten heeft als het verschil in kosten met het tweede alternatief > 20% is. Deze 20% wordt door het PBL ook als grenswaarde gehanteerd in de update van de Startanalyse voor de laagste nationale kosten kaart. Dit is een duidelijk verschil met de TVW deel 1 en 2. Destijds konden we op basis van alleen nationale kosten per weq een keuze maken voor een voorkeursalternatief per buurt omdat de kostenverschillen groter waren. De keuze voor een voorkeursalternatief was het resultaat van een analyse met 9 verschillende scenario’s rondom beschikbaarheid van warmtebronnen en duurzaam gas. Als in ieder scenario een collectieve optie de laagste nationale kosten had, werd het voorkeursalternatief een collectieve warmteoplossing.

Figuur 7 geeft voorbeelden van resultaten van berekeningen van gemiddelde nationale kosten voor vier Utrechtse buurten. Op basis van resultaten per buurt kan worden geconcludeerd dat:

- In buurten waar al een hoog percentage van gebouwen is aangesloten op een bestaand warmtenet en nog niet aangesloten panden binnen 12 meter van een bestaand net liggen (bijvoorbeeld Wilhelminapark e.o) is voor deze panden aansluiting op het bestaande stadsverwarmingsnet het alternatief met significant lagere kosten (kosten van tweede alternatief zijn > 20% hoger). Voor de overige panden in de buurt komt geen voorkeursalternatief naar voren op basis van significant lagere nationale kosten. Hierbij moet worden opgemerkt dat het niet aannemelijk is dat in dergelijke buurten een andere collectief warmteoplossing financieel en ruimtelijk haalbaar is. Omdat al zoveel gebouwen/woningen op

het bestaande net zijn aangesloten, en ook verondersteld aangesloten te blijven, moeten investeringen in nieuwe collectieve infrastructuur voor relatief weinig aansluitingen worden gerealiseerd. Voor deze buurten geven de berekeningen met het Vesta MAIS model dus geen juist beeld wat betreft de gepresenteerde nationale kosten voor andere collectieve opties voor panden buiten 12 meter van het huidige net.

- Voor een aantal buurten komt op basis van nationale kosten een individuele warmtepomp alternatief met significant lagere nationale kosten naar voren (waaronder b.v. Vleuterweide-west).
- Voor een groot aantal buurten (waaronder b.v. Wittevrouwen of Oog in Al) komt geen alternatief naar voren op basis van nationale kosten.



Legenda: isolatiekosten, huisinstallaties, energiekosten, infrakosten, bronkosten

Figuur 7: Voorbeeld van gemiddelde nationale kosten per weq voor de alternatieven naar aardgasvrij voor Utrecht voor een aantal Utrechtse buurten. Een witte kolom betekent dat in deze buurt geen warmtenet aanwezig is en er dus geen sprake kan zijn van uitbreiding van het bestaande warmtenet.

3.3 Voorkeursalternatief o.b.v. laagste nationale kosten

3.3.1 Aanpak

Vervolgens is bekeken of op basis van de berekening van de gemiddelde nationale kosten per weq per buurt een voorkeursalternatief per buurt vastgesteld kan worden. Daarbij zijn de volgende uitgangspunten/veronderstellingen gehanteerd:

- In buurten waar nog minder dan 50 panden gebruik maken van aardgas en waar de rest van de panden zijn aangesloten op een MT warmtenet is verondersteld dat aansluiting op het MT warmtenet de robuuste voorkeursoptie is.
- Gebouwen die al op het huidige collectieve stadsbrede warmtenet zijn aangesloten blijven aangesloten ook als uit de berekeningen met het Vesta MAIS model blijkt dat de nationale kosten voor andere strategieën lager zijn. Voor deze gebouwen kan de conclusie worden getrokken dat als nu opnieuw gekeken zou worden vanuit een "greenfield" situatie de keuze niet opnieuw op een collectieve stadsbreed warmtenet zou vallen als laagste nationale kosten het doorslaggevende criterium zijn. Dit geldt alleen voor buurten in Leidsche Rijn met woningen die goed geïsoleerd zijn.
- Een alternatief naar aardgasvrij heeft significant lagere kosten als de gemiddelde nationale kosten per weq voor het goedkoopste alternatief meer dan 20% lager zijn dan het alternatief dat daarna komt, en wanneer dit alternatief ook significant lagere kosten heeft na het uitvoeren van een gevoeligheidsanalyse.

3.3.2 Gevoeligheidsanalyses buurten

Voor een aantal kentallen en uitgangspunten gehanteerd in het Vesta MAIS model is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om te bepalen of de buurten die een duidelijk voorkeursalternatief krijgen in de analyses op basis van nationale kosten, dat ook zo blijft bij het hanteren van:

Hogere investeringen kosten voor warmtepompen: Verschillende onderzoeken laten hogere investeringskosten zien voor individuele warmtepompen dan op dit moment opgenomen in het Vesta MAIS model. CE Delft heeft advies uitgebracht om o.a. de investeringen kentallen voor warmtepompen in het Vesta MAIS model aan te passen (CE Delft, 2023). Deze aanpassingen zijn nog niet doorgevoerd in de versie van het Vesta MAIS model dat gebruikt is voor onze berekeningen. Daarom is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd waarbij de investeringskosten voor een luchtwarmtepomp uit het CE Delft rapport zijn gebruikt. Vesta MAIS hanteert een investering per aansluiting en een bedrag afhankelijk van het verwarmingsvermogen in kW. In het CE Delft rapport wordt alleen met een vast bedrag per aansluiting gerekend. Voor een woning met een verwarmingsvermogen van 4 kW betekent dit een stijging van ca 60% in kosten (van 6640 euro naar 10.500 euro) en voor een bodemwarmtepomp een verdubbeling in de kosten (van 9850 euro naar ca 20.000 euro). Het was voor ons niet mogelijk de voorgestelde kostenkentallen voor utiliteitsgebouwen in het model zelf aan te passen. Als extra check is daarom de verbeter_min_max schuif gebruikt (van 0.5 naar 1.0) waarmee de kosten kunnen worden verhoogd voor: schilverbetering van gebouwen, aanleg van nieuwe warmtenetten en gebouwinstallaties zoals warmtepompen (zie Functioneel Ontwerp p.67). Voor de gevoeligheidsanalyse zijn de kosten voor de individuele lucht en bodemwarmtepomp gelijktijdig verhoogd en is vervolgens gekeken of de buurten die eerst als alternatief een individuele oplossing hadden, dat ook zo bleef. Als in één van de twee analyses de kosten voor de individuele oplossing niet meer significant lager waren dan voor een eerdere oplossing, dan is voor deze buurt een individuele oplossing niet langer het voorkeursalternatief. Dat is het geval voor 3 buurten.

Tabel 4: Gehanteerde kostenkentallen voor warmtepompen in Vesta MAIS 5.0 en kentallen gehanteerd voor de uitgevoerde gevoeligheidsanalyse.

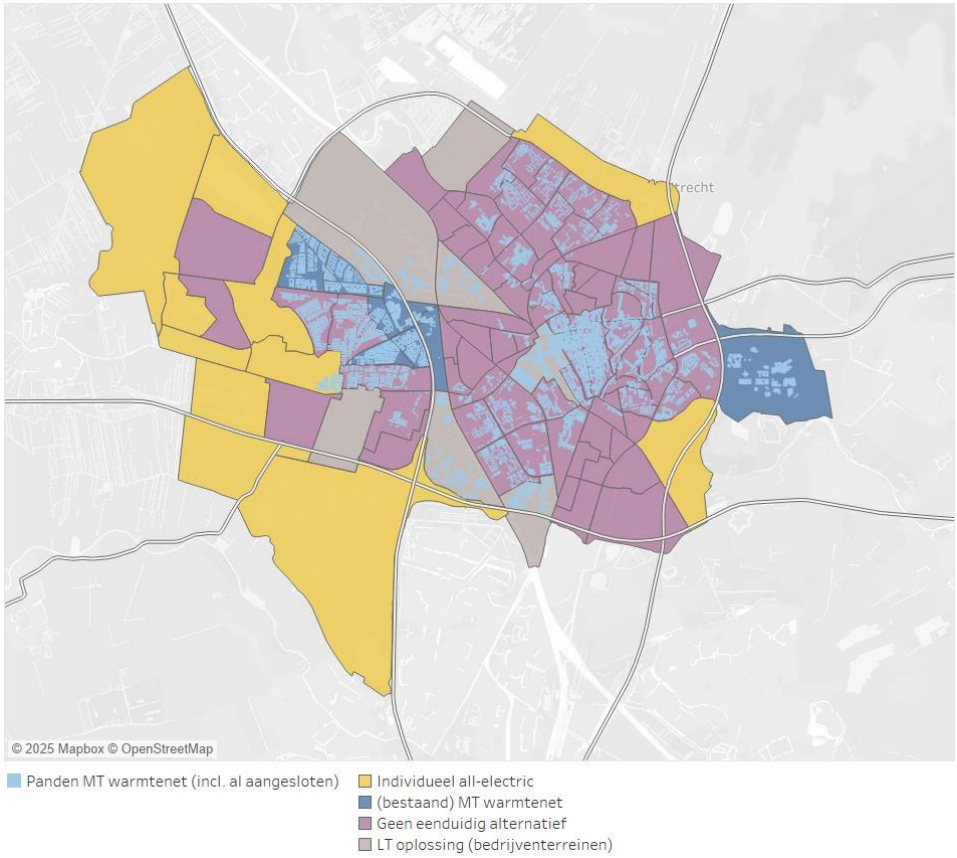
	Vesta MAIS 5.0	Gevoeligheids-analyse -1 (CE Delft)	Gevoeligheidsanalyse 2 (Verbeter min_max_schuif op 1.0)
Minimale kosten per aansluiting lucht-WP woningen	5.359	8.619	-
Maximale kosten per aansluiting lucht-WP woningen	4.637	12.561	4.637
Minimale kosten per kilowatt lucht-WP woningen	320	-	-
Maximale kosten per kilowatt lucht-WP woningen	500	-	500
Minimale kosten per aansluiting bodem-WP woningen	4.628	18.364	-
Maximale kosten per aansluiting bodem-WP	8.460	21.626	8.460

woningen			
Minimale kosten per kilowatt bodem-WP woningen	899		-
Maximale kosten per kilowatt bodem-WP woningen	753		753

Hoogte van de energieprijzen. Energieprijzen in Vesta MAIS 5.0 zijn gebaseerd op de prijzen uit de KEV uit 2019. In tabellenbijlage van de KEV uit 2022, de laatste KEV waarin een voorspelling is gemaakt voor energieprijzen, liggen de energieprijzen hoger. De groothandelsprijzen voor aardgas voor 2030 ligt in de KEV2022 33% hoger dan in de KEV2019. Groothandelsprijzen voor elektriciteit ligt in de KEV 2022 25.8% hoger in 2030 in vergelijking met de KEV2019. Deze verhogingen in energieprijzen zijn toegepast in Vesta MAIS voor alle alternatieven naar aardgasvrij. De hogere energieprijzen hebben geen invloed op de resultaten voor de buurten waar het individuele alternatief significant de laagste kosten heeft, de uitkomst blijft dus gelijk. Wel nemen de kosten voor het referentiescenario met gas aanzienlijk toe, afhankelijk van de buurt met 6 tot 25%, waardoor aansluiten op het stadsbrede MT warmtenet in veel gevallen een goedkopere optie wordt dan op gas aangesloten blijven.

Geen kosten voor isolatie naar label C. Uit analyses door Het Energiepaleis (2024a) is gebleken dat veel woningen al meer isolatie maatregelen hebben genomen dan in Vesta MAIS wordt meegenomen op basis van bouwjaar, gebouwtype en energielabel. Dat betekent dat er waarschijnlijk minder kosten gemaakt moeten worden voor isolatie dan nu aangenomen in Vesta MAIS. In deze gevoeligheidsanalyse zijn daarom de kosten voor isoleren naar label C in alle aardgasvrijstrategieën op nul gezet. Op die manier zijn de aardgasvrijstrategieën opnieuw vergeleken waarbij alle woningen al tot label C geïsoleerd zouden hebben. Deze gevoeligheidsanalyse heeft geen invloed op de resultaten, deze blijven gelijk met de aangepaste isolatiekosten.

3.3.3 Voorkeursalternatieven op basis van laagste nationale kosten



Figuur 8: Voorkeursalternatieven kaart op basis van laagste nationale kosten

Figuur 8 geeft de resultaten weer op de kaart op basis van laagste nationale kosten. De resultaten laten zien dat:

- (geel) In 10 buurten is een individuele warmtepomp (lucht of bodem) het voorkeursalternatief omdat de gemiddelde nationale kosten/weq meer dan 20% lager zijn dan de geanalyseerde collectieve oplossingen.
- (licht blauw) In 69 buurten is voor een gedeelte van de panden in de buurt aansluiting op een bestaand MT warmtenet het voorkeursalternatief. Dit zijn panden die reeds zijn aangesloten op het warmtenet en panden die binnen 12 meter van het bestaande warmtenetten liggen. Voor de rest van de panden in deze buurten komt geen eenduidig voorkeursalternatief naar voren op basis van nationale kosten (paars)
- (donkerblauw) In 9 buurten is aansluiting op een MT warmtenet het voorkeursalternatief, dit betreft buurten waar 98-100% van panden al is aangesloten en minder dan 50 aansluitingen op het aardgasnet nog in gebruik zijn.
- (paars) In 25 buurten komt voor de hele buurt geen eenduidig alternatief naar voren op basis van nationale kosten.
- (grijs) Voor de 9 bedrijventerreinen in de stad komt op basis van het Vesta MAIS model geen eenduidig voorkeursalternatief naar voren. Bij het opstellen van de TVW deel 1 en 2 heeft CE Delft onderzoek uitgevoerd naar opties voor bedrijventerreinen waarbij de conclusie was dat voor de meeste bedrijventerreinen een warmtenet op hoge temperatuur (HT) of midden temperatuur (MT) de laagste nationale kosten met zich meebrengt. Tegelijkertijd geldt ook dat het kostenverschil met andere oplossingen klein is, zoals individuele warmtepompen of een ZLT net (minder dan 20% verschil) (CE, 2021). Dit betekent dat op basis van analyses op basis van nationale kosten geen voorkeursalternatief naar voren komt.

3.4 Vergelijking met de data-analyses uit de TVW deel 1 en 2

Ten opzichte van de data-analyses uit 2020 horend bij de TVW deel 1 & 2 zijn er duidelijke verschillen, de belangrijkste zijn:

- In de TVW1&2 werd voor het HT-warmtenet nog gerekend met bestaande bronnen zoals de STEG van Eneco. Omdat alle bronnen op termijn zullen verduurzamen, is het van belang om zowel voor het bestaande als nieuwe net met een duurzame warmtebron te rekenen. Dit resulteert in hogere bronkosten voor de strategie stadsbreed warmtenet, waardoor het verschil tussen collectieve en individuele opties kleiner is geworden.
- De kosten voor investeringen in het wijkdistributiesysteem liggen in de nieuwe analyses aanzienlijk hoger dan in de doorrekening van de TVW deel 1 & 2. Een deel van deze kosten ontbraken in de resultaten-container van Vesta MAIS die is gebruikt voor de TVW deel 1 en 2. Waardoor het verschil in kosten tussen collectieve en individuele opties kleiner is geworden.
- De baten horende bij de gas- en elektriciteitsnetten zijn uit de berekening verwijderd, zodat alleen de nationale kosten worden meegenomen (in lijn met het functioneel ontwerp van Vesta MAIS 5.0). Dit heeft geen effect op de onderlinge verschillen tussen alternatieven, maar zorgt wel voor een consistenter beeld van de resultaten (zonder negatieve waarden voor gas en elektriciteitsnetten).
- Bij de TVW deel 1 en 2 werd nog verondersteld dat een groot aantal gebouwen nog lang HT warmte nodig zouden hebben omdat isolatie zeer hoge kosten met zich meebracht en daarom niet verder zouden worden geïsoleerd. In de nieuwe berekening is verondersteld is dat alle gebouwen in Utrecht voor 2050 in ieder geval isoleren naar minimaal label C (een niveau geschikt voor levering van warmte op MT niveau). Deze veronderstelling is gebaseerd op het feit dat analyses laten zien dat 32% van de woningen op dit moment al geschikt is voor verwarming op MT niveau en de overige woningen gemiddeld nog “maar” 11% hoeven te besparen om allemaal op MT niveau te komen. Het toevoegen van isolatie tot label C in de nieuwe analyses zorgt ervoor dat het verschil tussen collectieve en individuele opties kleiner is geworden.

In februari 2025 is er ook een actualisatie van de Startanalyse van PBL gepubliceerd. Deze nieuwe modelversie is niet gebruikt in dit rapport, maar de resultaten van de geactualiseerde Startanalyse zijn wel vergeleken met de resultaten zoals gepresenteerd in dit rapport, zie daarvoor Bijlage 2.

3.5 Capita Selecta: Doorrekening alternatief duurzaam gas (waterstof)

Groen gas/waterstof wordt niet meer meegenomen als alternatief naar aardgasvrij voor Utrecht. Dit alternatief is wel doorgerekend op basis van het hoge kosten scenario uit Vesta MAIS (op basis van groene waterstof) om te laten zien waar deze optie als eerste ingezet zou kunnen worden bij voldoende beschikbaarheid van groen gas/waterstof. Groene waterstof is voor geen enkele buurt de optie met de laagste nationale kosten. Er zijn wel een aantal buurten waar de kosten van groene waterstof in de buurt liggen (< 10% verschil) van de nationale kosten van een van de vijf doorgekende alternatieven. Als in deze buurten de kosten voor alle vijf de warmtestrategieën (collectief en individueel) dichtbij elkaar liggen (minder dan 20% verschil), dan is er met grote waarschijnlijkheid wel een warmteoplossing te realiseren zonder inzet van groene waterstof. Er zijn echter ook enkele buurten waar alle collectieve oplossingen significant duurder zijn (45-120%) dan de individuele oplossing (de omgekeerde situatie is er niet). Als in deze buurten de doorgerekende individuele oplossingen (lucht-water en bodem-water warmtepompen) niet mogelijk zijn door ruimtegebruik, de staat van de woning of milieueffecten, en waterstof komt wel beschikbaar voor de gebouwde omgeving, dan zijn dit de eerste buurten waar waterstof ingezet zou kunnen worden. Het gaat om Haarrijn, Haarzuilens en (de bestaande bouw in) Rijnenburg.

