

Transitievisie Warmte Enschede

Bijlagen

Colofon

Datum: juni 2021

De bijlagen in de transitievisie warmte zijn opgesteld door adviesbureau Over Morgen: Ingrid Giebels, Ian Minnes, Thijs Brandenburg, Thomas Engels, Peter-Paul Smoor.

In opdracht van de gemeente Enschede.

Met medewerking van de werkgroep van betrokken partijen: gemeente Enschede, Enexis, Enschede Energie, Ennatuurlijk, Ons Huis, Domijn, De Woonplaats, SJHT, Vechtdal Wonen.

Inhoudsopgave

Colofon	2
Inhoudsopgave.....	3
Bijlage A: Wie hebben er meegedacht?	4
Bijlage B: Uitkomsten participatieronde	6
B1 Resultaten online enquête	6
B2 Uitkomsten bewonersavonden	9
Bijlage C: Warmteopties, bronnen en duurzaamheid	11
C1 Beperken van de warmtevraag	11
C2 Warmteopties	17
C3 Energiedragers en -bronnen	28
C4 Hitte en Koude	53
C5 Duurzaamheid van de warmteopties	60
C6 Conclusie warmteopties, bronnen en duurzaamheid	67
Bijlage D: Modelanalyses	69
D1 Methodologische verdieping Warmtetransitiemodel	69
D2 Vergelijkende modelanalyse warmte-infrastructuren	78
D3 Resultaat onderzoeksbeeld	83
Bijlage E: Kosten voor de inwoner	87
E1 Investeringskosten woning voor isolatie, ventilatie, binneninstallatie en elektrisch koken	88
E 2 Investeringskosten warmteopties per woningtype	90
Bijlage F: Onderbouwing warmteoptie op wijkniveau	92
Bijlage G: Aanvullende analyses voor fasering warmtenetwijken	98
Bijlage H: Wat vraagt de warmtetransitie van de gemeentelijke organisatie? ..	102
Bijlage I: Begrippenlijst.....	104

Bijlage A: Wie hebben er meegedacht?

De Transitievisie Warmte Enschede is opgesteld door bureau Over Morgen, in opdracht van gemeente Enschede.

Werkgroep Transitievisie Warmte

De transitievisie warmte is opgesteld in samenspraak met de Werkgroep Transitievisie warmte. Dit is een groep van partijen die een actieve rol hebben in de warmtetransitie in de gemeente Enschede. Deze werkgroep bestaat uit vertegenwoordigers van:

- Gemeente Enschede
- Woningcorporatie Domijn
- Woningcorporatie De Woonplaats
- Woningcorporatie Ons Huis
- Woningcorporatie SJHT
- Woningcorporatie Vechtdal Wonen
- Energiecoöperatie Enschede Energie
- Netbeheerder Enexis
- Warmtebedrijf Ennatuurlijk

Bewoners

Bewoners zijn betrokken en hebben inbreng kunnen leveren via enerzijds een enquête die gemeentebreed in augustus – september 2020 is uitgezet. Zie ook bijlage B. Deze enquête is door 1.314 (representatieve steekproef) mensen ingevuld. Deze input is uitdrukkelijk gebruikt voor o.a. het opstellen van een notitie van uitgangspunten. Deze heeft een plek gekregen in hoofdstuk 2 en hoofdstuk 7 van deze transitievisie warmte.

Anderzijds zijn er twee bewonersavonden geweest (in oktober 2020 en in mei 2021). Op deze avonden zijn geïnteresseerden meegenomen in het proces van totstandkoming van de visie, in de uitkomsten van alle analyses en wat dat betekent. Ook zijn er zorgpunten opgehaald die meegenomen worden in de visie en het proces dat daarop volgt.

Klankbordgroep Transitievisie Warmte

Daarnaast heeft een groep van vertegenwoordigers van de wijk- en dorpsraden van Enschede en MKB Twente driemaal gereflecteerd op het proces en de inhoud van de transitievisie warmte. Deze reflectie heeft geleid tot aanscherping van de visie. De deelnemende wijk- en dorpsraden zijn:

- Wijkraad Lasonder Zeggelt Boddenkamp
- Wijkraad Horstlanden Veldkamp
- Dorpsraad Glanerbrug
- Dorpsraad Lonneker
- Dorpsraad Boekelo
- MKB Twente

Bestuurders

Bestuurders vanuit de gemeente en woningcorporaties zijn diverse malen betrokken via aparte interviewrondes en via presentaties, waarin tussenresultaten zijn gepresenteerd. Ook is er een stuurgroep ingericht waarin de woningcorporaties en gemeente op bestuurlijk niveau werken aan de warmtetransitie.

Afdelingen binnen de gemeente

Daarnaast hebben verschillende afdelingen van de gemeente Enschede meegewerkt aan onderdelen van de visie:

- Strategie en Beleid Fysiek
- Stadsdeelbeheer
- Stadsdeelmanagement
- Gebieds- en projectontwikkeling
- Communicatie
- Opdrachtgevers ontwikkeling
- Omgeving en recht

Bijlage B: Uitkomsten participatieronde

B1 Resultaten online enquête

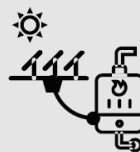
Inwoners uit de gemeente Enschede hebben in de periode augustus - september 2020 hun kijk op de warmtetransitie kunnen geven door middel van een enquête. Deze enquête is door 1.314 mensen ingevuld en geeft daarmee inzicht in de voorkeuren van bewoners ten aanzien van de overstap naar aardgasvrij wonen. Met de enquête hebben we inwoners gevraagd naar hun zorgen, ideeën en input over de warmtetransitie in Enschede. De resultaten van de enquête hebben we verwerkt in onder andere de leidende principes voor de transitie naar een aardgasvrij Enschede in hoofdstuk 2.

Uit de enquête blijkt dat het thema warmtetransitie bij de meeste respondenten leeft. Het grootste aandeel van de respondenten gaf aan zelf een woning te bezitten. Zo wil bijna zestig procent van de respondenten zelf bepalen hoe en wanneer zij de overstap naar aardgasvrij maken. Een derde van de mensen ziet het nut niet in van aardgasvrij wonen. Respondenten geven aan vooral op de kosten te letten, zelf het aardgasvrije alternatief te willen kiezen en graag een duurzame oplossing te willen. Mensen vinden het logisch om te beginnen op plekken waar toch al werkzaamheden gepland staan, waar de overstap betaalbaar is en waar initiatief van bewoners is. Respondenten zijn divers in hun wensen om betrokken te worden door de gemeente, dat verschilt van betrokken vanaf het begin, tot meedenken over een plan voor de buurt, tot betrokken worden wanneer er een concreet plan voor de buurt ligt. Duidelijk is dat er veel verschillen zijn in hoe inwoners van de gemeente Enschede naar de warmtetransitie kijken.



Transitievisie warmte Enschede 2020

De mening van Enschedeërs



1.314

Inwoners hebben meegepraat



987

via het Enschedepanel & via sociale media

327

76%



Koopwoning

4%



Woning is onderdeel
van een VvE

19%



Huurwoning

Mening over aardgasvrij wonen

percentage (helemaal) eens

Ziet het nut niet van aardgasvrij wonen



33%

Bepaald zelf hoe en wanneer
hij/zij woning aardgasvrij wordt



57%

Wacht tot de gemeenten
hem/haar een aardgasvrij
voorstel doet



49%



Alternatieven voor aardgas

percentage (helemaal) eens

warmtenet

36%

warmtepomp

28%

bodemwarmte

35%

aardgasvrij biedt kansen

27%



Op deze drie plekken mag worden begonnen met het aardgasvrij maken van Enschede:



29%

waar toch al werkzaamheden gepland staan



24%

waar al een oplossing beschikbaar is



19%

waar de transitie het meest betaalbaar is

Er waren meerdere antwoorden mogelijk. Daardoor kan het opgetelde percentage boven 100% uitkomen.



47% Wil betrokken worden bij aardgasvrij wonen

Wanneer wilt u betrokken worden?

Vanaf het allereerste begin, ook als mijn buurt voorlopig niet aardgasvrij wordt

36%

Ik wil meedenken over het plan voor mijn buurt

40%

Als er een concreet plan gemaakt is voor mijn buurt

21%

0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50



68% Wil informatie over wonen zonder aardgas

De vier belangrijkste manieren om informatie te krijgen zijn:



38%

nieuwsbrief via email



21%

brief



14%

bewonersavond



12%

website gemeente

Er waren meerdere antwoorden mogelijk. Daardoor kan het opgetelde percentage boven 100% uitkomen.

Verantwoording

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van de gemeenten Enschede. Het veldwerk heeft plaatsgevonden tussen 31 augustus en 17 september 2020. Het onderzoek is uitgevoerd met een webenquête onder leden van het EnschedePanel en via de sociale mediakanalen van de gemeente Enschede. Deelnemers via deze kanalen zijn geschoond op niet-Enschedeërs.

Van de leden van het EnschedePanel heeft 29% de vragenlijst ingevuld. De response is gewogen naar wijk en leeftijd. Op deze wijze is een representatief beeld verkregen van de mening van de inwoners van Enschede.



B2 Uitkomsten bewonersavonden

Naast de enquête zijn er ook twee bewonersavonden geweest, waarin bewoners zijn geïnformeerd en betrokken bij de visie voor een aardgasvrij Enschede. Via twee interactieve digitale bijeenkomsten zijn bewoners onder andere gevraagd aan welke informatie men behoefte heeft als het gaat over de verandering naar een aardgasvrij Enschede.

Op 1 oktober 2020 heeft de eerste bewonersavond plaatsgevonden, waarin we hebben uitgelegd wat er in de transitievisie komt te staan, waarom deze wordt opgesteld, hoe het proces van totstandkoming eruitziet en wie we daar allemaal bij betrekken. Op 27 mei heeft een tweede bewonersavond plaatsgevonden waarin we de uitkomsten van de analyses hebben gepresenteerd en feedback hebben opgehaald. Ook zijn er zorgpunten opgehaald die meegenomen worden in de visie en het proces dat daarop volgt.

Daarnaast is er op de gemeentelijke website aandacht voor de warmtetransitie en de transitievisie warmte¹ en hebben we twee filmpjes² gemaakt waarin we uitleggen wat een transitievisie warmte inhoudt en waarin we de uitkomsten presenteren. Op social media is hier aandacht aan gegeven.

Bovendien wordt de transitievisie van 16 augustus t/m 26 september ter inzage gelegd, zodat bewoners en ondernemers hun zienswijzen hierop kunnen inbrengen.

Tussentijds hebben we ook driemaal met een klankbordgroep gesproken en hun input in deze visie verwerkt. Deze klankbordgroep voor de transitievisie warmte wordt gevormd door vertegenwoordigers vanuit de wijk- en dorpsraden in Enschede samen met MKB Twente (zie ook bijlage A).

¹ Zie: <https://www.enschede.nl/aardgasvrij>

² Zie: <https://www.youtube.com/watch?v=UVroxuua5gI> en <https://www.youtube.com/watch?v=-oE05-bZzKY>

Bijlage C: Warmteopties, bronnen en duurzaamheid

Deze bijlage behandelt de technische achtergrond bij warmtevraagbeperking, warmteopties en duurzaamheid van warmteopties.

C1 Beperken van de warmtevraag

Bij een groot deel van de woningvoorraad, die gebouwd is voor de jaren '90, is het nodig om de warmtevraag van gebouwen en woningen te beperken. Enerzijds om woningen geschikt te maken voor duurzamere warmte-opwekinstallaties, die doorgaans een lagere temperatuur leveren dan gasketels, en anderzijds om schaarse bronnen efficiënter te benutten (meer woningen per bron).

De warmtevraag voor ruimteverwarming van een woning, hierna uitgedrukt in kilowattuur per vierkante meter gebruiksoppervlak (kWh/m²), wordt bepaald door de mate van isolatie, kierdichting en het ventilatiesysteem. De temperatuur die een woning nodig heeft om op de koudste dag van het jaar comfortabel warm te krijgen hangt hier voor een groot deel mee samen. Hoe beter de isolatie, kierdichting en hoe efficiënter het ventilatiesysteem, hoe geschikter de woning is om met een lagere temperatuur te kunnen verwarmen. In bestaande woningen moeten daarnaast vaak radiatoren worden vervangen of toegevoegd om verwarming op een lagere temperatuur mogelijk te maken. Of dat nodig is kan niet op voorhand per woning(type) worden vastgesteld.

De warmtevraag voor ruimteverwarming is sterk afhankelijk van het bouwjaar. In figuur C.1 staat de gemiddelde warmtevraag voor eengezinswoningen en meergezinswoningen. Deze figuur is gebaseerd op data over het werkelijke gasgebruik op postcodeniveau (Open Data Netbeheerders). Voor warmtapwater is de warmtevraag circa 20 kWh/m². Met name bij de woningvoorraad gebouwd voor 1990 is er nog een grote besparingspotentie voor de warmtevraag.

Onder eengezinswoningen wordt verstaan rijwoningen, twee-onder-een-kapwoningen en vrijstaande woningen. Meergezinswoningen zijn bijvoorbeeld galerijflats, portiekflats en portiekwoningen.

Figuur C.1: Gemiddelde warmtevraag ruimteverwarming van woningen in Nederland gerelateerd aan bouwjaar.

	Gemiddeld oppervlak m ²	Gemiddeld gasverbruik m ³	Gemiddelde warmtevraag ruimteverwarming kWh/m ²
Eengezinswoningen			
< 1920	170	2200	95
≥ 1920 - 1950	135	2100	110
≥ 1950 - 1975	125	1800	100
≥ 1975 - 1990	130	1500	85
≥ 1990 - 2005	145	1400	65
≥ 2005	155	1200	50
Nieuwbouw	120	-	35
Meergezinswoningen			
< 1920	85	1250	95
≥ 1920 - 1950	80	1200	95
≥ 1950 - 1975	75	1100	95
≥ 1975 - 1990	70	850	70
≥ 1990 - 2005	90	800	50
≥ 2005	90	700	40
Nieuwbouw	70	-	25
Nederlands gemiddelde	119	1310	84

C 1.1 Een Standaard voor maximale warmtevraag voor ruimteverwarming

In het Klimaatakkoord is een afspraak gemaakt om een Standaard te ontwikkelen. Deze Standaard is een maximale warmtevraag voor ruimteverwarming van een woning (kWh/m²) bij een gemiddeld gebruik. Het is wenselijk dat een groot deel van de woningen in Nederland aan het einde van de warmtetransitie aan deze Standaard voldoet. Het handelingsperspectief is voor alle woningeigenaren dus gelijk, onafhankelijk van de warmteoptie die komt in een bepaalde wijk. Het idee van de Standaard is dat alle woningen energie gaan besparen en dat ze flexibel verwarmd kunnen worden met meerdere warmteopties. Afhankelijk van de temperatuur, die de warmteoptie kan leveren, zullen dan wel aanvullend de

radiatoren vervangen moeten worden. Woningen, die gebouwd zijn na 1995 voldoen grotendeels al aan de Standaard. De grootste opgave ligt dus bij woningen gebouwd voor 1995.

De Standaard kijkt alleen naar de warmtevraag voor ruimteverwarming. Dit in tegenstelling tot een energielabel of de Energie Index. Deze labels kijken naar de energieprestatie van de woning als geheel. Dus inclusief warm tapwater, koeling, de efficiëntie van de opwek van warmte en koude en de opwek van zonnepanelen. Met de nieuwe rekenmethodiek NTA 8800 kan zowel de Energie-Index als de warmtevraag voor ruimteverwarming berekend worden.

Warmtevraag uitgedrukt in kilowattuur per vierkante meter woonoppervlak (kWh/m²)

Het kilowattuur (symbool kWh) is een hoeveelheid energie. De meeste mensen associëren kWh met elektriciteit. Als men een lamp met een vermogen van 1 kW één uur laat werken heeft zij een energie van 1 kWh stroom gebruikt. De afspraak is om Europees zoveel als mogelijk alle vormen van energie uit te drukken in kWh, zodat verschillende soorten energie beter met elkaar vergelijkbaar worden. Zo ook de warmtevraag voor ruimteverwarming. Door deze uit te drukken in kWh per vierkante meter woonoppervlak (kWh/m²) kan de warmtevraag van verschillende woningtypes en woninggroottes goed met elkaar vergeleken worden, los van of deze verwarmd worden met een gasketel, middels een warmtenet of met een warmtepomp. De gemiddelde warmtevraag voor ruimteverwarming van een woning in Nederland is ongeveer 85 kWh/m². Let op, dit is gebaseerd op basis van het werkelijke gasgebruik. De Standaard zal worden bepaald op basis van een theoretisch berekende warmtevraag (NTA 8800). Bij niet geïsoleerde woningen kan de gemiddelde warmtevraag oplopen tot boven de 130 kWh/m². Bij zeer goed geïsoleerde nieuwbouw kan het gemiddelde naar onder de 30 kWh/m². Voor warmtapwater is de warmtevraag ongeveer 20 kWh/m².

Het is lastig om te bepalen wat er exact moet gebeuren aan een woning gebouwd voor 1995 om aan de Standaard te kunnen voldoen. De totale warmtevraag bij gemiddeld gebruik wordt namelijk bepaald door de oriëntatie van de woning, de verhouding tussen het oppervlak van de schil van de woning ten opzichte van het verwarmde vloeroppervlak, het ventilatiesysteem en het isolatieniveau van de verschillende bouwdelen: vloer, gevel, raam en dak.

C 1.2 Woningen stapsgewijs isoleren

Het totale isolatieniveau is de optelsom van de verschillende bouwdelen: vloer,

gevel, raam, dak. Het minimumniveau en basisniveau zijn gebruikt om modelmatig het onderscheid te maken in welke ingrepen per woningtype en bouwjaar op bouwdeelniveau nog minimaal nodig zijn om klaar te zijn voor een bepaalde warmteoptie. Op het moment dat een gebouweigenaar besluit een bouwdeel (vloer, gevel, raam, dak) te isoleren is het van belang dat dit onderdeel zo goed mogelijk geïsoleerd wordt. Daarom is in het Klimaatakkoord afgesproken dat er Streefwaardes worden bepaald. Per bouwdeel wordt een advies gegeven welk isolatieniveau wenselijk is, als er wordt ingegrepen. Algemeen is het advies om op het moment van ingreep zo goed mogelijk te isoleren, afhankelijk van wat de praktijksituatie toelaat (no regret). Daarmee wordt voorkomen dat bijvoorbeeld dak, vloer of gevelisolatie in twee stappen wordt gerealiseerd om aan de Standaard te voldoen. Dat is kosteninefficiënt.

Het is dus wenselijk dat een groot deel van de woningen in Nederland aan het einde van de warmtetransitie aan de Standaard voldoet. Hierdoor zijn ze namelijk geschikt voor bijna alle alternatieve duurzame verwarmingstechnieken. Ook wordt de warmtevraag hierdoor nog verder verlaagd en wordt de retourtemperatuur lager, waardoor installaties efficiënter kunnen functioneren. Dit niveau kan door de meeste eigenaren worden bereikt door alle bouwdelen op een natuurlijk moment van onderhoud stapsgewijs zo goed mogelijk te isoleren. Zo kan spouwmuurisolatie aangebracht worden, isolatieglas geplaatst worden in combinatie met een schilderbeurt en kan een plat dak zeer goed geïsoleerd worden als de dakbedekking wordt vervangen. Indien nodig zullen ook de radiatoren vervangen moeten worden. Dit kan gelijktijdig met het plaatsen van bijvoorbeeld een warmtepomp.

Naast isolatie en het vervangen van radiatoren zijn er aanvullend maatregelen nodig om de woning te verduurzamen en geschikt te maken voor duurzame verwarming:

- Elektrisch koken, zoals inductiekoken;
- Kierdichting;
- Voldoende (mechanische) ventilatie.

De isolatieopgave gaat tijd kosten bij woningen gebouwd voor 1995. Dit heeft te maken met het feit dat natuurlijke momenten gevolgd moeten worden. Voor met

name dakbedekking is de onderhoudscyclus lang, ongeveer 25 jaar. De cyclus voor buitenschilderwerk is korter, ongeveer 7 jaar. Voor een aantal ingrepen zoals het isoleren van een schuin dak aan de binnenzijde, is er geen logisch onderhoudsmoment. Veel woningeigenaren doen dit alleen in combinatie met een verbouwing van de zolderverdieping. Ook speelt geld een belangrijke rol. Woningeigenaren moeten natuurlijk ook in staat zijn en bereid zijn de extra investeringen te doen.

C 1.3 Woningaanpassingen afhankelijk van het temperatuurniveau

De maatregelen, die minimaal op woningniveau genomen moeten worden, om geschikt te zijn voor een alternatieve warmteoptie zijn sterk afhankelijk van het temperatuurniveau van de warmteoptie. Een gasketel kan temperaturen tot 90°C leveren en is daarom geschikt voor het verwarmen van alle woningen. Alternatieve aardgasvrije warmteopties kunnen in de meeste gevallen deze hoge temperatuur niet efficiënt leveren. Bij een groot deel van de woningvoorraad, die gebouwd is voor 1995, is het daarom nodig om als eerste stap de woningen te isoleren en de installaties te verbeteren. Enerzijds dus om woningen geschikt te maken voor duurzamere warmte-opwekinstallaties, die doorgaans een lagere temperatuur leveren dan gasketels, en anderzijds om schaarse warmtebronnen efficiënter te benutten (meer woningen per bron). Er kan daarom alleen gestart worden met alternatieve warmteopties:

- Bij woningen, die zijn gebouwd na 1995 of woningen die al zijn geïsoleerd;
- Bij woningen waar een renovatie is gepland;
- Als de warmteoptie hoogtemperatuur kan leveren op de koudste dagen in het jaar, zoals bij het bestaande warmtenet in Enschede het geval is.

De bestaande woningenvoorraad kunnen we grofweg opdelen in vier niveaus van isolatie:

1. Woningen met slechte of **onvoldoende isolatie** (80 kWh/m² of hoger). Er is een hoge temperatuur van ongeveer 90°C nodig om op de koudste dagen deze woningen comfortabel warm te stoken.
2. Woningen, die een **minimumisolatieniveau** hebben bereikt (lager dan 80 kWh/m²). Deze woningen hebben reeds een aantal aanpassingen in

de schil gekregen of hadden dit niveau al bij de bouw. Sommige woningen kunnen bij dit niveau al afdoende comfortabel worden verwarmd met 70°C op de koudste dagen, mits er voldoende radiatorvolume aanwezig is. Daarnaast is het afhankelijk van specifieke omstandigheden of de woning daadwerkelijk geschikt is voor verwarming met 70°C, zoals welke bouwdelen al zijn aangepakt en of de bewoners de ruimtes gebruiken die met dit niveau nog niet comfortabel warm worden op de koudste dagen.

3. Woningen, die een **basisisolatieniveau** hebben bereikt (lager dan 65 kWh/m²). Bij dit niveau is er maximaal nageïsoleerd in de bestaande schil. Bij een basisniveau kan de woning zowel comfortabel worden verwarmd met 70°C als met maximaal 55°C (laagtemperatuur). Voor laagtemperatuur moeten wel aanvullend radiatoren vervangen worden en mogelijk ook de cv-leidingen. De woning is daarmee toekomstbestendig en geschikt voor meerdere alternatieve verwarmingstechnieken. Woningen die op dit niveau zitten zijn woningen die grofweg gebouwd zijn in de periode 1990-2005. Idealiter zitten aan het einde van de transitie zoveel mogelijk woningen op minstens dit niveau.
4. Woningen met een **hoog isolatieniveau** en voorzien van een energiezuinig ventilatiesysteem (lager dan 50 kWh/m²). Deze woningen zijn daarmee zeer geschikt om comfortabel te verwarmen met een maximumtemperatuur van 40°C. Dit zijn recent gebouwde woningen na 2005 en woningen die nog gebouwd gaan worden de komende jaren. Bij de bestaande bouw moeten voor laagtemperatuur de radiatoren vervangen worden en mogelijk ook de cv-leidingen.

Voor warm tapwater geldt dat voor het veilig kunnen gebruiken van warm tapwater er met de huidige stand van de techniek en regelgeving een temperatuur van minimaal 55°C bij het tappunt nodig is. Om deze temperatuur te kunnen garanderen moet het opweksysteem in de praktijk een temperatuur van 60-70°C kunnen leveren. Als de aanvoertemperatuur onvoldoende is, moet er dus een aanvullende voorziening komen in de woning voor het opwekken of het boosten van de warmte voor warm tapwater. Mogelijk gaat de regelgeving wijzigen waarbij de minimale temperatuur aan het tappunt daalt van 55°C naar 40°C. Om deze temperatuur te kunnen garanderen moet het opweksysteem in praktijk een temperatuur van 45-50°C kunnen leveren.

Samenvattend kan het volgende gesteld worden over de isolatieniveaus van woningen:

- Om een woning met 90°C (hoogtemperatuur) te kunnen verwarmen zijn geen aanpassingen nodig.
- Om een woning comfortabel met 70°C (midentemperatuur) te kunnen verwarmen, moet dus het minimumisolatieniveau bereikt zijn (*lager dan 80 kWh/m²*).
- Om een woning comfortabel met 40°C (laagtemperatuur) te kunnen verwarmen, moet minimaal het basis isolatieniveau bereikt zijn (*lager dan 65 kWh/m²*).

C2 Warmteopties

In deze paragraaf worden de warmteopties in detail besproken.

De warmtetransitie kent vijf warmteopties met bijhorende toekomstbestendige energie-infrastructuur, die op basis van de huidige stand van de techniek realistisch zijn voor het aardgasvrij maken van een buurt. Elke warmteoptie heeft een bijhorende toekomstbestendige energie-infrastructuur, en maakt geen keuze voor de (mix van) energiebronnen, deze zullen namelijk in de loop van de tijd wijzigen. De vijf warmteopties zijn:

- Warmtenetten midentemperatuur: collectieve warmtevoorziening in de vorm van een midentemperatuur warmtenet, waarbij warm water met een temperatuur van maximaal 70°C aangevoerd wordt tot bij het gebouw of de woning. Omdat in Enschede ook hoogtemperatuur warmte beschikbaar is, kan er ook gekozen worden om te starten met 90°C.
- Warmtenetten laagtemperatuur: collectieve warmtevoorziening in de vorm van een lage temperatuur warmtenet, waarbij warm water met een temperatuur van maximaal 55°C aangevoerd wordt tot het gebouw of de woning.
- All electric: verwarmen en koken met gebruik van elektriciteit. In de woning of het gebouw wordt gebruikgemaakt van een warmtepomp
- Lokale bronnetten: lokale kleinschalige (collectieve) warmtevoorziening in de

vorm van een zeer lage temperatuur bronnet. In het gebouw of woning is een warmtepomp nodig voor verwarming. Het aangevoerde water kan ook gebruikt worden voor koeling.

- Gasnet in combinatie met hybride oplossingen: een gasinfrastructuur in combinatie met een gasketel en een elektrische hybride warmtepomp.

