

Scenario's voor de warmtevoorziening van Enschede & Hengelo Rapport



Scenario's voor de warmtevoorziening van Enschede & Hengelo

Rapport

Door: Timme van Melle, Wouter Terlouw en Niels Verkaik

Datum: 7 maart 2017

Projectnummer: ESMNL17314

© Ecofys 2017 in opdracht van:



Samenvatting

In het kader van het Energieakkoord voor duurzame groei werkt de Provincie Overijssel samen met twaalf partijen in Enschede en Hengelo aan een warmteplan om er voor te zorgen dat de keuze voor alternatieve verwarmingswijzen aansluit op de maatschappelijke en economische eisen die de verschillende belanghebbenden hebben bij de uitvoering ervan. De wijze waarop de warmtevoorziening verduurzaamd kan worden is namelijk een belangrijk vraagstuk in de energietransitie. Provincie Overijssel heeft daarom in samenspraak met verschillende partijen vier scenario's gedefinieerd. De vier scenario's hebben elk een verschillende invalshoek en worden gekarakteriseerd met de volgende kernwoorden: *minimale kosten*, *maximale duurzaamheid*, *maximale inzet warmtebronnen* en *maximale individuele keuzevrijheid*. Een belangrijk uitgangspunt voor alle scenario's is dat er in 2050 geen aardgas meer wordt gebruikt voor lage temperatuur warmte. Ecofys heeft de vier scenario's verder uitgewerkt en beoordeeld met behulp van een afwegingskader bestaande uit diverse criteria die zowel kwantitatieve aspecten (kosten, investeringen, uitstoot) en kwalitatieve aspecten (randvoorwaarden, realiseerbaarheid) omvatten. De beoordeling dient als inbreng in een besluitvormingsproces met alle belanghebbenden, waarna een warmteplan, zoals bedoeld in het Energieakkoord, vastgesteld kan worden. Dit warmteplan zal vervolgens dienen als leidraad en grond voor lange termijn investeringen.

De scenario's in deze studie schetsen verschillende eindbeelden voor de uitfasering van aardgas in Enschede en Hengelo. De scenario's worden in het rapport in detail beschreven in vier factsheets. De belangrijkste overkoepelende bevindingen zijn als volgt:

- Door de uitfasering van aardgas worden in elk scenario substantiële emissiereducties gerealiseerd. Dit komt doordat er na de uitfasering efficiëntere technologieën en duurzamere energiedragers worden ingezet. Geen van de scenario's leidt echter tot een absoluut klimaatneutrale woningvoorraad in 2050. Hiervoor zijn zeer ambitieuze maatregelen nodig, gericht op de vermindering van de energievraag en de verduurzaming van de resterende energievraag.
- De woningvoorraad moet over de volle breedte verduurzaamd worden, zowel de bestaande bouw als de nieuwbouw en bij particuliere eigenaren en woningcorporaties. Omdat de woningvoorraad in 2050 nog voor meer dan driekwart uit woningen bestaat die voor 2015 zijn gebouwd, zal de uitdaging voor de bestaande bouw het grootste zijn. De verduurzaming van de woningvoorraad resulteert in een grote investeringsopgave voor zowel particuliere eigenaren als woningcorporaties.
- De transitie naar alternatieven voor aardgas brengen elk hun eigen voordelen en uitdagingen met zich mee. Bij een keuze voor een bepaalde technologie moet daarom goed onderzocht worden of de benodigde energie in voldoende mate en tegen acceptabele kosten kan worden voorzien.
- De kosten van energie-infrastructuur en met name warmtenetten zijn sterk afhankelijk van de lokale omstandigheden en kunnen van wijk tot wijk en van buurt tot buurt sterk uiteenlopen. Bij lagere kosten voor warmtenetten komen de systeemkosten van het scenario *Maximale inzet warmtebronnen* in de buurt van de systeemkosten van het scenario *Minimale kosten*. De resultaten bieden een goede basis voor het vaststellen van een warmteplan. Bij de gedetailleerde kosteninschattingen die voor implementatie is het echter mogelijk dat de kosten in specifieke wijken en buurten afwijken.