BOVEN- EN ONDERGRONDS RUIMTEGEBRUIK VAN WARMTEOPLOSSINGEN

4 Bovengronds ruimtegebruik

4.1 Inleiding

Analyses met het Vesta MAIS model laten zien dat voor veel buurten geen eenduidig voorkeursalternatief naar voren komt op basis van laagste nationale kosten. In deze analyse is echter (veelal) geen rekening gehouden met de “kosten” voor ruimtegebruik. In dit hoofdstuk is het bovengrondse ruimtegebruik per alternatief naar aardgasvrij in kaart gebracht. Met deze resultaten kunnen we vervolgens analyseren of in een buurt/wijk naar verwachting voldoende ruimte beschikbaar is om een alternatief te realiseren of dat hoge kosten gemaakt moeten worden om deze ruimte te creëren.

4.2 Aanpak

Voor deze analyse is voor alle alternatieven naar aardgasvrij doorgerekend met het Vesta MAIS model het bovengrondse ruimtegebruik berekend (1) in/bij de woning (warmtepomp/afleverset), (2) in de wijk (transformatorhuisjes, warmteonderstations, collectieve lokale systemen zoals een grote warmtepomp of aquathermie-installatie), en (3) aan de rand van de stad (hoogspanningsstations, warmtebronnen zoals geothermie).

De resultaten worden weergegeven in m^2 (m^3) per weq (woningequivalent) en betreffen gemiddeldes voor de hele stad. Daarbij is de prognose dat, inclusief nieuwbouw en utiliteit, Utrecht in 2050 een omvang heeft van ca 270.000 weq. Dit is gebaseerd op de aantallen bestaande woningen en utiliteiten zoals nu in Vesta zijn opgenomen (samen ca 220.000 weq) en de prognose voor de nieuwbouw uit het Meerjarenprogramma Ruimte en de Woonvisie die optellen tot ca 50.000 weq tot 2040 (woningen en utiliteit). In de verdere berekeningen zijn de kentallen per weq voor vermogens gebaseerd op huishoudens. Er is dus niet apart ook met kentallen voor utiliteit gerekend.

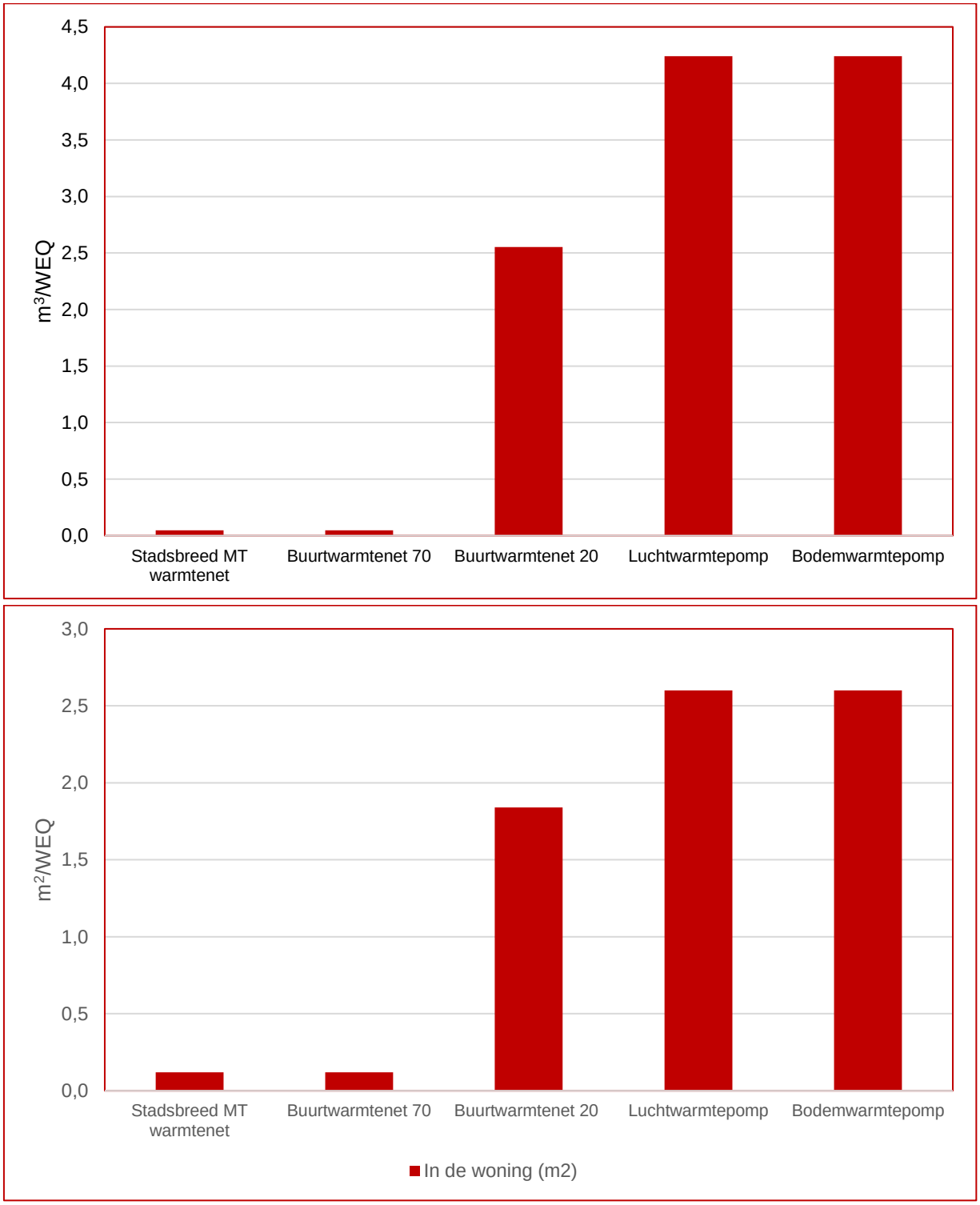
4.3 Ruimtegebruik in de woning

Het ruimtegebruik in de woning verschilt per alternatief omdat andere installaties nodig zijn (zie Tabel 5). Voor de warmtepompen is alleen het ruimtegebruik in de woning meegenomen, niet de ruimte nodig voor de buitenunit (luchtwarmtepomp) of boring (bodemwarmtepomp). Dit leidt tot een gemiddeld ruimtegebruik per weq zoals opgenomen in Figuur 9, waarin duidelijk wordt dat lage temperatuur oplossingen meer ruimte vragen in de woning dan collectieve MT-oplossingen.

Verder is er een apart onderzoek uitgevoerd naar het ruimtebeslag en de mogelijkheid voor inpassing van warmteoplossingen in verschillende type woningen (Het Energiepaleis, 2024b). Op basis van deze analyses zijn woningtypes die een inpasbaarheidsscore ‘moeilijk’ kregen voor inpassing van een warmtepomp per buurt geïdentificeerd. Het gaat om de woningtypes rijwoning klein (0-100 m^2), meergezins laag klein en middel (0-149 m^2), en meergezins hoog klein en middel (0-100 m^2) zonder blokverwarming. Voor elke buurt is vervolgens bepaald hoeveel woningen van dit type aanwezig zijn als percentage van de totale hoeveelheid woningen in de buurt die nog een aardgasaansluiting hebben. Zo is per buurt het percentage woningen bepaald waarbij een warmtepomp moeilijk inpasbaar is.

Tabel 5 Installatie en ruimtegebruik in de woning per aardgasvrij strategie

	Type installatie	Ruimtebeslag in de woning in m^3	Ruimtebeslag in de woning in m^2	Bron
Stadsbreed MT warmtenet	Afleverset	0.6x0.2x0.4m= 0.048 m^3	0.12 m^2	CE Delft, Factsheet HT-warmtenet, 2021
Buurtwarmtenet 70 graden	Afleverset	0.6x0.2x0.4m= 0.048 m^3	0.12 m^2	CE Delft, Factsheet HT-warmtenet, 2021
Buurtwarmtenet 20 graden	Afleverset + water-water warmtepomp + boiler	Afleverset (0.6x0.2x0.4m), warmtepomp (1,3x0,6x0.7m), boiler (1x1x2m) = 2.55 m^3	1.84 m^2	CE Delft, Factsheet LT warmtenet, 2021
Individueel WP lucht & bodem	Warmtepomp + boiler + opslagvat (buitenunit niet meegenomen)	Binnenunit warmtepomp (1x0.6x0.4m), boiler (1x1x2m), opslagvat (1x1x2m) = 4.24 m^3	2.6 m^2	CE Delft, factsheet luchtwarmtepomp, 2021



Figuur 9 Ruimtegebruik per aardgasvrij strategie in de woning in m^3/WEQ (boven) en m^2/WEQ (onder).

4.4 Ruimtegebruik in de wijk

In de wijk zijn per oplossingsrichting verschillende installaties nodig. Om deze opties vergelijkbaar te maken is het ruimtebeslag voor de verschillende installaties omgerekend naar m^2/MW. Voor het bepalen van het ruimtebeslag is uitgegaan van de benodigde warmtepiekvraag en waar relevant is dit omgezet naar elektriciteit, want hierop moet het systeem worden ontworpen. Het gaat dus niet om de gemiddelde

warmtevraag, maar de warmtevraag op een koude winterdag, want daar worden installaties en de infrastructuur op ontworpen om voldoende capaciteit te hebben om ieder pand comfortabel te verwarmen. In Tabel 6 zijn de verschillende installaties en hun ruimtegebruik weergegeven voor de verschillende aardgasvrij alternatieven. Daarbij moet worden opgemerkt dat niet al het genoemde ruimtegebruik per definitie in de openbare ruimte gevonden hoeft te worden. Warmte onderstations bijvoorbeeld worden meestal inpandig geplaatst, dry coolers zouden ook op een dak geplaatst kunnen worden.

Tabel 6 Installatie en ruimtegebruik in de wijk per aardgasvrij strategie

Type installatie	Ruimtebeslag per stuk	Aantal MW per stuk	m^2/MW	Nodig bij strategie	Bron/Opmerkingen
Warmte onderstations	20m^2	1.06	18	MT Stadsbreed warmtenet MT Buurtwarmtenet (70˚C) ZLT Buurtwarmtenet (20 ˚C)	Aansluitvoorwaarden Eneco 2022 voor warmte Vaak worden deze stations inpandig geplaatst
WKO (put bovengronds)	1m^2	0.46[a]	2.2	MT Buurtwarmtenet (70˚C) ZLT Buurtwarmtenet (20 ˚C)	Inschatting op basis van beeldmateriaal WKO putten
Collectieve luchtwarmtepomp met drycoolers	8300m^2 (1500m^2 voor alleen WP)	30	277	MT Buurtwarmtenet (70˚C) ZLT Buurtwarmtenet (20 ˚C)	Studie Nieuwegein plaatsing TEL (2024)
Aquathermie-installatie (inclusief warmtepomp)	360m^2	6	60	MT Buurtwarmtenet (70˚C) ZLT Buurtwarmtenet (20 ˚C)	Rapportage verdieping bronnenpotentie gemeente Utrecht, Greenvis 2021
Transformatorhuisjes	20m^2	1	15	Individueel WP lucht/bodem ZLT Buurtwarmtenet (20 ˚C)	Informatie Stedin

Om te kunnen bepalen hoeveel MW van elke installatie nodig is, moet de warmtevraag worden omgerekend naar de gemiddelde warmtevraag en elektriciteitsvraag op buurtniveau. De gemiddelde warmtepiekvraag op buurtniveau is niet gelijk aan de optelsom van de warmte(piek)vraag van alle panden, omdat niet in ieder pand iedereen tegelijkertijd doucht en de thermostaat precies tegelijk aanspringt. De piekwarmtevraag per pand vlakt dus uit op wijkniveau, en hiervoor is ook een gelijktijdigheidsfactor bepaald (zieTabel 7), die factor is geldig vanaf ca 1000 WEQ. De piekwarmtevraag wordt vermenigvuldigd met deze gelijktijdigheidsfactor om het vermogen op wijkniveau te bepalen. Op basis van de getallen uit Tabel 7 komt de gemiddelde piekvraag van een woning 9.2 kWth, waarvan 6.4 kWth voor ruimteverwarming en 2.9 kWth voor tapwater. Dit ligt in de range van 7-13 kWth die Vesta MAIS hanteert, en ook in de range van 5-15 kWth die wordt gehanteerd in rapport van CE Delft voor Tennet. Na het toepassen van de gelijktijdigheidsfactoren resulteert dit in vermogen van 3.5 kWth per WEQ.

Tabel 7 Uitgangspunten voor de warmtepiekvraag berekening

Parameter	Waarde	Bron
Vaste vermogensvraag ruimteverwarming hoogbouw woningen	2.2 kW	[1]
Variabele vermogensvraag ruimteverwarming hoogbouw woningen	0.035 kW/m^2	[1]
Vaste vermogensvraag tapwater hoogbouw woningen	2 kW	[1]
Vaste vermogensvraag ruimteverwarming laagbouw woningen	4.1 kW	[1]

Parameter	Waarde	Bron
Variabele vermogensvraag ruimteverwarming laagbouw woningen	0.035 kW/m^2	[1]
Vaste vermogensvraag tapwater laagbouw woningen	4 kW	[1]
Gelijktijdigheidsfactor ruimteverwarming	0.5	[1]
Gelijktijdigheidsfactor tapwater	0.1	
Gemiddelde oppervlakte laagbouw woning	120 m^2	
Gemiddelde oppervlakte hoogbouw woning	80 m^2	
% laagbouw in Utrecht	41.6%	[2]
% hoogbouw in Utrecht	58.4%	[3]

[1] Functioneel Ontwerp Vesta MAIS 5.0, p.142

[2] Eensgezinswoningen totaal (CBS, 2024)

[3] Meergezinswoningen totaal (CBS, 2024)

Vervolgens wordt ook het elektriciteitsverbruik voor de verschillende aardgasvrij strategieën bepaald op buurtniveau, zodat kan worden berekend hoeveel MW aan transformatorhuisjes, collectieve warmtepompen, aquathermie installaties en WKO putten nodig zijn. Hiervoor wordt de piekwarmtevraag op buurtniveau gedeeld door de efficiency van de warmteopwekking (zie Tabel 8). De warmtevraag inclusief gelijktijdigheidsfactor (3.5 kWth/WEQ) wordt dus vermenigvuldigd met het aantal WEQ, en voor het elektriciteitsverbruik gedeeld door de COP van het warmteleveringssysteem.

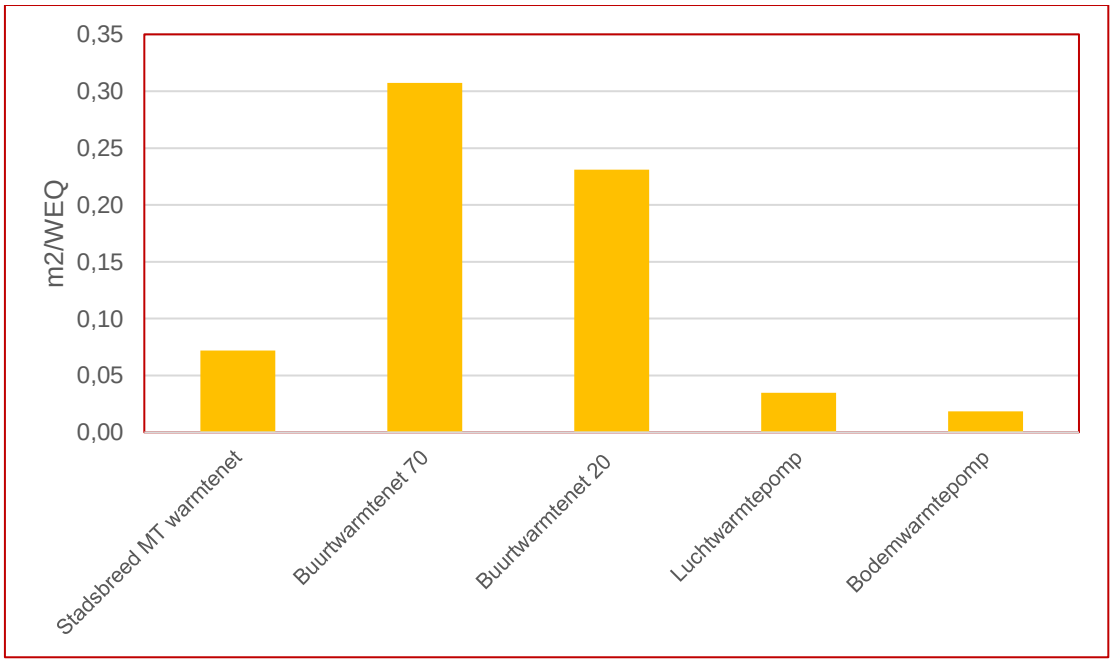
Voor het warmtenet wordt rekening gehouden met het warmteverlies in het warmtenet en benodigde pompenergie. Daarbij is het verlies in het buurtwarmtenet op 70˚C gelijk gehouden aan dat voor het stadsbrede MT warmtenet, omdat de grootste verliezen in de distributieleidingen zitten en er geen grote verschillen in warmteverlies zijn tussen grote centrale en kleinere warmtenetten, maar vooral de aanvoertemperatuur bepalend is voor het warmteverlies (Duurzaamheidsrapportage warmtenetten, 2021).