C 2.1 Warmtenet

Een warmtenet is een infrastructuur van ondergrondse leidingen die warm water vervoeren naar meerdere gebouwen tegelijkertijd. Er is daarom sprake van een collectieve warmtevoorziening. De temperatuur van het warme water moet voldoende zijn om de woningen te kunnen verwarmen. Het temperatuurniveau van een warmtenet kan verschillen.

C 2.2 Middentemperatuur warmtenet

Een middentemperatuur warmtenet levert warmte van maximaal 70°C aan woningen en gebouwen. Het warmtenet kan dus naast warmte voor ruimteverwarming ook direct warmte voor warm tapwater leveren.

De bron en bijhorende opwekinstallatie, waarmee dit net wordt gevoed, is sterk afhankelijk van de locatie en de schaalgrote van het afzetgebied. Ook zal de bron gedurende de exploitatie kunnen wijzigen. Het verdient hier de opmerking dat in Enschede een middentemperatuur warmtenet in een wijk kan starten als een hoogtemperatuur warmtenet, omdat hoogtemperatuur warmte, beschikbaar is vanuit de afvalverbranding en de biomassacentrale. Voordeel hiervan is dat er dus nauwelijks aanpassingen aan de woning noodzakelijk zijn om aansluiting mogelijk te maken. Het moment van aansluiten op het warmtenet kan dan dus losgekoppeld van het moment dat de gebouwmaatregelen gereed zijn. Concreet betekent dit dat het warmtenet in veel gevallen eerst nog 90°C zal leveren en in bijvoorbeeld 2040 naar 70°C gaat.

Gebouweigenaren hebben zo de tijd om de maatregelen te nemen, die nodig zijn om te voldoen aan de Standaard of in ieder geval om geschikt te zijn voor verwarming op middentemperatuur, zonder dat de ontwikkeling van het warmtenet vertraagd wordt.

C 2.3 Laagtemperatuur warmtenet

Een laagtemperatuur warmtenet levert warmte van maximaal 55°C aan woningen en gebouwen. Alle woningen, die worden aangesloten moeten dan voldoen aan de Standaard. Ook moeten de radiatoren vervangen worden. Het warmtenet kan daarnaast, met de huidige regelgeving, ook niet direct warmte voor warm tapwater leveren. Er is dan dus een aanvullende voorziening in de woning nodig, zoals bijvoorbeeld een elektrische booster.

Om een laagtemperatuur warmtenet mogelijk te maken is er voldoende dichtheid, voldoende isolatie én voldoende schaalgrootte nodig. De maatschappelijke kosten zijn daarom hoger dan bij een middentemperatuur warmtenet. In praktijk zullen daarom buurten of wijken, die geschikt zijn voor een laagtemperatuur warmtenet nauwelijks voorkomen. Daarnaast is er voor het bereiken de Standaard in de bestaande bouw nog veel tijd nodig, waardoor er met deze collectieve optie dus ook niet kan worden gestart. Behalve voor grotere nieuwbouwlocaties met hoge dichtheid is deze optie dus niet realistisch om de komende jaren te starten.

C 2.4.1 Warmtenetten en bestaande bouw

Om in een bestaande wijk een warmtenet te realiseren is er voldoende schaalgrootte en dichtheid van gebouwen nodig. Hoe hoger de temperatuur die met de beschikbare warmtebron kan worden geleverd, hoe eenvoudiger de schaalgrootte kan worden bereikt. Omdat er dan meer woningen geschikt zijn om aan te kunnen sluiten. Woningcorporaties, die vaak meerdere woningen bezitten in buurten kunnen makkelijker de benodigde schaal bereiken dan particuliere woningeigenaren.

Bij een warmtenet komt er per gebouw of cluster van eengezinswoningen of kleinere gebouwen een afleverstation. Hier kan de temperatuur worden geregeld. De temperatuur van het net kan dus lokaal worden verlaagd als een gebouw daarvoor gereed is. Voor realisatie van een nieuw warmtenet in een wijk is een bepaalde schaalgrootte nodig. In de praktijk blijkt het organiseren van deze schaal complex, omdat je te maken hebt met veel verschillende stakeholders. Ook voor woningcorporaties is het niet eenvoudig om deze schaal te realiseren. Niet alleen vanwege de investeringen die gedaan moeten worden, maar ook

omdat momenteel 70 procent van de huurders akkoord moet geven voor het ombouwen van een individuele gasketel naar een collectieve warmtevoorziening.

C 2.4.2 Warmtenetten en corporatiebezit

Om een nieuw warmtenet in de bestaande wijken te kunnen realiseren is het van essentieel belang dat vastgoed op grotere schaal wordt aangesloten. In de praktijk kan het bezit van woningcorporaties en andere grote vastgoedeigenaren een warmtenet in een wijk het makkelijkste mogelijk maken. Het is dan ook gewenst dat woningcorporaties (en VvE's) er in hun planning rekening mee houden dat de grotere complexen met meergezinswoningen collectief verwarmd gaan worden, indien nodig tijdelijk met een collectieve gasketel. Om desinvesteringen te voorkomen is het dus vaak niet verstandig om complexmatig individuele ketels te vervangen ("verketelen"). Idealiter wordt er al een collectieve verwarmingsinstallatie gerealiseerd als ketelvervanging aan de orde is en waar mogelijk wordt al aangesloten op een warmtenet. Ook moeten bestaande verouderde collectieve verwarmingsinstallaties (blokverwarming) worden gemoderniseerd. Een collectieve warmtevoorziening met een aanvoertemperatuur van maximaal 70°C is zeer flexibel. Ook als het warmtenet er uiteindelijk toch niet komt in een bepaalde wijk zijn er voldoende alternatieven beschikbaar om de woningen duurzaam en betaalbaar te verwarmen. De investering in een collectieve warmtevoorziening bij grotere complexen is dus no-regret.

C 2.4.3 Warmtenetten en Nieuwbouw

In Enschede is er de komende jaren een grote nieuwbouwopgave. Nieuwbouwontwikkelingen kennen vaak een hoge dichtheid en de woningen zijn relatief klein. De nieuwbouw, met veel gestapelde bouw, is in veel gevallen geschikt voor het ontwikkelen van een collectieve warmtevoorziening. Omdat met nieuwbouw relatief eenvoudig een grote schaal bereikt kan worden, kan nieuwbouw tevens voor een versnelling zorgen bij het aansluiten van omliggende bestaande bouw. Vooral in wijken waar nog geen warmtenetinfrastructuur is, maar waar een warmtenet wel beoogd is, biedt dit kansen. Het is niet voor niets dat tot nu toe veel van de warmtenetten ontwikkeld zijn bij nieuwbouwprojecten. Aansluiten van nieuwbouwwoningen op een warmtenet betekent wel dat er minder warmte beschikbaar is voor het aansluiten van bestaande woningen. Het is dus van belang om hier telkens een goede afweging over te maken.

Bij nieuw te bouwen wijken kan de aanvoertemperatuur verder verlaagd worden naar 40°C (laagtemperatuur). Bij woningen moet in dat geval wel een aanvullende boostervoorziening geplaatst worden voor warm tapwater. Gezien het ruimtebeslag van deze voorziening en het aanvullende elektriciteitsverbruik zien we in praktijk dat daarom ook bij nieuwbouwwoningen deels wordt gekozen voor warmtelevering op 70°C.

C 2.5 All electric

'All-electric' betekent dat er in principe alleen een elektriciteitsnet in de wijk is. Als dat het geval is, dan is er een warmte-opwekinstallatie in de woning of het gebouw nodig die alleen elektriciteit gebruikt. Dit kan bijvoorbeeld met infraroodpanelen of een warmtepomp. Het grote voordeel van deze oplossing is dat alle woningen en gebouwen al aangesloten zijn op het elektriciteitsnetwerk. Iedere individuele vastgoedeigenaar, met voldoende financiële middelen, kan dus de keuze maken om zijn huis niet alleen te isoleren, maar ook de gasketel te vervangen door bijvoorbeeld een warmtepomp. De individuele vastgoedeigenaar is dus veel minder afhankelijk van keuzes en beperkingen van andere vastgoedeigenaren in de straat, of in de buurt. Ook is hij/zij veel minder afhankelijk van het tijdstip van deze keuzes.

Er is echter ook een keerzijde. De (over)capaciteit in het bestaande elektriciteitsnet is beperkt en deze is bijvoorbeeld ook nodig voor de realisatie van laadpalen voor elektrische mobiliteit. Het elektriciteitsnet zal dus bij all-electric extra verzwaaard moeten worden, niet alleen op wijkniveau, maar ook op gemeentelijk, regionaal, nationaal en mogelijk internationaal niveau.

All-electric leent zich vaak minder voor een wijkgerichte aanpak omdat er een tweetal beperkingen is. De eerste is het tempo waarmee gebouw eigenaren hun pand gereed kunnen maken voor all-electric en de tweede zijn de beperkingen op het bestaande elektriciteitsnet en de tijd die nodig is om deze te vergroten. Rekening houdend met het feit dat we in de toekomst warmte kunnen gaan opslaan in woningen, is het ook sterk de vraag of het verstandig is om op korte termijn al hele buurten gelijktijdig elektrisch te gaan verwarmen. Dit kan ertoe leiden dat er onnodig hoge kosten gemaakt gaan worden voor netverzwaring op wijkniveau, die in de toekomst niet nodig blijken. All-electric is daarom een alternatief dat zich meer leent om organisch te ontwikkelen verspreid over

meerdere buurten en buurten. Met name voor eengezinswoningen en gebouwen in buurten waar een collectieve warmteoplossing geen logische oplossing is en waarvan de woningen al goed geïsoleerd zijn, of bij kleinschalige nieuwbouwprojecten, is all-electric een goed alternatief. Het moment van verzwaren van het elektriciteitsnet, en het moment waarop het gasnet wordt verwijderd, worden door de netbeheerder en gemeente in overleg bepaald op een moment dat de maatschappelijke kosten zo laag mogelijk zijn.

Efficiëntie van warmtepompen en infraroodpanelen

Een warmtepomp gebruikt de temperatuur van de omgeving als bron. Dat zorgt ervoor dat er meer energie in de vorm van warmte wordt opgewekt dan dat er aan elektriciteit wordt gebruikt. Van 1 kWh elektriciteit kan een warmtepomp 3-6 kWh aan warmte produceren voor ruimteverwarming (COP van 3-6). Bij infraroodpanelen is de omzetting van elektriciteit naar warmte één staat tot één, veel minder efficiënt dus. Infraroodpanelen hebben wel het voordeel dat ze alleen aan hoeven te staan op het moment dat er een persoon aanwezig is in de ruimte (in tegenstelling tot andere technieken) waardoor ze in praktijk wel wat efficiënter zijn dan de COP doet vermoeden. Een ander nadeel van infraroodpanelen is echter dat ze niet gecombineerd kunnen worden met een warmtebatterij.

Zonthermie als bron voor een warmtepomp

Met de nieuwe generatie zonthermische panelen wordt er, óók als er geen zon is, warmte geproduceerd. Dit kan doordat het paneel behalve uit zon- en daglicht ook heel goed warmte kan winnen uit de buitenlucht. Hierdoor kan ook 's nachts en in de winter voldoende warmte geleverd worden aan een water-waterwarmtepomp, zodat deze net zo efficiënt warmte kan produceren als een warmtepomp met een bodemlus. Voordeel is dat deze oplossing veel eenvoudiger is te installeren dan het boren van een bodemlus. De zonthermische panelen kunnen gecombineerd worden met zonnepanelen voor het opwekken van elektriciteit.³

³ De nieuwe generatie thermische zonnepanelen kunnen gedurende een langere tijd warmte uit de omgeving halen, niet alleen uit zon, maar ook uit licht en buitenlucht. Dit is voldoende om zonder opslag een bron te kunnen zijn voor een warmtepomp in een woning of gebouw.

Nieuwe generatie warmtepompen

Er komen steeds meer nieuwe generatie warmtepompen op de markt, die een grotere temperatuursprong kunnen maken door gebruik te maken van andere koudemiddelen, zoals ammoniak (NH_3) en CO_2 . Speciaal voor woningen is er nu ook een individuele lucht-water-warmtepomp op de markt met als koudemiddel CO_2 , die zonder problemen 70°C kan produceren. Voordeel is dat je dan dus niet meer de bestaande radiatoren hoeft te vervangen. De verwachting is dat er ook water-water-warmtepompen voor woningen op de markt komen met dezelfde eigenschappen. Om op grotere schaal individuele warmtepompen in buurten toe te passen is het wel van belang dat er technieken komen om warmte compact in de woning op de slaan. Dat vraagt wel de nodige extra ruimte in de woning.

Individuele opties met biomassa

In all-electric buurten bestaat het risico dat huiseigenaren de keuze maken om houtachtige biomassa te gebruiken, bijvoorbeeld met een pelletketel of houtkachel. Deze oplossing moet echter niet gestimuleerd worden in verband met de risico's op uitstoot van fijnstof en stankoverlast. Daarnaast is het zeer de vraag hoe betaalbaar houtpellets op de langere termijn zullen zijn.

Als de warmte in de woningen op grotere schaal in een wijk worden opgewekt met infraroodpanelen of een warmtepomp zullen er aanpassingen gedaan moeten worden om de capaciteit van het elektriciteitsnet te vergroten. Uitgaande van de huidige stand van de techniek kan je alleen met warmtepompen of infrarood verwarmen als de woningen minimaal op het basisniveau zitten. Daarnaast moeten voor het kunnen toepassen van warmtepompen ook alle radiatoren vervangen worden door laagtemperatuur radiatoren.

Er zijn warmtepompen die lucht gebruiken als warmtebron (lucht-water-warmtepompen) en die water gebruiken als warmtebron (water-water-warmtepompen). Een lucht-water-warmtepomp gebruikt als bron bijvoorbeeld buitenlucht. Een water-water-warmtepomp gebruikt als bron bijvoorbeeld bodemenergie of warmte uit zon (zonthermie). Voor het benutten van energie uit buitenlucht is een buitenunit nodig. Voor het benutten van warmte uit de bodem moet er een bodemilus geboord worden onder de woning of in de tuin. Voor het benutten van zonthermie moeten er thermische zonnepanelen geplaatst worden op het dak van de woning. Bij meergezinswoningen is er een collectief bronnet in het gebouw nodig om de individuele warmtepompen in de woningen te verbinden

met de bodemlussen of de thermische zonnepanelen. Grotere gebouwen kunnen ook gebruik maken van een eigen warmte- en koude opslaginstallatie (WKO) om gebruik te maken van bodemenergie als warmtebron. Deze kan worden gecombineerd met aquathermie.

Naast de warmtepomp of de infraroodpanelen komt er een boilervat van minimaal 150 liter voor warm tapwater in de woning. Deze ruimte moet wel beschikbaar zijn. Bij infraroodpanelen en lucht-water-warmtepomp zal het elektriciteitsnet meer verzwaaard moeten worden dan bij water-water-warmtepompen.

Meergezinswoningen kunnen ook collectief verwarmd worden met warmtepompen. Het is dan wel voor de efficiëntie van belang dat de maximale aanvoertemperatuur naar de gebouwen en woningen niet hoger is dan 70°C. De bronnen voor een collectieve warmtepomp zijn vergelijkbaar met die van een individuele warmtepomp. Groot voordeel van een collectieve installatie is dat het ruimtegebruik en de techniek in de woning beperkt blijft. De collectieve warmtevoorziening kan relatief eenvoudig vervangen worden door nieuwe technieken passend bij alle infrastructuren, zonder dat je daarvoor nog aanpassingen hoeft te doen aan het gebouw of de woning (zie ook collectieve gasketels).

C 2.6 Lokaal bronnet

Een variant op all electric is het lokale bronnet. Een bronnet is een lokale, vaak kleinschalige (collectieve) warmtevoorziening in de vorm van een zeer laagtemperatuurnet. In het gebouw is een warmtepomp nodig voor verwarming. Het aangevoerde water kan ook gebruikt worden voor koeling. Ook bij deze infrastructuur moet de capaciteit van het elektriciteitsnet in de wijk worden verhoogd. Een voorbeeld van een bronnet is een WKO-bron (mogelijk gecombineerd met aquathermie), die door enkele kantoorgebouwen wordt gedeeld en die door een bronnet zijn verbonden.

Aangezien een warmtepomp ook op woning- of gebouwniveau in veel gevallen een efficiënte bron kan hebben, zal een bronnet voor een gehele wijk in veel gevallen geen logische optie zijn. In wijken waar in hoge dichtheid gebouwd is, kan er mogelijk beperkt ruimte zijn voor lokale warmtebronnen, waardoor een bronnet een optie is. In de bestaande bouw is in dat geval echter vaak een warmtenet een goedkopere optie omdat er dan minder gebouwgebonden

maatregelen hoeven te worden genomen. De verwachting is daarom dat een bronnet voor de bestaande bouw hoofdzakelijk beperkt zal blijven tot utiliteitsbouw.

Voor gebieden met relatief veel utiliteitsbouw wordt een bronnet interessant vanwege de hoge koudevraag en vanwege de relatief lage energiebelasting op elektriciteit die grotere gebouwen betalen vanwege het hogere verbruik. Hierdoor zullen zij vaak kiezen voor een lokale warmte- en koude-oplossing in de vorm van all-electric eventueel in combinatie met een collectief bronnet.

C 2.7 Gasnet

De laatste warmteoptie is het bestaande gasnet laten liggen. Voorwaarde is wel dat er aanzienlijk op gas wordt bespaard, omdat de hoeveelheid groen gas beperkt is en het gebruik van waterstof in de gebouwde omgeving onzeker is. In Enschede is nog steeds een groot aandeel woningen aangesloten op het gasnet. In de meeste wijken wordt voor 2050 overgegaan op een andere infrastructuur, maar voor oude of anderszins complexe wijken zijn op dit moment alternatieven voor een gasnet economisch of praktisch onhaalbaar en zal voorlopig het gasnet blijven liggen.

Deze warmteoptie is belangrijk omdat er wijken overblijven, waar zowel all electric als een warmtenet zeer kostbare en daarom onrealistische warmteopties zijn met de huidige stand van de techniek. Het gaat dan met name om wijken met een diversiteit aan bouwjaarklassen met vooroorlogs vastgoed, zoals oude binnensteden en oude lintbebouwing. In deze wijken zal het gasnet dus blijven liggen en kan dus er gestart worden met isolatie en hybride warmtepomp oplossingen of all electric oplossingen bij gebouwen en woningen, die al voldoende zijn geïsoleerd.

Een gasnet is aardgasvrij als er in plaats van aardgas een vorm van duurzaam gas wordt gebruikt. Binnen de warmteoptie gasnet zien we twee logische varianten:

- 1. Individuele gasketel en hybride warmtepomp.** Als het gasnet voorlopig nog blijft liggen, dan kan er naast de individuele Hr-ketel ook een hybride warmtepomp geplaatst worden in de woning om het

gasgebruik verder te beperken. De gasketel springt op koude dagen bij en verwarmt het warm tapwater. Er zijn verschillende typen hybride warmtepompen op de markt, waarbij de bronnen variëren van buitenlucht, ventilatieretourlucht of zonthermie. Voorwaarde is wel dat de woning het minimumisolatieniveau bereikt heeft.

2. **Collectieve gasketel en hybride warmtepomp.** Meergezinswoningen kunnen ook collectief verwarmd zijn. Met name de grotere complexen gebouwd na 1950 zijn zeer geschikt om collectief verwarmd te worden. In het complex komt een geïsoleerde aanvoer- en retourleiding. Per woning komt er op de plek van de oude gasketel een afleverset. Als er ook elektrisch wordt gekookt zijn de *woningen* aardgasvrij en heeft alleen het *gebouw* nog een gasaansluiting. De individuele gasaansluitingen kunnen dan dus afgesloten worden.

Een voordeel van een collectieve installatie is dat het ruimtegebruik en de techniek in de woning beperkt blijft. De collectieve warmtevoorziening kan relatief eenvoudig vervangen worden door nieuwe technieken passend bij alle infrastructuren, zonder dat je daarvoor nog aanpassingen hoeft te doen aan het gebouw of de woning. Dit is dus een zeer robuust, flexibel en onderhoudsarm systeem. Met name voor complexen in bezit van woningcorporaties is dit een zeer geschikte en toekomstbestendige oplossing. Het is daarbij wel van belang dat de woningen met een aanvoertemperatuur van maximaal 70°C verwarmd kunnen worden. Voor een optimale werking van het systeem moeten de woningen wel voldoende zijn geïsoleerd. Als uitgangspunt is genomen dat een woning minimaal op het minimumisolatieniveau zit. Er kan daarmee eerder worden gestart met hybride varianten dan met all electric.

Een voordeel van een hybride systeem ten opzichte van een all-electric oplossing is dat er geen grote aanpassingen gedaan moeten worden aan het elektriciteitsnet. Voor de piekbelasting maakt het systeem namelijk gebruik van gas. Ook zijn de investeringskosten lager. Daarom is deze oplossing ook een interessante tussenoplossing om op korte termijn aardgas en CO₂ te besparen, bijvoorbeeld in wijken waar een warmtenet geen logische oplossing is en waar de overstap naar all electric voor individuele vastgoedeigenaren te kostbaar is, omdat er geen capaciteit beschikbaar is in het elektriciteitsnet en/of omdat de woning nog niet op het niveau zit van de Standaard.

Een nadeel is dat een woning nog steeds gas gebruikt. Het systeem is daarom niet voor alle wijken en woningen mogelijk als eindoplossing, anders blijven de woningen op de lange termijn te veel afhankelijk van aardgas.

C 2.8 Welke warmteoptie past bij welk soort bebouwing

In figuur C.2 staat samengevat met welke warmteoptie er kan worden gestart per type bebouwing

Figuur C.2 : Warmteoptie per bouwtype en eigenaar, waarmee gestart kan worden

Warmteoptie	Type bebouwing	Eigendom	Warmtebron
Hoogtemperatuur warmtenet	Wijken met relatief veel gestapelde naoorlogse woningbouw en utiliteit	Corporatievast goed en bedrijven en instellingen als startmotor	Hoogtemperatuur restwarmte als startbron
Laagtemperatuur warmtenet	Nieuwbouw ontwikkelingen met relatief veel gestapelde woningbouw	Ontwikkelaars	Bodemenergie, aquathermie, datathermie of zonthermie
Lokaal bronnet	Wijken met relatief veel utiliteitsbouw	Bedrijven en instellingen	Bodemenergie, aquathermie of zonthermie
All electric	Nieuwbouw ontwikkelingen met grondgebonden woningbouw en voornamelijk goed geïsoleerde grondgebonden woningen	Ontwikkelaars, corporaties en particuliere eigenaren	Buitenlucht, bodemenergie of zonthermie
Gasnet	Alle grondgebonden woningen gelegen in wijken waar een warmtenet niet realistisch is en all electric nu nog te duur	Corporaties en particuliere eigenaren	Buitenlucht, ventilatielucht of zonthermie

C3 Energiedragers en -bronnen

De vorige paragraaf ging in op warmteopties. Deze paragraaf gaat in op energiebronnen. Bij iedere energie-infrastructuur hoort een andere energiedrager. Dit is respectievelijk gas (gasnet), elektriciteit (elektriciteitsnet) en/of water (warmtenet). Bij de verschillende energiedragers horen verschillende bronnen en (on)mogelijkheden om energie, die nodig is voor het verwarmen van woningen en gebouwen, op te slaan. Daarnaast is de bron en bijhorende energie-infrastructuur ook sterk afhankelijk van de schaalgrootte die kan worden gerealiseerd.

In elk scenario en bij elke infrastructuur zijn we in de energietransitie voorlopig nog afhankelijk van fossiele bronnen. Geleidelijk zullen we eerst afscheid nemen van kolen en daarna ook van aardgas. Deze uitfasering kost tijd en daarom is het tijdelijk gebruikmaken van fossiele bronnen noodzakelijk. Bij de keuze voor een nieuwe energie-infrastructuur is het wel belangrijk dat er voldoende en bewezen alternatieven beschikbaar zijn, zodat de fossiele bronnen zo snel als mogelijk uitgefaseerd kunnen worden. Belangrijk is dus dat door de keuze van een alternatief voor aardgas per buurt op korte termijn minder fossiele brandstoffen nodig zijn en de afhankelijkheid ervan op de langere termijn zoveel als mogelijk beperkt wordt.

Afhankelijkheid van fossiele bronnen

Tijdens de energietransitie blijven we afhankelijk van fossiele bronnen. Een goed voorbeeld van deze afhankelijkheid is een woning die zonnepanelen heeft liggen op het dak. Het grootste deel van de energie die wordt opgewekt door de panelen kan niet gelijktijdig worden gebruikt in de woning en wordt dus teruggeleverd aan het elektriciteitsnet en elders gebruikt. Als het donker is of bewolkt en de panelen niet of nauwelijks elektriciteit produceren, wordt er elektriciteit uit het elektriciteitsnet gebruikt. Deze elektriciteit wordt opgewekt met een mix van bronnen, nu nog circa 80% fossiel (aardgas en kolen). Dat neemt niet weg dat het goed is dat er zonnepanelen op daken worden geplaatst. Al het relatief beperkt beschikbare dakoppervlak in Enschede moet namelijk zoveel als mogelijk benut worden voor de productie van hernieuwbare elektriciteit.

C 3.1 Gas

Uit de technisch-financiële analyse volgt dat er in de gebouwde omgeving van Enschede ook op de langere termijn vraag zal blijven naar gas voor verwarming. Of de gebouwde omgeving daadwerkelijk aardgasvrij kan worden hangt dus af van de mate waarin hernieuwbaar gas beschikbaar komt voor de gebouwde omgeving of van technologische innovaties waardoor andere infrastructuren toch haalbaar en betaalbaar worden. Deze twee ontwikkelingen moeten bij iedere herijking van de transitievisie warmte opnieuw worden beoordeeld om de verduurzamingsstrategie daarop aan te passen.

Om blijvende afhankelijkheid van fossiele brandstoffen te voorkomen, is het daarom noodzakelijk om de woningen te isoleren en in te zetten op individuele (hybride)warmtepompen. Hierbij geldt de belangrijke randvoorwaarde dat in gebieden waar geen warmtenet komt 70 procent reductie van het gasgebruik wordt behaald, waarmee de kans aanzienlijk wordt verhoogd dat hiervoor duurzaam gas beschikbaar komt.

De inschatting is dat in Enschede voor het voeden van warmtenetten en gasnetten nog een gasvraag zal zijn van ongeveer 15% van de huidige gasvraag. Het is daarom een belangrijke vraag op welke manier en in hoeverre deze resterende gasvraag duurzaam kan worden ingevuld.

Grofweg zijn er twee vormen van duurzaam gas: groen gas en groen waterstofgas. Groen gas is biogas dat is opgewaardeerd tot aardgaskwaliteit en groen waterstofgas wordt verkregen door water te splitsen met behulp van hernieuwbare elektriciteit.