Inhoudsopgave

1 Inleiding	1
2 Resultaten	3
Scenario <i>Minimale kosten</i>	5
Scenario <i>Maximale duurzaamheid</i>	7
Scenario <i>Maximale inzet warmtebronnen</i>	9
Scenario <i>Maximale individuele keuzevrijheid</i>	11
3 Discussie	17
4 Conclusies	19
Appendix A Gedetailleerde resultaten	23
Appendix B Aanpak	34
Appendix C Aannames	41

1 Inleiding

In het kader van het Energieakkoord voor duurzame groei werkt de Provincie Overijssel samen met twaalf partijen¹ in Enschede en Hengelo aan een warmteplan.² De wijze waarop de warmtevoorziening verduurzaamd kan worden is namelijk een belangrijk vraagstuk in de energietransitie.³ In de toekomst zal aardgas niet of nauwelijks meer worden ingezet voor ruimteverwarming en warmtapwater. De Provincie Overijssel werkt daarom samen met verschillende partijen in Enschede en Hengelo aan een warmteplan om te zorgen dat de keuze voor alternatieve verwarmingswijzen aansluit op de maatschappelijke en economische eisen die de verschillende belanghebbenden hebben bij de uitvoering ervan. Om breed gedragen keuzes te kunnen maken, heeft de Provincie Overijssel aan Ecofys gevraagd om een aantal scenario's voor de verduurzaming van de warmtevoorziening vorm te geven en op relevante criteria te beoordelen. De beoordeling dient als inbreng in een besluitvormingsproces met alle belanghebbenden, waarna een warmteplan, zoals bedoeld in het Energieakkoord, vastgesteld kan worden. Dit warmteplan zal vervolgens dienen als leidraad en grond voor lange termijn investeringen.

Provincie Overijssel heeft in samenspraak met verschillende partijen vier scenario's gedefinieerd. De vier scenario's hebben elk een verschillende invalshoek en worden gekarakteriseerd met de volgende kernwoorden: *minimale kosten*, *maximale duurzaamheid*, *maximale inzet warmtebronnen* en *maximale individuele keuzevrijheid*. Een belangrijk uitgangspunt voor alle scenario's is dat er in 2050 geen aardgas meer wordt gebruikt voor lage temperatuur warmte (ruimteverwarming en tapwater). Ecofys heeft de vier scenario's verder uitgewerkt en beoordeeld met behulp van een afwegingskader bestaande uit diverse criteria die zowel kwantitatieve aspecten (kosten, investeringen, uitstoot) en kwalitatieve aspecten (randvoorwaarden, realiseerbaarheid) omvatten. In onderstaande tabel worden de karakteristieken van en belangrijkste bevindingen bij de scenario's beschreven.

¹ Alliander, BEON, De Woonplaats, Domijn, Enexis, Ennatuurlijk, Gemeente Enschede, Gemeente Hengelo, Ons Huis, Twence, Universiteit Twente en Welbions.

² Sociaal-Economische Raad, 2013. *Energieakkoord voor duurzame groei*. Beschikbaar op: http://www.ser.nl/~media/files/internet/publicaties/overige/2010_2019/2013/energieakkoord-duurzame-groei/energieakkoord-duurzame-groei.ashx.

³ Ministerie van Economische Zaken, 2016. *Energieagenda: Naar een CO₂-arme energievoorziening*. Beschikbaar op: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2016/12/07/ea>.

Tabel 1. Beschrijving van de scenario's voor de verduurzaming van de warmtevoorziening.

Scenario	Karakteristieken
<i>Minimale kosten</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Gericht op lage systeemkosten • Goede isolatie (label B) • Forse inzet van groen gas en warmte
<i>Maximale duurzaamheid</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Gericht op lage CO₂-uitstoot • Zeer goede isolatie (label A+) • Forse inzet van elektriciteit en warmte
<i>Maximale inzet warmtebronnen</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Gericht op maximale inzet van warmtebronnen • Goede isolatie (label B) • Verregaande inzet van warmtenetten
<i>Maximale individuele keuzevrijheid</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Gericht op maximale keuzevrijheid voor iedere gebouweigenaar en – gebruiker • Goede isolatie (label B) • Verregaande inzet van groen gas, forse inzet van elektrische warmtepompen en beperkte inzet van warmtenetten

De studie die voor u ligt start met de presentatie van de vier scenario's en hun effecten in hoofdstuk 2. De resultaten worden gepresenteerd aan de hand van factsheets per scenario en een overkoepelende analyse per criteria en op wijkniveau. In hoofdstuk 3 en 4 worden vervolgens discussiepunten uiteengezet en conclusies getrokken. Een gedetailleerd overzicht van de resultaten en een verdere uitwerking van de aanpak en de aannames worden gegeven in de bijlagen.