Tabel 8 Uitgangspunten voor de berekeningen

Parameter	Waarde	Bron
COP aquathermie/ warmtepomp met WKO – Buurtwarmtenet 70	3	CE_Delft_210348_Update_kentallen_installaties_Vesta_MAIS_Def.pdf p.62 collectieve warmtepomp van 15-70˚C
COP aquathermie/ warmtepomp met WKO – Buurtwarmtenet 20	4	Afgeleid uit Vesta MAIS & CE Delft, en een temperatuur van ca 10 graden op de warmtepompcurve uit Eindrapport-NPE-Effecten-van-piekverwarming-elektrisch-of-duurzaam-gas.pdf (rvo.nl), p.38
COP individuele LWP	2	Studie Greenvis voor Energievisie Provincie Utrecht, 2024 (Greenvis, 2024) & een temperatuur van ca -10 graden op de warmtepompcurve voor luchtwarmtepompen uit Eindrapport-NPE-Effecten-van-piekverwarming-elektrisch-of-duurzaam-gas.pdf (rvo.nl), p.38
COP collectieve LWP	2.2	0.2 opgeteld bij individuele waarde vanwege collectieve voorziening (meer schakelmogelijkheden en efficiëntere collectieve installatie)
COP individuele BWP	3.8	Iets lager dan warmtepomp voor buurtwarmtenet 20, omdat een individueel systeem wat minder efficiënt is en warmte en koude voor een woning niet in balans zijn.

Parameter	Waarde	Bron
Warmteverlies stadsbreed warmtenet & Buurtwarmtenet 70˚C	8%	In 2022 gemiddeld 27% (Eneco, 2023). Maar dit wordt lager bij een lagere aanvoertemperatuur en is relatief lager tijdens de piekvraag aan warmte omdat de warmtevraag dichtheid hoog is. Afgeleid uit rapport Warming UP (2021), p.52.
Pompenergie warmtenet	0.0072 $GJ_{elektriciteit}/GJ_{warmte}$	Functioneel Ontwerp Vesta MAIS 5.0, p.144

Het resultaat van de berekeningen is per WEQ opgenomen in Figuur 10. MT-Buurtwarmtenetten worden gevoed met lokale bronnen en hebben daarom relatief veel ruimte nodig. Ook moeten de bronnen worden opgewaardeerd met elektriciteit en daarvoor is capaciteit nodig op het middenspanningsnet en bij middenspanningsstations (transformatorhuisjes). Voor het buurtwarmtenet op 70˚C kan de elektriciteitsvoorziening wel centraler worden geregeld per wijk door bijvoorbeeld een collectieve warmtepomp en een middenspanningsstation samen te installeren, daarom is hier geen apart ruimtebeslag voor transformatorhuisjes bepaald. Het ruimtebeslag voor de warmte-infrastructuur voor een ZLT buurtwarmtenet op 20˚C is 30% lager dan het ruimtebeslag van een MT buurtwarmtenet. Bij het buurwarmtenet op 20˚C wordt een deel van de warmtevraag (1/3 bij een COP van 3) geleverd uit elektriciteit (waarvoor het aantal transformatorhuisjes wordt bepaald), en de rest uit de WKO en de regeneratie (2/3e dus, uit aquathermie of dry coolers). Wat verder meespeelt is dat er in het buurtwarmtenet op 70˚C warmteverlies optreedt, terwijl dit vrijwel niet het geval is bij een buurtwarmtenet op 20˚C. Kortgezegd verplaatst een deel van de opwek zich bij het buurtwarmtenet op 20˚C van de wijk naar de woning, waar een warmtepomp komt te staan (zie Figuur 9). De ruimte in de wijk voor extra transformatorhuisjes bij luchtwarmtepompen is beperkt, en het ruimtebeslag in de wijk is minder dan bij een stadswarmtenet. Dat komt omdat een deel van de warmteproductie hier in de woning zelf wordt gedaan, terwijl bij het stadswarmtenet de totale warmtevraag wordt geleverd en er dus meer energie getransporteerd en verdeeld moet worden. De kanttekening bij de transformatorhuisjes is dat deze ook om andere redenen (zonnepanelen, elektrisch rijden, elektrisch koken) geplaatst moeten worden. Nu is alleen naar de impact van de warmtetransitie gekeken, wat voor een zuivere vergelijking tussen warmtestrategieën wel het juiste beeld geeft.



Figuur 10 Ruimtegebruik per aardgasvrij strategie in de wijk in m^2/WEQ.

Voor de hele stad Utrecht (in 2050, 270.000 WEQ), is ook een indicatieve berekening gemaakt van hoeveel installaties van een bepaald type nodig zijn (zie

Tabel 9) onder de veronderstelling dat de hele stad deze warmteoplossing implementeert.

- Bij inzet op MT stadsbreed warmtenet zijn in totaal 960 warmteonderstations nodig. Ter vergelijking, er zijn momenteel 560 warmte onderstations voor ca 100.000 WEQ (waarbij utiliteit is omgerekend naar WEQ, daarom meer dan het aantal aansluitingen wat Eneco aangeeft). Dit betekent dat er 400 extra onderstations nodig zijn, om de hele stad aan te sluiten. Het aantal WEQs stijgt met meer dan een factor twee (van 100.000 naar 270.000 WEQ), maar omdat de warmtevraag richting 2050 afneemt is dat wel vrij realistisch.
- Als volledig op luchtwarmtepompen zou worden ingezet zijn 470 extra transformatorhuisjes nodig alleen voor de warmtepompen. Er zijn er momenteel ca. 1.150 in Utrecht en de verwachting is dat er ca. 1.000 extra nodig zijn (Gemeente Utrecht, 2024). De hier berekende 470 transformatorhuisjes zijn dan alleen nodig om plaatsing van de warmtepompen mogelijk te maken, zonder verder rekening te houden met andere elektrificatie (van auto's en koken). Hierbij is de veronderstelling dat alle huidige transformatorhuisjes al vol zitten. Zoals eerder benoemd, is de netverzwaring sowieso noodzakelijk vanwege de plaatsing van zonnepanelen, elektrisch rijden en koken.

Tabel 9 Indicatie van aantal benodigde installaties per warmteoplossing als de hele stad (in 2050) deze warmtestrategie zou volgen.

	Warmte onderstations	Transformator-huisjes	WKO-putten	Aquathermieinstallaties (6MW/stuk)
Stadsbreed MT warmtenet	960	7 (pompenergie)		
Buurtwarmtenet 70˚C	960	7 (pompenergie)	2200	170
Buurtwarmtenet 20 ˚C	660	235	2030	120
Individueel WP lucht		470		
Individueel WP bodem		245		

4.5 Ruimtegebruik in en aan de rand van de stad

De verschillende warmtestrategieën hebben ook ruimtelijke impact buiten de wijk, op andere plekken in de stad of aan de randen van de stad. Bij een stadsbreed MT warmtenet hoeven de bronnen niet in de wijk te staan, maar kunnen ook aan de rand van de stad worden geplaatst. Bijvoorbeeld geothermieputten, grootschalige aquathermie, luchtwarmtepompen (industriële schaal), warmtebuffers en een piekketel op duurzaam gas. Ook het verzwaren van de elektriciteit infrastructuur werkt door op een hoger niveau op de hoogspanningsstations. Tabel 10 geeft een overzicht van alle installaties met een inschatting van hun ruimtegebruik.

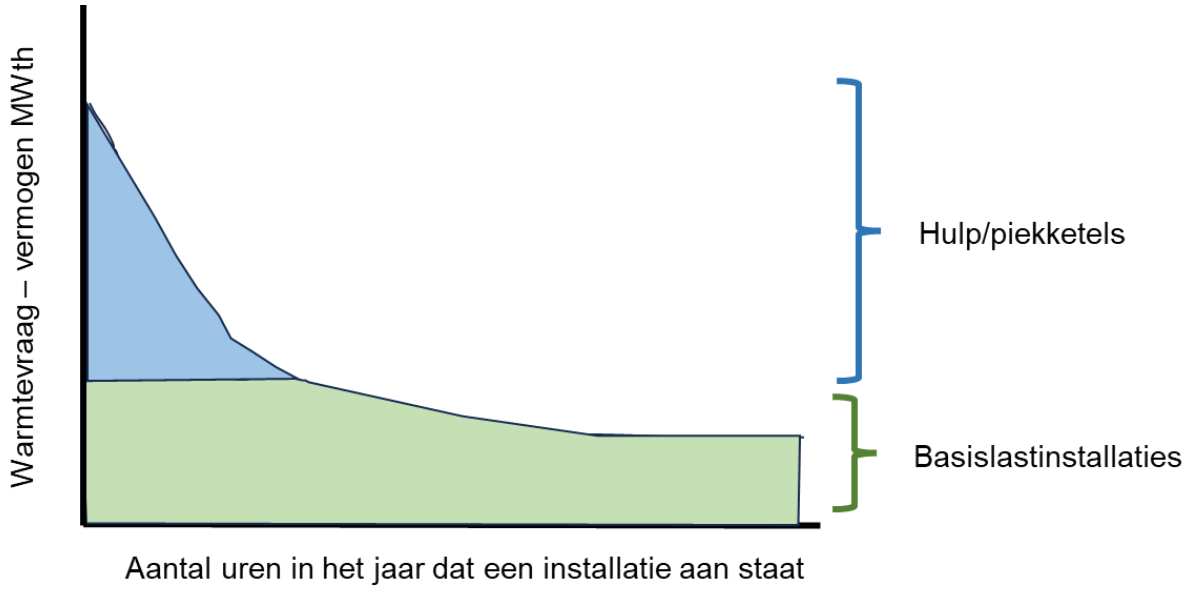
Tabel 10 Installatie en ruimtegebruik in de stad en aan de rand van de stad per aardgasvrij strategie

	Type installatie	Ruimtebeslag per stuk in m^2	Aantal MW	m^2/MW	Bron
Stadsbreed MT warmtenet	Geothermie	10.000	10	1.000	Rapportage verdieping bronnenpotentie gemeente Utrecht, Greenvis 2021
	Aquathermie	1.800	30	60	Rapportage verdieping bronnenpotentie gemeente Utrecht, Greenvis 2021

	Type installatie	Ruimtebeslag per stuk in m^2	Aantal MW	m^2/MW	Bron
	Collectieve luchtwarmtepomp met drycoolers (TEL)	8.300	30	277	Studie Nieuwegein plaatsing TEL (2024)
	Biomassa boiler	25.000	60	410	Omvang huidige biomassa centrale
	Warmtebuffer	400	16	25	Gebaseerd op omvang huidige buffers Eneco
	Electroboiler	15	10	1.5	Eigen analyse op basis van locatiebezoek Eneco
	Piekketel duurzaam gas	1.000	10	100	Eigen analyse
	Warmte overdrachtstation (WOS)	4.000	66	61	Inschatting op basis van huidige grootte WOS Eneco in Utrecht
Buurtwarmtenet 70˚C/20˚C & Individueel WP lucht	EHS-HS station (220/380 --> 110-150 kV)	55.000	300	183	Info Tennet/Stedin voor Utrecht-Noord (2022)
	HS-TS station (110-150 - 25-66 kV)	5.000	300	17	Info Tennet/Stedin voor Utrecht-Noord (2022)
	TS-MS station (25-66 kW --> 3 - 23 kV)	1.000	50	20	Info Stedin, uitgegaan van 50% uitbreiding van bestaande stations, daardoor vermogen aan de hoge kant ingeschat.

Om te kunnen berekenen wat het ruimtegebruik van verschillende warmte installaties in het warmtenet is, is een veronderstelling gemaakt wat betreft de verdeling van de opwek van de warmtevraag door de verschillende installaties. In een warmtenet zijn een aantal installaties en bronnen die de basislast verzorgen en daarmee ca 80% van de totale warmtevraag (MWh). Voor momenten van hoge warmtevraag zijn er piek en hulp voorzieningen, die in totaal ca 20% van de jaarlijkse warmtevraag voor hun rekening nemen (Functioneel Ontwerp Vesta MAIS 5.0, p.88).

In deze analyse kijken we echter niet naar jaarlijkse warmtevraag, maar naar het maximale vermogen (de piekwarmtevraag) die door de warmte installaties moet worden geproduceerd op koude dagen. Daarvoor geldt dat op deze dagen de meeste warmte wordt geleverd door de piekinstallaties. Voor de berekeningen is verondersteld dat het opgestelde vermogen van de hulp/piekketels ca 80% van de maximale warmtevraag in MW is (biomassa, warmtebuffers, STEG & piekketel op duurzaam gas). Voor de inzet van de basislastinstallaties is een verhouding aangenomen die aansluit bij de bronnenmix zoals deze ook voor de berekeningen in Vesta MAIS is gebruikt met een lage beschikbaarheid van geothermie (zie Tabel 2). Het vermogen van de basislast installaties is dan gelijk aan ca 20% van de maximale warmtevraag (zie Tabel 11 en Figuur 11). Dit komt goed overeen met de verhoudingen die worden gehanteerd in Vesta MAIS (Functioneel Ontwerp Vesta MAIS 5.0, p.88).

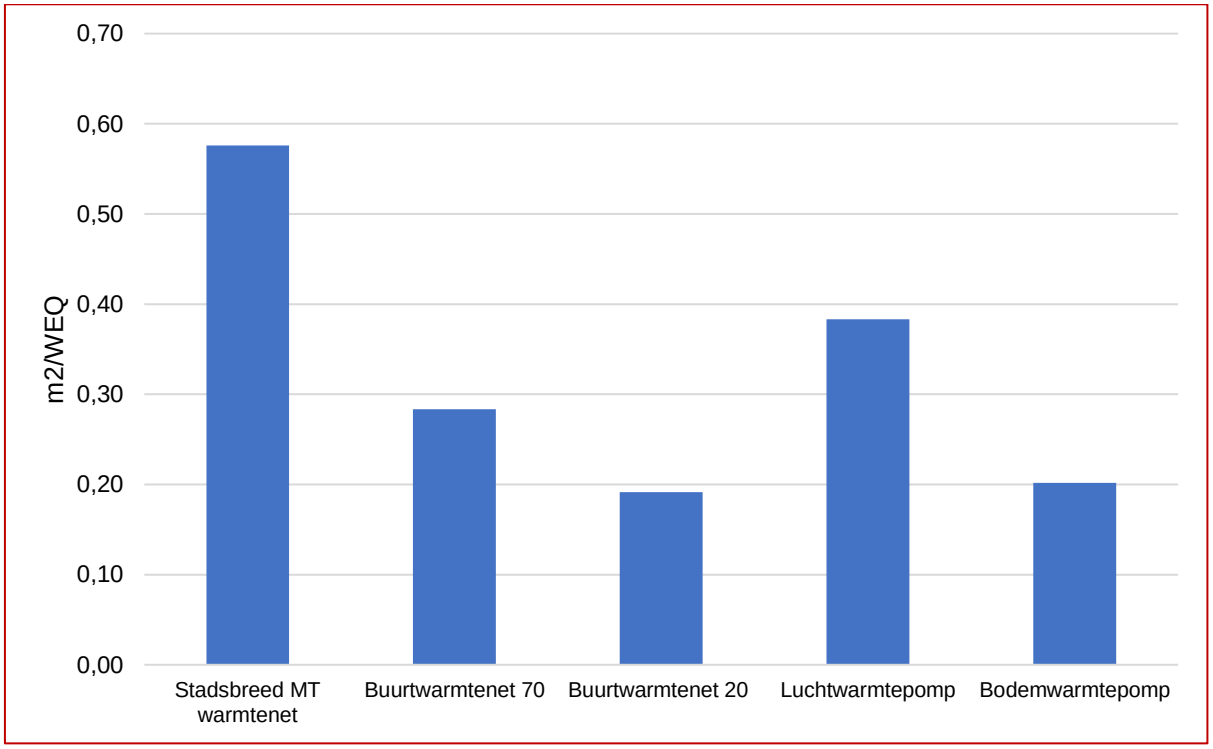


Figuur 11 Visualisatie van de inzet van basis en pieklastinstallaties ten opzichte van het gevraagd vermogen.

Tabel 11 Fractie van de warmtepiekvraag per warmtebron

Parameter	Basislastbron of piekbron	Fractie van vermogensvraag (piek-warmtevraag)
Geothermie	Basislast	0.02
Aquathermie	Basislast	0.04
Collectieve luchtwarmtepomp met drycoolers (TEL)	Basislast	0.08
Restwarmte (hiervoor is geen extra ruimtegebruik gerekend)	Basislast	0.02
Electroboiler	Basislast	0.01
Biomassa	Basislast & Piek	0.04
Warmtebuffer	Basislast	0.25
Piekketel & STEG duurzaam gas	Basislast	0.55

Op basis van bovenstaande uitgangspunten is het ruimtegebruik per WEQ in of aan de rand van de stad berekend en gepresenteerd in Figuur 12. Het stadsbrede MT warmtenet neemt in en aan de rand van de stad de meeste ruimte in beslag. Voor de andere alternatieven naar aardgasvrij leidt de verzwaring van het elektriciteitsnet op hoogspanningsniveau tot extra ruimtebeslag. Opnieuw moet hierbij opgemerkt worden dat netverzwaring ook nodig is voor andere vormen van elektrificatie, dus het is nog de vraag hoeveel van dit ruimtebeslag uiteindelijk aan de warmtetransitie moet worden toegerekend.



Figuur 12 Ruimtegebruik per aardgasvrij strategie in en aan de rand van de stad voor warmtebronnen en hoogspanningsinfrastructuur voor elektriciteit in m^2/WEQ.

Om meer gevoel te krijgen bij dit ruimtebeslag is voor de hele stad Utrecht (in 2050, 270.000 WEQ) aangegeven hoeveel installaties van een bepaald type nodig zijn (Tabel 12), dit moet worden gezien als een indicatie.

- Voor het stadsbreed MT warmtenet is een piekvermogen nodig van ca 1020 MWth. Ter vergelijking, Eneco heeft momenteel in totaal 570 MWth aan capaciteit om de maximale piek op te vangen. Momenteel bouwt Eneco 5 warmtebuffers, één in Nieuwegein en vier in Utrecht, met totaal vermogen van 80 MWth (ca 16 MWth per stuk). Qua ordegrootte geven de cijfers dus een beeld van wat theoretisch maximaal nodig is als ieder pand in Utrecht op het stadsbrede MT zou aansluiten (inclusief nieuwbouw).
- Voor de verzwaring van de elektriciteitsinfrastructuur gaat het opnieuw alleen om de benodigde netcapaciteit voor de warmtetransitie. Verzwaringen staan al gepland, maar zijn ook nodig voor de warmtetransitie. Geen enkele strategie zal stadsbreed worden uitgevoerd. Dit betekent dat de benodigde verzwaring altijd onder het scenario ligt met de hele stad op individuele luchtwarmtepomp.