De productiepotentie voor biogas in Nederland is zeer beperkt. In het Klimaatakkoord committeert de groen gassector zich aan een productie van 70 PJ⁴ Nederlands groen gas in 2030, wat neerkomt op 2,2 miljard m3 aardgasequivalent aan groen gas. Van deze 70 PJ kan “een substantieel deel worden ingezet in de gebouwde omgeving”⁵. De onderbouwing dat dit groen gas voornamelijk zal worden ingezet in de gebouwde omgeving wordt geleverd door

⁴ PJ = PetaJoule. 1 petajoule, ofwel 1 biljard (1.000.000.000.000.000) joule, is voldoende om ongeveer 15.000 huishoudens een jaar lang van energie te voorzien

⁵ Klimaatakkoord (2019), Tekst Klimaatakkoord, Den Haag, 28 juni 2019

CE Delft⁶. CE Delft geeft aan dat tot 2030 andere sectoren, zoals de industrie, de meerkosten van groen gas ten opzichte van aardgas nog niet kunnen dragen. Daarentegen hebben ook deze sectoren voor 2030 een verduurzamingsopgave en is niet met zekerheid te zeggen dat ze hiervoor geen gebruik zullen maken van groen gas. In de periode na 2030 wordt met meer zekerheid verwacht dat de industrie groen gas zal inzetten. Ook andere sectoren, zoals de transportsector, zullen gebruik willen maken van het beperkte Nederlandse potentieel aan groen gas. Daarom zal naast groen gas mogelijk ook waterstofgas of ander hernieuwbaar gas nodig zijn voor de gebouwde omgeving om na 2030 in de vraag naar duurzaam gas te voorzien. Het Klimaatakkoord verwacht voor 2050 een totale technische potentie van 419 PJ groen gas, waarvan een nog onbekend aandeel ingezet kan worden in de gebouwde omgeving. Wat waterstofgas betreft gaat het Klimaatakkoord uit van 120 PJ die exclusief voor de gebouwde omgeving beschikbaar is in 2050.

Momenteel gebruikt de gebouwde omgeving in Nederland ca. 13,5 miljard m³ gas per jaar. Als het verwachte aanbod van 2,2 miljard m³ groen gas in 2030 evenredig wordt verdeeld over Nederland zou gemiddeld gezien daarmee ongeveer 15% van het totale Nederlandse aardgasverbruik in de gebouwde omgeving kunnen worden verduurzaamd. Dat is dus gelijk aan de resterende vraag naar gas in 2050 voor Enschede. Of Enschede daadwerkelijk aanspraak kan maken op deze hoeveelheid groen gas zal met het herijken van deze transitievisie warmte steeds opnieuw moeten worden beoordeeld.

Figuur C.3: Potentie op duurzaam gas volgens het Klimaatakkoord

	2030	2050	Toelichting
	<i>Commitment van partijen</i>	<i>Potentie/ Verwachting</i>	
Groen gas (PJ)	70	419	Tot 2030 voornamelijk toepasbaar in gebouwde omgeving
Waterstof (PJ)	-	120	Toepasbaar in gebouwde omgeving in 2050 ⁷

⁶ CE Delft (2018), Contouren en instrumenten voor een Routekaart Groen gas 2020-2050.

⁷ Klimaatakkoord (2018), Achtergrondnotitie ten behoeve van de Sectortafel Gebouwde Omgeving

Voor de periode na 2030 is de duurzaamheid van het gasnet naast groen gas afhankelijk van de komst van waterstof. Volgens het Klimaatakkoord is er in 2050 ruimschoots waterstof beschikbaar voor de gebouwde omgeving, maar die verwachting is echter erg onzeker. Voor de productie van groen waterstofgas zijn we sterk afhankelijk van technologische ontwikkelingen en grootschalige productie van hernieuwbare elektriciteit en groene waterstof in het buitenland, zoals Noord-Afrika en het Midden-Oosten. In deze landen kan zon- en windenergie op land veel efficiënter geproduceerd worden dan in Nederland, wat het verlies bij de productie van waterstof deels kan compenseren. Ook is er daar, in tegenstelling tot Nederland, voldoende ruimte. Omdat gas veel goedkoper is te transporteren dan elektriciteit, kan het ook over lange afstanden worden getransporteerd via pijpleidingen en met schepen. De productie van waterstof kan hierdoor mogelijk op de lange termijn in deze landen rendabel worden. Naar verwachting zal er pas na 2035 op grotere schaal waterstof geproduceerd gaan worden.

Of deze productie van de grond komt en in hoeverre deze beschikbaar komt voor de gebouwde omgeving is onzeker. Vanuit energie-efficiëntie is het verstandiger om de industrie en de transportsector voorrang te geven voor gebruik van groen gas en groene waterstof vanwege de hogere temperaturen die in die sectoren nodig zijn. Waterstof wordt daarnaast ook gebruikt als grondstof voor bijvoorbeeld kunstmest en kan in de toekomst een veel bredere toepassing krijgen als duurzame grondstof voor bijvoorbeeld plastic. Voor de voorziening van de gasvraag in de gebouwde omgeving zal daarom voorlopig nog aardgas nodig zijn. In het algemeen is de conclusie dat het gasnet in de gebouwde omgeving zoveel mogelijk moet worden uitgefaseerd om een blijvende afhankelijkheid van fossiele brandstoffen te voorkomen, maar dat de resterende gasvraag in 2040 mogelijk wel duurzaam kan worden ingevuld met de kennis en verwachtingen van nu. Voorwaarde is wel dat er sterk wordt ingezet op hybride warmtepompen in combinatie met isolatie in buurten waar het gasnet blijft liggen.

C 3.2 Elektriciteit

Net als in alle sectoren gaat ook in de gebouwde omgeving elektriciteit een nog grotere rol spelen. Met name voor het opwekken van warmte met warmtepompen in woningen, gebouwen en buurten zal de vraag naar elektriciteit stijgen. Deze

elektriciteit moet dan wel verduurzaamd (kunnen) worden. Zon en wind zijn daarvoor de meest logische bronnen voor Nederland op dit moment. Dit is een grote opgave. De huidige elektriciteitsmix in Nederland bestaat namelijk nog voor circa 80 procent uit fossiele bronnen.

Nu is elektriciteit altijd beschikbaar, omdat kolen-, gas en kerncentrales het gehele jaar door kunnen leveren op basis van de vraag. Maar in de toekomst zal het elektriciteitsaanbod veel minder constant en ook deels seizoensafhankelijk zijn door een groter aandeel van zonne-energie en windenergie. Het opslaan van energie en in dit geval dus warmte is noodzakelijk. Bij de keuze voor de energie-infrastructuur is het daarom nodig om meer rekening te houden met de (on)mogelijkheid om energie te bufferen en voor warmteopties te kiezen die een minimale impact hebben op de gevraagde capaciteit van het elektriciteitsnet. Belangrijk daarbij is te vermelden dat voor het voeden van warmtepompen elektriciteit uit windenergie veel meer geschikt is dan zonne-energie, omdat in het stookseizoen het aanbod van wind vele malen hoger ligt.

Op basis van de resultaten van de transitievisie warmte is voor Enschede de toekomstige elektriciteitsvraag berekend, verdeeld over de verschillende warmteopties. Deze verdeling is uiteraard onderhevig aan toekomstige ontwikkelingen en nieuwe inzichten en is daarom indicatief.

De tweede factor die bepaalt of de elektriciteitsvoorziening verduurzaamd kan worden is de impact op het net. Aardgasvrije warmteoplossingen doen niet alleen een beroep op de duurzame opwek van elektriciteit, maar ook op de transportcapaciteit van grote hoeveelheden elektriciteit. Omdat deze transportcapaciteit beperkt is, is het van belang dat de capaciteitsvraag van de warmteoptie zo laag mogelijk blijft. Deze impact heeft grote gevolgen voor de snelheid waarmee we de transitie kunnen realiseren. Op veel plekken ontstaan nu al knelpunten op het elektriciteitsnet.

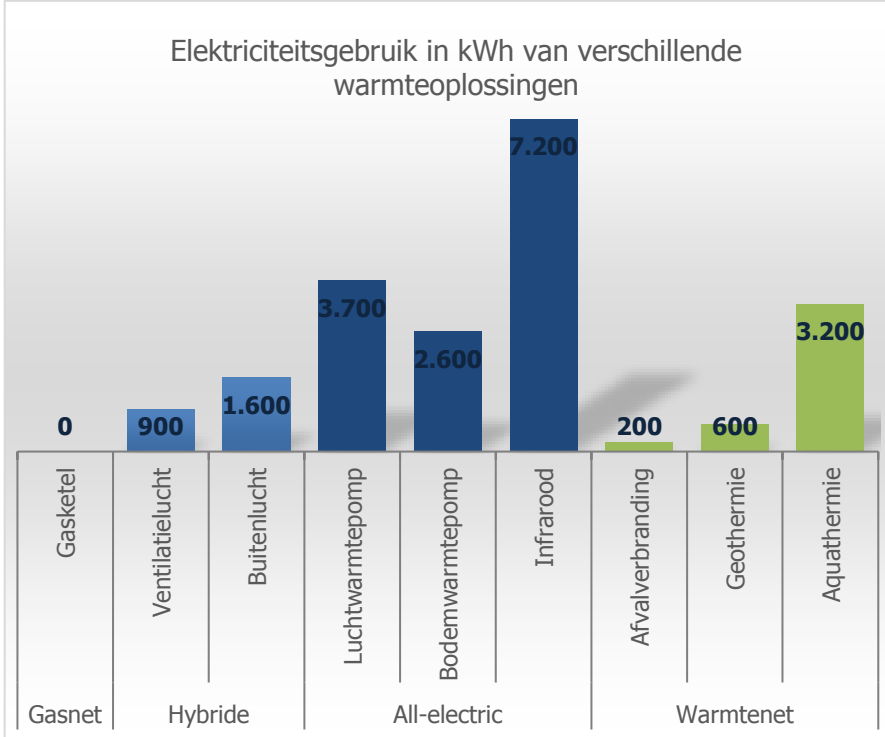
Daarnaast is de impact op het elektriciteitsnet van belang omdat de gevraagde piekcapaciteit direct verband heeft met de gelijktijdigheidsvraag naar elektriciteit van het elektriciteitsnet. De momenten waarop de vraag naar piekcapaciteit het hoogst is (aan het begin en aan het eind van de dag, en in het stookseizoen), zijn ook de momenten waarop er geen match met het aanbod van duurzame elektriciteit is. Dit wordt versterkt bij de vraag naar energie die nodig is voor het

opwekken van warmte voor ruimteverwarming, omdat deze vraag sterk seizoensgebonden is. Bij een grotere ongelijktijdigheid is het (nog) lastiger om vraag naar elektriciteit en aanbod van (duurzame) elektriciteit op elkaar af te stemmen.

Technieken die ongelijktijdigheden in elektriciteitsvraag en -aanbod op grote schaal kunnen overbruggen zijn kostbaar of gebaseerd op fossiele energie, bijvoorbeeld gascentrales die snel bij kunnen springen. Bij grotere ongelijktijdigheid wordt er dus meer afhankelijkheid gecreëerd van fossiele energie, ook op de lange termijn. Dit heeft dus een grote impact op zowel de toekomstbestendigheid als de duurzaamheid van de oplossing. Om een blijvende afhankelijkheid van fossiele energie te voorkomen is het daarom van belang om voor aardgasvrije warmteoplossingen te kiezen, die een zo laag mogelijke impact hebben op de capaciteitsvraag van het elektriciteitsnet.

In figuur C.4 is voor de meest voorkomende warmteoplossingen voor bestaande woningbouw de vraag naar elektriciteit voor ruimteverwarming in kWh per jaar weergegeven.

Figuur C.4. Elektriciteitsvraag diverse warmteoplossingen voor een rijwoning met basisniveau isolatie.



Uit de figuur kan worden afgeleid dat zowel bij een middentemperatuur warmtenet met een mix van diverse warmtebronnen als bij een all-electric oplossing met een mix van individuele oplossingen, elektriciteit een belangrijke energiebron zal zijn voor de warmtevoorziening. De impact op het elektriciteitsnet is sterk gecorreleerd aan het totale elektriciteitsgebruik van de warmteoptie. Bij warmtepompen die (gedeeltelijk) gebaseerd zijn op de buitentemperatuur (luchtwarmtepompen en aquathermie) wordt dit extra versterkt doordat in de winter, wanneer de warmtevraag het hoogst is, de efficiëntie van deze technieken lager is dan in de zomer.

Daarnaast laat de figuur zien dat de impact op het elektriciteitsnet van een collectieve oplossing aanzienlijk lager is dan die van een individuele all-electric

oplossing. De CO₂ -uitstoot van een warmtenet met een mix van diverse duurzame bronnen kan daarom sneller dalen dan die van all-electric oplossingen. Bij all-electric is er vanwege de hoge piekbelasting een grotere kans op een blijvende afhankelijkheid van fossiele bronnen.

C 3.3 Warmte

Naast duurzame elektriciteit en gas zijn er ook duurzame warmtebronnen nodig in de stad om de buurten die worden aangesloten op collectieve warmtenetten te voorzien van duurzame warmte. Onder warmte wordt de warmte verstaan die door een warmtenet naar gebouwen wordt gebracht. Omdat warmte lastiger te transporteren is dan gas en elektriciteit, moeten warmtebronnen, in tegenstelling tot gas en elektriciteit, lokaal of in de regio beschikbaar zijn. Naast de beschikbaarheid van de warmtebron is ook de temperatuur van de warmtebron van belang.

Er zijn verschillende soorten warmtebronnen, die hieronder per categorie worden besproken.

C 3.3.1 Restwarmte

Het bedrijfsleven kent vele soorten processen waar warmte ontstaat of overblijft waar op dit moment nog geen goede toepassing voor is. Deze 'overgebleven' warmte uit productieprocessen wordt restwarmte genoemd. Er zijn vele verschillende soorten van restwarmte met ook verschillende temperaturen. Dit kan bijvoorbeeld restwarmte zijn uit aan afvalverbrandingsinstallatie, energiecentrales of de (chemische) industrie. Het voordeel van deze hoge temperatuur restwarmte is dat er geen warmtepomp nodig is om de warmte naar het juiste temperatuurniveau te brengen om de gebouwde omgeving te kunnen verwarmen. Er is ook restwarmte beschikbaar van lagere temperatuur. Denk daarbij bijvoorbeeld aan restwarmte uit datacenters, koel- en vrieshuizen of ijsbanen.

Een mogelijk nadeel van restwarmte is de beschikbaarheid. Restwarmte is niet overal in significante hoeveelheden beschikbaar en het is soms onzeker hoe lang de warmte beschikbaar blijft. Ook dient een restwarmtebron voldoende warmtepotentieel te hebben om een aansluiting op het warmtenet aantrekkelijk te maken. Naast lokale restwarmtebronnen bestaat er soms ook de mogelijkheid om restwarmte te ontvangen van omliggende industriële clusters.

Omdat restwarmte een relatief goedkope bron is, is het nuttig om daar waar mogelijk en haalbaar deze bron te benutten voor de ontwikkeling van warmtenetten. Het is dan wel van belang dat er voldoende alternatieve duurzame warmtebronnen op beschikbaar zijn, zodat de leveringszekerheid van warmte kan worden gegarandeerd voor een zeer lange tijd.

C 3.3.2 Energie uit bodem (bodemwarmte) en diepere aardlagen (geothermie)

De bodem en diepere aardlagen kunnen als warmtebron dienen. Bodemwarmte is warmte die van de zon komt en de bodem in trekt tot enkele honderden meters. Boor je naar diepere aardlagen, dan spreken we over aardwarmte, ook wel geothermie genoemd. Deze warmte komt uit de hete kern van de aarde. Hoe dieper je boort naar warmte, hoe hoger de temperaturen zijn die je uit de aarde kan onttrekken. Als vuistregel kan aangenomen worden dat ongeveer voor elke kilometer de temperaturen oplopen met circa 30 °C.

Bron	Diepte	Temperatuur
Bodemplussen of WKO	Tot 250 meter	10 – 15 °C
Ondiepe geothermie	250 tot 1.000 meter	20 – 40 °C
Middeldiepe geothermie	1 tot 2 kilometer	40 – 70 °C
Diepe geothermie	2 tot 4 kilometer	70 – 100 °C

Diepe geothermie is in potentie een zeer duurzame bron omdat het gebouwen via een warmtenet direct kan verwarmen zonder de tussenkomst van een warmtepomp. Afhankelijk van de noodzakelijke aanvoertemperatuur is het voor middeldiepe en ondiepe geothermie wel noodzakelijk om nog een warmtepomp te gebruiken om de temperatuur te verhogen. Voor bodemplussen of WKO's is altijd een warmtepomp noodzakelijk. Of de bodem en aardlagen ook geschikt zijn om warmte uit te winnen hangt sterk af per locatie.

Geothermie wordt in het buitenland al heel lang toegepast voor verwarming, zeker in vulkanische gebieden zoals IJsland. In Nederland is het gebruik als warmtebron relatief nieuw, maar toch zijn er al verschillende succesvolle projecten.

C 3.3.3 Aquathermie

Ook water kan een potentieel zeer grote bron van warmte zijn. Thermische

energie uit water, ook wel aquathermie genoemd, kan in theorie een groot deel van de gebouwen van warmte voorzien. Aquathermie kan uit verschillende waterbronnen komen: oppervlaktewarmte (TEO), afvalwater (TEA) en drinkwater (TED). Zie 3.3.3.9 voor het potentieel voor aquathermie in Enschede.

Voor warmtenetten waar ook oudere woningen aangesloten moeten worden is het noodzakelijk dat de aanvoertemperatuur wel opgehoogd wordt van tussen de 5 °C en 25 °C naar maximaal 70 °C. Om aquathermie als warmtebron te benutten dient de temperatuur in bijna alle gevallen flink verhoogd te worden door middel van een warmtepomp. Er is bij de inzet van warmtepompen dus ook op termijn voldoende duurzame elektriciteit nodig. Een voordeel van aquathermie is dat het op een kleinere schaal kan worden toegepast dan bij andere potentiële bronnen voor warmtenetten, zoals bij restwarmte en geothermie.

Oppervlaktewater is in de zomer veel warmer dan in de winter. De warmte in het water uit de zomer kan onttrokken worden en tijdelijk opgeslagen in WKO-bronnen. Dit kan lokaal ook voordelen hebben voor waterkwaliteit en hittestress. Vervolgens wordt de warmte op een later moment met warmtepompen opgehoogd voor het warmtenet. Via dezelfde bron kan ook gekoeld worden, maar dit is niet noodzakelijk. Wanneer er zonder WKO-bron warmte uit oppervlaktewater gewonnen wordt, vraagt dit in de winter meer elektriciteit en kan er minder warmte benut worden.

C 3.3.4 Zonthermie

Zonthermie wordt steeds aantrekkelijker om in te zetten als bron. Op woning- of gebouwniveau als bron voor een warmtepomp (zie ook het kader op p.43-44), maar ook op grotere schaal bijvoorbeeld als bron voor een bronnet of warmtenet. Dit kan doordat de nieuwe generatie zonthermische panelen behalve uit zon- en daglicht ook heel goed warmte kan winnen uit de buitenlucht. Hierdoor kan ook 's nachts en in de winter voldoende warmte geleverd worden. Zeker in Enschede waar de potentie voor WKO laag is, lijkt zonthermie daarmee een interessante optie om in te zetten op bijvoorbeeld bedrijventerreinen.

C 3.3.5 Biomassa en groen gas

Biomassa is een containerbegrip dat vele potentiële vormen van energie omvat. Onder biomassa vallen bijvoorbeeld hout, mest, rioolslib, zeewier, GFT en algen.

Biomassa kan daarnaast is vele soorten energiedragers voorkomen: vaste brandstoffen zoals resthout, vloeibaar zoals in biobrandstoffen of gasvormig zoals bij groen gas. Energie uit biomassa is chemische energie die in de materialen zit, die omgezet kan worden in hoge temperatuur warmte of elektriciteit. Een speciaal soort biomassa energiedrager is groen gas. Dit kan gebruikt worden als alternatief voor aardgas.

Sommige vormen van biomassa, zoals houtverbranding, staan de laatste jaren ter discussie. Bij specifieke situaties en toepassingen worden vraagtekens gezet of de biomassa wel als duurzaam gezien kan worden. Er is ook veel politieke discussie over bepaalde vormen van biomassa. Het is belangrijk om altijd te specificeren welke vorm van biomassa bedoeld wordt en waar deze vandaan komt. Ook is het belangrijk om te overwegen of biomassa in een andere toepassing niet meer waarde heeft.

Op dit moment wordt er al een significante hoeveelheid biomassa toegepast in Nederland, voornamelijk uit reststromen die geen duidelijke andere functie hebben. Maar biomassa, zeker uit reststromen, is niet onbeperkt beschikbaar. Daarom moet er zuinig mee omgesprongen worden. Als dezelfde biomassa beter ingezet kan worden als grondstof, kan het misschien beter niet ingezet worden voor verwarming van woningen.

De verwachting is dat er de komende decennia meer biomassa beschikbaar komt voor het verduurzamen van alle sectoren. Zo verwacht het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) dat er de komende decennia veel meer groen gas beschikbaar komt. Maar dit zal waarschijnlijk veel minder zijn dan de huidige aardgasvraag in Nederland. Dat betekent dat groen gas voorlopig schaars is en zuinig ingezet moet worden. Ook andere sectoren zoals industrie, mobiliteit en back-up voor de elektriciteitsvoorziening zullen een beroep doen op een gedeelte van de biomassa en groen gas.

Voor de gebouwde omgeving betekent dit dat er waarschijnlijk ook een beperkte hoeveelheid biomassa en groen gas beschikbaar komt, maar dat dit zo zuinig mogelijk ingezet moet worden. De meeste warmtenetten zullen groen gas nodig hebben voor piekvoorzieningen in de winter. En biomassa of groen gas inzet kan interessant zijn voor woningen die echt geen goed alternatief hebben. Maar het devies blijft om waar we biomassa en groen gas inzetten, dit altijd zo efficiënt en effectief mogelijk moet.

C 3.3.6 Individuele biomassa

Op dit moment wordt er in Nederland in veel woningen al gebruikt gemaakt van biomassa voor verwarmen. In de vorm van houtkachels en open haarden wordt al houtachtige biomassa gebruikt voor verwarmen van gebouwen. De bestaande open haarden zijn vaak niet erg efficiënt en stoten ook veel stoffen uit, zoals fijnstof. Het heeft daarom in de meeste gevallen de voorkeur dat áls er gekozen wordt voor biomassa voor verwarming, dit waar mogelijk op een centrale locatie gebeurt. Daar kan de inzet zo efficiënt mogelijk worden toegepast en zoveel mogelijk schadelijke stoffen uit de uitlaatgassen gefilterd worden.

C 3.3.7 Ontwikkeling energievraag

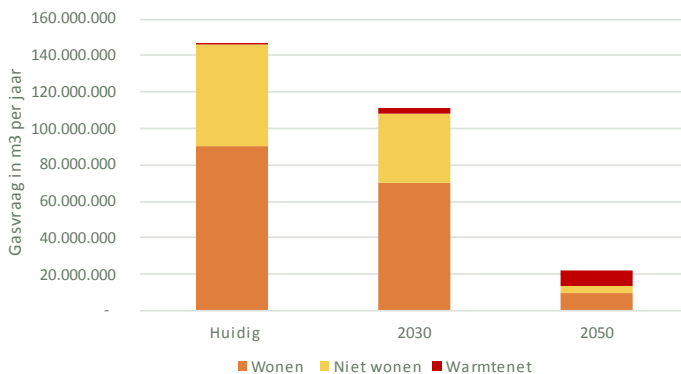
In deze paragraaf maken we een analyse van wat de impact is van de warmtetransitie op de vraag naar gas, elektriciteit en warmte.

Ontwikkeling van de gasvraag

Het is van belang dat de vraag naar gas in de gebouwde omgeving sterk gaat dalen, zodat het resterende aardgas gefaseerd kan worden vervangen door duurzaam gas. In figuur C.5 is te zien dat de vraag naar gas sterk gaat dalen door de combinatie van isoleren en de overstap naar de diverse warmteopties. De gasvraag in 2050 is nog maar ongeveer 15% van de huidige gasvraag. Dit is inclusief het gas benodigd voor de piekvraag van het warmtenet.

Figuur C.5 Inschatting ontwikkeling van de vraag naar gas tussen nu en 2050

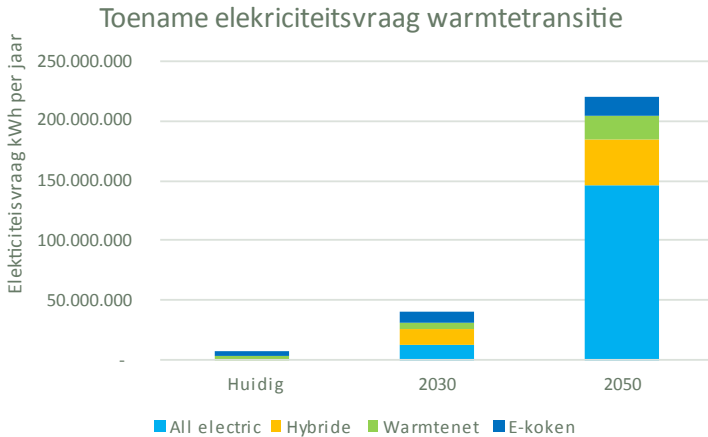
Ontwikkeling gasvraag



Ontwikkeling elektriciteitsvraag

Net als in alle sectoren gaat ook in de gebouwde omgeving elektriciteit een nog grotere rol spelen. Als gevolg van de warmtetransitie zal de vraag naar elektriciteit tot 2030 stijgen door met name hybride oplossingen en elektrisch koken. Ook de impact van hittestress en een toenemende koeltevraag kan impact hebben op het elektriciteitsnet. Meer informatie over hitte en koelte is terug te vinden in bijlage C.4. Na 2030 zien we een sterke stijging van all electric oplossingen. Ook zien we een toename van de elektriciteitsvraag voor het warmtenet door het inkoppelen van diepe geothermie op het net in dit scenario.