2 Resultaten

Op dit moment is ongeveer 8% van de huishoudens in Enschede en Hengelo aardgasloos. Deze huishoudens worden van warmte voorzien doormiddel van warmtenetten, die grotendeels worden gevoed door restwarmte.⁴ De scenario's in deze studie schetsen verschillende eindbeelden voor de uitfasering van aardgas in Enschede en Hengelo. De resultaten van de beoordeling van de scenario's worden in dit hoofdstuk gepresenteerd in factsheets. Voor elk van de scenario's wordt er een korte beschrijving van de karakteristieken en belangrijkste resultaten gegeven. Daarnaast wordt er een overzicht gegeven van de beoordeling met behulp van het afwegingskader, de voor- en nadelen en de toegepaste technologieën per wijk. Een compacte samenvatting van de vier scenario's wordt gegeven in Tabel 2. De beoordeling met behulp van het afwegingskader wordt verder uitgewerkt vanaf pagina 13. Gedetailleerde resultaten worden weergegeven in Appendix A.

Tabel 2. Karakteristieken van de scenario's voor de verduurzaming van de warmtevoorziening (door middel van symbolen wordt een indicatieve beoordeling gegeven: + = positief, ~ = neutraal, - = negatief)

Scenario	Karakteristieken	Kosten	Uitstoot	Randvoorwaarden	Realiseerbaarheid
<i>Minimale kosten</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Gericht op lage systeemkosten • Goede isolatie (label B) • Forse inzet van groen gas en warmte 	+	~	+	+
<i>Maximale duurzaamheid</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Gericht op lage CO₂-uitstoot • Zeer goede isolatie (label A+) • Forse inzet van elektriciteit en warmte 	-	+	-	-
<i>Maximale inzet warmtebronnen</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Gericht op maximale inzet van warmtebronnen • Goede isolatie (label B) • Verregaande inzet van warmtenetten 	~	+	~	+
<i>Maximale individuele keuzevrijheid</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Gericht op maximale keuzevrijheid • Goede isolatie (label B) • Verregaande inzet van groen gas, forse inzet van elektrische warmtepompen 	+	~	+	-

⁴ In Enschede en Hengelo hebben respectievelijk 12% en 2% van de huishoudens een aansluiting op het warmtenet. De warmte is voor driekwart van deze huishoudens afkomstig van restwarmte of bodemlussen. Een kwart is afkomstig uit gasketels of WKK's. Dit is vooral het geval in Hengelo waar het warmtenet verder ontwikkeld zal worden. Zie Appendix A voor meer informatie over de huidige situatie.