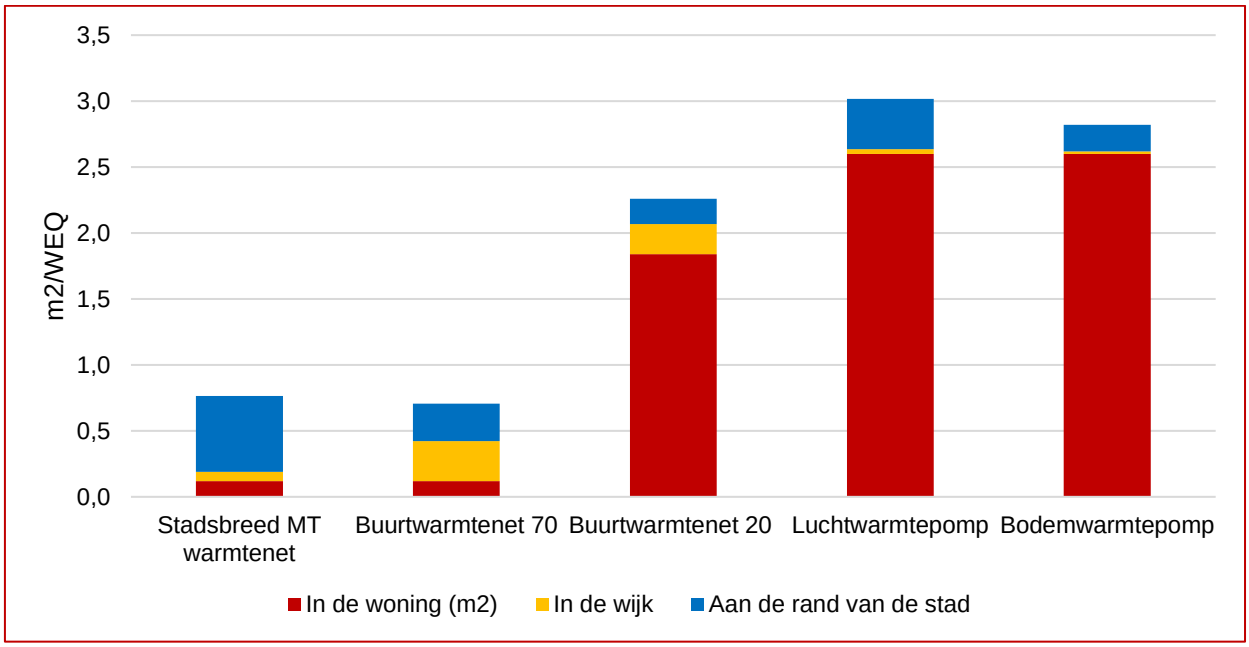
Tabel 12: Inschatting van het aantal benodigde grootschalige installaties per warmtealternatief in 2025 onder de veronderstelling de hele stad (totaal 270.000 WEQ) dit alternatief implementeert .

Parameter	Stadsbreed MT warmtenet	Buurtwarmtenet 70˚C	Buurtwarmtenet 20 ˚C	Individueel WP lucht	Individueel WP bodem
Geothermie	2 doubletten	-	-	-	
Aquathermie	2 x 30MW	-	-	-	
Collectieve luchtwarmtepomp met drycoolers (TEL)	2 x 30 MW	-	-	-	
Biomassa	Huidig vermogen (60 MW)	-	-	-	

Parameter	Stadsbreed MT warmtenet	Buurtwarmte-net 70˚C	Buurtwarmte-net 20 ˚C	Individueel WP lucht	Individueel WP bodem
Warmtebuffer	16 x 16 MW	-	-	-	
Electroboiler	4 x 10 MW	-	-	-	
Piekketel & STEG duurzaam gas	Ca 500 MW	-	-	-	
Warmteoverdachtstations (nu 6)	13				
EHS-HS station (nu 1 net buiten Utrecht)	-	1 x 300 MW	1 x 300 MW	1.5 x 300 MW	1 x 300 MW
HS-TS station (nu 3)	-	1 x 300 MW	1 x 300 MW	1.5 x 300 MW	1 x 300 MW
TS-MS station (nu 9)	-	3.5 x 100MW	2.5 x 100MW	5 x 100MW	2.5 x 100MW

4.6 Totaalbeeld bovengronds ruimtegebruik

Voor het totale ruimtegebruik per aardgasvrij strategie is het ruimtegebruik binnen de gemeentegrenzen meegenomen, dus het ruimtegebruik voor opwek van elektriciteit is hier buiten beschouwing gelaten. Het ruimtegebruik in de woning per m^2 is hier gebruikt voor een eerlijke vergelijking. De resultaten (Figuur 18) laten zien dat lage temperatuur verwarmingssystemen 2.5-4 maal zoveel ruimte nodig hebben als midden-temperatuurssystemen. Stadswarmte heeft, door de inzet van bronnen als geothermie, net wat meer ruimte nodig dan een buurtwarmtenet op 70˚C, maar voor een buurtwarmtenet is wel aanzienlijk meer ruimte nodig in de wijk zelf, wat een beperking kan zijn.



Figuur 13 Ruimtegebruik per aardgasvrij strategie binnen de gemeentegrenzen in m^2/WEQ.

5 Ondergronds ruimtegebruik

5.1 Aanleiding

Naast bovengronds ruimtegebruik is ook inpasbaarheid in de ondergrond van belang. Het Vesta MAIS hanteert gemiddelde kosten voor de aanleg, maar houd geen rekening met hogere kosten om een warmtenet in een straat aan te leggen als warmteleidingen bijvoorbeeld riolering of bomen kruisen. Daarom is een analyse gedaan van de inpasbaarheid van het warmtenet in verschillende Utrechtse buurten. Deze resultaten zijn vervolgens gebruikt om een inschatting te maken of in een buurt/wijk naar verwachting voldoende ruimte beschikbaar is om een collectief warmtealternatief te realiseren of dat hoge kosten gemaakt moeten worden om deze ruimte te creëren.

5.2 Analyse van beschikbare ruimte voor warmte-infrastructuur in de ondergrond

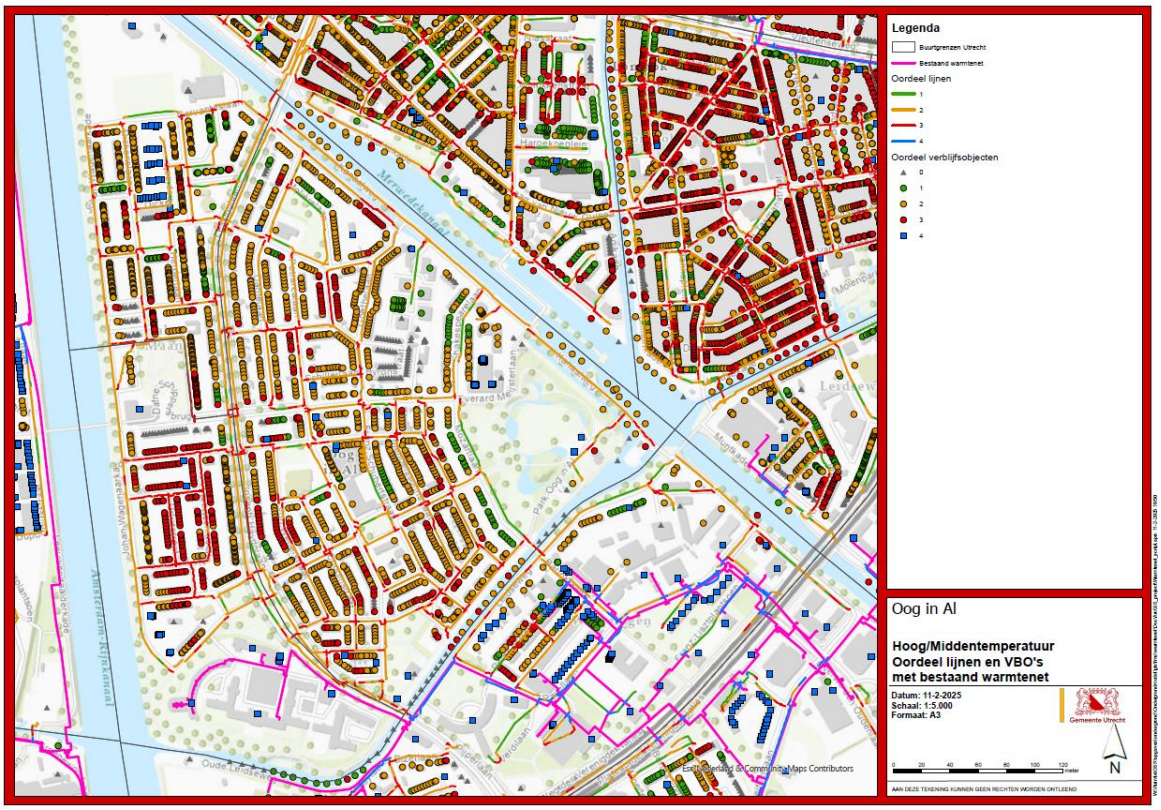
Om te bepalen wat de inpasbaarheid is voor het warmtenet in verschillende buurten, is een tracéanalyse voor een warmtenet (HT/MT en LT) uitgevoerd. Daarbij is voor iedere straat en ieder relevant verblijfsobject langs een straat de inpasbaarheid van het warmtenet beoordeeld. Alleen Poldergebied Overvecht, Haarrijn, Haarzuilens en omgeving en Rijnenburg zijn buiten beschouwing gelaten, dit zijn buurten met relatief weinig panden waar een collectieve warmteoplossing geen optie alteratie is.

Ieder tracé krijgt een score: makkelijk (1), haalbaar maar kostenverhogend (2), moeilijk haalbaar (3), al aangesloten op het warmtenet/WKO/zonder gasaansluiting (4) of op niet mogelijk om score toe te kennen (0). Voor deze beoordeling zijn veel verschillende gegevens gebruikt; het nationaal wegenbestand, parken en plantsoenen, het bestaande warmtenet, KLIC-gegevens, rioleringsdata, afvalcontainers en boomlocaties met risicozones. Het tracé is vervolgens berekend met de ArcGIS-tools *Distance Accumulation* en *Optimal Path as Line,* waarbij het model probeert een tracé te vinden wat voldoende afstand houdt tot obstakels en zoveel mogelijk aan een voorkeursrichting van het warmtenet voldoet (parallel aan het riool). Als overlap met obstakels niet vermeden kan worden, wordt afhankelijk van het type object een score kostenverhogend of moeilijk toegekend. Daarbij zijn afvalcontainers, asfalt, elektriciteitskabels, gasleidingen en waterleidingen kostenverhogend (score 2) en riolering, WKO bronnen en wortelzones rondom bomen score moeilijk (3).

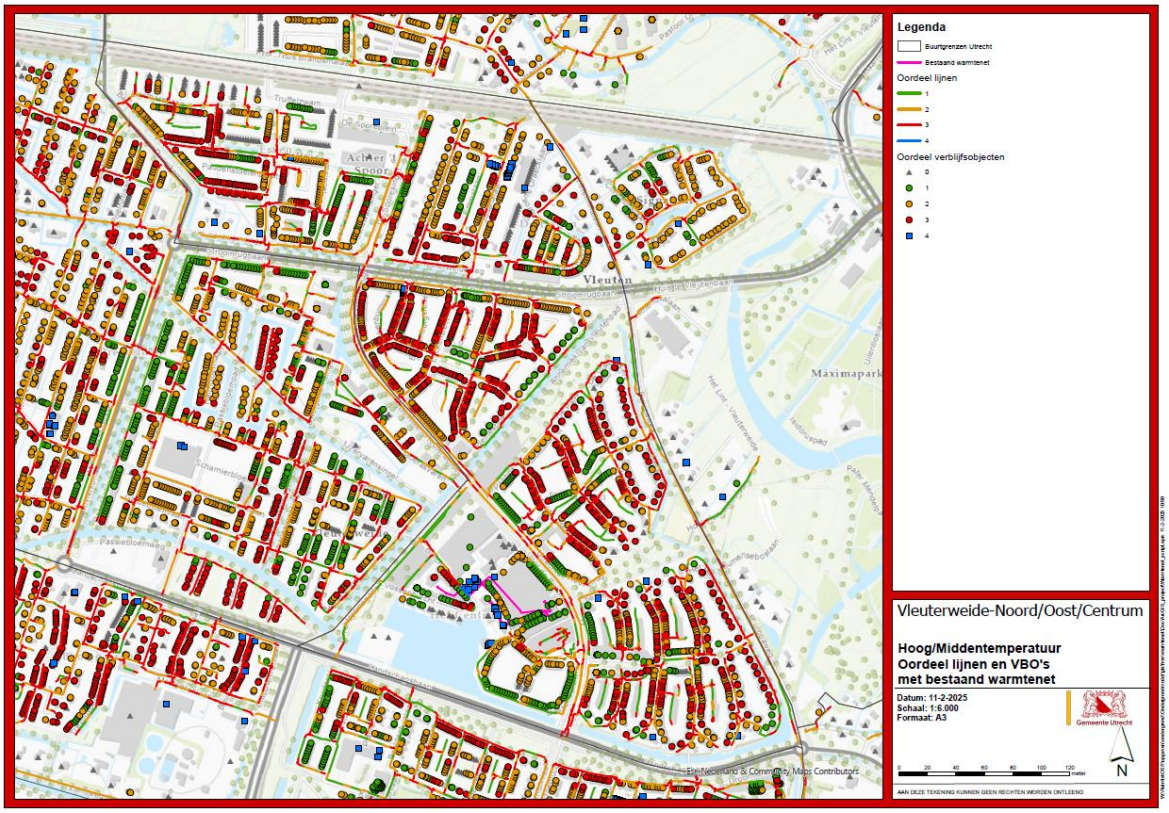
We nemen voor HT/MT warmtenet een tracébreedte van 1,8 meter aan. Daarnaast houden we 1 meter afstand van drinkwaterleidingen. In de kaart betekent dit een "buffer" van 0,9 meter + 1 meter tussen de (middel)lijn van het tracé en de lijn van de waterleiding (zie Figuur 14 voor een visualisatie van bufferafstanden). Voor riool dat nog niet gescheiden is, maar in de toekomst nog een aparte buis voor hemelwater krijgt is een ruimtereservering van 3 meter aangehouden (inclusief de buis die er nu ligt). Dit zorgt voor een buffer van 1,5 meter aan beide kanten. Het riool ligt meestal in het midden van de rijbaan. Uiteraard kan bij vervanging door een gescheiden stelsel geschoven worden in het ontwerp. De tool neemt die optie niet mee.

Figuur 14 Buffers om objecten: riool=paars, water=blauw, boomwortels=bruin, toekomstig warmtenet=geel

De hoogste score per buurt nemen we mee in de afweging voorkeursalternatief. Dit levert kaartjes op per buurt, waarvan in Figuur 15 en Figuur 16 voorbeelden zijn gegeven. In Oog in al is het overwegend (voor 70% van de verblijfsobjecten) haalbaar maar wel kostenverhogend om een warmtenet aan te leggen, dit komt vooral door de aanwezigheid van asfalt. In Vleuterweide Noord-Oost-Centrum is het voor ca 35% van de verblijfsobjecten moeilijk om een warmtenet in te passen, en voor ca 40% kostenverhogend.



Figuur 15 Voorbeeld tracéanalyse inpasbaarheid MT/HT warmtenet in de buurt Oog in Al, blauw is al aardgasvrij, groen is makkelijk, oranje kostenverhogend, rood moeilijk.



Figuur 16 Voorbeeld tracéanalyse inpasbaarheid MT/HT warmtenet in de buurt Vleuterweide Noord-Oost-Centrum. Blauw is al aardgasvrij, groen is makkelijk, oranje kostenverhogend, rood moeilijk.

IMPACT VAN WARMTEOPLOSSINGEN OP HET ENERGIESYSTEEM

6 Analyse netimpact van warmtepoplossingen

6.1 Aanleiding

Sinds het verschijnen van de TVW deel 1 en 2 is netcongestie een urgent probleem geworden. Daarom is een analyse gemaakt van de impact van de verschillende warmteoplossingen op het elektriciteitssysteem.

6.2 Impact van piekvraag voor warmte op piekvraag voor elektriciteit

In alle strategieën naar aardgasvrij wordt (een deel van) de warmtevraag geëlektrificeerd. De impact op deze elektriciteitsvraag op benodigde extra elektriciteitsproductiecapaciteit is bepaald voor Utrecht door:

- De elektriciteitsvraag per weq per strategie te bepalen met behulp van de COP's voor de verschillende technieken zoals beschreven in Tabel 8 en kentallen voor geothermie uit (23,04 - Functioneel Ontwerp Vesta MAIS 5.0, p.140).
- Een gelijktijdigheidsfactor toe te passen op de elektriciteitsvraag voor de hogere netvlakken van 80%, wat overeenkomt met de veronderstellingen gehanteerd door CE Delft in hun studie van de impact van de warmtetransitie op het elektriciteitsnet.

In Tabel 13 geeft een overzicht van het berekende elektriciteitsvermogen dat nodig is om de piekwarmtevraag per aardgasvrij strategie te kunnen voorzien onder de veronderstelling dat de hele stad overgaat naar deze oplossing. De berekende vermogens zijn de vermogens die nodig zijn op een moment van grote warmtevraag (koude dag in de winter).

Tabel 13 Indicatie van aantal benodigde vermogen voor de opwek van de piek in de elektriciteitsvraag per aardgasvrij strategie als de hele stad (in 2050) deze aardgasvrijstrategie zou volgen, voor 270.000 WEQ.