Figuur C.6: Inschatting ontwikkeling elektriciteitsvraag als gevolg van de warmtetransitie



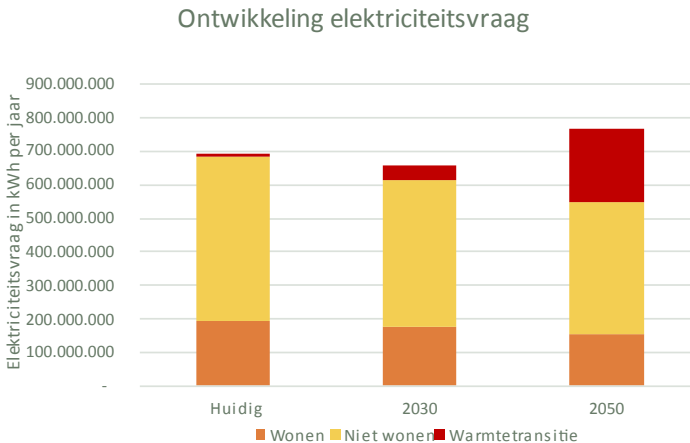
Wat van belang is, is dat elektrisch koken en all electric verwarmen een veel grotere impact op het elektriciteitsnet hebben dan een diepe geothermieput of hybride warmteoplossingen. Met name bij de sterke toename van all electric na 2030 kan de capaciteit van de energie-infrastructuur een beperkende factor zijn van de groei. Naast de opgave voor de warmtetransitie ligt er ook een grote opgave voor mobiliteit. De sterke groei van elektrische laadinfrastructuur heeft ook een grote impact op de capaciteit en de elektriciteitsvraag. Een elektrische auto vraagt ongeveer 3.000 kWh aan elektriciteit bij 15.000 km. Hierdoor komt groei van all electric na 2030 nog meer onder druk te staan. Gevolg kan zijn dat

het aandeel hybride warmtepompen daardoor groter zal worden.

De toenemende vraag naar koeling heeft ook impact, maar dit is veel minder dan all electric verwarmen en mobiliteit (zie ook hoofdstuk 3.4). Stel dat 20% van de woningen/ruimtes in de woningen actief wordt gekoeld met split-units (bijvoorbeeld slaapkamer en werkkamer) dan vraagt dit maar 100 kWh gemiddeld per woning aan extra elektriciteit. Dat is de helft van elektrisch koken. Ook is de vermogensvraag voor koeling bij woningen veel lager dan voor verwarmen, waardoor de impact op het net dus lager is.

In figuur C.7 staat de ontwikkeling van de totale elektriciteitsvraag in de gebouwde omgeving, dus exclusief mobiliteit. Uitgangspunt is dat de huidige elektriciteitsvraag voor huishoudelijke energie en gebruikersenergie door besparingen zal dalen met 20% in 2050.

Figuur C.7: Inschatting ontwikkeling elektriciteitsvraag gebouwde omgeving tussen nu en 2050



Ontwikkeling warmtevraag warmtenet

Enschede heeft een goed ontwikkeld warmtenet. De hoofdleidingen liggen door de hele stad heen, waardoor het mogelijk is om warmte van Twence en op termijn van andere bronnen naar de stad te brengen. De huidige capaciteit van het warmtenet wordt nog maar beperkt gebruikt.

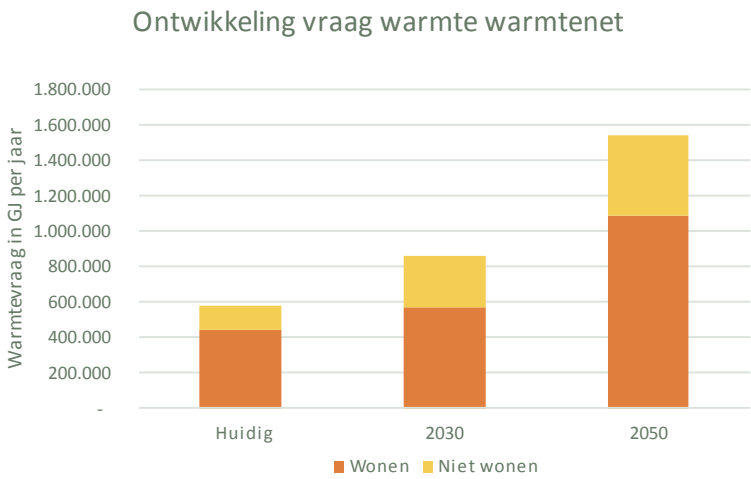
Door de groei van het warmtenet zal de vraag naar warmte sterk stijgen. In figuur

C.8 staat de ontwikkeling van de totale warmtevraag in het warmtenet. In 2030 is het warmtenet gegroeid naar 25 duizend woningequivalenten (WEQ) en in 2050 naar 45-50 duizend. Voor de groei moet wel voldoende aanbod zijn van duurzame warmte. Voor het aanbod van duurzame warmte wordt verwezen naar C3.3.3.8.

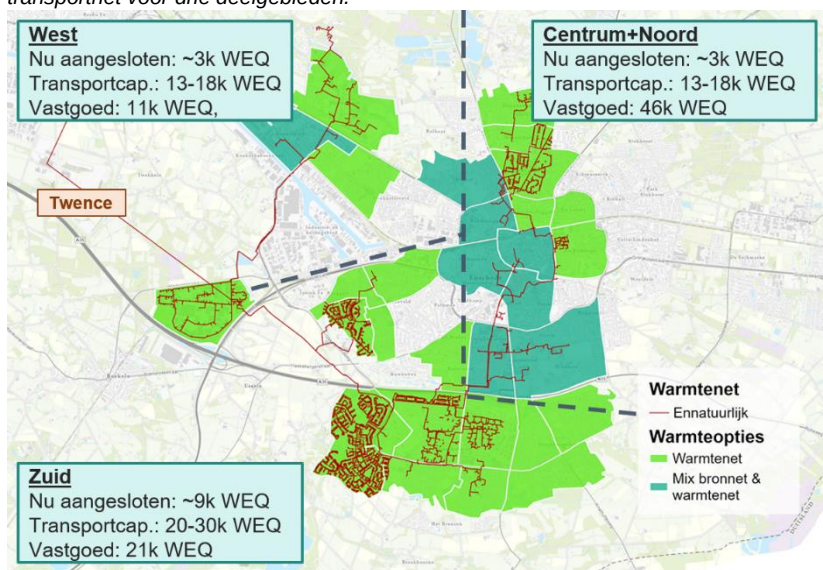
De hoofdtransportleidingen van het bestaande warmtenet hebben de capaciteit om warmte te leveren aan 30 tot 45 duizend WEQ. De grootste bottleneck is de beperkte capaciteit van de hoofdtransportleiding vanuit het zuiden naar het centrum. Met deze leiding kunnen niet meer dan 13 tot 18 duizend WEQ in het centrum en noorden bediend worden. Dit biedt nog ruim voldoende groeipotentieel, aangezien momenteel maar 3 duizend WEQ zijn aangesloten op dat deel. Het warmtenet kan dus zonder capaciteitsproblemen tot 2030 groeien.

Voor groei na 2030 kan de transportcapaciteit als volgt vergroot worden: De westelijke leiding langs Tweekelerveld naar het centrum uitbreiden of invoeding van warmte aan de noordzijde van Enschede via bijvoorbeeld diepe geothermie.

Figuur C.8: Inschatting ontwikkeling van de warmtevraag warmtenet tussen nu en 2050



Figuur C.9: Huidige aansluitingen warmtenet in Enschede en mogelijkheden tot groei binnen het transportnet voor drie deelgebieden.⁸



Op basis van een analyse van het huidige warmtenet en de capaciteit van alle leidingen zien we dat er met de huidige infrastructuur nog een flinke groei van het warmtenet mogelijk is. De infrastructuur biedt voldoende capaciteit om tot 31.000 aangesloten WEQ⁹ door te groeien. Alleen in Noord kan er op termijn mogelijk een knelpunt ontstaan. Dat kan echter opgelost worden door lokaal bronnen toe te voegen. Bijvoorbeeld geothermie als blijkt dat er potentie is om deze bron op termijn te ontsluiten.

C 3.3.8 Toekomstige beschikbaarheid van warmtebronnen voor het warmtenet

Om de resultaten van de Transitievisie Warmte te kunnen toetsen aan de

⁸ Hierbij gaan we voor deze berekening uit van een warmtevraag van 36 GJ/jaar per WEQ. Als de warmtevraag omlaag gaat door isolatie kunnen er meer WEQ voorzien worden van warmte.

⁹ Dit in het minimale scenario. Als alle woningen geïsoleerd worden tot label B of hoger en de dekkingsgraad vanuit Twence ~75% is, kun je maximaal 54.000 WEQ aansluiten.

beschikbaarheid van warmtebronnen, is een berekening gemaakt van de toekomstige benodigde warmte voor de warmtenetwijken. Dit is gedaan om te kunnen bepalen of er voldoende duurzame warmte beschikbaar is en blijft en of de warmtenetinfrastuctuur hiervoor toereikend is. Daarom moeten we een goede inschatting hebben van hoeveel woningen en bedrijven naar verwachting op het warmtenet aangesloten zullen gaan worden tussen nu en 2050.

Op dit moment is in Enschede 80 MW aan warmtecapaciteit voor de piekvraag nodig en ongeveer 30 MW voor de basislastvraag. Het huidige warmtenet van Enschede wordt gevoed door volgende warmtebronnen en bijhorende installaties:

- Warmte Twence: Twence heeft warmte beschikbaar uit verbranding van huishoudelijk afval en afvalhout (zogenoemd B-hout). Dit is warmte met een hoge temperatuur, tot maximaal 120°C. Twence heeft de volgende installaties:
 - Afvalhout verbranding: Daarvan is 50 MW beschikbaar. Dit is momenteel de belangrijkste warmtebron. De toekomst na 2030 is afhankelijk van subsidies, zoals de [SDE++ subsidie](#), de beschikbaarheid en de prijs van afvalhout voor verbranding.
 - Afvalverbranding: 120 MW is beschikbaar en levert nu ongeveer 25% van de warmtevraag. Het vermogen wordt op dit moment dus beperkt benut. Daarnaast kan het vermogen verhoogd worden door procesoptimalisaties en door minder elektriciteit te produceren. Het vermogen kan verlaagd worden door CO₂ -afvang toe te passen, omdat voor CO₂ -afvang warmte nodig is. Er wordt alleen regionaal afval verbrand. Dit betekent dat er geen sprake is van grootschalige import van afval.
 - Daarnaast heeft Twence enkele kleinere installaties staan, waaronder vergisting en pyrolyse. Deze produceren op beperkte schaal warmte, ongeveer 4% van de huidige warmtevraag.
- Hulpketels en Warmtekrachtkoppelinginstallaties (WKK's) op aardgas van Ennatuurlijk voor de back-up en de pieklast: Op diverse plekken in de stad heeft Ennatuurlijk hulpketels en WKK's staan die bij een piek in de warmtevraag worden gebruikt. Daarnaast staan deze ook paraat voor als de afvalverbrandingsinstallatie van Twence uitvalt. De WKK's dienen dus als back-up. De bronnen van Twence kunnen gemakkelijk in de huidige

warmtevraag voorzien. Daarom leveren deze bronnen maar ongeveer 1% van de huidige warmtevraag.

C 3.3.9 Potentieel warmtebronnen en scenario's tot 2050

In de huidige situatie is er meer dan voldoende warmte beschikbaar. Vuistregel is dat er 1,5 à 2 MW aan warmteproductie nodig is om duizend woningen van voldoende basislast warmte te voorzien. Naast basislast zijn hulpketels nodig om voldoende warmte te produceren op koude dagen. De huidige installaties kunnen aan ongeveer 85 duizend WEQ-warmte leveren. Dat is meer dan wat met de huidige inzichten in 2050 ingezet zou kunnen worden in Enschede.

Voor Twence zijn vier scenario's denkbaar voor de periode na 2030. Tot en met het jaar 2030 zijn door lopende overeenkomsten de huidige installaties in elk geval in bedrijf.

1. Groeistrategie: de huidige verbrandingscapaciteit van 170 MW blijft behouden tot 2050 en daarna en groeit door realisatie van nieuwe installaties, bijvoorbeeld gericht op biochemie, waarbij nuttige restwarmte ontstaat voor het warmtenet.
2. Behoud installaties: de huidige bronnen blijven behouden, incl. afvalhoutverbranding. CO₂ -afvang en systeemoptimalisaties zorgen voor behoud capaciteit. Eventuele daling van Nederlands aanbod van afval en/of afvalhout wordt opgevangen met import uit Duitsland. De afvalhoutverbrandingsinstallatie kan eventueel ook overschakelen op andere duurzame reststromen.
3. Behoud afvalverbranding, sluiting afvalhoutverbranding. In dat geval daalt de capaciteit van 170 MW nu naar ongeveer 120 MW in 2030.
4. Scenario circulaire economie: krimp afvalverbranding, sluiting afvalhoutverbranding. Afvalhout wordt 100% gerecycled en 2/3^e deel van het regionaal afval wordt gerecycled. Er kan geen afval geïmporteerd worden en biochemie biedt geen restwarmte. Met procesoptimalisaties zou dat betekenen dat dan nog 50 MW beschikbaar is. Dit is het meest ambitieuze circulaire scenario denkbaar, met de grootste impact op de capaciteit van Twence.

Daarnaast zijn er mogelijke andere warmtebronnen in Enschede beschikbaar. Een analyse heeft de volgende bestaande en mogelijke bronnen in kaart gebracht (zie onderstaande figuur C.10). Hierin vertegenwoordigt de grijze kleur de al

bestaande bronnen in Enschede die nu al basislastwarmte leveren. In de groene kleur in de figuur zijn de mogelijke bronnen benoemd.

Figuur C.10: Bestaande en mogelijke warmtebronnen in Enschede

	Vermogen MW	Temperatuur Geschiktheid bouwjaren <1990	Type Basislast Pieklast	Kosten Hoog Middel Laag	Opmerkingen Duurzaamheid, zekerheid
Twence afval 3 ketels	110-130	HT	B/P	L	Beschikbaarheid afval; hoge zekerheid voor 100 MW
Twence B-hout	50	HT	B/P	L (SDE)	Import B-hout, SDE t/m 2030 concurrerende installaties
Twence vergisting	3	HT	B	L (SDE)	Kleine bron; SDE afhankelijk; groeipotentie tot circa 10 MW
Geothermie - open	5-10 per doublet	MT	B	L (subs.)	Nader onderzoek, potentie m.n. boven Oldenzaal
Geothermie – gesloten	2-5 per boring	MT	B	L	Innovatieve techniek
RWZI West (TEA)	~10 [check]	LT	B	M	brontemperatuur
Nieuwe B-hout	50	HT	B/P	M (subs.)	Beschikbaarheid B-hout
RWZI Oost (TEA)	<5	LT	B	M	Gaat mogelijk sluiten
Riool- of drinkwaterleiding (TEA, TED)	<5	LT	B	H	Alleen zeer lokaal toepasbaar
Oppervlaktewater (TEO)	<10	LT	B	M	Twentekanaal; WKO nodig
Datacenter TU / Equinix	<5	LT	B	L	
Obian (voorheen Nouryon)		LT (40C) HT (als condensaat stoom Twence)	B/P	M	Toekomst zoutwinning en/of toekomstige duurzame zoutwinningstechnieken
Restwarmte Grolsch		MT	B	M	Retour van warmtelevering aan Grolsch, alleen lokaal inzetbaar

Restwarmte Vredestein		HT	B	M	Langetermijn levering en/of alternatieven bij Vredestein
WKO		LT	B/P	M	Bodemgesteldheid slecht
Zon in veld	<5 per installatie	MT	Zomer	H	Alleen buitengebied, seizoensopslag nodig
Biogas		HT	B/P	L / M	Alternatieve toepassing; geen bio-gas infrastructuur voorzien

In bovenstaande figuur zijn in de grijze kleur de mogelijke basislastbronnen aangegeven. In een aantal gevallen kunnen deze bronnen ook ingezet worden voor piekwarmte. Onderstaande bronnen zijn bronnen die alleen voor piekwarmte ingezet kunnen worden.

Figuur C.11: mogelijke bronnen voor piekwarmte

	Vermogen MW	Temperatuur Geschiktheid bouwjaren <1990	Type Basislast Pieklast	Kosten Hoog Middel Laag	Opmerkingen Duurzaamheid, zekerheid
Groen gas / waterstof via bestaand gasnet + ketel		HT	P	M / H	Beschikbaarheid; inzet denkbaar / mogelijk via bestaande gasketels.
E-boiler, lucht/water WPs		MT / HT	P	M	Impact E-net, kosten E bij windstille winterpiekvraag
Opslag ochtendpiek (4- 12h)		MT / HT	P	M	Nuttig, maar geen bron

Naast Twence zijn er in de stad en de regio de volgende bronnen denkbaar met voldoende schaal (>10 MW) om in te voeden op het warmtenet (figuur C.10) geeft het totaal overzicht van mogelijke bronnen):

- Diepe geothermie is een bron die wellicht voor Enschede op een diepte van 2 kilometer of meer mogelijkheden biedt, maar er zijn nog veel onzekerheden over de ondergrond. Hier wordt aanvullend onderzoek naar gedaan, onder andere door Energie Beheer Nederland.
- Nobian (voorheen Nouryon) heeft de beschikking over restwarmte uit hun proces om zout te maken. Deze warmte kan op hoge (ongeveer 120°C) of lagere temperatuur (ongeveer 40°C) beschikbaar zijn. Nobian gebruikt zelf stoom van Twence (zie hierboven) of uit hun eigen gasgestookte installatie.
- Aquathermie: Warmte uit de rioolwaterzuivering (RWZI) nabij Kennispark / Twekkelerveld. De temperatuur van deze restwarmte is ongeveer 15°C.
- Warmte uit de datacenters (datathermie) bij de universiteit, Kennisparken van nog te ontwikkelen datacenters. De temperatuur van deze restwarmte is ongeveer 25-30°C.

Datacenters

Er worden meer en meer datacenters ontwikkeld in Nederland, en ook Enschede heeft datacenters. De servers in deze centers produceren veel warmte. De temperatuur van deze restwarmte is circa 30°C. Deze warmte kan met een warmtepomp op een hogere temperatuur worden gebracht. Zo kan in combinatie met een warmtenet de gebouwde omgeving worden verwarmd met deze restwarmte. Er is ook een nieuwe technologie in ontwikkeling om deze servers te koelen met minerale olie. Hierdoor kan in de toekomst mogelijk circa 50°C aan restwarmte uitgekoppeld worden.

Met uitzondering van geothermie gaat het om laagtemperatuur bronnen. Om de bovengenoemde lage temperatuur bronnen te kunnen benutten voor warmtenetten kan met behulp warmtepompen de temperatuur naar ongeveer 70°C opgewaardeerd worden.

Biomassa als warmtebron voor het warmtenet is voor de lange termijn mogelijk niet meer in beeld voor Enschede. Van biomassa in de vorm van bijvoorbeeld hout, bermgras, mest, slib, zeewier en mogelijk ook algen kan energie geproduceerd worden. Biomassa is echter schaars. De makkelijkste bron (knip- en snoei-afval) is al volledig benut in Nederland. In lijn met de Regionale Energie Strategie voor Twente moeten we daarom zeer zorgvuldig met biomassa omgaan. Ook B-hout kent in de toekomst mogelijk een andere bestemming. En er zijn andere sectoren waarin biomassa een hogere waarde heeft dan het verwarmen van de gebouwde omgeving, waaronder chemie, industrie en transport. Denkbaar is dat er restwarmte vrijkomt bij opwaardering van biomassa naar grondstoffen, maar deze opwaardering vergt innovatie. Het verbranden van hout of houtpellets (import) op de langere termijn moet daarom voorkomen worden. Dit geldt dus ook voor toepassing in de woning met een open haard of kachels.

In een conservatief scenario zonder biomassa en geothermie en met beperkte beschikbaarheid van afval is er naast 50 MW van Twence nog ongeveer 10-20 MW lokale warmte beschikbaar. Dit is dus zeker genoeg om het warmtenet te laten groeien naar 30-35 duizend WEQ. De beoogde groei tot 2030 kan hiermee sowieso worden waargemaakt. In de andere drie scenario's (groeistrategie Twence, behoud installaties, en beëindiging afvalhoutverbranding) is er meer dan

genoeg warmte bij Twence voor de groei tot 45-50 duizend WEQ in 2050. Om 45-50 duizend WEQ van voldoende duurzame basislast warmte via het huidige warmtenet te voorzien is tot circa 100 MW aan vermogen nodig bij Twence of andere bronnen met een hoge temperatuur.

C 3.3.10 Energie- en warmteopslag

Warmteopslag wordt meestal geassocieerd met warmte- koudeopslag in de bodem (WKO-bronnen). Echter worden er in WKO-bronnen, op circa 50-250 meter diepte, temperaturen van maar 10-25°C opgeslagen. Er is dus aanvullend een warmtepomp nodig om gebouwen en woningen met deze brontemperatuur te kunnen verwarmen. Warmteopslag, waarmee direct kan worden verwarmd met temperaturen tussen de 40°C en 90°C, wordt echter nog weinig toegepast. De verwachting is dat dit zal sterk gaan veranderen, omdat de capaciteit van het elektriciteitsnet in Enschede beperkt is.

De vraag naar warmte voor het verwarmen van gebouwen en woningen is zeer seizoensgebonden. De vraag naar warmtapwater is het gehele jaar vrij stabiel en heeft pieken in ochtend- en avonduren. Ruimteverwarming heeft echter een enorme dip in de zomer en een zeer hoge piekvraag op koude dagen. Daarom moet bij de keuze van de warmteoptie rekening gehouden worden met de impact op het elektriciteitsnet. Bij collectieve warmteoplossingen is de impact op het elektriciteitsnet veel lager dan bij individuele all-electric oplossingen (zie elektriciteit).

Warmteopslag maakt het mogelijk om het benodigde piekvermogen van een warmteopwekker, zoals een warmtepomp, verder te verkleinen. Ook kan er meer warmte uit dezelfde warmtebron worden benut. Een traditionele gasketel is een goedkope technologie waarbij het gebruikelijk is om het benodigde ketelvermogen te dimensioneren op de piekwarmtevraag voor ruimteverwarming en/of warm tapwater. Het huidige gasnet heeft hiervoor voldoende capaciteit.

Het huidige elektriciteitsnet heeft echter deze capaciteit bij lange na niet. In het geval van de overstap van een gasketel naar warmtepompen moet de capaciteit van het huidige net dus verhoogd worden. Als dit voorkomen of beperkt kan worden, bespaart dat veel geld voor de maatschappij. Ook is de investering in

een warmtepomp relatief hoog, dus hoe kleiner de warmtepomp, hoe beter de businesscase. Daarnaast werkt een warmtepomp het meest optimaal wanneer deze continu kan draaien en is de technologie minder geschikt om in een korte tijdspanne een grote hoeveelheid water te verwarmen. Daarom worden warmtepompen die nu al toegepast worden in woningen gecombineerd met een boiler van circa 150 liter om warm tapwater voor één dag op te slaan. Door een warmtepomp te combineren met warmteopslag voor niet alleen warm tapwater maar ook ruimteverwarming kan de warmtepomp (nog) kleiner uitgevoerd worden, kan deze meer draaiuren maken en hoeft het elektriciteitsnet dus minder verzwaard te worden.

Een ander belangrijk aspect, dat meegenomen moet worden, is dat ook aan de bronzijde veel gaat veranderen. Nu is elektriciteit altijd beschikbaar, omdat kolen- en gascentrales het gehele jaar door kunnen leveren op basis van de vraag. Maar in de toekomst is het aanbod van zonne-energie en windenergie veel minder constant en ook deels seizoen afhankelijk.

Het vierde voordeel dat een warmtepomp in combinatie met warmteopslag biedt, is de mogelijkheid voor vraagsturing. Wanneer de elektriciteitsprijs laag is of er overschotten zijn van (zelf) opgewekte hernieuwbare elektriciteit kan de warmteopslag gevuld worden voor gebruik op een later moment. Op momenten dat er een piek is in de elektriciteitsvraag wordt (ook) warmte vanuit de warmteopslag geleverd. Opslag is dus noodzakelijk om de elektriciteit, die een warmtepomp gebruikt, CO₂ neutraal op te kunnen wekken.

De ontwikkelingen op het gebied van warmteopslag staan niet stil. Om warmteopslag in woningen in combinatie met warmtepompen toe te kunnen passen moet echter nog wel een grote sprong gemaakt worden. Voor een waterbuffer is er simpelweg geen ruimte en compacte technieken, die breed toepasbaar zijn in woningen, zijn nog niet marktrijp.

Bij een collectieve oplossing voor een gebouw of bij een warmtenet kan met de huidige stand van de techniek wel al warmte opgeslagen worden. Grote buffervaten boven of ondergronds gevuld met warm water kunnen als warmtebatterij dienen. Bij warmtenetten wordt deze techniek al toegepast. Er worden ook nieuwe compactere warmtedragers dan water uitgetest en ontwikkeld, zoals phase change materials (PCM's) en thermochemische

warmtebatterijen. Bij de meeste warmtenetten hebben de duurzame bronnen niet voldoende capaciteit om ook in de winterpiekvraag te voorzien. Opslag maakt dat wel mogelijk, zodat gasketels minder ingezet hoeven te worden.

C4 Hitte en Koude

Hitte in en rond gebouwen wordt een steeds belangrijker onderwerp. De laatste jaren zijn er steeds vaker hittegolven in Nederland. Vooral de dagen waarbij temperaturen oplopen tot boven de 30 graden kunnen zorgen voor overlast van warmte in de gebouwde omgeving. De eerste effecten van klimaatverandering worden hiermee zichtbaar.

Isolatie zorgt er in de winter voor dat de warmte onze woningen en gebouwen minder snel verlaat. Een prettig bijeffect is dat isolatie er ook voor zorgt dat deze woningen en gebouwen in de zomer koeler blijven. Dat komt doordat de isolatielaag de warmte buiten houdt. Als de warmte eenmaal binnen is, raken (zeer) goed geïsoleerde woningen wel moeilijker hun warmte kwijt.

Daarnaast zullen er door klimaatverandering steeds vaker en heftigere hittegolven ontstaan. Deze twee effecten zorgen ervoor dat de komende decennia er steeds meer behoefte zal zijn om warmteoverlast in woningen te voorkomen. Dit is een belangrijk onderwerp en heeft een directe relatie met de Transitievisie Warmte.

De eerste effecten zijn al zichtbaar. De laatste jaren zijn er steeds vaker hittegolven in Nederland. Vooral de dagen waarbij temperaturen oplopen tot boven de 30 graden kunnen zorgen voor overlast van warmte in de gebouwde omgeving. Het effect van hitte wordt daarnaast versterkt in wijken met veel hoogbouw en verstening. Dit kan leiden tot *urban heat islands*, een stedelijk gebied dat significant warmer is dan de omliggende gebieden.

Hitte kan een enorme impact hebben op bewoners, gebouwen en de leefomgeving, zoals:

- Leefbaarheid: leefbaarheid en comfort in gebouwen, arbeidsproductiviteit
- Buitenruimte: Sociale overlast, druk op buitenruimte, schade aan de

natuur

- Gezondheid: van slaapproblemen tot sterfte
- Water: extra watervraag, (drink)waterkwaliteit en temperatuur van koelwater
- Infrastructuur: problemen voor bruggen, rails en bestrating
- Energie: verhoging energievraag, druk op energie-infrastructuur

Hitte is daarmee dus niet alleen een probleem van gebouwen en gebruikers van gebouwen, maar ook van de leefomgeving rond gebouwen. Ook wordt hittestress dus niet alleen veroorzaakt door gebouweigenschappen (o.a. mate van isolatie, glaspercentage, zonwering en oriëntatie) maar ook door locatiespecifieke eigenschappen (verstening en bebouwingsdichtheid).