Piek in elektriciteit in MW	Stadsbreed MT warmtenet	Buurtwarmte-net 70˚C	Buurtwarmte-net 20 ˚C	Individueel WP lucht	Individueel WP bodem
Uitgangssituatie	35	280	190	375	200
Gevoeligheid – geen tapwater	*30*	*255*	*170*	*340*	*180*
Gevoeligheid – hogere COP's	*25*	*210*	*150*	*250*	*160*
Gevoeligheid – lage gelijktijdigheid	*20*	*175*	*120*	*240*	*125*

Voor het warmtenet is logischerwijs minder opwek van elektriciteit nodig dan voor de andere strategieën, en de luchtwarmtepompen vragen de meeste elektriciteit. Omdat bij het buurtwarmtenet op 70˚C alle warmte nog wel moet worden opgewaardeerd naar het juiste temperatuurniveau en warmteverlies plaatsvindt in het net, is de elektriciteitsvraag voor deze aardgasvrijstrategie ook relatief hoog. Het verschil tussen een buurtwarmtenet op 20˚C (een ZLT net) en een bodemwarmtepomp is heel klein.

Door slimme aansturing van luchtwarmtepompen en het toepassen van meer buffers in buurtwarmtenetten kan het benodigde vermogen omlaag worden gebracht. Hiervoor zijn verschillende analyses gedaan waarbij

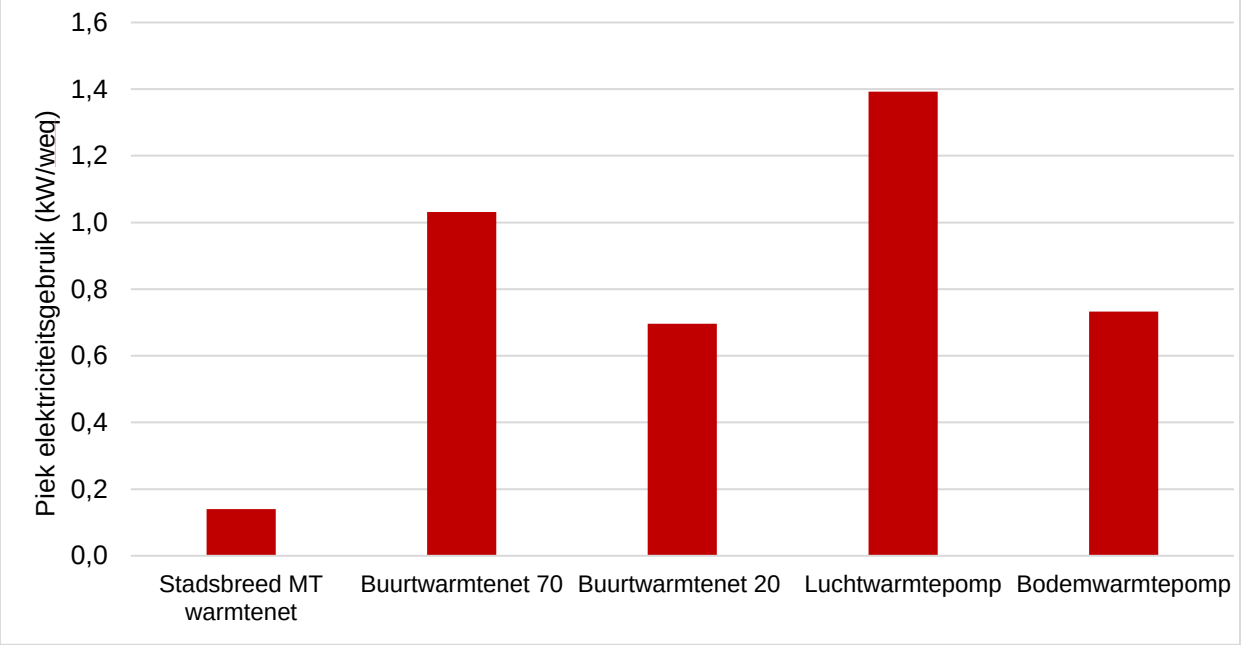
- In de piek geen tapwater meer hoeft te worden gemaakt omdat dit wordt opgevangen door buffers,
- De COP voor alle verschillende installaties met 1 toeneemt,

- De gelijktijdigheid voor ruimteverwarming 0.3 is in plaats van 0.5.

De gevoeligheidsanalyses met verschillende opties voor slimmere aansturing laten zien dat dit effect heeft op het piekvermogen en dat een besparing tot circa 38% aan vermogen kan worden gerealiseerd. Dit resulteert echter nog steeds in het beeld dat luchtwarmtepompen de grootste en warmtenetten de kleinste impact op het elektriciteitsnet hebben.

6.3 Totaalbeeld

Vanuit een efficiënte inzet van elektriciteit is het warmtenet de oplossing met de laagste impact op het elektriciteitsnet, gevolgd door aardgasvrij oplossingen op lage temperatuur (collectief of individueel), dan het buurtwarmtenet op 70˚C. Individuele luchtwarmtepompen hebben de meeste impact op extra piekvermogen.



Figuur 17 Piek elektriciteitsvraag per weq bij toepassing warmteoplossingen op de hele stad (Noot: exclusief benodigde verzwaring door toename zon-PV en EV)

KOELING

7 Toekomstige energievraag voor koeling in de gebouwde omgeving

7.1 Inleiding

De verwachting is dat de vraag naar het actief koelen van gebouwen in de toekomst zal toenemen onder invloed van:

- *Klimaatverandering*: De recent gepubliceerde klimaatscenario's van het KNMI laten zien dat ten gevolge van klimaatverandering temperaturen gaan stijgen en de zomers warmer worden. Dit betekent dat hittegolven in de toekomst vaker voorkomen, heter worden en langer aanhouden (KNMI, 2023)[4]. Dit resulteert in situaties waarin temperaturen in woningen steeds vaker niveaus zullen bereiken die als oncomfortabel/ongezond worden ervaren en de verwachting is dat dit leidt tot een toenemende vraag naar de inzet van koelsystemen met als gevolg een toename in het elektriciteitsgebruik. Dit effect wordt nu al waargenomen bij hittegolven. In 2020 melde Essent dat tijdens een hittegolf het elektriciteitsgebruik 30% hoger lag dan normaal (Essent, 2020).
- *Vergrijzing*. In Nederland neemt het aantal ouderen toe. Onderzoek laat zien dat ouderen minder goed tegen de hitte kunnen wat zal leiden tot een toenemende vraag naar koeling.
- *Gewenning*: Gewenning aan de aanwezigheid van koeling in de auto, in de trein en op de werkplek leidt naar verwachting ook tot toename van koeling in woningen.
- *Verstedelijking*: Toenemende verstedelijking leidt tot een toenemende vraag naar koeling omdat het effect van temperatuursverandering door klimaatverandering in de stad groter is dan op het platteland (urban heat island effect).

7.1.1 Beperkte beschikbaarheid van data over vraag naar koeling

In tegenstelling tot de vraag naar warmte voor gebouwen is kennis over de koudevraag veel beperkter en wordt deze (althans voor woningen) niet of zeer beperkt meegenomen in de scenario studies naar de toekomstige energievraag. In de Transitievisie Warmte deel 1 en 2 is koeling in gebouwen dan ook niet meegenomen. Vanwege de verwachte stijging van de vraag naar koeling willen we dit in het Warmteprogramma wel meenemen. De belangrijkste vragen in dit kader zijn:

- Hoe gaat de vraag naar koeling in Utrecht zich de komende jaren ontwikkelen bij woningen en utiliteitsgebouwen?
- Wat zijn mogelijke opties om in deze koudevraag te voorzien?
- Wat betekent dit voor de ontwikkeling van de toekomstige elektriciteitsvraag en de piek in elektriciteitsvraag?
- Wat betekent de toenemende vraag naar koeling voor de keuzes die nu worden gemaakt in het kader van de verduurzaming van de warmtevoorziening? (Collectieve systemen met (zeer) lage temperatuur warmtenetten of individuele systemen met bodemlussen kunnen directe koeling leveren en zijn daarmee mogelijk gunstiger dan warmte-oplossingen met een hogere temperatuur waarbij collectieve levering van koeling mogelijk is).

7.1.2 Aanpak: eerste inschatting impact van toenemende koelvraag op het elektriciteitsgebruik

De aanpak is erop gericht om te komen tot een eerste schatting van de te verwachten groei in de elektriciteitsvraag en pieken in elektriciteitsgebruik ten gevolge van de toenemende vraag naar koeling. Deze

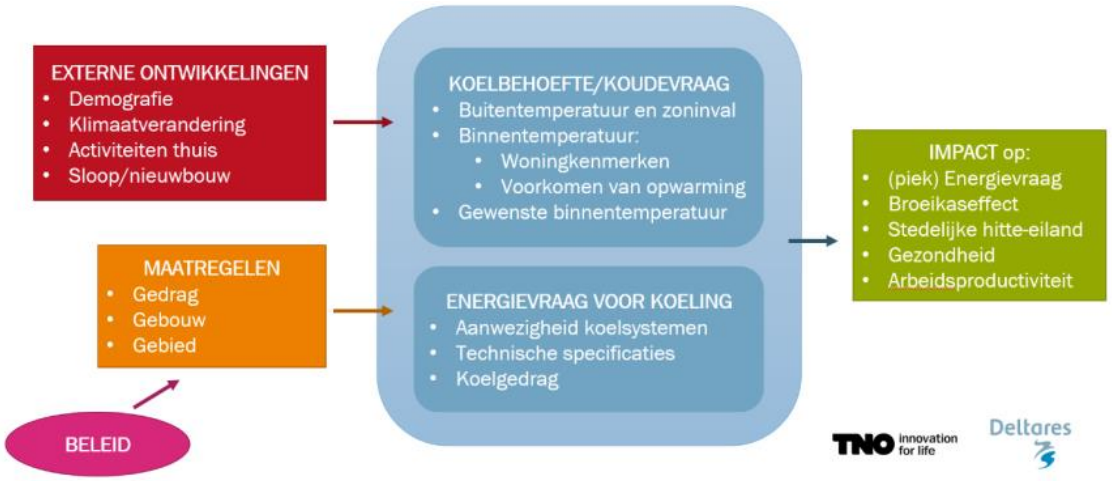
[4] Op basis van de KNMI-klimaatscenario's uit 2014 is berekend dat ten opzichte van 2020 het aantal graaddagen afneemt met 9% tot 21% en het aantal koeldagen4 toeneemt met 33% tot 107%.

eerste schatting vormt startpunt om met stakeholders binnen en buiten de gemeente de impact van deze groei te bespreken, de uitgangspunten voor de berekeningen tegen het licht te houden.

7.2 Beschikbare kennis/info over koudevraag van gebouwen en koeltechnieken

7.2.1 Componenten die de koudevraag beïnvloeden

Figuur 18 geeft een schematisch overzicht van de componenten die bepalend zijn voor de toekomstige koudevraag. Met de koudevraag wordt de functionele/latente vraag naar koeling bedoeld. Deze vraag ontstaat op het moment dat de temperatuur in huis boven een gewenste temperatuur uit komt. Deze temperatuur is afhankelijk van de voorkeuren van de bewoner(s) en kan variëren bij verschillende activiteiten (slapen, werken, koken, etc.). Hoe snel en in hoeverre de woning opwarmt is afhankelijk van gebouwkenmerken (bijvoorbeeld isolatieniveau, raamoppervlak, aanwezigheid van zonwering), gedrag (zoals gebruik van zonwering en ventilatie) en het klimaat. In hoeverre een functionele vraag naar koeling leidt tot extra energievraag is afhankelijk van aanwezigheid van koelsystemen en de efficiency van koelsystemen (TNO, 2021) (TNO, Deltares, 2022).



Figuur 18 Componenten die de energievraag naar koeling beïnvloeden en impact van deze stijgende vraag naar koeling (TNO, Deltares, 2022).

7.2.2 Latente/functionele koudevraag (koelbehoefte)

In de UMGO (uniforme maatlat gebouwde omgeving) zijn kentallen opgenomen voor koudevraag voor verschillende type woningen en utiliteitsgebouwen. Deze zijn bepaald met behulp van een vereenvoudigde methode voor de berekening van de koudebehoefte in bestaande gebouwen (zowel woningen als utiliteitsgebouwen). Voor deze methode is met behulp van machine learning en een dataset met meer dan 2000 gedetailleerde gebouwberekeningen op basis van de NTA8800, een regressiemodel afgeleid. Met behulp van dit regressiemodel kan op basis van een beperkt aantal fysische parameters de koudevraag worden bekend voor verschillende type woningen en utiliteitsgebouwen. Deze benadering is gehanteerd voor het bepalen van functionele/latente vraag naar koeling voor de RVO voorbeeldwoningen die vervolgens zijn "vertaald" naar de woningvoorraad in Utrecht.

Over het *effect van verbeterde isolatie op de koelvraag* zijn onderzoeken niet eensluidend. Verbetering van de isolatiegraad en luchtdichtheid van gebouwen leidt ertoe dat warmte beter buiten wordt gehouden en heeft dus een positief effect op de vraag naar koeling. Echter als deze gebouwen eenmaal zijn opgewarmd koelen ze maar langzaam af en kan deze extra isolatie leiden tot een hogere koelvraag. Dit wordt het *anti-isolatie-effect* genoemd. Onderzoeken tonen aan dat na een bepaald koeling-setpoint de isolatie

leidt tot een hogere koudevraag (gemeten over een jaar). Ze noemden dit punt “Point of Thermal Inflexion” en het is het setpoint waarop het effect van isolatie op de koudevraag omkeert en isolatie leidt tot een toename van de koudevraag.

7.2.3 Aanwezigheid en gebruik van actieve koelsystemen (elektriciteitsvraag)

Het *bezit en gebruik van vaste en mobiele airco’s* wordt niet systematisch gemonitord. Op basis van verschillende vragenlijsten is geschat dat in 2021 in Nederland 16%-20% van de *huishoudens* een airco heeft, waarvan 55%-70% een mobiele airco. Nadere analyse van factoren die invloed hebben op de waarschijnlijkheid van het bezit van een koelsysteem zijn opgenomen in Tabel 14. Dit laat zien dat toepassing van koelsystemen in grote steden lager is dan in de rest van het land en dat toepassing in appartementencomplexen lager is dan in grondgebonden woningen (TNO, 2021).

Tabel 14: Factoren die de waarschijnlijkheid van de aanwezigheid van een koelsysteem beïnvloeden. Bron (TNO, 2021).

		Koel-systeem	Mobiele airco	Vaste airco	Bodem warmte pomp	Anders
Inkomen	< €15.000	5,7%	4,4%	0,9%	0,5%	0,0%
	€15.000 -€30.000	15,3%	10,3%	4,1%	0,5%	0,5%
	€30.000 - €60.000	16,2%	9,1%	6,5%	0,6%	0,0%
	> €60.000	30,4%	12,6%	13,9%	3,0%	0,9%
Locatie	Amsterdam Den Haag Rotterdam	9,5%	7,0%	1,8%	0,5%	0,1%
	Noord-Holland Zuid-Holland Utrecht	14,4%	6,7%	5,8%	1,2%	0,6%
	Friesland Groningen Drenthe	24,1%	17,2%	6,9%	0,0%	0,0%
	Overijssel Gelderland Flevoland	16,3%	7,5%	7,5%	1,3%	0,0%
	Limburg Noord-Brabant Zeeland	23,9%	10,0%	12,9%	1,0%	0,0%
Woningtype	Rijtjeshuis (tussenwoning)	12,4%	6,2%	5,5%	0,5%	0,2%
	Rijtjeshuis (hoekwoning)	17,3%	7,2%	8,7%	1,4%	0,0%
	Twee-onder- één kap	32,8%	12,9%	17,4%	1,9%	0,7%
	Vrijstaande woning	27,4%	8,9%	13,7%	3,2%	1,6%
	Appartement	14,5%	11,3%	2,4%	0,9%	0,0%

7.2.4 Efficiency en energiegebruik van koelsystemen (elektriciteitsvraag)

In TNO (2021) is een overzicht opgenomen van kentallen die zijn gevonden in verschillende bronnen over het *vermogen en het aantal vollasturen per jaar* dat airco’s worden gebruik en het daaruit resulterend elektriciteitsgebruik (zie Tabel 15).

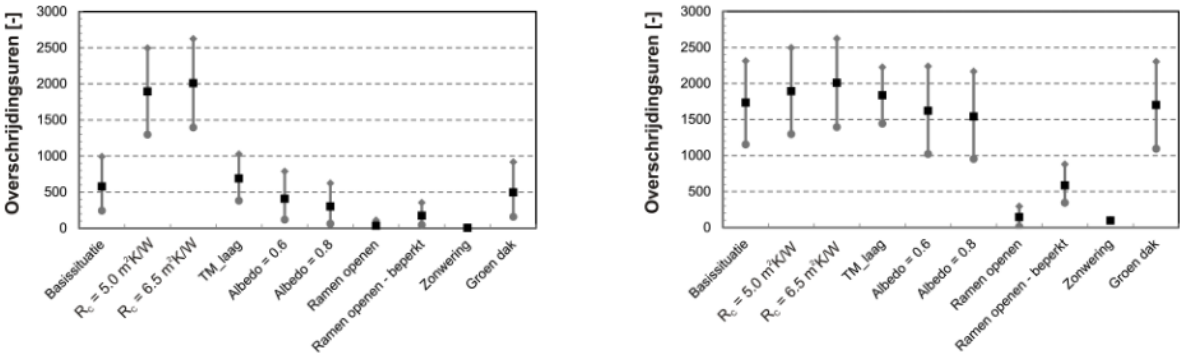
Tabel 15: Veronderstellingen in verschillende onderzoeken naar het energiegebruik van airconditioners (kWh/jaar). Bron (TNO, 2021).

	Vaste airco	Mobiele airco	Airco (ongedefinieerd)
EVA (o.b.v. VHK en Ecodesign)		64 (vermogen 0,35 kWe, 184 vollasturen)	
SAWEC (o.b.v. VHK en CBS)	608 (vermogen 1,9 kWe, 320 vollast-uren)		
W/E: gemiddeld uit literatuur			400
W/E: EPG berekening nieuwbouw			150
Consumentenbond	234 (vermogen 0,75 kWe, 175 vollast-uren)		

7.2.5 Maatregelen: Effect van (passieve) gebouwmaatregelen op latente/functionele koudevraag

De volgende passieve gebouwmaatregelen hebben invloed op de latente/functionele koelvraag:

- Spuiventilatie is het tijdelijk afvoeren van warme lucht door ramen en deuren tegenover elkaar te openen. Op deze manier kan de geaccumuleerde warmtewinst van de dag weer afgevoerd worden. Voorwaarde voor deze maatregel is dat de binnentemperatuur hoger is dan de buitentemperatuur. Dit is vaak het geval in de avond, nacht en vroege ochtend bij warme zomernachten.
- Buitenzonwering of zonwerend glas TNO et al (2014) concludeert dat toepassen van beweegbare buitenzonwering en het extra ventileren van de woning als de buitentemperatuur lager is dan de binnentemperatuur heeft het meeste effect en kan ook opwarming in moderne, goed geïsoleerde woningen bijna volledig voorkomen. De algemene bevindingen zijn generiek te noemen, alhoewel de absolute effecten af zullen hangen van het gebouwtype, de omgeving, het gebruiksgedrag etc.



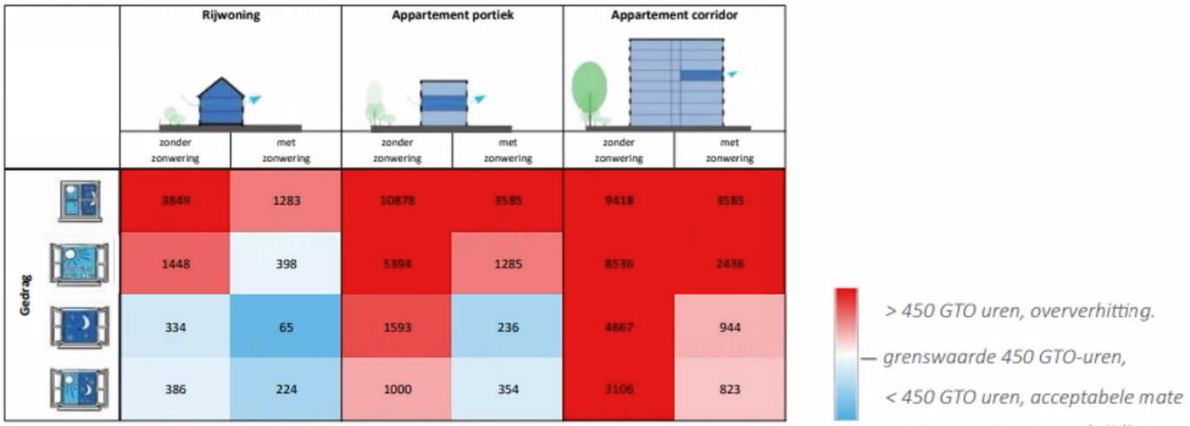
Figuur 19: Totaal aantal jaarlijkse overschrijdingsuren in de rijwoning voor de basissituatie en voor de verschillende adaptatiemaatregelen (links) Rijwoning uit de jaren 70 (lage thermische weerstand). (rechts) Rijwoning met thermische isolatie volgens Bouwbesluit 2012 (hoge thermische weerstand), waarbij ■ staat voor het gemiddelde aantal, ● voor het minimum aantal, en ♦ voor het maximum aantal overschrijdingsuren voor de vier doorgerekende oriëntaties (noord, oost, zuid, west) (gebaseerd op van Hooff et al., 2014) (KWR et al, 2014).

(HvA et al, 2021) heeft een uitgebreide literatuurstudie gedaan waarin kennis is verzameld over o.a. het effect van gebouwmaatregelen op temperatuuroverschrijdingen in woningen (zie Tabel 16). In deze tabel zijn de maatregelen gerangschikt naar gemiddelde omvang van het effect (rode kolom) dat deze hebben op vermindering van het aantal uren dat bepaald temperatuurniveau wordt overschreden. Deze tabel laat ook zien dat voor bestaande gebouwen ventileren en zonwering een groot effect heeft op het verminderen van temperatuuroverschrijding. Dit wordt verder geïllustreerd in Tabel 17 waar de resultaten zijn weergegeven van een simulatie van deze maatregelen voor een portiekwoning.

Tabel 16: Gemiddelde van alle verminderingen in gewogen temperatuur overschrijdingen (in de meeste gevallen GTO-uren) die worden gerapporteerd in de literatuur voor verschillende maatregelen/gebouwkenmerken per type woning. Bron (HvA et al, 2021).

Kenmerk	Rijwoning tussen	Vrijstaande of hoekwoning	Appartement tussen	Appartement dak	Alle Typen	Notitie
Type glas (helder of zonwerend)	1450	1650	2900	2400	1950	[a]
Dynamische zonwering	750	1425	3000	2700	1625	[a]
Overstek	1000	1050	2100	1750	1350	[a]
Oriëntatie van de ruimte/ woning	1150	1150	1150	1150	1150	
Natuurlijke Ventilatie: Spuien, zomernacht ventilatie	1150	525	900	775	1150	
Mate van isolatie	502.5	450	50	625	502.5	
Raamgrootte	950	90	200	205	490	
Hoogte (bouwlaag) van de woning	0	0	750	750	350	[b]
Type mechanische ventilatie systeem	15	85	450	475	305	
Interne warmtelast (apparatuur, etc.)	50	50	350	350	275	
Verhogen mechanische ventilatie debiet	260	260	260	260	260	
Thermische massa	145	120	350	285	210	
Hoog reflecterende gevel en/of dak	100	100	0	265	90	
Zonnepanelen	100	100	0	265	90	
Verhogen luchtsnelheid (ventilatoren)	?	?	?	?	?	[d]
Mechanische ventilatie met koude terugwinning	50	50	50	50	50	
Blauwgroen dak	60	60	0	60	45	
Verticale beschaduwing	0	0	0	0	0	[e]
Groene gevel	0	0	0	0	0	[f]

Tabel 17: Resultaten van simulatiestudie met zonwering en doorluchten voor verschillende type woningen. Bron (HvA et al, 2024).



Simulatiestudie gedrag doorluchten. *GTO-uren in een slaapkamer met een raam op zuid-oost in een portiekwoning met slechte isolatie. Deze indicatie kan gebruikt worden om inzicht te krijgen in de hittegevoeligheid bij een combinatie zonwering, spuimogelijkheden & gedrag.*

Koeling in Vesta Mais

In het huidige Vesta MAIS Model zijn kentallen opgenomen voor de functionele vraag naar koude voor zowel woningen als verschillende type utiliteiten. Het Vesta MAIS model biedt de mogelijkheid door middel van klimaatscenario's rekening te houden met toenemende vraag naar koude (en afnemende vraag naar ruimteverwarming) bij stijgende temperaturen (zie rapport op PBL site pagina 43). De koudevraag neemt daarbij toe met 3,66% wanneer de vraag naar ruimteverwarming met 1% afneemt. Voor 2030 geven de 4 klimaatscenario's een toename van de koudevraag van 19%. (Noot: dit is nog gebaseerd op de klimaat-scenario's van het KNMI uit 2014).

Het aandeel van de elektriciteitsvraag in de *utiliteitssector* voor koeling is berekend door gegevens over het energiegebruik voor koelinstallaties in de dienstensector (ruimte + proceskoeling) te combineren met gegevens over elektriciteitsgebruik per m² voor verschillende type utiliteiten en is gebaseerd op onder-zoeken uit 2016 en 2019 (zie rapport op PBL site pagina 49).

De functionele koudevraag in *woningen* is gebaseerd op onderzoek van W/E adviseurs uit 2018, waarin is aangenomen dat de temperatuur in 2050 stijgt met 1,4 tot 3,3˚C ten opzichte van het huidige niveau, het aantal zomerse dagen toeneemt van 21 dagen tot 35 dagen en de koelbehoefte daardoor stijgt. Dit resulteert in toename van huidige functionele vraag naar koeling in nieuwbouwwoningen van 3,6 kWh/m^2 (niveau van woningen die aan de BENG norm voldoen) naar 5 à 10 kWh/m^2 in 2050 (afhankelijk van het gekozen klimaatscenario voor 2050) (zie rapport op PBL site pagina 49). Deze waarde is in Vesta MAIS aangenomen voor alle woningen ongeacht het schillabel, type woning of locatie. Een groot gedeelte van de koudevraag bij woningen wordt op dit moment binnen het Vesta MAIS model beschouwd als een latente vraag waarin niet wordt voorzien door de inzet van koelsystemen.

7.3 Analyse: inschatting impact van vraag naar koeling op de elektriciteitsvraag

7.3.1 Inleiding

Naar aanleiding van de inventarisatie van beschikbare bronnen is ervoor gekozen om gebruik te maken van de kentallen voor latente/functionele koude vraag berekend met de vereenvoudigde benadering uit de UMGO ter vervanging van de kentallen nu opgenomen in het Vesta MAIS model. Vervolgens is voor verschillende scenario's het resulterend elektriciteitsgebruik berekend, waarbij deze scenario's verschillen in gehanteerde veronderstellingen over investeringen in gebouwmaatregelen en actieve koeling.

7.3.2 Stap 1: Het berekenen van de latente/functionele koudevraag

De eerste stap is het berekenen van de huidige en verwachtte functionele/latente koudevraag. De functionele/latente vraag naar koeling ontstaat op het moment dat de temperatuur in een gebouw boven een gewenste temperatuur uit komt. De functionele/latente koudevraag is de hoeveelheid energie die nodig is om de temperatuur in een gebouw niet boven een bepaalde temperatuur (setpoint) te laten stijgen. In de NTA8800 is dit setpoint vastgesteld op 24 graden.

Voor het berekenen van de latente/functionele koudevraag is gebruik gemaakt van de vereenvoudigde methode voor de berekening van de koudebehoefte in bestaande gebouwen die wordt gehanteerd in de uniforme maatlat, waarbij op basis van een aantal fysische parameters de latente koude vraag gehanteerd kan worden. De formule luidt als volgt:

```
Q = snijpunt + c1 * Ag^n1 + c2 * (Als_Ag)^n2 + c3 * Ugem^n3 + c4 * (Araam_Ag)^n4
```

Waarin:

- Q = koudevraag in kWh/m^2
- Constanten per gebruiksfunctie en type ventilatiesysteem: Snijpunt, c1, c2, c3, c4, n1, n2, n3, n4 gegeven
- Gebouwkenmerken:
  - Ag = Gebruiksoppervlak in m^2
  - Als_Ag = Verliesoppervlak / gebruiksoppervlak (m^2/m^2)
  - Ugem = Gemiddelde isolatiegraad (W/m^2.K)
  - Araam_Ag = Raamoppervlak/gebruiksoppervlak (m^2/m^2)
- Kentallen voor gebouwkenmerken voor woningen zijn overgenomen uit de publicatie RVO met voorbeeldwoningen (Databestand RVO, 2022) en data uit dit bestand zijn gebruikt om Ugem te berekenen voor verschillende type en jaargangen van woningen. Voor de berekening van de huidige latente koelvraag van woningen is het niveau "huidig o.b.v. WoOn 2018" gebruikt en voor 2050 het isolatieniveau dat hoort bij een aardgasvrije oplossing.
- Voor utiliteitsgebouwen is gebruik gemaakt van de gedefinieerde referentiegebouwen gebruikt i.h.k.v. BENG berekeningen (DGMR, 2017). Voor deze gebouwen is alleen de Ugem bij isolatie benodigd

voor het behalen van de BENG norm beschikbaar. Voor utiliteit is het daarom (op dit moment) door gebrek aan gegevens niet mogelijk de huidige latente koelvraag te berekenen.

Met deze input kan vervolgens voor alle voorbeeldgebouwen de functionele/latente koudevraag worden berekend per type ventilatiesysteem in kWh/m² bij Ugem huidig gebruik (allen voor woningen) en bij Ugem na isolatie (voor woningen en utiliteitsgebouwen).

Vervolgens zijn deze resultaten gebruikt om een functionele/latente koudevraag per m² voor 2022 en 2050 voor de verschillende gebouwcategorieën in Vesta MAIS te bepalen. Hierbij is:

- Voor woningen:
  - Vesta MAIS indeling per type en bouwjaar gekoppeld aan type en bouwjaar indeling zoals gebruik in de publicatie RVO voorbeeld woningen.
  - Voor type ventilatiesystemen in 2022 het huidige systeem per type woning uit de publicatie RVO voorbeeld woningen en voor 2050 het systeem dat hoort bij besparingspakket 3 gebruikt (mechanische ventilatie).
- Voor utiliteitsgebouwen;
  - Voor utiliteiten is latentie/functionele koelvraag berekend voor voorbeeldutiliteitsgebouwen per functie onderscheiden naar omvang (S, M, L, XL). Omdat deze informatie niet voor handen is in het Vesta MAIS model is daar gerekend met de gemiddelde latente/functionele koelvraag per m² voor S, M, L en XL gebouwen.
  - Wat betreft het type ventilatie systeem is verondersteld dat in 2050 in alle gebouwen balans-ventilatie wordt toegepast.
- Resultaat:
  - Latente/functionele koudevraag per buurt voor woningen in 2022 en 2050 en voor utiliteit in 2050 waarbij het klimaateffect is meegenomen.

7.3.3 Stap 2: Het berekenen van de energiebehoefte voor koeling

Slechts een deel van de latente koudevraag wordt daadwerkelijk ingevuld d.m.v. een koeloplossing (Airco, compressiekoelmachine of collectieve koeloplossing) die dus leidt tot een daadwerkelijke elektriciteits-vraag. Voor de berekening van de huidige en toekomstige koudevraag zijn veronderstellingen gemaakt over:

- Aandeel van woningen die gebruik maken van actieve koeling.
- Aandeel gebouwen dat de koelvraag beperkt door investeringen in zonwering en tijdige toepassing van spuiventilatie.
- Efficiency (COP) van het koelsysteem dat wordt gebruikt voor de actieve koeling.

Tabel 18 geeft een overzicht van de gehanteerde veronderstellingen voor berekening van de elektriciteits-vraag voor koeling in woningen.

Tabel 18: Veronderstellingen gehanteerd voor berekeningen elektriciteitsvraag voor koeling in woningen

	2022	2050 Scenario 1	2050 Scenario 2	2050 Scenario 3
Aandeel woningen met actieve koeling[5]	9.5%	24%	48%	100%
Aandeel woningen met zonwering en toepassing spui-ventilatie	5%	25%	50%	0%
Reductie koudevraag door juiste en tijdige toepassing van spuiventilatie en gebruik van zonwering[1)]	80%	80%	80%	80%

[5] In recent onderzoek van TNO met prognose van penetratie van aandeel huishoudens dat gebruik maakt van een airco in 2030 in heel Nederlands is verondersteld dat tussen dus 31% en 56% gebruik maakt van een airco (TNO, 2024)

	2022	2050 Scenario 1	2050 Scenario 2	2050 Scenario 3
COP koelinstallatie	3	3	6	3

1) Veronderstelling gebaseerd op onderzoeken naar gecombineerd effect van zonwering en spuiventilatie die reductiepercentrage vinden tussen de 60% en 100% (Gemeente Rotterdam)

Noten

- Huidige penetratiegraad van koeling: 9.5 % van de woningen in Utrecht heeft op dit moment een koelinstallatie (zie Tabel 14, veronderstelling waarschijnlijkheid in Utrecht vergelijkbaar met andere grote steden).1)
- In scenario 1 is verondersteld dat relatief weinig geïnvesteerd wordt in zowel passieve gebouw- en gedragsmaatregelen (zonwering & spuiventilatie) als in actieve koeling. Vraag naar actieve koeling groeit mee met de toename van de latente koelvraag. Dit betekent dat mensen in het scenario accepteren dat het in meerdere periodes onaangenaam warm kan worden in de woning.
- In scenario 2 is verondersteld dat meer wordt geïnvesteerd in zowel passieve gebouw- en gedragsmaatregelen (zonwering & spuiventilatie) als in actieve koeling en dat gebruik van actieve koeling harder groeit dat de toename van de latente koelvraag. Dit betekent dat mensen in dit scenario bereid zijn meer te investeren voor een comfortabele binnentemperatuur in de zomer.
- In scenario 3 is verondersteld dat niemand passieve gebouwmaatregelen treft en iedereen de gehele latente/functionele koelvraag actief gaat koelen.
- Voor de berekeningen is verondersteld dat koeling wordt geleverd door een airco met een COP van 3 (Bron: Default waarde uit NTA 8800, tabel P.9 pagina 983). In het hoge scenario is verondersteld dat gemiddeld een hogere COP wordt gerealiseerd door inzet van bodemenergiesystemen en WKO's.

Tabel 19: Veronderstellingen gehanteerd voor berekeningen elektriciteitsvraag voor koeling in utiliteitsgebouwen

	2050 Scenario 1	2050 Scenario 2	2050 Scenario 3
Aandeel utiliteit met actieve koeling	100%	100%	100%
Aandeel utiliteit met zonwering	50%	100%	0%
Reductie koudevraag door toepassing spuiventilatie &zonwering	80%	80%	80%
Aandeel passieve koeling d.m.v. WKO	25%	50%	0%
COP koelinstallatie	3	3	3
COP passieve koeling	18	18	18

Noten

- Voor de utiliteitsgebouwen is verondersteld dat alle gebouwen gebruik maken van actieve koeling en dat t.o.v. woningen meer geïnvesteerd wordt in zonwering.
- In scenario 1 is verondersteld dat 50% van gebouwen zonwering toepassen en dat 25% van de gebouwen gebruik maakt van passieve koeling m.b.v. een WKO bron en de overige 75% een airco inzet voor actieve koeling.
- In scenario 2 is verondersteld dat alle gebouwen gebruik maken van zonwering en ventilatie en 50% van de gebouwen gebruik maakt van passieve koeling m.b.v. een WKO bron en de andere 50% een airco inzet voor actieve koeling.
- In scenario 3 is verondersteld dat geen enkel gebouw zonwering heeft en iedereen de gehele latente/functionele koelvraag actief gaat koelen.
- Voor de berekeningen is verondersteld dat koeling wordt geleverd door een airco met een COP van 3 (Bron: Default waarde uit NTA 8800, tabel P.9 pagina 983) en COP voor passieve koeling van 18 (Bron: Ondergrens Default waarde uit NTA 8800, tabel P.9 pagina 983).