C 4.1 Voorkomen van warmteoverlast

Niet iedereen ervaart dezelfde temperatuur als 'warmteoverlast'. Dit kan per leeftijdsgroep en persoon sterk verschillen. Ook is het afhankelijk van de specifieke functie van het gebouw of een ruimte, wanneer 'warmteoverlast' wordt ervaren. In ruimtes waar er wordt gewerkt, geslapen of gesport zal eerder overlast zijn, dan in ruimtes voor ontspanning. Om de gebouwde omgeving voor iedereen in de toekomst comfortabel en leefbaar te houden is het belangrijk om warmteoverlast te voorkomen of in ieder geval de mogelijkheden te bieden om deze te verminderen. Er zijn twee manieren om dit te doen:

1. Voorkomen dat gebouwen verregaand opwarmen;
2. Het actief koelen van gebouwen en/of ruimtes om warmte kwijt te raken.

Voorkomen dat gebouwen verregaand opwarmen

'Voorkomen is beter dan genezen'. Dit geldt ook in veel gevallen voor warmteoverlast: het voorkomen van veel warmte is vaak beter dan het actief massaal gaan koelen van gebouwen. Dit kan door beschaduwning, reflectie, verdamping en ventilatie. Dit soort maatregelen worden ook wel 'klimaatadaptieve maatregelen' genoemd.

Principe	Werking	Voorbeelden
Beschaduwing	Voorkomen directe zoninstraling	Bomen, zonwering, parasols/doeken/pergola's/luifels, groene daken/gevels/tegels, minder grote glasoppervlaktes op het zuiden
Reflectie	Reflecteren van zoninstraling	Meer groen op en rond gebouwen, witte daken, zonwerend glas, lichte kleuren gevels en straten
Verdamping	Verkoeling door meer water in de omgeving	Meer groen op en rond gebouwen, vijvers, meren, fontein, vernevelingsinstallaties, polderdaken
Ventilatie	Koelere lucht het gebouw of gebied in laten stromen	Balansventilatie, nachtventilatie en ventilatoren.

De tijd en eigenaarschap van deze maatregelen kan erg wisselen. Zonwering en vegetatiedaken zal op initiatief en rekening zijn van de gebouweigenaar, terwijl openbaar groen of water in de wijk bij de gemeente ligt. Het voorkomen van warmteoverlast is een onderdeel van een 'aanpak klimaatadaptatie', waar veel partijen bij betrokken kunnen en moeten zijn. Het is daarom belangrijk om deze maatregelen in een uitvoeringsprogramma met concrete maatregelen op te nemen. Voordeel van deze aanpak is dat het integraal is. Niet alleen de gebouwen worden minder warm, maar ook de kwaliteit van de leefomgeving kan dus sterk verbeteren.

Het actief koelen van gebouwen om warmte kwijt te raken

Wanneer het een gegeven is dat gebouwen en woningen opwarmen, kan het noodzakelijk zijn om door actieve koeling warmte te onttrekken. We noemen deze 'vraag' naar het onttrekken van warmte ook wel de 'koudevraag'. Deze kan ingevuld worden op een energie intensieve of een energie extensieve manier. De mate van energie intensiviteit hangt natuurlijk ook samen of je een geheel gebouw of woning koelt of alleen een werkruimte en/of slaapkamer.

Principe	Werking	Voorbeelden
Zeer energie intensief	(Omgevings)energie gebruiken voor een koelproces	Mobiele airco in combinatie slang door geopend raam
Energie intensief		Koelen met buitenlucht (lucht-water warmtepomp of split-unit) en koelen met restwarmte (absorptiekoeling)
Energie extensief	Koude bufferen of (omgevings) energie gebruiken om koude te verplaatsen	Ventilator, koelen met koude uit de bodem (WKO of bodemlus), adiabatische koeling (lucht afkoelen door verdamping van water) en/of opslag van koude in bijvoorbeeld gebouwmassa of phase change materials

Vanzelfsprekend ligt de voorkeur bij energie-extensieve opties, alleen zijn deze niet altijd toepasbaar of voldoende om tot de benodigde koelbehoefte te komen. Kosten, ruimtegebruik en inpasbaarheid in de bestaande gebouwde omgeving zijn ook belangrijke factoren voor de haalbaarheid.

C 4.2 Relatie warmteoptie en koudevraag

De Transitievisie Warmte richt zich primair op de verduurzaming van de warmtevraag in de gebouwde omgeving. Het onderwerp hitte en warmteoverlast is relevant omdat het impact kan hebben op de keuze voor de warmteoptie.

Belangrijk daarbij is om te beseffen dat het actief verwarmen van gebouwen waar mensen in verblijven altijd een primaire levensbehoefte is en er bij woningen daarnaast ook altijd een warm tapwatervraag is. Dit in tegenstelling tot actieve koeling. Het collectief invullen van koelbehoefte zorgt daarbij voor de volgende uitdagingen:

- Of er actief gekoeld moet worden in een gebouw of woning is gerelateerd aan de locatie, functie en doelgroep en is sterk afhankelijk van de oriëntatie van de ruimte, het gebruik ervan en de mate van isolatie van het gebouw.
- Actieve koeling vraagt een geschikt afgiftesysteem. Dit betekent in veel gevallen een extra investering om het gebouw voor actieve koeling geschikt te maken, zoals het vervangen van de radiatoren en een installatietechnische regeling geschikt voor koeling.

- Naast een collectieve warmte-infrastructuur is er vaak ook een collectieve koude-infrastructuur nodig, wat meer druk geeft op het gebruik van de ondergrond.

Naast inzetten op isolatie is het dus van belang om op gebouw- en wijkniveau te kijken waar deze maatregelen kunnen worden gecombineerd met klimaatadaptieve maatregelen. Zo kan zonwerende coating worden toegepast op het oosten en zuiden als het glas wordt vervangen door isolatieglas en kan je bij woongebouwen groene daken of witte daken aanbrengen als de dakbedekking wordt vervangen in combinatie met dakisolatie. Wat niet kan worden voorkomen is dat er bepaalde specifieke woningen en ruimtes in woningen actief gekoeld moeten worden. In veel gevallen helpt een ventilator. Lokaal kan ook een split-unit uitkomst bieden. Voorkomen moet worden dat mobiele airco's worden aangeschaft, bijvoorbeeld met een Europese eis voor de energie-efficiëntie van mobiele airco's, vergelijkbaar met lampen en stofzuigers.

C 4.3 Waar kan men op letten bij de diverse warmteopties

De Transitievisie Warmte geeft per wijk een voorkeursoptie voor de bestaande gebouwde omgeving. Per voorkeursoptie geven we een aantal zaken waar op gelet moet worden in relatie tot hitte en koudevraag. In het algemeen kan worden gesteld dat actieve koeling bij woningbouw veel minder voorkomt dan verwarming, waardoor de impact op het elektriciteitsnet relatief beperkt zal blijven. Dit wordt versterkt door gelijktijdigheid, omdat er vaak gebruik gemaakt kan worden van lokaal opgewekte duurzame elektriciteit uit zon wanneer er koelbehoefte is. Dit in tegenstelling tot ruimteverwarming. Ook is de vraag van laadinfrastructuur voor mobiliteit op warmere dagen beperkter, omdat batterijen dan efficiënter functioneren.

Warmtenet

Warmtenetten zijn economisch het meest haalbaar in wijken met hoge stedelijke dichtheden. Dit zijn dus vaak ook wijken met een verhoogde kans op een *urban heat island* effect. Omdat bij de aanleg van een warmtenet de straat opengaat is dit ook een logisch moment om doelmatig klimaatadaptieve maatregelen te nemen, waarmee de koudevraag dus kan worden beperkt en de leefomgeving kan worden verbeterd.

Vanwege de sterk wisselende behoefte aan actieve koeling is het lastig om in de bestaande gebouwde omgeving met veel woningbouw een collectieve koude-oplossing te ontwikkelen. Dit wordt versterkt doordat de collectieve warmte-oplossing vaak gebruik maakt van temperaturen waarbij de bestaande radiatoren niet vervangen hoeven te worden. Deze woningen zijn dus niet automatisch geschikt om actief gekoeld te worden en het vraagt extra investeringen om dit toe te passen. Het is daarom logischer om specifieke ruimtes, zoals de werkkamer en eventueel de slaapkamer, in woningen met een hoge hittestress, te koelen met split units. Omdat dit heel lokaal is blijft de impact op de toename van de elektriciteitsvraag en de impact op het elektriciteitsnet beperkt. De impact is in iedere geval veel lager dan bij een all electric oplossing.

Voor gebouwen met functies, die wel specifieke koelbehoeftes voor het gehele gebouw hebben, zoals ouderencomplexen en kantoren is er de mogelijkheid voor een opt-out (geen aansluiting op het warmtenet) of kan onder voorwaarde ook het warmtenet benut worden voor adsorptiekoeling (koelen met warmte uit het warmtenet met een temperatuur van 70 °C of hoger). Dan moet er wel warmte het gehele jaar door beschikbaar zijn van voldoende temperatuur, welke niet wordt opgewekt met warmtepompen. Dat is dus warmte van Twence of uit diepe geothermie. Als dit niet het geval is, is het toepassen van koelmachines of een opt-out efficiënter.

Gasnet

Woningen in wijken waar het gasnet ook op lange termijn nog blijft liggen zijn voornamelijk relatief oudere woningen. Deze woningen hebben van zichzelf een hogere thermische massa (dikke stenen wanden, die veel warmte op kunnen nemen) en warmen daardoor minder snel op in de zomer. Ook zijn deze woningen technisch minder geschikt om heel erg goed te isoleren, waardoor de koudevraag ook beperkt blijft. Isoleren van de schil van deze woningen zorgt er zelfs voor dat de warmte beter buiten blijft en de woningen dus minder snel opwarmen.

Bronnet

Bij een bronnet zit automatisch koeling ook in de warmte-infrastructuur. Deze optie komt daarom met name voor bij utiliteitsgebouwen, zoals kantoren en retail, omdat deze al vaak een hoge koudevraag hebben. Een bronnet is een efficiënte manier van koelen, omdat vaak gekoeld kan worden, zonder of met beperkte

tussenkomsst van een warmtepomp, bijvoorbeeld als wordt gekoeld met energie uit de bodem (bodemplussen of WKO).

All electric

Bij deze warmteoptie wordt uitgegaan van een laagtemperatuur oplossing. Woningen moeten daarvoor wel voldoende zijn geïsoleerd. Hierdoor zal de koudevraag dus wat hoger zijn. Echter zien we ook dat de dichtheden in de wijken waar deze optie de voorkeur krijgt lager is, waardoor de kans op een *urban heat island* effect lager is.

Voor laagtemperatuur verwarming moeten alle radiatoren vervangen worden in de woningen, waardoor het afgiftesysteem geschikt kan worden gemaakt voor actieve koeling. Er moet dan wel aanvullend een extra installatietechnische regeling komen, die kan schakelen tussen verwarmen en koelen. In dat geval kan dus de gehele woning worden gekoeld. In de huidige praktijk zien we dat er meestal wordt gekozen voor een lucht-waterwarmtepomp. Deze oplossing is voor koelen relatief energie-intensief.

C5 Duurzaamheid van de warmteopties

Het onderzoeksbeeld heeft de aardgasvrije warmteopties per buurt bepaald op basis van laagste maatschappelijke kosten (meer informatie over dit proces in bijlage D). Vervolgens is het belangrijk om te toetsen of deze warmteopties ook daadwerkelijk leiden tot een CO₂ -neutrale eindsituatie. Bij de keuze voor een warmteoptie is het van belang dat deze op korte termijn CO₂ bespaart en dat deze op lange termijn de hoogste kans geeft op een CO₂ -neutrale energievoorziening. Bij de keuze voor een warmteoptie spelen daarom twee aspecten een belangrijke rol: de efficiëntie van de warmteoptie en de mogelijkheid om de energiebron te verduurzamen. Op basis van inzicht in deze twee aspecten kunnen we toetsen of het onderzoeksbeeld daadwerkelijk leidt tot een CO₂ -neutrale warmtevoorziening.

C 5.1 De efficiëntie van de warmteoptie

Hernieuwbare energie is schaars, daarom is het belangrijk deze zo efficiënt mogelijk in te zetten. Hoe efficiënter de warmteoptie is, hoe minder energie er nodig is en dus hoe minder duurzame bronnen er nodig zijn. De efficiëntie van een warmteoptie heeft zowel invloed op de CO₂ -uitstoot op de korte termijn als op de langere termijn. De efficiëntie van de warmteoplossing speelt in aanvulling op de laagste maatschappelijke kosten een belangrijke rol bij het maken van een afweging voor een duurzame energie-infrastructuur. De volgende onderdelen uit de warmteketen hebben invloed op de efficiëntie van de oplossing:

- **De energievraag van de gebouwen.** Hoe lager de vraag, hoe efficiënter de oplossing. Er is echter een verschil tussen het energetische optimum (hoeveel van de energievraag kan maximaal bespaard worden) en het economische optimum (bij welke mate van energiebesparing wegen de kosten die de gebouweigenaar maakt, op tegen de opbrengsten voor de eigenaar of huurder). Het optimum verschilt per bouwjaar, woningtype en het moment waarop het gebouw is of wordt verbeterd¹⁰.

¹⁰ De meeste bestaande woningen, gebouwd voor 1990, hebben een warmtevraag voor ruimteverwarming van circa 89 kWh/ m². Het economisch optimum ligt voor de meeste van deze woningen ergens tussen de 70-110 kWh/m².

- **Het temperatuurniveau** waarmee het gebouw comfortabel verwarmd kan worden. Hoe lager de temperatuur, hoe efficiënter de oplossing. Ook hier is een verschil tussen het energetische optimum en het economische optimum. Het optimum verschilt ook hier per bouwjaar, woningtype en het moment waarop het gebouw is of wordt verbeterd¹¹.
- **De verliezen van energie**, waaronder de energie die nodig is tijdens transport. Bij transport van warmte, elektriciteit en gas gaat er energie verloren en kan aanvullende energie nodig zijn. Bijvoorbeeld in de vorm van transportpompen.
- **De efficiëntie van de opwek** van warmte en de hoeveelheid energie in de vorm van gas, elektriciteit of andere energiedragers (afval of biomassa), die daarbij nodig zijn.

De duurzaamheid van een bepaalde oplossing kan worden bepaald op basis van:

- De CO₂ -uitstoot;
- De mogelijkheid om de energiemix te verduurzamen in de tijd;
- De snelheid waarmee een bepaalde warmte-oplossing gerealiseerd kan worden.
- De noodzaak van energieopslag.

C 5.2 Besparing CO₂ op korte termijn

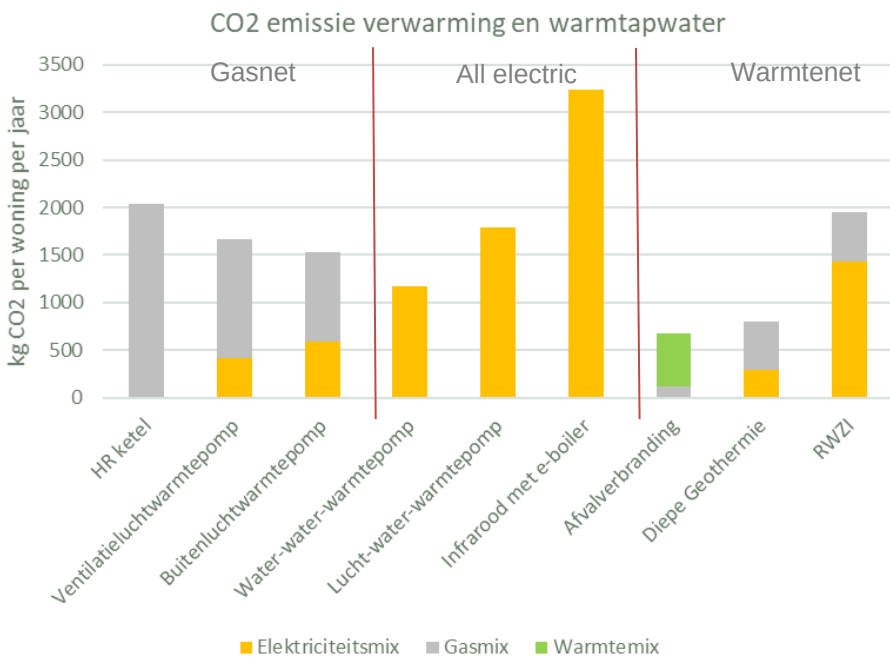
In figuur C.11 wordt de CO₂ -uitstoot van de huidige gasketel vergeleken met de huidige CO₂ -uitstoot van individuele warmteopties (all-electric en hybride) en collectieve oplossingen (warmtenet) op basis van landelijke en lokale kentallen van diverse warmtebronnen¹². De CO₂ -uitstoot van deze warmteopties is

¹¹ De meeste bestaande woningen en gebouwen, gebouwd voor 1990, hebben op de koudste dagen een temperatuur nodig van 70-85 °C om comfortabel warm te worden. Het economisch optimum ligt voor de meeste van deze woningen op 70°C of lager. De meeste bestaande woningen, gebouwd na 1990, kunnen al verwarmd worden met 70°C of lager. Om met 40°C verwarmd te kunnen worden moeten in de meeste gevallen alle radiatoren vervangen worden. Bij nieuwbouwwoningen is een temperatuur van 40°C de standaard.

¹² Voor elektriciteit is aangenomen 0,475 kg CO₂ per kWh en voor aardgas 1,884 kg per m³. Voor afvalverbranding is 26,49 kg per GJ aangenomen. Dit getal is gecorrigeerd naar ongeveer 18 kg CO₂ per GJ, omdat het warmtenet in Enschede veel minder gas gebruikt (aannee is 5% in plaats van 20%). Diepe geothermie resulteert in 25,05 kg per GJ. Bron: CO₂ emissiefactoren.nl. Ennatuurlijk

uitgedrukt in het aantal kilogram CO₂ , die jaarlijks wordt uitgestoten om een woning van 106 m² (gemiddelde Enschede), die geïsoleerd is, te voorzien van ruimteverwarming en warm tapwater.

Figuur C.12:: Jaarlijkse CO₂ -uitstoot voor verwarmen en warmtapwater per warmteoptie, energiemix 2020.



Een belangrijke notie bij deze figuur is dat de CO₂ -uitstoot is berekend op basis van de huidige stand van de techniek, met de huidige Nederlandse warmte-, gas- en elektriciteitsmix. Deze figuur geeft dus een momentopname weer, namelijk de gemiddelde CO₂ -uitstoot van de verschillende warmteopties van vandaag. Richting de toekomst zal de energiemix steeds duurzamer worden, waardoor de

heeft aangegeven dat de CO₂ -uitstoot van het huidige warmtenet 5,5 kg CO₂ per GJ is. Dit is dus nog lager mede omdat er ook gebruik wordt gebruikt van biomassa en omdat het huidige gasgebruik maximaal 1% is.

CO₂ -uitstoot van warmteopties die elektriciteit, gas of warmte vragen lager zal worden. Daarom wordt in de volgende paragraaf ingegaan op het verduurzamen van zowel de elektriciteits- gas- als de warmtebronnen.

Uit de figuur kan worden afgeleid dat bijna alle aardgasvrije warmteopties met de technieken van vandaag al leiden tot minder CO₂ -uitstoot ten opzichte van de huidige gasketel. Infraroodpanelen zijn hierop een uitzondering. Ook kan worden afgeleid dat met een warmtenet met als warmtebron een afvalverbrandingsinstallatie de meeste CO₂ bespaard kan worden op de korte termijn. Dit hangt mede samen met het feit dat het huidige warmtenet is overgedimensioneerd, waardoor er weinig gas nodig is voor de piekvraag van warmte.

C 5.3 Mogelijkheid om de energiemix te verduurzamen

Een tweede en zeer belangrijk aspect bij de keuze voor een duurzame energie-infrastructuur is dat deze (op termijn) kan worden gevoed met duurzame energiebronnen, waardoor gedurende de warmtetransitie de CO₂ -uitstoot verder kan dalen en de afhankelijkheid van fossiele bronstoffen afneemt. Het einddoel is immers niet alleen aardgasvrij, maar ook CO₂ -neutraal. We maken daarbij onderscheid tussen gas, elektriciteit en warmte.

Als voorbeeld: we zien in grafiek 6 dat een warmtenet op afvalverbranding minder CO₂ -uitstoot dan diepe geothermie. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat bij deze laatste bron aanvullend pompen nodig zijn om de warmte uit de bodem omhoog te pompen en weer in de bodem te injecteren. Deze pompen gebruiken hiervoor elektriciteit uit het net en uit een WKK, die draait op het aardgas dat mee omhoog komt als bijvangst met de warmte. De huidige mix van de elektriciteit wordt in Nederland nu nog grotendeels fossiel opgewekt. In de toekomst zal de elektriciteit verder vergroenen en neemt daarmee de CO₂ -uitstoot van deze warmtebronnen dus af. Ook gebruikt het huidige warmtenet relatief weinig gas. Bij verdere groei zal het aandeel van gasketels stijgen, waardoor het gasgebruik mogelijk vergelijkbaar wordt als bij geothermie.

Per energiedrager of -bron (gas, warmte, elektriciteit) is de toekomstige beschikbaarheid en de mogelijkheid om op termijn te verduurzamen op basis van de kennis van nu geanalyseerd. Een uitgebreide omschrijving hiervan staat in

bijlage C3 bij de omschrijving van de warmteopties. De belangrijkste conclusies delen we hieronder.

C 5.3.1 Gas

Uit het onderzoeksbeeld volgt dat er in de gebouwde omgeving van Enschede ook op de langere termijn vraag zal blijven naar gas voor verwarming. Of de binnensteden, historische linten en kleine kernen binnen de doelstelling van 2050 daadwerkelijk aardgasvrij worden, hangt af van de mate waarin duurzaam gas beschikbaar komt voor de gebouwde omgeving en van technologische innovaties waardoor andere infrastructuren toch haalbaar en betaalbaar worden in deze delen van de regio. Deze twee ontwikkelingen moeten bij iedere herijking van de transitievisie warmte opnieuw worden beoordeeld om de verduurzamingsstrategie daarop aan te passen. Er zijn grofweg twee scenario's denkbaar voor de eindsituatie in 2050:

1. Het gasnet blijft de dominante infrastructuur in binnensteden, historische linten en kleine kernen maar zal op termijn volledig worden gevoed door hernieuwbaar gas dat wordt opgewekt buiten de gemeentegrenzen.
2. Door technologische innovaties worden gasvrije warmteopties alsnog haalbaar en betaalbaar waardoor er op termijn toch een andere infrastructuur zal komen in binnensteden, historische linten en kleine kernen. Om dit mogelijk te maken is het van groot belang om ruimte te bieden voor innovatie. Dit kan plaatsvinden in de vorm van pilots, juist op die plekken in de stad waar de huidige aardgasvrije warmteoplossingen nog te duur zijn of technisch moeilijk inpasbaar zijn.

Om blijvende afhankelijkheid van aardgas te voorkomen ("lock-in"), zullen we ernaar streven om het gasnet in de gebouwde omgeving zoveel mogelijk uit te faseren en tussen nu en 2050 het gasgebruik sterk te reduceren. Het gasverbruik kan worden teruggebracht door nieuwere gebouwen wel volledig gasvrij te maken, ook als het gasnet in de rest van de buurt blijft liggen, door hybride verwarmingssystemen toe te passen en door daar waar mogelijk te isoleren. Niettemin verwachten we momenteel dat er een bescheiden hoeveelheid duurzaam gas beschikbaar zal zijn voor de gebouwde omgeving, op basis van het Klimaatakkoord. Dat duurzame gas zal nodig zijn voor die complexe buurten waar het gasnet blijft liggen en voor de verduurzaming van piekvoorzieningen van

warmtenetten. De verwachtingen omtrent duurzaam gas zijn verder uitgewerkt in bijlage C3.

C 5.3.2 Elektriciteit

Bij de overstap op aardgasvrije warmteoplossingen zal elektriciteit een veel prominentere rol gaan spelen bij het verwarmen van de gebouwde omgeving. Voor het opwekken van warmte met (hybride-) warmtepompen in woningen en gebouwen en bij de inzet van andere warmtebronnen voor het voeden van het warmtenet dan afvalverbranding en biomassa, zal de vraag naar elektriciteit stijgen. Om een blijvende afhankelijkheid van fossiele energie te voorkomen is het belangrijk dat deze elektriciteit uiterlijk in 2050 duurzaam opgewekt kan worden. In hoeverre dit mogelijk is hangt af van twee factoren:

1. De mogelijkheid om deze elektriciteit duurzaam op te wekken;
2. De impact van de warmteoplossing op het elektriciteitsnet.

Op basis van de technisch-financiële analyse is in het vorige hoofdstuk een inschatting gemaakt van het totale elektriciteitsgebruik per warmteoptie aan het einde van de warmtetransitie. Voor het opwekken van de hoeveelheid duurzame elektriciteit, die nodig is voor de toekomstige warmtevraag in Enschede is onvoldoende ruimte in een dichtbebouwde stad. De warmtevraag, en dus ook de elektriciteitsvraag voor verwarmen, kenmerkt zich door een grote piek in het zogenaamde 'stookseizoen', wanneer bewoners hun woning verwarmen. De elektriciteit die wordt opgewekt met zonnepanelen binnen de stad is in de wintermaanden relatief laag en daarom in mindere mate beschikbaar voor het produceren van warmte in het stookseizoen. Windenergie levert daarentegen in de wintermaanden wel meer elektriciteit op en is dus passender.

Echter, het merendeel van de duurzame elektriciteit, die nodig is voor het duurzaam verwarmen van Enschede zal dus van buiten de gemeentegrenzen moeten komen. Het verduurzamen van de elektriciteitsvraag voor een aardgasvrije en duurzame verwarming van Enschede is daarmee een opgave waar Enschede zelf in mindere mate invloed op heeft. Voor de transitievisie warmte is aangenomen dat er voldoende elektriciteit buiten de stad, zowel op nationaal als internationaal niveau duurzaam kan worden opgewekt. Uiteraard is het wenselijk dat de stad en de regio hieraan ook een bijdrage levert.

Daarnaast is het belangrijk om te kijken naar de invloed van verschillende warmteopties op het elektriciteitsnet. Een grotere impact op het elektriciteitsnet creëert meer afhankelijkheid van fossiele energie voor het opvangen van de pieken aangezien er in de pieken nooit voldoende duurzame elektriciteit beschikbaar is. Een grotere afhankelijkheid van elektriciteit heeft ook een nadelig effect op de snelheid waarmee we de transitie kunnen realiseren, omdat de transportcapaciteit van het net op veel plekken niet is afgestemd op een groeiende vraag naar elektriciteit en netverzwaring dus tempobepalend kan zijn. De impact op het elektriciteitsnet van een collectieve oplossing is aanzienlijk lager dan die van een individuele all-electric oplossing. De CO₂ -uitstoot van een warmtenet met een mix van diverse duurzame bronnen kan daarom sneller dalen dan die van all-electric oplossingen. Bij all-electric is er vanwege de hoge piekbelasting een grotere kans op een blijvende afhankelijkheid van fossiele bronnen.

C 5.3.3 Warmte

Naast duurzame elektriciteit en gas zijn er ook duurzame warmtebronnen nodig in de regio om de buurten die worden aangesloten op warmtenetten te voorzien van warmte. Het gaat daarbij zowel om warmte uit bronnen van hoge als lage temperatuur. Omdat warmte vanwege hoge kosten en verliezen veel lastiger te transporteren is dan gas en elektriciteit, moeten warmtebronnen, in tegenstelling tot gas en elektriciteit, lokaal beschikbaar zijn.

Belangrijke overwegingen bij warmtebronnen zijn de beschikbaarheid, toepassingsschaal, warmtekosten, toekomstperspectief en marktgereedheid van de verschillende technieken.

In bijlage C3.3.7 is een berekening gemaakt van de toekomstige warmtevraag op basis van de resultaten van deze transitievisie warmte en in C3.3.8 en C3.3.9 is een inventarisatie gemaakt van toekomstige beschikbare warmtebronnen. Uit deze analyse blijkt dat in een conservatief scenario zonder biomassa en geothermie en met beperkte beschikbaarheid van afval er naast 50 MW van Twence nog ongeveer 10-20 MW lokale warmte beschikbaar is. Dit is dus zeker genoeg om het warmtenet te laten groeien naar 30-35 duizend WEQ. De beoogde groei tot 2030 kan hiermee sowieso worden waargemaakt. In een progressief

scenario is er meer dan genoeg warmte voor de groei tot 45-50 duizend WEQ in 2050 en is ook regionale groei mogelijk.

Om blijvende afhankelijkheid van fossiele brandstoffen te voorkomen moeten we op termijn steeds meer duurzame warmtebronnen ontwikkelen en benutten om warmtenetten te voeden. Aangezien een warmtenet een systeem is waarin de warmte circuleert tussen de warmtebron en de warmteafnemer hebben warmtebronnen per definitie een lokaal karakter. Om de toekomstige warmtebronnen te ontsluiten en om de schaal te maken die nodig is voor de ontwikkeling van de bronnen is het belangrijk dat warmtenetten snel enige omvang bereiken en ook blijven doorgroeien. De koppeling van decentrale netten kan op termijn voordelen opleveren zoals het ontsluiten van nieuwe warmtebronnen en het creëren van schaalvoordelen in piek-, buffering- en back-upvoorzieningen. In een ideale situatie ontsluit een warmtenet zo veel mogelijk duurzame bronnen en kan het op de koudste dagen 70°C leveren met een zo laag mogelijke retourtemperatuur.

C6 Conclusie warmteopties, bronnen en duurzaamheid

Op basis van de analyse zijn 25 duizend WEQ in 2030 aangesloten op een warmtenet en 45-50 duizend in 2050. Daarnaast bestaat de oplossingsmix uit all-electric warmtepompen eventueel in combinatie met bronnetten en het bestaande gasnet in combinatie met hybride warmtepompen. Deze uitkomst is vervolgens getoetst aan beschikbaarheid van bronnen en duurzaamheid. Wat betreft duurzaamheid van warmteopties zijn de volgende conclusies te trekken.

- Met de huidige stand van de techniek en de huidige mix van bronnen leveren warmtenetten *op korte termijn* gemiddeld voor woningen een grotere CO₂ -besparing op dan all-electric en hybride oplossingen. Op korte termijn kunnen er relatief veel woningen verduurzaamd worden door aan te sluiten op een warmtenet omdat gestart kan worden met hoog temperatuur warmtelevering en omdat het huidige warmtenet voldoende capaciteit heeft;
- Warmtenetten hebben *op lange termijn* de kleinste kans op een blijvende afhankelijkheid van fossiele energiebronnen, omdat warmtenetten een kleinere impact hebben op het elektriciteitsnet en minder afhankelijk zijn

van gas. Er zijn in Enschede in het meest conservatieve scenario voldoende warmtebronnen voor de langere termijn om tot minimaal 30-35 duizend woningequivalenten door te groeien. De groei tot 2030 is dus zeker mogelijk, inclusief groei van het net in andere gemeentes in de regio. Voor verdere groei na 2030 is nader onderzoek nodig voor alternatieve warmtebronnen op lange termijn, zoals diepe geothermie.

- De inschatting is dat in Enschede voor het voeden van warmtenetten en gasnetten nog een gasvraag over zal blijven van ongeveer 15% van de huidige gasvraag. Dit is gelijk aan de beoogde landelijke productie van groen gas in 2030. Uitgangspunt is dat al het groen gas beschikbaar komt voor de gebouwde omgeving en de industrie en transport gebruikt gaat maken van waterstof.
- Het merendeel van de duurzame elektriciteit, die nodig is voor het duurzaam verwarmen Enschede zal van buiten de gemeentegrenzen moeten komen. Voor de transitievisie warmte is aangenomen dat er voldoende elektriciteit buiten de stad, zowel op nationaal als internationaal niveau duurzaam kan worden opgewekt.
- Het is belangrijk om te kijken naar de invloed van verschillende warmteopties op het elektriciteitsnet. Een grotere impact op het elektriciteitsnet creëert meer afhankelijkheid van fossiele energie voor het opvangen van de pieken aangezien er in de pieken nooit voldoende duurzame elektriciteit beschikbaar is. Een grotere afhankelijkheid van elektriciteit heeft ook een nadelig effect op de snelheid waarmee we de transitie kunnen realiseren, omdat de transportcapaciteit van het net op veel plekken niet is afgestemd op een groeiende vraag naar elektriciteit en netverzwaring dus tempobepalend kan zijn.

Bijlage D: Modelanalyses

In deze bijlage wordt beschreven hoe we tot de verschillende warmteopties per wijk zijn gekomen met de laagste maatschappelijke kosten. Aan de grondslag van dit onderzoeksbeeld liggen verschillende modelstudies. Eerst zal de methodologie achter de financieel technische analyse met het Warmtetransitiemodel (WTM) in detail worden uitgewerkt. Hierna zullen andere modelanalyses worden besproken, waar in vergelijking met het WTM een analyse op is uitgevoerd die heeft geleid tot het onderzoeksbeeld waarop de warmteoptie per wijk is bepaald. Ook deze modelstudies zullen in dit hoofdstuk worden besproken.

Samengevat staan de volgende onderdelen centraal:

1. Toepassing van het Warmtetransitiemodel
2. Vergelijkende analyse met andere rekenmodellen

Het Warmtetransitiemodel maakt zoveel mogelijk gebruik van openbare data uit betrouwbare bronnen. Daarnaast maakt het model gebruik van verschillende kentallen om warmteopties te berekenen. Brondata en kentallen komen samen in het model dat volgens logische regels is ontworpen. Dit hoofdstuk gaat dieper in op de brondata, kentallen, en het modelontwerp.

D1 Methodologische verdieping Warmtetransitiemodel

Deze paragraaf geeft een methodologische verdieping van het WTM van Over Morgen. Voor een methodologische verdieping van het Openingsbod 1.0¹³ en de Startanalyse 2020¹⁴ wordt verwezen naar externe documentatie in de voetnoot.

D 1.1 Modelontwerp Warmtetransitiemodel

Het WTM is een ruimtelijk model dat geschreven is in Python 3. Het model maakt

¹³ Openingsbod Warmtetransitie: <https://www.stedin.net/zakelijk/branches/overheden/het-openingsbod>

¹⁴ Startanalyse PBL: <https://www.pbl.nl/publicaties/startanalyse-aardgasvrije-buurt-2020>

voornamelijk gebruik van de ArcPy library en maakt daarnaast gebruik van enkele PostGIS-libraries. De basis voor het modelontwerp is een database van gebouwen. Deze database is gebaseerd op de Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG) van het Kadaster. Deze gebouwendatabase is verrijkt met gegevens uit verschillende bronnen. Ook is informatie toegevoegd op basis van kentallen. De gebouwendatabase bevat zodoende van ieder gebouw in Nederland informatie over onder andere:

- Bouwjaar en bouwtype
- Buurtkenmerken, zoals bebouwingsdichtheid
- Gemodelleerd energieverbruik en energieprestatie, gevalideerd met werkelijke verbruiksgegevens
- Investeringsbandbreedtes voor verschillende bouwkundige en energetische maatregelen
- Bandbreedtes voor kosten en besparingen

D 1.2 Brondata Warmtetransitiemodel

Het WTM maakt vrijwel geheel gebruik van open data uit betrouwbare bronnen, zie figuur D.1. In Enschede is het model aangevuld met data over het warmtenet van Ennatuurlijk en het corporatiebezit. De gebouwendatabase is verrijkt met kengetallen over investeringskosten en operationele kosten en opbrengsten en een realistische besparingspotentie. Met deze kengetallen worden de warmteopties per buurt berekend. Het WTM maakt de warmteoptie met de laagst maatschappelijke kosten per buurt inzichtelijk. Kentallen worden bij woningbouw toegekend op basis van een woningtype - en bouwjaarcombinatie. Dit wordt een sleuteltype genoemd.

Figuur D.1: Bronvermelding Warmtetransitiemodel

Bronhouder	Bron	Dataset
CBS	Wijk- en Buurtkaart	Buurtgeometrie
	Energielevering aan woningen en bedrijven naar postcode	Energieverbruiken per postcode-6
Regionale netbeheerders	Kleinverbruiksdata	Energieverbruiken per postcode-6
Kadaster	Basisregistratie Adressen en Gebouwen	• Pandgeometrie • Oppervlaktes • Gebouwfuncties • Bouwjaar
	Basisregistratie Topografie (TOP10NL)	Terreingeometrie (voor berekening bebouwingsdichtheid)
Over Morgen		Energetische kengetallen en kostenkentallen op basis van eigen kennis en ervaring.

Figuur D.2.: Combinaties van bouwjaarklassen en woningtypen vormen sleuteltypen in het Warmtetransitiemodel. Sleuteltypen voor utiliteitsbouw worden bepaald door combinaties van afgemelde energielabels en gebruiksfuncties.

Woningen		
Bouwjaarklassen	Gebouwtype	
<1920	Rijwoning	
1920-1950	Twee-onder-een-kapwoning	
1950-1975	Vrijstaande woning	
1975-1990	Meergezinswoning	
1990-2005	Utiliteitsbouw	
≥2005		
Utiliteitsbouw		
Bouwjaarklassen	Energielabel	Functie
< 1945	G	Kantoren
1946-1973	G	Winkels
1974-1981	F	Gezondheidszorg
1982-1992	E	Onderwijs
1993-1999	D	Logies
2000-2003	C	Sport
2004-2005	B	Bijeenkomst
> 2005	A	

Bij utiliteitsbouw worden de sleuteltypes bepaald op basis van energielabel en functie. Als er geen energielabel aanwezig is, dan wordt het sleuteltype bepaald op basis van het bijhorende bouwjaar. Daarnaast maakt het model nog onderscheid tussen voor- en naoorlogs vastgoed.

D 1.3 Hoe komen we tot een warmteoptiekaart?

Het WTM berekent per wijk of buurt (CBS-wijk/buurt of postcodebuurt¹⁵) wat de totale maatschappelijke kosten zijn van warmteopties voor woningen. De verschillende kosten van de opties zijn naast elkaar gelegd en vergeleken. De resultaten van deze analyse zijn gevisualiseerd in de Warmteoptiekaart (zie paragraaf 3.1

¹⁵ Een postcodebuurt is een gebied met dezelfde postcode. Indien CBS-buurtten te grofmazig zijn worden postcodebuurtten als schaalniveau gekozen.

van bijlage D). Deze paragraaf beschrijft eerst de gebouwgebonden maatregelen en vervolgens de warmteopties.

D 1.4 Gebouwgebonden maatregelen

We onderscheiden twee niveaus van isolatie in het model, het minimumniveau en het basisniveau.

D 1.4.1 Minimum isolatieniveau

Om de transitie mogelijk te maken is het wenselijk dat alle woningen zo snel mogelijk dit niveau hebben bereikt. Op dit niveau kunnen woningen comfortabel verwarmd worden met een maximumtemperatuur van 70°C in plaats van de 80°C tot 90°C die nodig is voor het verwarmen van slecht geïsoleerde woningen. De woningen zijn dan dus 70°C-ready.

Figuur D.3 geeft ter indicatie per bouwjaar de maatregelen die genomen moeten worden voor het minimumniveau. Bij alle isolatiemaatregelen geldt dat maximaal technisch geïsoleerd moet worden zonder dat onderdelen van de woning geheel vervangen hoeven te worden. De daadwerkelijke isolatiewaarde die behaald kan worden is dus sterk situatieafhankelijk, omdat alle woningen anders zijn. Iedere huizenbezitter kan testen of hij op dit niveau zit door de bestaande gasketel op een maximumtemperatuur van 70°C in te (laten) stellen zonder (veel) in te hoeven leveren op gebied van comfort. In een aantal gevallen zullen er radiatoren vervangen of bijgeplaatst moeten worden.

Op het gebied van isolatie zitten alle woningen gebouwd na 1990 en een deel gebouwd tussen 1975 en 1990 al - vanaf het jaar dat ze gebouwd zijn - op dit minimumniveau. Alle woningen die daarvoor zijn gebouwd kunnen door het nemen van deze maatregelen naar een gemiddelde warmtevraag voor ruimteverwarming lager dan 80 kWh/m².

Figuur D.3: Indicatie minimumniveau maatregelen per bouwjaar en woningtype.

	Vloer	Gevel	Kozijnen en glas	Dak
Eengezinswoning en				
< 1920	Kruipruimte isoleren indien aanwezig	Geen spouw	Minimaal HR glas	Dak isoleren
≥ 1920 – 1950		Spouw Isoleren	Minimaal dubbel glas	Voldoet
≥ 1950 - 1975				
≥ 1975 – 1990				
≥ 1990 - 2005	Voldoet	Voldoet	Voldoet	
≥ 2005				
Meergezinswoningen				
< 1920	Kruipruimte isoleren indien aanwezig	Geen spouw	Minimaal HR glas	Dak isoleren
≥ 1920 – 1950		Spouw isoleren	Minimaal dubbel glas	Voldoet
≥ 1950 - 1975				
≥ 1975 – 1990				
≥ 1990 – 2005 ≥ 2005	Voldoet	Voldoet	Voldoet	

D 1.4.2 Basisisolatieniveau

Als woningen het basisniveau bereikt hebben, zijn ze zowel geschikt om comfortabel te verwarmen met een maximumtemperatuur van 70°C, als met beperkte aanpassingen ook met 40°C. Om verwarming met deze lagere temperatuur van 40°C mogelijk te maken, moeten wel in de meeste gevallen de radiatoren vervangen worden door grotere laagtemperatuurradiatoren of vloerverwarming.

Het is wenselijk dat een groot deel van de woningen in Nederland aan het einde van de warmtetransitie op dit niveau zit. Hierdoor zijn ze namelijk geschikt voor

bijna alle alternatieve duurzame verwarmingstechnieken. Ook wordt de warmtevraag hierdoor nog verder verlaagd en wordt de retourtemperatuur lager, waardoor installaties efficiënter kunnen functioneren. Figuur D.4 geeft ter indicatie de maatregelen die genomen moeten worden/zijn. Bij alle isolatiemaatregelen geldt dat het advies is om maximaal te isoleren tot het niveau dat technisch mogelijk is, zonder dat onderdelen van de woning geheel vervangen hoeven te worden.

Figuur D.4: Indicatie basisniveau isolatiemaatregelen per bouwjaar.

	Vloer	Gevel	Kozijnen en glas	Dak
Alle woningtypes				
< 1920	Kruipruimte isoleren als aanwezig	Isolatie binnenzijde	Minimaal HR glas	Dak (na)isoleren
≥ 1920 – 1950			Minimaal HR glas	
≥ 1950 – 1975		Spouw (na)isoleren	Minimaal HR glas	
≥ 1975 – 1990			Minimaal HR glas	
≥ 1990 - 2005	Voldoet	Voldoet	Minimaal HR glas	Voldoet
≥ 2005				

D 1.5 Bouwkundige niveaus in het Warmtetransitiemodel

Het WTM rekent met vier bouwkundige niveaus. Voor een technische verdieping bij deze niveaus verwijzen we naar bijlage E.

- Bestaande situatie (meer dan 80 kWh/m² ruimteverwarming)
- Minimumniveau (max. 80 kWh/m² ruimteverwarming)
- Basisniveau (max. 65 kWh/m² ruimteverwarming)
- Hoog niveau (max. 50 kWh/m² ruimteverwarming)

Het model neemt op basis van het sleuteltype aan op welk niveau ieder gebouw momenteel zit. Indien een gebouw nog niet op het minimum- of basisniveau zit, rekent het model door wat de kosten zijn om het minimum- en het basisniveau te

bereiken en tot welke energiebesparingen dat leidt. Het model doet dit voor ieder gebouw en aggregaat deze getallen vervolgens naar buurten. In bijlage E staan voor de verschillende sleuteltypes de investeringskosten voor het minimumniveau en het basisniveau. Naast isolatie zijn er aanvullende gebouwgebonden maatregelen nodig om de woning te verduurzamen en geschikt te maken voor duurzame verwarming:

- Elektrisch koken, zoals inductiekoken;
- Kierdichting;
- Voldoende (mechanische) ventilatie.

Deze investeringskosten zijn meegenomen indien van toepassing.

D 1.6 Warmteopties in het Warmtetransitiemodel

Het model kent een typologie van vijf warmteopties:

- All electric: verwarmen en koken met gebruik van elektriciteit. In de woning wordt gebruikgemaakt van een warmtepomp.
- Gasnet in combinatie met hybride oplossingen: een gasinfrastructuur gevoed met duurzaam gas in combinatie met een gasketel en een elektrische warmtepomp.
- Warmtenet (70°C): collectieve warmtevoorziening in de vorm van een middentemperatuur warmtenet, waarbij warm water met een temperatuur van maximaal 70°C aangevoerd wordt tot bij het gebouw of de woning.
- Warmtenet (40°C): collectieve warmtevoorziening in de vorm van een lage temperatuur warmtenet, waarbij warm water met een temperatuur van circa 40°C aangevoerd wordt tot het gebouw of de woning.
- Lokale bronnetten: lokale kleinschalige (collectieve) warmtevoorziening in de vorm van een zeer lage temperatuur bronnet. In het gebouw is een warmtepomp nodig voor verwarming. Het aangevoerde water kan ook gebruikt worden voor koeling.

De warmteopties worden toegekend aan wijken op basis van een aantal rekenregels. Het model doorloopt hiervoor vijf stappen:

1. Eerst worden op basis van bouwjaarklasse en dichtheid de bestaande wijken of buurten geselecteerd waar het gasnet zal blijven liggen. Het model rekent niet met het aanbod van duurzaam gas, maar kijkt alleen naar de vraagkant: in welke wijken zou het gasnet blijven liggen als er een beperkt aanbod is van duurzaam gas. In de praktijk zijn het historische stads- en dorpskernen en lintbebouwing die uitkomen op het gasnet.
2. Vervolgens wordt op basis van gebouwfunctie de bestaande wijken of buurten geselecteerd waar een bronnet de meest logische keuze is. Dit zijn dus wijken en buurten met relatief veel utiliteitsbouw.
3. In alle overige buurten kijkt het model vervolgens naar de dichtheid. Alleen als de dichtheid groter is dan 30 WEQ per hectare dan is een warmtenet een realistische oplossing. Wijken of buurten met een lagere dichtheid krijgen automatisch de warmteoptie all electric.
4. De buurten die dan nog overblijven krijgen op basis van een vergelijking van de maatschappelijke kosten de optie warmtenet of all-electric.

D 1.7 Berekening van de maatschappelijke kosten

Alleen in de buurten die overblijven in stap 4 wordt een maatschappelijke kostenberekening gemaakt om te komen tot de optimale warmteoptie. Deze berekening gaat als volgt. Op basis van de kengetallen per sleuteltype berekent het model per woning wat de investeringen, onderhoudskosten en de energierekening is van de warmteopties warmtenet en all electric, over een periode van 30 jaar. Op basis hiervan wordt met een netto contante waardeberekening de onrendabele top berekend van de warmteopties. Die onrendabele top wordt geaggregeerd naar buurt en gemiddeld naar een gemiddelde onrendabele top per woning per buurt.

De omvang van de onrendabele top verschilt doorgaans sterk per buurt. De onrendabele top is het deel van de investering dat niet kan worden terugverdiend gedurende de exploitatie. De exploitatiekosten zijn over het algemeen lager, als gevolg van een lagere energierekening. Vrijwel altijd zullen duurzame warmteopties nog leiden tot een onrendabele top op buurtniveau. Als de financieringsperiode wordt verkort naar bijvoorbeeld 15 jaar dan zal de onrendabele top dus verder stijgen.

Alle investeringskosten en de onrendabele top worden uitgedrukt in een gemiddelde bandbreedte met een onder- en bovengrens en zijn inclusief BTW. Uitgangspunt is dat de investeringen worden gecombineerd met natuurlijke momenten. De gepresenteerde kosten zijn een gemiddelde van een bandbreedte met een onder- en bovengrens. De bandbreedtes zijn zodanig breed dat zij rekening houden met de volgende aspecten:

- De te nemen maatregelen zullen op woningniveau sterk variëren;
- Technische variaties binnen warmteopties, afhankelijk van warmtebron, opslag, opwekker en infrastructuur;
- Bestaande prijsverschillen op de markt door schaal en aanbestedingsvormen;
- Markontwikkelingen zoals schaarste en inzetbaarheid van personeel, materiaal, etc.;
- Afwijking van de kengetallen als gevolg van sterk afwijkende woningen.

De omvang van de bandbreedte verschilt per maatregeltype, warmteoptie en sleuteltype, afhankelijk van de karakteristieken van die specifieke combinatie.

D2 Vergelijkende modelanalyse warmte-infrastructuren

Als aanvulling op de financieel-technische analyse is een vergelijking gemaakt met drie andere rekenmodellen die de gemeente Enschede tot haar beschikking heeft. Het doel van deze analyse is tweeledig: om de robuustheid van de financieel-technische analyse in de transitievisie te vergroten en om verschillen met andere modellen te verklaren. Deze uitkomsten kunnen de keuzes in de Transitievisie warmte versterken. Daarnaast is er een extra analyse gedaan door bureau Over Morgen. Namelijk het identificeren van gebieden met een hoge concentratie warmtevraag, ook wel de warmte-eilanden methodiek genoemd.

De volgende modelstudies zijn gebruikt voor deze vergelijkende analyse:

- De Startanalyse (2020): een doorrekening van alle gemeenten met het Vesta MAIS model door Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).
- Een scenariostudie voor de warmtevoorziening van Enschede & Hengelo door Ecofys (2019). In navolging van het Energieakkoord is door de Provincie Overijssel een scenariostudie opgesteld waar vier scenario's

verschillende eindbeelden schetsen voor de uitfasering van aardgas in Enschede en Hengelo. De vier scenario's hebben elk een eigen invalshoek en worden als volgt gekarakteriseerd: minimale kosten, maximale duurzaamheid, maximale inzet warmtebronnen en maximale individuele keuzevrijheid.

- Het CEGOIA-model (2021). Het CEGOIA-model berekent de kosten van duurzame warmteopties. Hiermee heeft CE Delft op verzoek van Enexis advies uitgebracht over de ontwikkeling van het energievraagstuk, zowel op wijkniveau als landelijk. Het helpt de (lokale) overheid, de netbeheerder en het energiebedrijf een stap verder op weg naar een klimaatneutrale warmtevoorziening.
- Het Warmtetransitie Model (WTM) (2021): een nieuwe doorrekening van de maatschappelijke transitiekosten per buurt voor verschillende warmteopties door Over Morgen. In paragraaf D2.1 is deze modelmatige financieel-technische analyse op basis van het WTM nader toegelicht.

Een losstaande 'extra' analyse die is uitgevoerd voor Enschede is via de warmte-eiland methodiek verricht. Deze methodiek is een onderdeel van het WTM. Deze identificeert gebieden met hoge concentraties van warmtevraag.

De modellen verschillen van elkaar in aannames, (clustering van) warmteopties en gegevens waarmee de modellen rekenen. Door dat verschil kunnen ook de uitkomsten van de modellen verschillen van elkaar. Een vergelijkende analyse laat zien in welke buurten er een robuuste uitkomst is van meerdere modellen en waar er geen of minder consensus is tussen de modellen.

D 2.1 Methodologie onderzoeksbeeld

Deze modelstudies zijn zowel vergeleken op methodologie als op resultaten per CBS-buurt. Eerst is geverifieerd of de modelstudies inderdaad vergelijkbaar zijn, en waar de verschillen zitten in rekenwijze of uitgangspunten, en daarna is per buurt gekeken in hoeverre de modelstudies dezelfde resultaten per CBS-buurt produceren en wat de reden is van eventuele verschillende uitkomsten per buurt. Onderstaande figuur geeft een samenvatting weer van de belangrijkste overeenkomsten en verschillen tussen de vier gehanteerde modelstudies.