7.4 Resultaten

Tabel 20 toont de resulterende latente koude vraag (kWh/jaar) voor woningen en utiliteit en ter vergelijking de latente warmtevraag. De tabel laat zien dat latente koude vraag bijna verdrievoudigd richting 2050. De resultaten laten ook zien dat in 2050 de warmtevraag nog altijd een factor 7 hoger is dan de koudevraag.

Tabel 20: Resulterende latente koude vraag (mln kWh/jaar) voor woningen en utiliteit en ter vergelijking de latente warmtevraag.

	2022	2050
Latente koudevraag woningen	53,5	134
Latente warmtevraag woningen	1314	1089
Latente koudevraag utiliteiten	43	129
Latente warmtevraag utiliteiten	887	709
Totaal latente koudevraag	96,55	263
Totaal latente warmtevraag	2201	1798
Latente koudevraag/Latente warmtevraag		15%

Noten:

- De gebouwberekeningen met de NTA8800 zijn uitgevoerd met het NEN5060 klimaatjaar. Deze omvat een tijdreeks met uurwaarden van de benodigde meteorologische variabelen: temperatuur, straling, wind, vochtigheid en luchtdruk. Dit klimaatjaar is geconstrueerd met historische gegevens. Daarmee zijn alle analyses en berekeningen gebaseerd op het weer en klimaat van het verleden. Omdat het klimaat verandert is de huidige norm niet geschikt voor het maken van beleid voor de toekomst.
- Het KNMI heeft een nieuwe berekening gemaakt van de impact van haar nieuwe klimaatscenario's op de warmte en koudevraag voor de gebouwde omgeving en deze vergeleken met het klimaatjaar uit de NEN5060 (KNMI, 2024). Zij concluderen op basis van vergelijking tussen NEN5060 en de nieuwe KNMI reeksen dat gebruik van nieuwe reeksen leidt tot hogere opwarming in woningen door hogere gemiddelde temperaturen en hogere globale straling en zonneschijnduur. Dit betekent dat de berekende latente koelvraag voor koeling in onze berekeningen waarschijnlijk is onderschat. Het is echter niet mogelijk dit verder te kwantificeren.

De stijging van het elektriciteitsgebruik voor koeling minder dan 20% is onder de veronderstelling dat passieve gebouwmaatregelen (spuiventilatie en buitenzonwering) worden toegepast.

Tabel 21 toont de resultaten van de doorrekening van de verschillende scenario's voor koeling voor woningen en utiliteitsgebouwen. De berekeningen laten zien dat:

- De elektriciteitsvraag voor koeling voor woningen ten gevolge van klimaatverandering sterk toeneemt tot 2050 (Noot: Voor de utiliteit zijn geen berekeningen beschikbaar over elektriciteitsgebruik voor koeling in 2022).
- Aandeel van de elektriciteitsvraag voor koeling op jaarbasis relatief beperkt blijft, maar tijdens de zomerse dagen deze wel tot een (significante) stijging in elektriciteitsvraag kan leiden. Vooral als de airco's worden aangezet 's avonds, als er minder lokale elektriciteit uit zon wordt opgewekt, kan dit een probleem vormen.
- De stijging van het elektriciteitsgebruik voor koeling minder dan 20% is onder de veronderstelling dat passieve gebouwmaatregelen (spuiventilatie en buitenzonwering) worden toegepast.

Tabel 21: Elektriciteitsvraag voor koeling voor woningen en utiliteitsgebouwen voor verschillende scenario's en ter vergelijking elektriciteitsvraag in 2022 voor woningen en utiliteitsgebouwen

	Referentie 2022	2050 Scenario 1	2050 Scenario 2	2050 Scenario 3
	Woningen			
Elektriciteitsverbruik voor koeling (mln kWh/jaar)	1.63	8.53	6.40	44.73
Aandeel in jaarlijks verbruik 2022 (%)	0.4%	2.2%	1.6%	11.5%
Toename elektriciteitsverbruik zomerse dagen[1)] (%)		18%	13%	92%
Elektriciteitsverbruik[2)] (mln kWh/jaar)	390			
	Utiliteit			
Elektriciteitsverbruik voor koeling (mln kWh/jaar)		20.41	5.01	42.96
Aandeel in jaarlijks verbruik 2022 (%)		2.5%	0.6%	5.3%
Toename elektriciteitsverbruik zomerse dagen (%)		20%	5%	43%
Elektriciteitsverbruik (mln kWh/jaar)	806			
	TOTAAL			
Elektriciteitsverbruik voor koeling (mln kWh/jaar)		28.94	11.41	87.69
Aandeel in jaarlijks verbruik 2022 (%)		2.4%	1.0%	7.3%
Toename elektriciteitsverbruik zomerse dagen (%)		19%	8%	59%
Elektriciteitsverbruik (mln kWh/jaar)	1.196			

1) Bron: KNMI klimaatscenario's (2023) Verdeling van het jaarlijkse elektriciteitsgebruik over de verwachte 45 zomerse dagen. Dit is het gemiddelde van het aantal zomerse dagen in 2050 voor het hoge (52 dagen boven de 25 graden) en het lage scenario (39 dagen) voor de Bilt.

2) Bron: Klimaatmonitor.

7.5 Conclusies

- De koelvraag stijgt, en wordt een groter aandachtpunt in de toekomst. Zonder verdere maatregelen zal de temperatuur in woningen en gebouwen steeds vaker stijgen naar een niveaus waarop dit als oncomfortabel wordt ervaren. Door toepassing van gebouwmaatregelen en gedragsveranderingen is het echter mogelijk om de temperatuur in gebouwen significant te verlagen en daarmee te voorkomen dat actieve koeling moet worden ingezet.
- De warmtevraag blijft in 2050 de dominante energievraag in de gebouwde omgeving en is circa 7 keer zo hoog als de latente koudevraag in 2050.
- Afhankelijk van het scenario kan de elektriciteitsvraag op zomerse dagen worden beperkt (8%) of behoorlijk (16-59%) stijgen. Dit hangt niet zozeer af van de exacte koudevraag, maar vooral van hoe hier mee om wordt gegaan. Het nemen van gebouwmaatregelen en toepassing van meer passieve koeling (bodemwarmtepompen of WKO) zorgt voor een veel lagere toename in de elektriciteitsvraag dan de toepassing van airco's.

7.6 Warmteoplossingen en mogelijkheden voor koeling

Sommige warmteoplossingen bieden naast het leveren van warmte ook de mogelijkheid voor levering van koeling, terwijl andere oplossingen alleen warmte kunnen leveren en bij behoefte aan actieve koeling geïnvesteerd moet worden in een airco (zie Tabel 22).

Tabel 22: Overzichtstabel koelmogelijkheden warmteoplossingen

Warmteoplossing	Koelmogelijkheid techniek
MT stadsbreed warmtenet	Niet: aparte koelvoorziening nodig.
MT buurtwarmtenet	
Zeer Lage temperatuur (ZLT) buurtwarmtenet	Altijd: passieve koeling via topkoeling. Het koelen van de gebouwen draagt ook meteen bij aan het opslaan van warmte voor de winter waardoor minder andere warmtebronnen nodig zijn.
Luchtwarmtepomp	Vaak: actieve koeling afhankelijk van warmtepompmodel.
Bodemwarmtepomp	Altijd: passieve koeling via topkoeling. Koeling is in feite noodzakelijk om de warmteopslag (bodemlus) weer op te laden voor de winter.

Daar waar een MT-warmtenet de voorkeursoptie is, is het belangrijk om in te zetten op gedragsaanpassingen en investering in zonwering, omdat hiermee de inzet van airco's kan worden verlaagd. De eenmalige investeringen voor buitenzonwering variëren volgens kostenkentallen van RVO (2023) tussen de 2.000 euro (voor kleine hoogbouw woningen handmatige bediening) en 6.000 euro (voor grotere woningen en met automatische aandrijving). Bij een technische levensduur van 15 jaar en een maatschappelijke discontovoet van 2.5% komt dit overeen met jaarlijkse nationale kosten tussen de 160 en 480 euro. Dit betekent voor een woning waarbij een MT-warmtevoorziening de voorkeursoplossing is een gemiddelde kostenverhoging van tussen de 4% en 11%.

Een split airco met één binnenunit kost zo'n € 1800 - 3500. Een extra binnenunit kost zo'n € 1500 - € 2000. Een monoblock airco kost zo'n € 1500 – 3000 (Vereniging eigen huis, 2024). Milieucentraal heeft een inschatting gemaakt van de energiekosten voor een airco uitgaande van de huidige gemiddelde elektriciteitsprijzen voor consumenten en komt voor een Multi split-airco (2 of meer kamers) op jaarlijkse kosten van 45 euro en voor een mobiele airco op 27 euro per jaar (Milieucentraal, 2024). Bij een technische levensduur van 10 jaar en een maatschappelijke discontovoet van 2.5% kom dit overeen met jaarlijkse nationale kosten tussen de 140 en 290 euro. In de analyseresultaten zou dit met name betekenen dat de collectieve MT opties en individuele opties nog dichter bij elkaar komen te liggen. Voor de buurten waar op basis van nationale kosten een individuele optie (alternatief 4&5) het voorkeursalternatief is, wordt dit resultaat alleen verder versterkt als bij alternatief 1 & 2. Binnen de collectieve opties (1,2 & 3), komt het ZLT-net wat dichterbij de andere collectieve opties te liggen, maar het wordt niet 20% goedkoper. Het ZLT-net is van de collectieve opties namelijk de duurste optie.

BESLISBOOM

8 Beslisregels om te komen tot een voorkeursalternatief per buurt (WAT-kaart)

8.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft de beslisregels op basis waarvan een voorkeursalternatief voor een warmteoplossing per buurt wordt bepaald (de WAT kaart). De volgende criteria voor het selecteren van een warmteoplossing per buurt zijn gehanteerd; de oplossing is:

- Volledig CO_2 vrij in 2050 (duurzaamheid)
- Heeft laagste nationale kosten (betaalbaarheid)
- Ruimtelijk inpasbaar (betaalbaarheid)
- Netbewust (betrouwbaarheid)
- Heeft geen negatieve effecten op de leefomgeving (duurzaamheid)

8.2 Onderbouwing van de beslisregels

Figuur 20 geeft een overzicht van de beslisboom die wordt gehanteerd om voor iedere buurt te komen tot een voorkeursoplossing voor de toekomstige duurzame warmtevoorziening. Er zijn altijd uitzonderingen mogelijk in een buurt, bijvoorbeeld omdat het voorkeursalternatief bij een klein gedeelte van de panden (ruimte)technisch of financieel niet haalbaar is of dat er koppelkansen zijn met een andere buurt. Deze uitzonderingen worden bij het opstellen van de wijkuitvoeringsprogramma's in kaart gebracht. Voor koeling geldt ook dat dit in de wijkuitvoeringsprogramma's explicieter wordt meegenomen, dit wordt verder beschreven in de beleidsnota. Na het doorlopen van de beslisboom wordt nog gekeken of milieueffecten nog aanleiding geven tot een andere keuze voor een voorkeursalternatief. Dit kan ook een nuancering zijn binnen het voorkeursalternatief, of een beschrijving van mitigerende maatregelen. Hiervoor wordt de informatie uit het planMER voor de beleidsnota warmte gebruikt (Antea, 2025).

Toelichting op de beslisboom:

- Als eerste stap wordt gekeken of de buurt een bedrijventerrein is of niet. Voor bedrijventerreinen is de voorkeursoplossing een collectieve of individuele-LT oplossing. Uit onderzoek door CE delft in het kader van de TVW deel 1 kwam geen robuuste voorkeursoplossing naar voren voor bedrijventerreinen op basis van laagste maatschappelijke kosten (CE, 2021). Echter, elektrificatie ofwel via individuele bron (bijvoorbeeld een warmtepomp) of collectieve bron (bijvoorbeeld een collectieve WKO) is het meest kansrijk/logisch, o.a. omdat 1) de verwachte warmtevraag op bedrijventerreinen vooral uit laag- en middentemperatuur bestaat en 2) meer behoefte is aan koeling dan bij woningen wat inzet van WKO aantrekkelijk maakt en 3) de lage dichtheid van gebouwen op een bedrijventerrein waardoor MT/HT warmtenetten in verhouding duur zijn om aan te leggen.
- Vervolgens wordt gekeken hoeveel panden in een buurt nog aardgasvrij gemaakt moeten worden. Als minder dan 100 panden nog aardgas gebruiken voor warm tapwater en ruimteverwarming is de veronderstelling dat deze panden meegaan in de dominante warmteoplossing voor een buurt (veelal een warmtenet en voor een beperkt aantal buurten all-electric). In buurten met minder dan 100 panden is het voorkeursalternatief een individuele oplossingen omdat de veronderstelling is dat voor minder dan 100 panden geen collectieve oplossingen gerealiseerd kan worden.
- Vervolgens wordt gekeken of in de buurten al panden zijn aangesloten op een bestaand warmtenet. Analyses met het Vesta MAIS model tonen aan dat voor alle panden die binnen 12 meter liggen van dit bestaande warmtenet aansluiting op dit net de optie is met significant lagere nationale kosten (> 20% goedkoper dan tweede alternatief) en aansluiting op het bestaande MT Warmtenet is daarmee

de voorkeursoplossing. Dit betreft panden waarbij de warmteleiding al in de straat ligt. Daaraan worden toegevoegd de panden die volledig worden ingesloten door een bestaande warmtenet en waarbij het aantal panden in dit gebiedje te klein is (<200-300 panden) om een andere collectieve oplossing te realiseren. Deze gebiedjes zijn bepaald op basis van een geografische analyse (zie 2.5.3). Het voorkeursalternatief voor deze panden wordt dan ook aansluiting op het bestaande MT Warmtenet, omdat een andere collectieve oplossing niet realiseerbaar is omdat er al warmte-infrastructuur ligt.. Pandeigenaren hebben altijd de mogelijkheid te kiezen voor een individuele oplossing, en voor sommige woningen kan een individuele oplossing ook de betere keuze zijn.

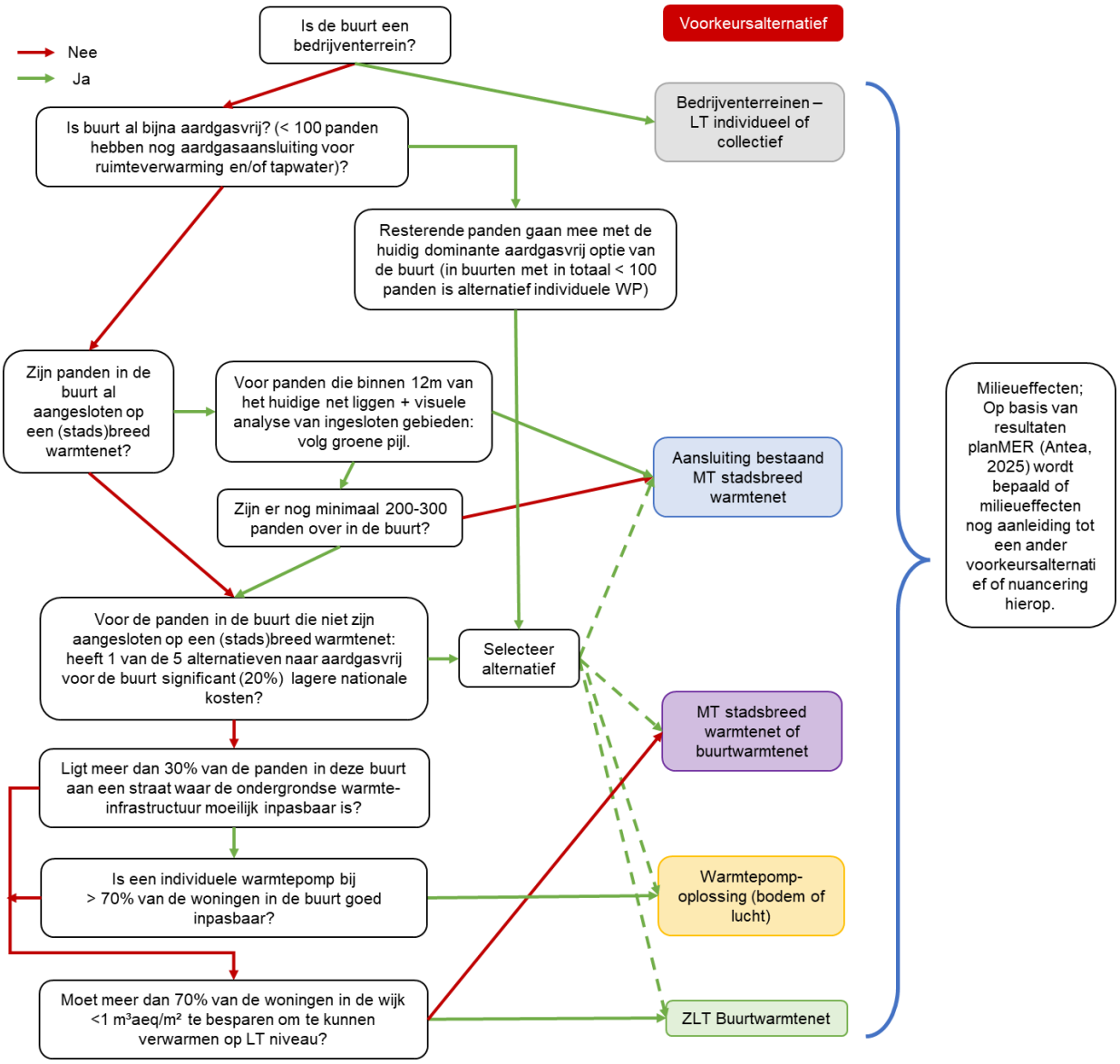
Als na deze stappen voor de buurt nog geen voorkeursvariant is vastgesteld (alle buurten zonder warmtenet en buurten waar na stap 2 nog 200-300 panden gebruik maken van aardgas) wordt gekeken of op basis van de technisch economische analyses met het Vesta MAIS model 1 van de 5 doorgerekende warmteoplossingen significant lagere nationale kosten heeft (> 20% goedkoper dan tweede alternatief). Zo ja, dan wordt dit het voorkeursalternatief voor deze buurt.