D 2.2 Vergelijking inputzijde

Onderstaande figuur D.5 geeft een samenvatting van de belangrijkste overeenkomsten en verschillen aan de inputzijde van de modellen

Figuur D.5: Overeenkomsten en verschillen modellen

Kenmerk	WTM (2021)	CEGOIA (2020)	Startanalyse (2019)	Ecofys (2017)
Tijdschikking /prijspeil	2020. De kosten van maatregelen zijn huidige kosten op basis van ervaringscijfers.	2050. De kosten van maatregelen zijn toekomstige kosten waarbij prijsontwikkelingen zijn voorspeld op basis van leercurves en onderbouwde aannames.	2030. De kosten van maatregelen zijn toekomstige kosten waarbij prijsontwikkelingen zijn voorspeld op basis van leercurves en onderbouwde aannames.	2050. De kosten van maatregelen zijn toekomstige kosten waarbij prijsontwikkelingen zijn voorspeld op basis van leercurves en onderbouwde aannames
Kosten	Maatschappelijke kosten	Maatschappelijke kosten	Maatschappelijke kosten (wordt "nationale kosten" genoemd in de Startanalyse)	Maatschappelijke kosten
Bouwkundige aannames	Neemt de huidige staat als uitgangspunt op basis van kengetallen. Isoleert naar een van de twee niveaus op basis van de laagste maatschappelijke kosten: • Minimum (lager dan 80	Neemt de huidige staat als uitgangspunt op basis van kengetallen. Isoleert naar het optimale energielabel op basis van de laagste maatschappelijke kosten.	Neemt de huidige staat als uitgangspunt op basis van kengetallen. Heeft als uitgangspunt dat alle bebouwing naar schillabel B gaat, onafhankelijk van de warmteoptie.	Neemt de huidige staat als uitgangspunt op basis van kengetallen. Afhankelijk van het scenario (4 stuks) wordt er geïsoleerd tot label A of B.

	kWh/m ²)			
	• Basis (lager dan 65 kWh/m²)			
Warmteopties (output)	• Gasnet/hybride • All-electric • Warmtenet (70°C) • Warmtenet (40°C) • Lokale bronnetten	• All-electric • WKO • Geothermie (LT) • Restwarmte (AVI en STEG) • HR-ketel (groen gas) • Hybride WP (groen gas)	• All-electric • Warmtenet met MT/HT-bron • Warmtenet met LT-bron • Hernieuwbaar gas hybride • Hernieuwbaar gas HR-ketel	• All-electric • Warmtenet • HR-ketel & Hybride warmtepomp • HR-ketel
Warmtebronnen	Verondersteld onbeperkt, separaat het bronperspectief toetsen op basis van ander onderzoek.	Verondersteld beperkt en als input aan het model meegegeven op basis van toen beschikbare data.	Verondersteld beperkt en als input aan het model meegegeven op basis van toen beschikbare data.	Warmtebronnen zijn meegenomen en afhankelijk van het scenario worden beschikbare bronnen ingezet. In het scenario Maximale inzet van warmtebronnen worden warmtenetten ingezet in de gehele dicht bebouwde omgeving.
Hernieuwbaar gas	Beschikbare hoeveelheid gas is geen	Verondersteld beperkt en als input aan het	Verondersteld beperkt en als input aan het model meegegeven op basis van	Groen gas wordt als beschikbaar

inputvariabele. De warmteoptie gasnet wordt toegekend op basis van buurtkenmerken. In het geval van Enschede heeft toets plaatsgevonden op basis van het Klimaatakkoord.	model meegegeven op basis van toen beschikbare data. Gasnet als warmteoptie wordt toegewezen op basis van maatschappelijke kosten en aannames beschikbaarheid.	toen beschikbare data. Gasnet als warmteoptie wordt toegewezen op basis van maatschappelijke kosten en aannames beschikbaarheid.	verondersteld. In deze studie is rekening gehouden met groen gas die buiten Enschede is geproduceerd.
--	--	--	---

Uit de vergelijking aan de inputzijde blijken drie belangrijke verschillen tussen de modellen:

1. Het Warmtetransitiemodel gaat uit van de kosten anno nu op basis van ervaringscijfers, terwijl de andere vier modellen uitgaan van toekomstige kosten op basis van onderbouwde voorspellingen.
2. De modellen doen alle verschillende aannames over de bouwkundige maatregelen die moeten worden genomen en de isolatieniveaus die worden onderscheiden. Aangezien de gebouwgebonden maatregelen de grootste kostenpost zijn in de keten kan dit verschil grote invloed hebben op de uitkomsten.
3. Het Warmtetransitiemodel neemt de beschikbaarheid van hernieuwbaar gas niet als inputvariabele mee, maar wijst gasnet als warmteoptie alleen toe op basis van bepaalde buurtkenmerken (ouderdom, dichtheid). Het model van Ecofys gaat uit van beschikbaarheid van hernieuwbaar gas, maar plaatst wel de kanttekening dat dit bij beperkte beschikbaarheid beter alleen als transitiebrandstof kan worden ingezet. De andere modellen gaan uit van een beperkte beschikbaarheid van hernieuwbaar gas en verdelen die over een beperkt aantal buurten op basis van de laagste maatschappelijke kosten.

D 2.3 Vergelijking outputzijde

Om de vergelijking van de output tussen de vier modellen mogelijk te maken zijn de warmteopties gegeneraliseerd tot drie infrastructuren:

- Gasnet
- Warmtenet
- All-electric

Met gasnet bedoelen we dat in deze buurten voorlopig het gasnet het beste kan blijven liggen. Idealiter wordt hier met hybride(tussen)oplossingen gewerkt naast isoleren als eerste stap naar aardgasvrij. Op termijn kan dan gekeken worden of een andere warmteoptie toch passend kan zijn. Zo niet, dan zijn dit buurten waar duurzaam gas mogelijk toegepast zal worden. Als er tenminste voldoende duurzaam gas beschikbaar is op termijn.

Vervolgens is per buurt bekeken welke output de modellen geven en in welke mate er overeenstemming is tussen de modellen.

D3 Resultaat onderzoeksbeeld

In figuur D.6, D.7 en D.8 zijn de resultaten van de vier modellen over elkaar heen gelegd per warmteinfrastructuur. Wat uit het onderzoeksbeeld naar voren komt is dat het warmtenet een belangrijke warmteoptie is in Enschede. Dit is gelet op het stedelijke karakter van de gemeente geen verrassende uitkomst. All-electric zien we in mindere mate terugkomen. Wijken waar all-electric vaak terugkomt zijn bedrijventerreinen (bronnet) en wijken met een lagere bebouwingsdichtheid.

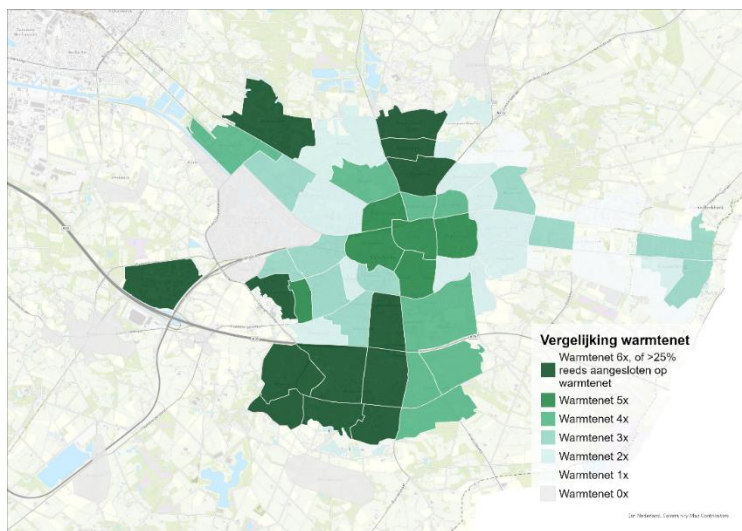
Uit het kaartbeeld kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

1. De grootste overeenstemming tussen de modellen is te vinden in een groot deel van het Binnensingelgebied, Helmerhoek, Wesselerbrink, Deppenbroek en Mekkelholt. In al deze gebieden komen de vier modellen uit op een warmtenet als optimale infrastructuur.
2. De kleinste mate van overeenstemming is te vinden in de ring direct om het Binnensingelgebied. De verklaring voor deze verschillen is

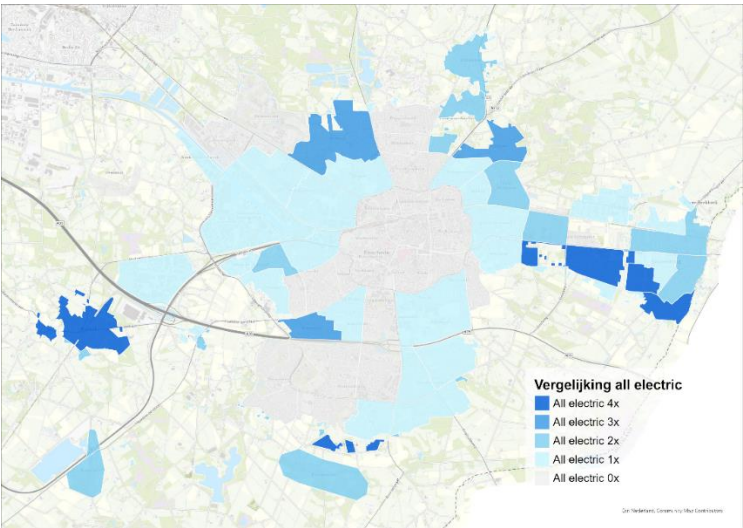
waarschijnlijk te vinden in het feit dat de vier modellen op een andere manier omgaan met de beschikbaarheid en toewijzing van hernieuwbaar gas en de kosten die de modellen berekenen voor de bouwkundige aanpassingen. Door de ouderdom van de woningen in deze buurten kunnen die kosten sterk verschillen afhankelijk van de aannames die worden gedaan in het model. Mede op basis van de dichtheid van bebouwing, de ligging van de warmtenetinfrastructuur en de gemiddelde leeftijd van de bebouwing is hier waar mogelijk een keuze gemaakt voor de best passende warmteoptie.

In deze wijken waar er nog geen overeenstemming is over de uitkomst zal het gasnet voorlopig blijven liggen en ligt de focus op besparen en hybride oplossingen. Bij herijking van de transitievisie warmte zal opnieuw bekeken worden of er dan wel duidelijkheid is over de aardgasvrije eindoplossing.

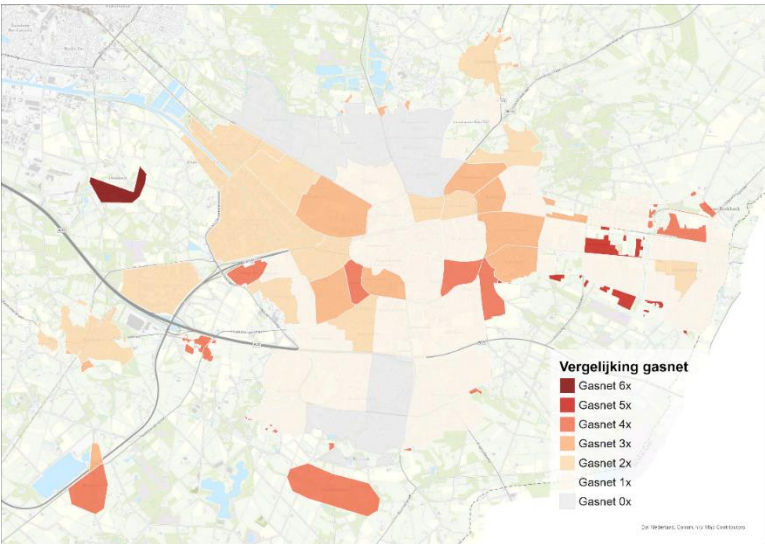
Figuur D.6: Vergelijking warmtenet



Figuur D.7: Vergelijking all electric



Figuur D.8: Vergelijking gasnet

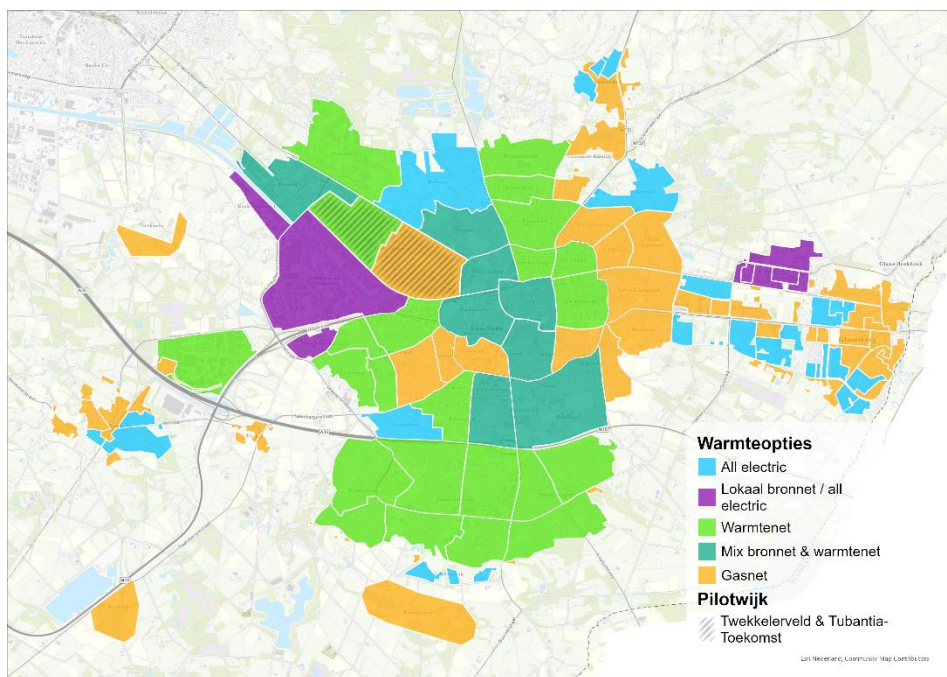


D 3.1 Validatie van het onderzoeksbeeld

Zoals uit het onderzoeksbeeld blijkt, zijn modelstudies niet feilloos en het onderzoeksbeeld is dat dus ook niet. Daarom is het onderzoeksbeeld met de lokale werkgroep gevalideerd. Dat wil zeggen: per buurt is bekeken of de uitkomst van het onderzoeksbeeld logisch, begrijpelijk en herkenbaar is. Bij die validatie zijn dus ook de vakspecialisten van de diverse partijen betrokken. Eventuele onlogische uitkomsten per buurt zijn samen met de vakspecialisten verklaard en aangepast. Deze overwegingen zijn meegenomen in het opstellen van de uiteindelijke warmteoptiekaart van de gemeente.

Op basis van de hierboven beschreven analyse is de definitieve kaart van warmteopties per buurt tot stand gekomen (zie figuur D.9). In bijlage F is het overzicht van alle buurten in Enschede opgenomen met de warmteoptie uit de vergelijkende analyse en het gekozen transitiepad.

Figuur D.9. Warmteoptie per wijk in Enschede



Bijlage E: Kosten voor de inwoner

Om beter inzichtelijk te maken wat de financiële consequenties zijn van de warmtetransitie voor de inwoner op woningniveau, zijn vier voor Enschede representatieve woningtypes geselecteerd.

Enschede telt ruim 75.000 woningen. Representatieve woningtypes zijn:

- Een twee-onder-één-kap woning gebouwd tussen 1920 en 1950;
- Een rijwoning gebouwd tussen 1950 en 1975;
- Een rijwoning gebouwd tussen 1975 en 1990;
- Een galerij- of portiekflat (meergezinswoning) gebouwd tussen 1950 en 1975.

Voor deze vier representatieve woningtypes geven we inzicht in:

- De investeringskosten voor de vastgoedeigenaar voor isolatie;
- De investeringskosten van de warmteopties per woningtype.

Het inzicht wordt gegeven voor de volgende vijf situaties:

- De huidige situatie, waarbij de woning wordt verwarmd met gasketel.
- De situatie waar maatregelen genomen om de woning te verbeteren tot het minimumniveau (lager dan 80 kWh/m²).
- De situatie waar maatregelen genomen om de woning te verbeteren tot het basisniveau (lager dan 65 kWh/m²), dit is vergelijkbaar met de Standaard.
- De situatie waar maatregelen genomen om de woning te verbeteren tot het minimumniveau (lager dan 80 kWh/m²) in combinatie met aansluiting op een warmtenet.
- De situatie waar maatregelen genomen om de woning te verbeteren tot het basisniveau (vergelijkbaar met de Standaard (lager dan 65 kWh/m²)) in combinatie met het vervangen van radiatoren en een individuele lucht-waterwarmtepomp.
- De situatie waar maatregelen genomen om de woning te verbeteren tot het minimumniveau (lager dan 80 kWh/m²) in combinatie met een hybride warmtepomp.

De figuren in de volgende paragrafen geven voor alle representatieve woningtypes inzicht in de investeringen, die gedaan moeten worden door de

vastgoedeigenaar aan de woning voor zowel het minimum als de Standaard cq. basisisolatieniveau. De kosten zijn berekend in een bandbreedte. Er is dus een minimale en een maximale investering mee gemoeid op basis van ervaringscijfers. Individuele investeringskosten kunnen ook hoger of lager uitvallen dan deze gemiddelde bandbreedtes. Dat is bijvoorbeeld afhankelijk van de omvang van de woning en de huidige mate van isolatie. Uitgangspunt is dat de investeringskosten gedaan worden gelijktijdig met een natuurlijk moment voor onderhoud of vervanging of in combinatie met een verbouwing. De gebruikskosten zijn hier niet inzichtelijk gemaakt.

E1 Investeringskosten woning voor isolatie, ventilatie, binneninstallatie en elektrisch koken

Figuur E.1: Investering in de woning voor twee-onder-een-kap 1920-1950 (getallen zijn indicatief op basis van het prijspeil 2020)

Bouwdeel	Minimumniveau		De Standaard - Basisniveau	
	van	tot	van	tot
Bouwkundig				
Begane grondvloer isoleren	€4.550	€4.550	€4.550	€4.550
Isolatieglas aanbrengen		€20.000	€ 5.875	€20.000
Spouwisolatie	€4.275		€ 4.275	€11.875
Isoleren zoldervloer			€ 4.550	
Isoleren schuin dak		€10.400		€10.400
Isoleren plat dak	€2.250	€2.250	€ 2.250	€ 2.250
Installatietechnisch				
Mechanische ventilatie		€3.800		€ 3.800
Radiatoren vervangen	€3.000			
E-koken + aanpassen meterkast	€1.000	€2.200	€ 1.000	€ 2.200
TOTAAL	€15.075	€43.200	€22.500	€55.075

Figuur E.2: Investerings in de woning voor rijwoning 1950-1975 (getallen zijn indicatief op basis van het prijspeil 2020)

Bouwdeel	Minimumniveau		De Standaard - Basisniveau	
	van	tot	van	tot
Bouwkundig				
Begane grondvloer isoleren	€ 3.500	€ 3.500	€ 3.500	€ 3.500
Isolatieglas aanbrengen			€ 5.875	€ 5.875
Spouwisolatie	€ 2.700	€ 2.700	€ 2.700	€ 2.700
Isoleren zoldervloer			€ 3.500	
Isoleren schuin dak		€ 10.400		€ 10.400
Installatietechnisch				
Mechanische ventilatie		€ 3.800		€ 3.800
Radiatoren vervangen	€ 2.000			
E-koken + aanpassen meterkast	€ 1.000	€ 2.200	€ 1.000	€ 2.200
TOTAAL	€ 9.200	€ 22.600	€ 16.575	€ 28.475

Figuur E.3: Investerings in de woning voor rijwoning 1975-1990 (getallen zijn indicatief op basis van het prijspeil 2020)

Bouwdeel	Minimumniveau		De Standaard - Basisniveau	
	van	tot	van	tot
Bouwkundig				
Begane grondvloer isoleren		€ 3.500	€ 3.500	€ 3.500
Isolatieglas aanbrengen			€ 4.700	€ 4.700
Spouwisolatie				€ 2.700
Isoleren zoldervloer			€ 3.500	
Isoleren schuin dak		€ 11.200		€ 11.200
Installatietechnisch				
Mechanische ventilatie		€ 3.800		€ 3.800
Radiatoren vervangen	€ 3.000			
E-koken + aanpassen meterkast	€ 1.000	€ 2.200	€ 1.000	€ 2.200
TOTAAL	€ 4.000	€ 20.700	€ 12.700	€ 28.100

Figuur E.4 : Investering in de woning voor portiekwoning of galerijwoning 1950-1975 (getallen zijn indicatief op basis van het prijspeil in 2020)

Bouwdeel	Minimumniveau		De Standaard - Basisniveau	
	van	tot	van	tot
Bouwkundig				
Begane grondvloer isoleren	€ 1.050	€ 1.050	€ 1.050	€ 1.050
Isolatieglas aanbrengen		€ 4.700	€ 4.700	€ 4.700
Spouwisolatie	€ 1.575	€ 1.575	€ 1.575	€ 1.575
Isoleren plat dak	€ 2.250	€ 2.250	€ 2.250	€ 2.250
Installatietechnisch				
Mechanische ventilatie		€ 2.800		€ 2.800
Radiatoren vervangen	€ 1.500			
E-koken + aanpassen meterkast	€ 1.000	€ 2.200	€ 1.000	€ 2.200
TOTAAL	€ 7.375	€ 14.575	€ 10.575	€ 14.575

E 2 Investeringskosten warmteopties per woningtype

Figuur E.5: Investering warmteopties twee-onder-een-kap woning (getallen zijn indicatief op basis van het prijspeil 2020)

	Warmtenet		All electric		Hybride warmtepomp	
	van	tot	van	tot	van	tot
KDB warmtenet ¹⁶	€ 17.000	€ 22.000				
Opwekinstallatie			€ 15.000	€ 20.000	€ 6.500	€ 10.000
LT-radiatoren			€ 6.000	€ 6.000		
Totaal	€ 17.000	€ 22.000	€ 23.500	€ 28.500	€ 6.500	€ 10.000

¹⁶ KDB = kostendeckingsbijdrage en is alleen van toepassing voor warmtenetwijken

Figuur E.6: Investeringswarmteopties rijwoning (getallen zijn indicatief op basis van het prijspeil 2020)

	Warmtenet		All electric		Hybride warmtepomp	
	van	tot	van	tot	van	tot
KDB warmtenet	€ 12.500	€ 17.500				
Opwekinstallatie			€ 12.500	€ 17.500	€ 6.000	€ 9.000
LT-radiatoren			€ 4.000	€ 4.000		
Totaal	€ 12.500	€ 17.500	€ 16.500	€ 21.500	€ 6.000	€ 9.000

Figuur E.7: Investeringswarmteopties portiekwoning of galerijwoning (getallen zijn indicatief op basis van het prijspeil 2020)

	Warmtenet		All electric		Hybride warmtepomp	
	van	tot	van	tot	van	tot
KDB warmtenet	€ 5.000	€ 10.000				
Opwekinstallatie			€ 12.500	€ 17.500	€ 6.000	€ 9.000
LT-radiatoren			€ 3.000	€ 3.000		
Totaal	€ 5.000	€ 10.000	€ 15.500	€ 20.500	€ 6.000	€ 9.000

Bijlage F: Onderbouwing warmteoptie op wijkniveau

Op basis van de vergelijkende analyse is een warmteoptiekaart gemaakt (zie figuur D.9, pagina 67). Naar aanleiding van een analyse van het huidige warmtenet en de mogelijkheden daarvan plus inzicht in de potentiële bronnen hebben we de uitkomst voor een aantal buurten nog aangepast. Op dit moment is er bijvoorbeeld geen bron bekend voor een warmtenet in Glanerbrug. Deze buurten krijgen dan ook als transitiepad ‘besparen en op termijn warmteoptie bepalen’.

Hieronder staan voor alle buurten de uitkomsten van de vergelijkende analyse en het gekozen transitiepad.

Figuur F.1: Onderbouwing warmteoptie op wijkniveau

Buurtcode	Buurtnaam	Wijk	Warmte-optie	Transitiepad	Afweging keuze
BU01530000	City	Binnensingel-gebied	Mix bronnet & warmtenet	Wijkaanpak warmtenet	Combi woningen en utiliteit
BU01530001	Lasonder, Zeggelt	Binnensingel-gebied	Warmtenet	Wijkaanpak warmtenet	
BU01530002	De Laares	Binnensingel-gebied	Warmtenet	Wijkaanpak warmtenet	
BU01530003	De Bothoven	Binnensingel-gebied	Warmtenet	Wijkaanpak warmtenet	
BU01530004	Hogeland-Noord	Binnensingel-gebied	Gasnet	Besparen en op termijn warmteoptie bepalen	
BU01530005	Getfert	Binnensingel-gebied	Mix bronnet & warmtenet	Wijkaanpak warmtenet	Combi woningen en utiliteit
BU01530006	Veldkamp-Getfert-West	Binnensingel-gebied	Gasnet	Besparen en op termijn warmteoptie bepalen	
BU01530007	Horstlanden-Stadsweide	Binnensingel-gebied	Mix bronnet & warmtenet	Wijkaanpak warmtenet	Combi woningen en utiliteit
BU01530008	Boddenkamp	Binnensingel-gebied	Mix bronnet & warmtenet	Wijkaanpak warmtenet	Combi woningen en utiliteit
BU01530100	Velve-Lindenhof	Hogeland	Gasnet	Besparen en op termijn warmteoptie bepalen	

BU01530101	Wooldrik	Hogeland	Gasnet	Besparen en op termijn warmteoptie bepalen	
BU01530102	Hogeland-Zuid	Hogeland	Gasnet	Besparen en op termijn warmteoptie bepalen	
BU01530103	Varvik-Diekman	Hogeland	Mix bronnet & warmtenet	Wijkaanpak warmtenet	Combi woningen en utiliteit
BU01530104	Sleutelkamp	Hogeland	Mix all electric, gasnet & warmtenet		
BU01530104	Sleutelkamp	Hogeland	All electric	All electric	
BU01530104	Sleutelkamp	Hogeland	Gasnet	Besparen en op termijn warmteoptie bepalen	
BU01530104	Sleutelkamp	Hogeland	Warmtenet	Wijkaanpak warmtenet	
BU01530105	't Weldink	Hogeland	Gasnet	Besparen en op termijn warmteoptie bepalen	
BU01530106	De Leuriks	Hogeland	All electric	All electric	
BU01530200	Cromhoffsbleek-Kotman	Boswinkel	Mix bronnet & warmtenet	Wijkaanpak warmtenet	Combi woningen en utiliteit
BU01530201	Boswinkel-De Braker	Boswinkel	Warmtenet	Wijkaanpak warmtenet	
BU01530202	Pathmos	Boswinkel	Gasnet	Besparen en op termijn warmteoptie bepalen	
BU01530203	Stevenfenne	Boswinkel	Gasnet	Besparen en op termijn warmteoptie bepalen	
BU01530204	Stadsveld-Zuid	Boswinkel	Warmtenet	Wijkaanpak warmtenet	
BU01530205	Elferink-Heuwkamp	Boswinkel	Warmtenet	Wijkaanpak warmtenet	
BU01530206	Stadsveld-Noord-Bruggert	Boswinkel	Warmtenet	Wijkaanpak warmtenet	
BU01530207	't Zwering	Boswinkel	Warmtenet	Wijkaanpak warmtenet	
BU01530208	Ruwenbos	Boswinkel	All electric	All electric	
BU01530300	Tubantia-Toekomst	Twekkelveld	Warmtenet	Wijkaanpak warmtenet	
BU01530301	Twekkelveld	Twekkelveld	Warmtenet	Wijkaanpak warmtenet	