Als op basis van technisch economische analyses geen voorkeursalternatief naar voren komt wordt vervolgens gekeken naar de mogelijkheden/kansen voor ruimtelijke inpassing van warmteoplossingen en het isolatieniveau van gebouwen. Daarbij ligt de nadruk op collectieve warmteoplossingen, omdat collectieve oplossingen het beste aansluiten op de ambitie voor een integraal energiesysteem. Bij collectieve oplossingen is er minder gedoe voor mensen achter de voordeur, zijn er meer mogelijkheden om kosten te (her)verdelen, kunnen vraag- en aanbod slimmer gekoppeld worden en is de druk op het elektriciteitsnet minder groot. Deze keuze wordt verder toegelicht in de beleidsnota Warmte.

- Eerst wordt de inpassing van warmte-infrastructuur in de ondergrond beoordeeld. Als inpassing van warmte-infrastructuur “moeilijk” is, dat wil zeggen een warmtenet is moeilijk in te passen bij >30% van de gebouwen in een buurt, dan is na deze stap een individuele oplossing het voorkeursalternatief. Als inpassing van een warmtenet wel haalbaar is (“makkelijk” of “kostenverhogend”) voor >70% van de panden in de buurt, dan wordt de voorkeursoplossing een collectief warmtenet. Bij de laatste afweging wordt op basis van het isolatieniveau van een gebouwen nog bepaald of het voorkeursalternatief een collectief MT of ZLT wordt.
- Vervolgens wordt gekeken naar de mogelijkheden/kansen voor inpassing van warmteoplossingen binnen de woning. Hier wordt alleen naar woningen gekeken omdat de veronderstelling is dat inpassing in bedrijfsgebouwen een minder groot probleem zal zijn. De kans op inpassing van verschillende warmteoplossingen is gebaseerd op onderzoek van het Energiepaleis (Energiepaleis 2024b). Hierbij is de regel gehanteerd dat wanneer bij een ruime meerderheid (>70%) van de woningen een individuele warmteoplossing goed inpasbaar is, de voorkeursoplossing voor deze buurt een individuele warmtepomp wordt. Als de inpasbaarheid van warmtepompen moeilijk is (bij >30% van de woningen), dan wordt het voorkeursalternatief een collectief warmtenet. In de laatste afweging wordt dan vervolgens nog bepaald of het voorkeursalternatief een collectief MT of ZLT wordt.
- Als in een buurt wel voldoende ruimte is in de woningen voor toepassing van een individuele warmteoplossing en niet voldoende ruimte in de ondergrond, is de voorkeursoplossing een individuele warmtepomp. Het heeft vanuit netbewustheid de voorkeur om bodemwarmtepompen toe te passen. Omdat bodemwarmtepompen efficiënter zijn en een minder grote piek veroorzaken in het elektriciteitsverbruik. Maar, uiteindelijk streven we in deze buurten naar een mix van lucht en bodemwarmtepompen, eventueel kan dit nog deels collectief (mini-warmtenetten).
- Voor buurten waar een collectieve warmteoplossing het voorkeursalternatief is, wordt in de laatste stap gekeken of er buurten zijn waar een duidelijke keuze voor een ZLT net kan worden gemaakt boven een MT net. Om te kunnen koelen moet het afgiftesysteem in de woning geschikt zijn (vloerverwarming), dit gaat vaak samen met woningisolatie. Als indicator voor de geschiktheid van een buurt voor ZLT wordt de huidige mate van isolatie van de woningen in een buurt gebruikt. Als bij een ruime meerderheid (>70%) van de woningen nog maar maximaal 1 m^3aeq/m^2 bespaard hoeft te worden om te kunnen verwarmen op LT niveau dan is de voorkeursoplossing een ZLT buurtwarmtenet. Anders wordt de voorkeursoplossing voor de buurt aansluiting op MT-stadsbreed warmtenet of een MT

buurtwarmtenet, en wordt voor buurten met een hoog risico op hittestress in een latere fase (wijkuitvoeringsprogramma) nader invulling geven aan de koelbehoefte.

- Tenslotte wordt op basis van de resultaten van de planMER (Antea, 2025) voor de beleidsnota Warmte gekeken of er milieueffecten zijn die voor een buurt aanleiding geven om het voorlopig voorkeursalternatief aan te passen. Dit gaat dan bijvoorbeeld om bodem en ondergrond, drinkwater, natuur (inclusief waterkwaliteit), hittestress en ruimtelijke kwaliteit.



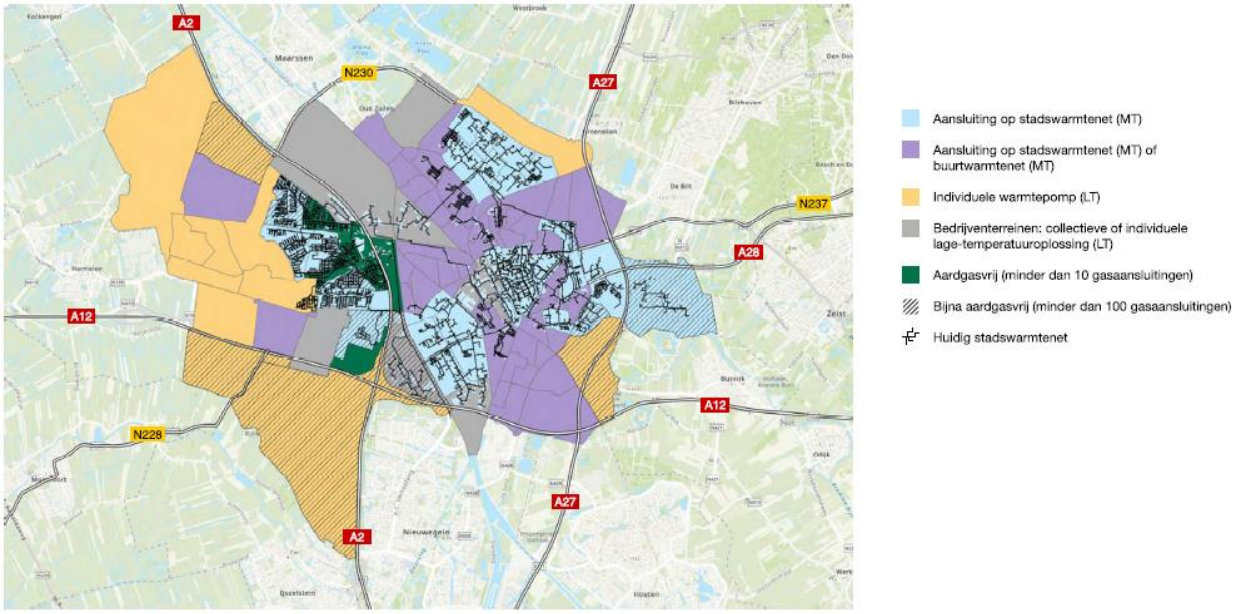
Figuur 20: Beslisboom om voor iedere buurt tot een voorkeursalternatief voor de toekomstige warmteoplossing te komen.

8.3 Resulterend voorkeursalternatief per buurt (WAT-kaart) en beschouwing

Bij het toepassen van de beslisboom op alle buurten resultaat in een kaart met een voorkeursalternatief per buurt (WAT-kaart), zoals getoond in Figuur 21, waarbij geldt:

- Blauw: Aansluiting op een stadswarmtenet (MT).
- Paars: Aansluiting op een stadswarmtenet (MT) of een buurtwarmtenet (MT).
- Geel: Individuele warmtepomp (LT).

- Grijs: Bedrijventerreinen: individuele warmtepomp (eventueel met WKO) of een collectieve warmteoplossing met een gezamenlijke WKO.
- Groen: Buurten die zo goed als aardgasvrij zijn.



Figuur 21 Voorkeursalternatief voor de warmteoplossing per buurt (WAT-kaart) bij toepassen beslisboom.

8.3.1 Vergelijking met vorige versie WAT-kaart

In de resulterende WAT-kaart hebben alle buurten een voorkeursoplossing. In de Transitievisie Warmte deel 1 en deel 2 uit 2021 was de oplossing voor veel buurten nog onzeker. Verder is in deze WAT-kaart ook een categorie toegevoegd voor buurten die al aardgasvrij zijn en hebben enkele buurten nu een andere voorkeursoplossing. Dit geldt voor de buurten Vleuterweide-Noord/-Oost/-Centrum, Vleuterweide-West, Vleuterweide-Zuid, Veldhuizen en de Meern-Noord. Voor Vleuterweide-West, Vleuterweide-Zuid, Veldhuizen en de Meern-Noord. Deze buurten hadden eerst een collectief warmtenet als oplossing, en komen nu op basis van berekening van de nationale kosten uit op een individuele oplossing. Dit komt door de aanpassingen in het Vesta MAIS model zoals die beschreven zijn in 3.4. Voor Vleuterweide-Noord/-Oost/-Centrum is het voorkeursalternatief nu een individuele warmtepomp (geel) op basis van het criterium inpasbaarheid van warmtepompen (goed) versus warmtenet (moeilijk).

8.3.2 Gevoeligheidsanalyses

Op de drempelwaarden uit de beslisboom (Figuur 20) zijn gevoeligheidsanalyses uitgevoerd om te onderzoeken hoe gevoelig voorkeursalternatieven in de WAT-kaart zijn voor veranderingen in deze drempelwaarden:

- De basis veronderstelling is dat het aantal panden in een buurt dat nog minimaal over moet stappen van aardgas op een duurzaam warmtealternatief om een nieuwe collectieve warmteoplossing te kunnen realiseren ligt tussen de 200-300. Dit aantal is gevarieerd tussen de 100-400 panden. Het verlagen van het minimum aantal heeft geen effect, dus tussen de 100-300 panden levert dit geen andere resultaten op voor het voorkeursalternatief voor een buurt. Het verhogen naar een minimum aantal van 400 panden zorgt ervoor dat de Staatsliedenbuurt van paars naar blauw zou switchen. Dit betekent dat op basis van de berekening van de nationale kosten panden in deze buurt panden die nu nog op aardgas zitten op het al bestaande warmtenet worden aangesloten. Het voorkeursalternatief in deze buurt blijft dus een collectieve warmteoplossing.
- De basis veronderstelling is dat wanneer in een buurt de nationale kosten voor een warmteoplossing 20% lager ligt dan de warmteoplossing die daarna komt dit het voorkeursalternatief voor een buurt wordt. Bij verhoging van dit percentage naar 30%, is er geen effect op het voorkeursalternatief per

buurt, wat de huidige uitkomsten nog wat significanter maakt. Pas vanaf een percentage van 40% komt in Vleuterweide-Zuid, Veldhuizen en de Meern-Noord een collectieve warmteoplossing op MT niveau (paars) ook als mogelijk alternatief naar boven, en blijft Vleuterweide-Zuid op basis van inpasbaarheid op individueel (geel). Voor de buurten in het buitengebied (bijv. Poldergebied Overvecht, Haarrijn, Maarschalkerweerd en Mereveld), zou dit percentage tot 50% moeten stijgen voordat ook hier collectieve opties in beeld komen.

- Voor de inpasbaarheid van het warmtenet is het criterium gehanteerd dat het warmtenet bij minimaal 30% van de woningen moeilijk inpasbaar moet zijn om een individuele optie te overwegen. Dit percentage is gevarieerd tussen de 20-40%. Als voor inpasbaarheid 20% in plaats van 30% wordt gehanteerd dan wordt de voorkeursoplossing voor de buurt Tuindorp/ Van Lieflandlaan-West individueel (geel) in plaats van collectief MT (paars). Andersom, als bij minimaal 40% van de woningen een warmtenet in de straat moeilijk inpasbaar is, dan zou Vleuterweide-Noord/-Oost/-Centrum van individueel (geel) naar paars (MT collectief) switchen.
- De drempelwaarde voor inpasbaarheid van warmtepompen is standaard ingesteld op 70%. Dit wil zeggen dat als het percentage in een buurt lager ligt de inpasbaarheid als moeilijk wordt gezien omdat meer dan 30% van de bewoners hun huis verregaand moet aanpassen. Deze 70% is gevarieerd tussen 60-80%. Bij 60% zou de buurt Tolsteegsingel op een individuele oplossing uitkomen (geel) in plaats van een collectieve MT oplossing (paars). Bij 80% zou de buurt Vleuterweide-Noord/-Oost/-Centrum juist van geel (individueel) naar paars (collectief) veranderen.
- De inpasbaarheidsdrempelwaardes zijn ook samenhang bekeken. Bij het gelijktijdig aanpassen van de waarden veranderen meer buurten van voorkeursalternatief. Als de inpasbaarheid van de warmtepomp naar 60% gaat en de moeilijke inpasbaarheid van het warmtenet naar maximaal 20% moeilijk gaat het voorkeursalternatief voor Tuindorp/ Van Lieflandlaan-West, Tolsteegsingel, Oud Hoograven-Noord, Vleuten en De Meern-Zuid van paars (collectief) naar geel (individueel). Andersom, als de inpasbaarheid zwaarder wordt gewogen (moeilijke inpasbaarheid warmtenet naar 40%, warmtepomp naar 80%) dan gaat opnieuw de buurt Vleuterweide-Noord/-Oost/-Centrum van geel (individueel) naar paars (collectief).
- Ten slotte is het standaard percentage van 70% van de woningen wat nog beperkt energie hoeft te besparen om op LT niveau te komen (gegeven in een aardgasbesparing van < 1m^3/m^2) op 50% gezet. Dit heeft geen effect op de uitkomst van de analyse. Buurten met een relatief lage besparingsopgave zijn in eerdere stappen al op individueel uitgekomen, of zijn al (bijna) aardgasvrij zoals in Leidsche Rijn. Een verhoging van het percentage boven de 70% heeft geen effect omdat geen enkele buurt op ZLT uitkomt bij het doorlopen van de beslisboom.

Over het algemeen zijn de gekozen drempelwaarden relatief robuust, en veranderen bij een gevoeligheidsanalyse slechts enkele buurten van voorkeursalternatief. Voor deze buurten is het wel relevant om in het wijkuitvoeringsplan extra aandacht te geven aan mogelijke uitzonderingen op het voorkeursalternatief.

BIJLAGE 1: VERGELIJKING MET STARTANALYSE 2025

Na het gereedkomen van de data-analyses voor de Beleidsnota Warmte en het Warmteprogramma is door PBL een actualisatie van de Startanalyse gepubliceerd (PBL, februari 2025). Door gevoeligheidsanalyses uit te voeren met de versie van Vesta MAIS die gebruikt is voor onze data analyses zijn de grootste wijzigingen (zoals andere kosten voor warmtepompen) al meegenomen. Per buurt is een check uitgevoerd waarbij de onze uitkomsten per buurt zijn vergeleken met de uitkomsten de nieuwe startanalyse. Hieruit volgen een aantal observaties:

- De nieuwe nationale kosten kaart voor Utrecht uit de Startanalyse laat zien dat de meeste buurten op basis van nationale kosten niet onderscheidend zijn (<20% verschil in nationale kosten tussen het goedkoopste en daaropvolgende alternatief). Deze conclusie komt overeen met de analyses in dit datarapport. Wij hebben daarom andere factoren, zoals ruimtebeslag in de woning of netbewustheid mee laten wegen in de keuze voor een voorkeursalternatief (zie beslisboom in HS8).
- Enkele buurten (4) komen in de Startanalyse op een collectieve oplossing, dit volgt ook uit de analyses in dit datarapport.
- Enkele buurten komen in de Startanalyse op een hybride warmtepomp met groen gas/waterstof. Deze strategie hebben wij niet meegenomen in onze analyses. Deze buurten liggen in de Startanalyse zo verspreid door de stad dat het niet logisch zou zijn om alleen naar deze buurten in de toekomst nog gas te transporteren omdat daarvoor in vrijwel de hele stad het gasnetwerk zou moeten blijven liggen. Als duurzaam gas uit de vergelijking wordt gehaald, liggen in de Startanalyse ook in deze buurten de oplossingen dichtbij elkaar (<20% verschil in nationale kosten) of is de keuze voor een collectief warmtenet (S2 variant in de termen van PBL) de goedkoopste oplossing. Dit komt overeen met onze analyses.
- Veel bedrijventerreinen komen in de Startanalyse uit op een variant van een LT oplossing (S3 variant in de termen van PBL), dat komt ook overeen met onze analyses en keuzes.
- De buurten waar in onze analyse een all-electric oplossing naar voren komt, zijn in de geactualiseerde startanalyse niet onderscheidend in kosten. In deze buurten zitten echter de kosten voor all-electric (S1 variant in termen van PBL) en een ZLT-net (S3 in de termen van PBL) dicht bij elkaar, maar valt een MT warmtenet op basis van kosten nog steeds af (>20% duurder). Verder geldt dat de in de S3 varianten een groot percentage van de panden (70-95%) alsnog een individuele elektrische warmtepomp heeft. De uitkomsten ondersteunen ook hier het voorkeursalternatief op basis van onze analyses voor deze buurten: een individuele oplossing waarbij de mogelijkheid voor kleine collectieve oplossingen (gedeelde bodemlus of klein ZLT-net) nog kan worden bekeken.

BIJLAGE 2: UITGEVOERDE ONDERZOEKEN

- BIJLAGE A: Het Energiepaleis (2024a) Energiedata Utrecht
- BIJLAGE B: KWR (2024) Bodemenergie voor warmtelevering in de Gemeente Utrecht: De huidige en toekomstige potentie in kaart
- BIJLAGE C: Het Energiepaleis (2024b) Ruimtelijke inpasbaarheid warmtevoorziening in gebouwen (december 2024)