BU01530400	Walhof-Roessingh	Enschede-Noord	Mix bronnet & warmtenet	Wijkaanpak warmtenet	Combi woningen en utiliteit
BU01530401	Bolhaar	Enschede-Noord	All electric	All electric	
BU01530402	Roombeek-Roomveldje	Enschede-Noord	Warmtenet	Wijkaanpak warmtenet	
BU01530403	Mekkelholt	Enschede-Noord	Warmtenet	Wijkaanpak warmtenet	
BU01530404	Deppenbroek	Enschede-Noord	Warmtenet	Wijkaanpak warmtenet	
BU01530405	Voortman-Amelink	Enschede-Noord	Gasnet	Besparen en op termijn warmteoptie bepalen	
BU01530406	Drienveld-U.T.	Enschede-Noord	Warmtenet	Wijkaanpak warmtenet	
BU01530500	Schreurserve	Ribbelt - Stokhorst	Gasnet	Besparen en op termijn warmteoptie bepalen	
BU01530501	Ribbelt-Ribbelerbrink	Ribbelt - Stokhorst	Gasnet	Besparen en op termijn warmteoptie bepalen	
BU01530502	Park Stokhorst	Ribbelt - Stokhorst	Warmtenet	Besparen en op termijn warmteoptie herijken	Geen warmtebron aanwezig en koppeling op hoofdinfra warmtenet onwaarschijnlijk
BU01530503	Stokhorst	Ribbelt - Stokhorst	All electric	All electric	
BU01530600	Stroinkslanden Noord-Oost	Enschede-Zuid	Warmtenet	Wijkaanpak warmtenet	
BU01530601	Stroinkslanden-Zuid	Enschede-Zuid	Warmtenet	Wijkaanpak warmtenet	
BU01530602	Stroinkslanden Noord-West	Enschede-Zuid	Warmtenet	Wijkaanpak warmtenet	
BU01530603	Wesselerbrink Noord-Oost	Enschede-Zuid	Warmtenet	Wijkaanpak warmtenet	
BU01530604	Wesselerbrink Zuid-Oost	Enschede-Zuid	Warmtenet	Wijkaanpak warmtenet	
BU01530605	Wesselerbrink Zuid-West	Enschede-Zuid	Warmtenet	Wijkaanpak warmtenet	
BU01530606	Wesselerbrink Noord-West	Enschede-Zuid	Warmtenet	Wijkaanpak warmtenet	
BU01530607	Helmerhoek-Noord	Enschede-Zuid	Warmtenet	Wijkaanpak warmtenet	
BU01530608	Helmerhoek-Zuid	Enschede-Zuid	Warmtenet	Wijkaanpak warmtenet	
BU01530609	het Brunink	Enschede-Zuid	All electric	All electric	

BU01530700	Industrie- en havengebied	Bedrijfsterreinen Enschede-West	Lokaal bronnet	Collectieve aanpak bedrijven-terrein	
BU01530701	Marssteden	Bedrijfsterreinen Enschede-West	Warmtenet	Collectieve aanpak bedrijven-terrein	Hier ligt al een warmtenet
BU01530702	Koekoeksbeekhoek	Bedrijfsterreinen Enschede-West	Lokaal bronnet	Collectieve aanpak bedrijven-terrein	
BU01530703	Kennispark	Bedrijfsterreinen Enschede-West	Mix bronnet & warmtenet	Collectieve aanpak bedrijven-terrein	Warmtenet kan, bronnet ook door aanwezigheid LT-bronnen
BU01530800	Glanerveld	Glanerbrug en omgeving	Gasnet	Besparen en op termijn warmteoptie bepalen	
BU01530801	Bentveld-Bultserve	Glanerbrug en omgeving	Mix all electric, gasnet & warmtenet		
BU01530801	Bentveld-Bultserve	Glanerbrug en omgeving	All electric	All electric	
BU01530801	Bentveld-Bultserve	Glanerbrug en omgeving	Gasnet	Besparen en op termijn warmteoptie bepalen	
BU01530801	Bentveld-Bultserve	Glanerbrug en omgeving	Warmtenet	Besparen en op termijn warmteoptie bepalen	Geen warmtebron aanwezig voor warmtenet
BU01530802	Schipholt-Glanermaten	Glanerbrug en omgeving	Mix all electric, gasnet & warmtenet		
BU01530802	Schipholt-Glanermaten	Glanerbrug en omgeving	All electric	All electric	
BU01530802	Schipholt-Glanermaten	Glanerbrug en omgeving	Gasnet	Besparen en op termijn warmteoptie bepalen	
BU01530802	Schipholt-Glanermaten	Glanerbrug en omgeving	Warmtenet	Besparen en op termijn warmteoptie bepalen	Geen warmtebron aanwezig voor warmtenet
BU01530803	Eekmaat	Glanerbrug en omgeving	Gasnet	Besparen en op termijn warmteoptie bepalen	
BU01530804	Oikos	Glanerbrug en omgeving	Mix all electric, gasnet & warmtenet		
BU01530804	Oikos	Glanerbrug en omgeving	All electric	All electric	

BU01530804	Oikos	Glanerbrug en omgeving	Gasnet	Besparen en op termijn warmteoptie bepalen	
BU01530804	Oikos	Glanerbrug en omgeving	Warmtenet	Besparen en op termijn warmteoptie bepalen	Geen warmtebron aanwezig voor warmtenet
BU01530805	Eilermarke	Glanerbrug en omgeving	All electric	All electric	
BU01530806	De Slank	Glanerbrug en omgeving	Lokaal bronnet	Collectieve aanpak bedrijven-terrein	
BU01530807	Dolphia	Glanerbrug en omgeving	Gasnet	Besparen en op termijn warmteoptie bepalen	
BU01530808	Eekmaat West	Glanerbrug en omgeving	Mix all electric & gasnet		
BU01530808	Eekmaat West	Glanerbrug en omgeving	All electric	All electric	
BU01530808	Eekmaat West	Glanerbrug en omgeving	Gasnet	Besparen en op termijn warmteoptie bepalen	
BU01530900	Dorp Lonneker	Landelijk gebied en kernen	Mix all electric & gasnet		
BU01530900	Dorp Lonneker	Landelijk gebied en kernen	All electric	All electric	
BU01530900	Dorp Lonneker	Landelijk gebied en kernen	Gasnet	Besparen en op termijn warmteoptie bepalen	
BU01530901	Dorp Boekelo	Landelijk gebied en kernen	Mix all electric & gasnet		
BU01530901	Dorp Boekelo	Landelijk gebied en kernen	All electric	All electric	
BU01530901	Dorp Boekelo	Landelijk gebied en kernen	Gasnet	Besparen en op termijn warmteoptie bepalen	
BU01530904	Buurtschap Zuid-Esmarke	Landelijk gebied en kernen	Gasnet	Besparen en op termijn warmteoptie bepalen	
BU01530905	Buurtschap Broekheurne	Landelijk gebied en kernen	Gasnet	Besparen en op termijn warmteoptie bepalen	

BU01530906	Buurtschap Usselo	Landelijk gebied en kernen	Gasnet	Besparen en op termijn warmteoptie bepalen	
BU01530906	Josink Es	Bedrijfsterreinen Enschede-West	Lokaal bronnet	Collectieve aanpak bedrijven-terrein	
BU01530907	Boekelerveld	Landelijk gebied en kernen	Gasnet	Besparen en op termijn warmteoptie bepalen	
BU01530908	Buurtschap Tweekelo	Landelijk gebied en kernen	Gasnet	Besparen en op termijn warmteoptie bepalen	

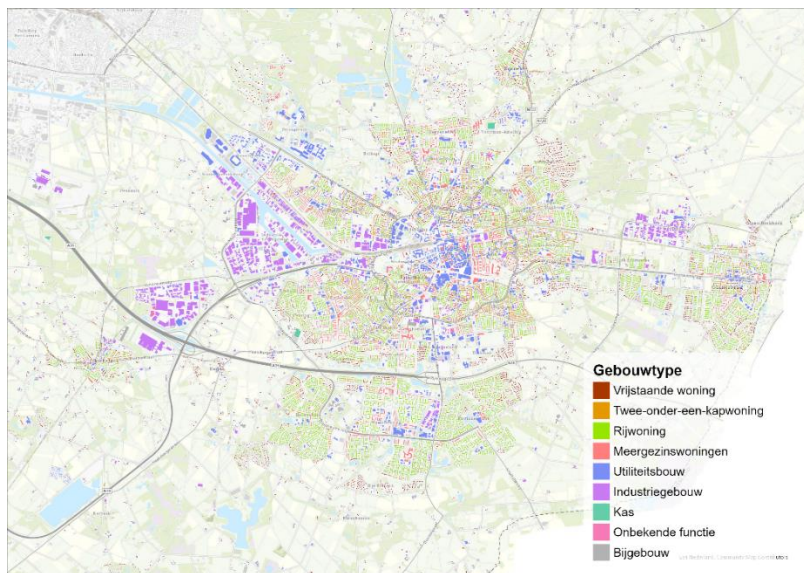
Bijlage G: Aanvullende analyses voor fasering warmtenetwijken

Op basis van aanvullende analyses passend bij het afwegingskader zoals beschreven in hoofdstuk 7 van de transitievisie warmte is een fasering van warmtenetwijken tot stand gekomen. Relevante kwantitatieve en kwalitatieve data zijn gebundeld om inzicht te krijgen in de opgaves op stads- en wijkniveau. De gegevens zijn gebruikt om via het afwegingskader te helpen bij het faseren van de warmtenetwijken. De volgende analyses zijn uitgevoerd:

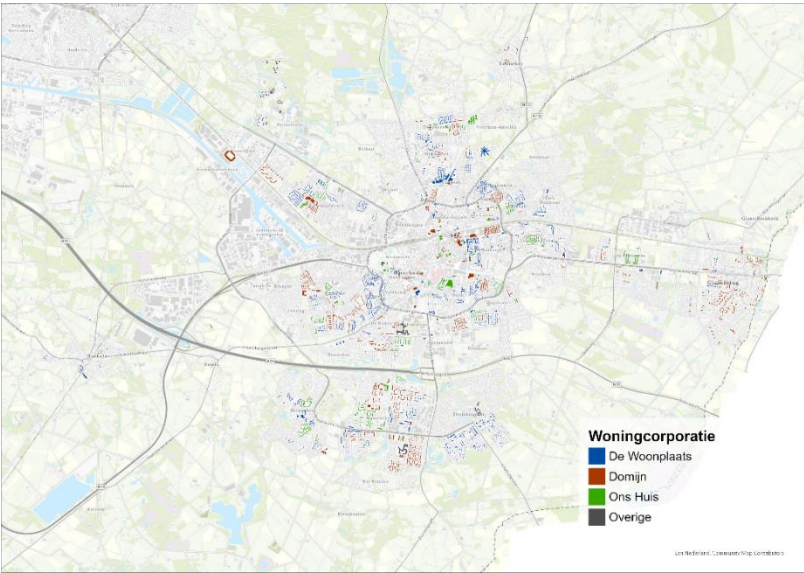
- Er is bepaald welke gebouwen nog niet zijn aangesloten op het warmtenet.
- Er is in kaart gebracht wat het type bebouwing is (zie figuur G.1). Waarbij vooral het onderscheid tussen meergezinswoningen (hoogbouw) en eengezinswoningen van belang is naast bedrijfsgebouwen en maatschappelijk vastgoed.
- Ook is er in kaart gebracht welke woningen en gebouwen in bezit zijn van welke woningcorporatie (zie figuur G.2)
- Beoogde renovatieprojecten van corporaties tussen nu en 2030 zijn op wijkniveau in kaart gebracht.
- Geplande grootschalige transformatie zoals in Kennispark is meegenomen. Voor dat gebied ligt er al een stedenbouwkundig plan waar ook de warmtetransitie onderdeel van is.
- De rioolvervangingsopgave van de gemeente is meegenomen (zie figuur G.3). Er zijn 3 buurten met grootschalige vervanging in de periode 2025-2030. Hier is koppeling met de realisatie van een warmtenet mogelijk interessant. (Deppenbroek, Mekkelholt, Wesselerbrink Zuid-Oost).
- De geplande scheiding van hemelwaterafvoer en rioolwater tussen nu en 2030 is meegenomen evenals die straten en gebieden waar maatregelen op de planning staan om wateroverlast tegen te gaan (zie figuur G.3).
- De urgentiescores van de Stedelijke InvesteringsAfweging (SIA) zijn meegenomen. Deze analyse (zie figuur G.4) focust zich op de buurten met de hoogste cumulatieve urgenties, waarbij urgenties op gebied van leefbaarheid, veiligheid, gezondheid, inkomen, energie en klimaat zijn opgeteld. Op basis van de urgentiescores is er een rangschikking van

buurten ontstaan met de hoogste cumulatieve urgenties, waarbij urgenties op het gebied van leefbaarheid, gezondheid, inkomen, energie en klimaat zijn opgeteld.

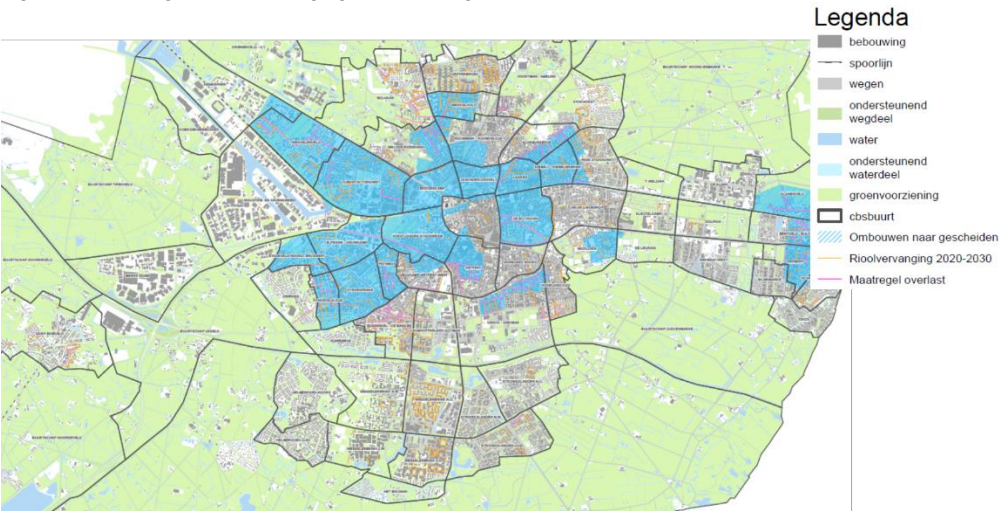
Figuur G.1: Bouwtypes in Enschede



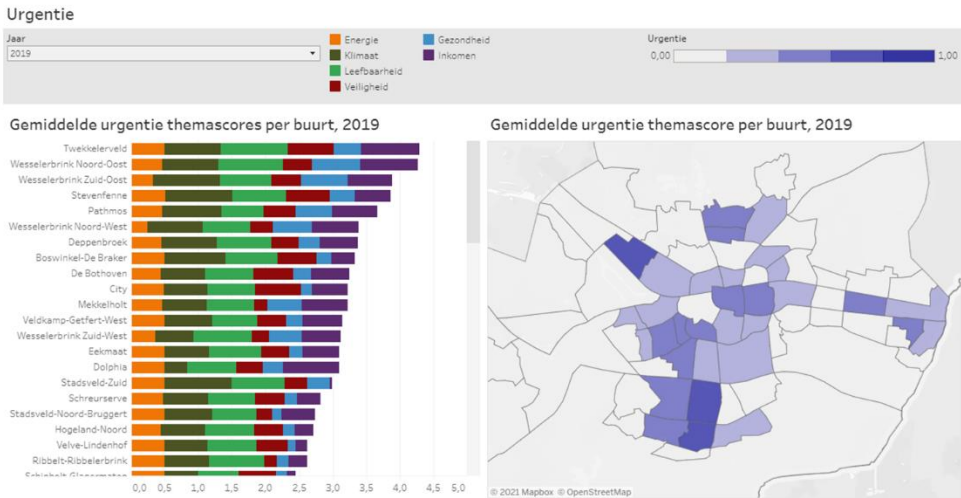
Figuur G.2: woningbezit van corporaties



Figuur G.3: Beoogde rioolvervang en scheiding riool- en hemelwater tussen nu en 2030:



Figuur G.4 Urgentiescores SIA per buurt



Bijlage H: Wat vraagt de warmtetransitie van de gemeentelijke organisatie?

De energietransitie in de gebouwde omgeving vraagt om een toenemende inzet van de gemeentelijke organisatie. Het rapport *Uitvoeringskosten van het Klimaatakkoord voor decentrale overheden in 2022 – 2030*¹⁷ laat zien dat een aanzienlijke groei in het aantal fte nodig is om de taken die in het klimaatakkoord aan gemeenten zijn toebedeeld te kunnen invullen. Onderstaande tabel geeft per gemeentelijke taak de capaciteitsinschatting uit het rapport, voor de energietransitie in de gebouwde omgeving (warmtetransitie inclusief energiebesparing). De indicatie die het rapport laat zien is slechts een onderdeel van de totale kosten die de uitvoering van het klimaatakkoord met zich meebrengt. Het overzicht in de tabel beperkt zich tot de aan de Transitievisie Warmte verbonden kosten.

Gemeente Enschede valt in de categorie G40 gemeenten, de G40 is een groep van 40 grotere, verstedelijkte gemeenten met gemiddeld 126.000 inwoners. Onderstaande tabel laat zien dat voor een gemeente als Enschede, vanaf 2022 capaciteitsinzet van minimaal acht (8,8) fte wordt verwacht voor het realiseren van de warmtetransitie gemeentebreed. Daar bovenop komt nog extra capaciteit per wijk waar een wijkaanpak (wijkuitvoeringsplan) wordt opgesteld.

¹⁷ <https://www.raadopenbaarbestuur.nl/documenten/publicaties/2020/09/24/aef--onderzoeksrapport-uitvoeringskosten-klimaatakkoord>

Gemeentelijke taken	Klein	Middel	G40	
Wijkuitvoeringsplan - planfase	0,8 – 1,1	0,9 – 1,4	1,2 - 1,8	fte per jaar per wijk
Wijkuitvoeringsplan - uitvoeringsfase	1,7 - 2,1	1,9 – 2,4	1,9 - 2,4	fte per jaar per wijk
Totaal	Hangt af van aantal wijkuitvoeringsplannen			
Samenwerking corporaties & VVE's	0,3 – 0,4	0,6 – 0,9	1,4 - 2,1	fte per jaar
Vergunningverlening, toezicht en handhaving				Beperkt
Gemeentebrede communicatie incl. energieloket	0,9 – 1,1	1,8 – 2,2	3,8 - 4,6	fte per jaar
Verduurzamen eigen vastgoed	0,1 – 0,2	0,5	0,75 - 1,25	fte per jaar
Verduurzamen maatschappelijk vastgoed	0,3 – 0,5	0,5 – 0,7	1,1 - 1,5	fte per jaar
Verduurzamen overige utiliteitsbouw	0,3	0,5	0,75	fte per jaar
Monitoren en herijken Transitievisie Warmte	0,25	0,3 – 0,5	1 - 1,5	fte per jaar
Totaal	2,15 – 2,75	4,2 – 5,3	8,8 – 11,7	fte per jaar

Bijlage I: Begrippenlijst

Aardgasvrij	Niet aangesloten op de fossiele brandstof aardgas. Dit betekent niet altijd gasloos, er kan hernieuwbaar gas worden toegepast.
Afleverset	Bij een warmtenet wordt er gebruik gemaakt van een afleverset in de woning. De afleverset bevindt zich in de meterkast, berging of andere technische ruimte en zorgt ervoor dat de warmte van ons warmtenet de verwarmingsinstallatie van de woning bereikt.
All-electric	Warmteoptie waarbij een gebouw alleen aangesloten is op het elektriciteitsnet en verwarmen en koken gebeurt met gebruik van elektriciteit (vaak een warmtepomp).
Aquathermie	Thermische energie uit oppervlaktewater, afvalwater of drinkwater dat kan worden gebruikt als bron voor een warmtenet of lokaal bronnet.
(CBS) Buurt	Onderdeel van een gemeente, dat op basis van historische dan wel stedenbouwkundige kenmerken homogeen is afgebakend.
CO ₂ -neutraal	Een gebouw (of verzameling gebouwen) is CO ₂ -neutraal als er op jaarbasis geen netto uitstoot van broeikasgassen nodig is om het gebouw op te richten, te gebruiken en af te breken. Dit betekent dat de broeikasgasemissie binnen de projectgrens gelijk is aan de hoeveelheid broeikasgassen die binnen de systeemgrens wordt vastgelegd, opgeslagen of gecompenseerd en die aan het project mag worden toegerekend. De emissie die voortkomt uit de oprichting en sloop van het gebouw wordt

	naar een jaarlijkse bijdrage verrekend op basis van de verwachte levensduur van het gebouw.
Geothermie	Warmte afkomstig uit de aarde (aardwarmte) die ingezet kan worden als bron voor warmtenetten.
Hernieuwbaar gas	Gas dat afkomstig is uit een hernieuwbare bron en/of is geproduceerd met duurzame energie, zoals biogas en groene waterstof.
Hoge temperatuur verwarming	Verwarmingssysteem waarbij een gebouw met 70°C of hoger wordt verwarmd en voorzien van warm tapwater.
Hybride warmteoplossing	Warmtelevering met elektrische oplossing, vaak een warmtepomp, in combinatie met een HR-ketel op gas
Klimaatneutraal	Klimaatneutraal wil zeggen dat bepaalde activiteiten (al dan niet binnen een bepaald gebied of op een bepaalde plek) geen positief of negatief effect hebben op het klimaat. Het begrip 'klimaatneutraal' wordt vooral gebruikt om aan te geven dat bepaalde activiteiten geen negatief effect hebben op het klimaat, waarmee men wil zeggen: geen emissie van CO₂ en andere broeikasgassen. Te bereiken door sterke reductie van emissies en door compensatie (bijv. boomaanplant) van CO₂ -uitstoot. Soms wordt ook het gebruik van grondstoffen meegenomen binnen dit begrip. Steden als Enschede, Amsterdam en Rotterdam hebben aangegeven 'klimaatneutrale' steden te willen worden. Het begrip wordt door diverse instanties (overheden, onderzoeksinstellingen) gebruikt, ook voor de gebouwde omgeving. Klimaatneutraal is echter een nogal vaag

	begrip. Vele processen en stoffen zijn van invloed op ons klimaat. In de gebouwde omgeving vermijden we deze term daarom liever en is het duidelijker om te spreken over 'CO ₂ -neutraal'
Lage temperatuur verwarming	Verwarmingssysteem waarbij een gebouw met een temperatuur van 55°C of lager verwarmd wordt. Tapwater wordt separaat verwarmd.
Laagste maatschappelijke kosten	De laagste totale kosten voor de gehele keten en al haar gebruikers, dus zowel kosten voor aanpassingen aan gebouwen, kosten voor de infrastructuur en kosten voor de bron en levering van energie, die nodig zijn voor een aardgasvrije gebouwde omgeving. Daarbij worden niet alleen de investeringen, maar ook onderhoud en operationele kosten meegenomen, dus inclusief de energierekening van de eindgebruiker, gedurende een periode van 30 jaar. De kosten per vermeden ton CO ₂ zijn naast deze maatschappelijke kosten tevens afhankelijk van de kosten voor verduurzaming van bronnen.
Lokale bronnetten	Lokale kleinschalige (collectieve) warmtevoorziening in de vorm van een zeer lage temperatuur bronnet in combinatie met een warmtepomp in het gebouw. Vaak in combinatie met warmte-koudeopslag (WKO).
Middentemperatuur verwarming	Verwarmingssysteem waarbij een gebouw met een temperatuur van 55 °C tot 70 °C wordt verwarmd en voorzien van warm tapwater.
Onderzoeksbeeld	Het onderzoeksbeeld geeft weer welke warmteoptie in welke buurt de laagste maatschappelijke kosten heeft. Aan het onderzoeksbeeld liggen verschillende modelstudies ten grondslag.

Omgevingswet	De Omgevingswet gaat ogv huidige informatie op 1 juli 2022 in werking en staat voor een goede balans tussen het benutten en beschermen van de fysieke leefomgeving. Ook biedt de Omgevingswet gemeenten de mogelijkheid om met overzichtelijkere regels de leefomgeving meer in samenhang in te richten. Het biedt daarnaast meer ruimte voor lokaal maatwerk en leidt tot een betere en snellere besluitvorming.
Opt-out	Het verschijnsel waarbij eigenaren niet kiezen voor de voorkeurswarmteoptie in de wijk.
Transitiekaart	De transitiekaart is een visuele weergave van de uitkomsten in de Transitievisie Warmte. In deze kaart is voor elke wijk zowel een oplossingsrichting richting aardgasvrij als een (grofmazige) tijdsaanduiding opgenomen.
Regionale Energiestrategie (RES)	In de RES onderzoeken 30 Nederlandse energieregio's hun vraag naar warmte en elektriciteit en geven ze aan hoeveel duurzame warmte en elektriciteit op eigen grondgebied kan worden gerealiseerd.
Restwarmte	Warmte die vrijkomt bij industriële processen en gebruikt wordt als bron voor warmtenetten.
Transitievisie Warmte (TVW)	Document op gemeenteniveau waarin het tijdpad wordt bepaald waarin buurten aardgasvrij worden en met welke warmteoptie.
Transitiepad	In een transitiepad schetsen we per wijk de route om tot een warmteoptie te komen. Die route bevat zowel een fasering als tussenstappen. Het transitiepad beschrijft ook wat voor soort aanpak erbij hoort, zoals een wijkgerichte aanpak of een doelgroepgerichte aanpak.

Warmtenet	Infrastructuur die warm water via een leidingnetwerk onder de grond levert aan gebouwen voor ruimteverwarming en eventueel warm tapwater. Dit wordt ook wel stadsverwarming of stadswarmte genoemd. Warmtenetten kunnen verschillende aanvoertemperaturen hebben (zie lage, midden en hoge temperatuur verwarming).
Warmtenet Ennatuurlijk	Er is in bepaalde wijken in Enschede de mogelijkheid om op het warmtenet van Ennatuurlijk aangesloten te worden. Het warmtenet van Ennatuurlijk wordt verwarmd door de biomassa-energiecentrale van Twence. Deze centrale zet biomassa om in groene stroom, warmte en stoom. Hier wordt afvalhout gebruikt dat niet geschikt is voor materiaalhergebruik en afkomstig is uit grof huishoudelijk afval en bouw- en sloopafval. Ook worden houtonderdelen die overblijven uit compostering van GFT-afval gebruikt.
Warmteoptie	De beoogde infrastructuur voor warmtelevering zonder aardgas per buurt
Warmtepomp	Een warmtepomp onttrekt warmte aan een bron, vaak buitenlucht of grondwater, verhoogt de temperatuur en staat die hogere temperatuur weer af aan een ruimte.
Wet Collectieve Warmtevoorziening (WCW)	Gemeenten krijgen meer sturingsmogelijkheden om in het kader van de wijkgerichte aanpak de aanleg en exploitatie van de collectieve warmtesystemen te bevorderen en worden tevens voorzien in instrumenten om publieke belangen beter te waarborgen. Collectieve warmtelevering kan uitsluitend plaatsvinden nadat een gemeente hiervoor voorzien heeft middels een aanwijzing of ontheffing.

Woningequivalent (WEQ)	Een woningequivalent is een inschatting van de hoeveelheid warmte-energie die nodig is om een gemiddelde Nederlandse woning van ruimteverwarming en warm water te voorzien.
------------------------	---