ECOFYS

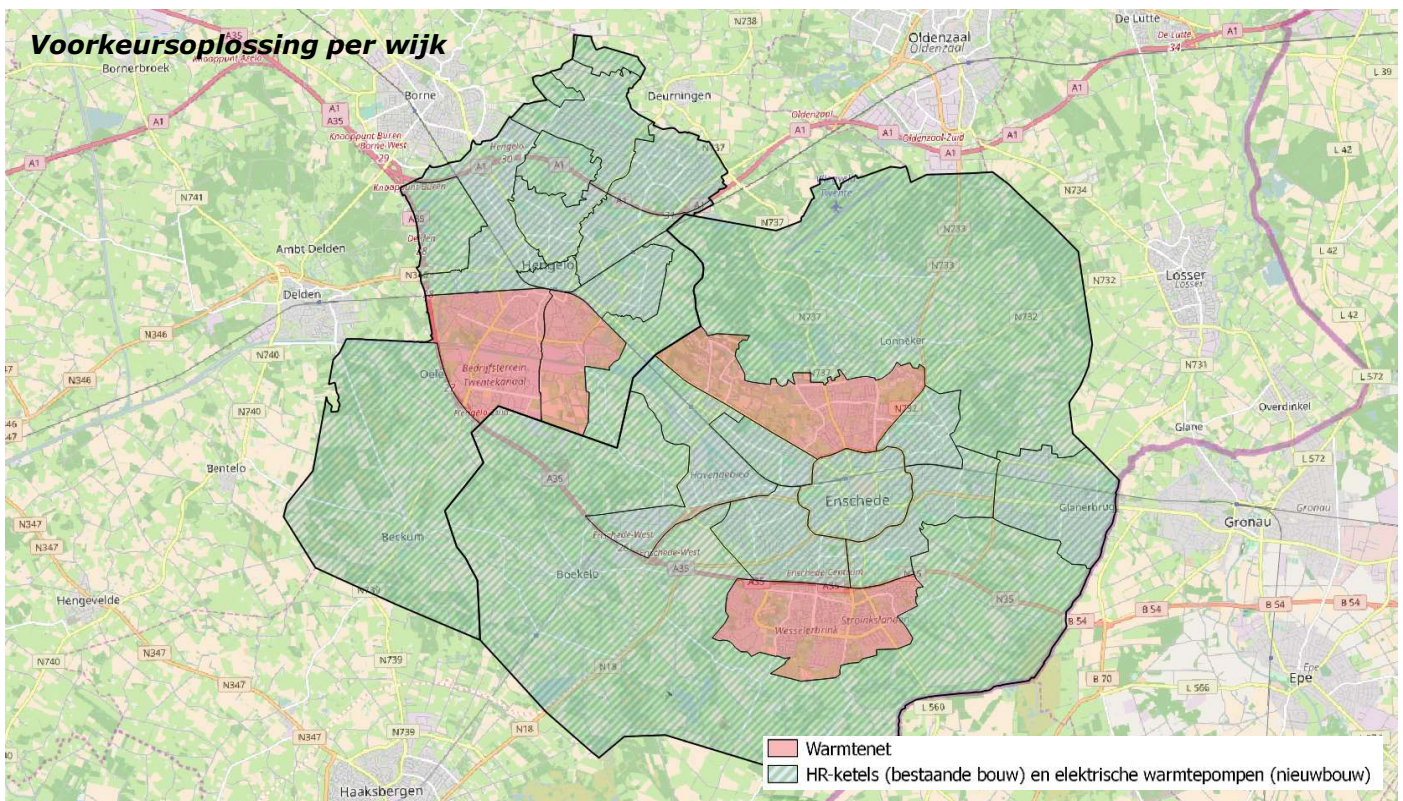


sustainable energy for everyone

1

Scenario Minimale kosten

Het scenario "Minimale kosten" schetst een beeld van de mogelijkheden om de warmtevoorziening in 2050 zonder aardgas tegen zo laag mogelijke kosten in te richten. Het scenario gaat uit van technologieën die de uitfasering van aardgas tegen de laagst mogelijke systeemkosten mogelijk maken.



Bestaande woningen worden gerenoveerd naar minimaal label B, waarbij warmte en groen gas worden ingezet voor de warmtevoorziening. Nieuwbouwwoningen hebben minimaal label A, waarbij elektrische warmtepompen worden ingezet voor de warmtevoorziening. Als nieuwbouwwoningen nabij bestaande warmtenetten worden gebouwd, wordt warmte ingezet.

Kosten	+	Uitstoot	~
165 M€ - Matige stijging van systeemkosten, met name als gevolg van kosten voor groen gas		Het scenario leidt tot een emissiereductie van 82% ten opzichte van de huidige situatie; deze emissiereductie is sterk afhankelijk van de emissies die samenhangen met de productie van groen gas en warmte	
Randvoorwaarden	+	Realiseerbaarheid	+
<ul style="list-style-type: none"> • Investeringsbereidheid bij publieke en private eigenaren • Voldoende beschikbaarheid van groen gas • Aansluit- en (op termijn) instandhoudingsplicht voor gas niet meer van toepassing 		<ul style="list-style-type: none"> • De natuurlijke renovatiesnelheid is toereikend voor een groot deel van de renovatieopgave • Grotendeels bestaande en reeds doorontwikkelde technologieën • Lokale biogasbronnen aanwezig • Sterke afhankelijkheid van groen gasaanbod 	

1

Scenario Minimale kosten

Gedetailleerde resultaten

criterium	Resultaat
Jaarlijkse kosten Isolatie en installatie	57 M€/jaar
Jaarlijkse kosten Energie	64 M€/jaar
Jaarlijkse kosten Infrastructuur	43 M€/jaar
Uitstoot	45 ktCO ₂ /jaar
Randvoorwaarden	<ul style="list-style-type: none"> • Investeringsbereidheid bij publieke en private eigenaren • Voldoende beschikbaarheid van groen gas • Aansluit- en (op termijn) instandhoudingsplicht voor gas niet meer van toepassing
Implementatiesnelheid	<ul style="list-style-type: none"> • De natuurlijke renovatiesnelheid is toereikend voor een groot deel van de renovatieopgave • Grotendeels bestaande en reeds doorontwikkelde technologieën
Politieke haalbaarheid	<ul style="list-style-type: none"> • Technologieën grotendeels bekend bij bewoners • Beperkte emissiereducties
Investeringsnoodzaak Huishoudens	€ 6.750
Capaciteit duurzame elektriciteitsproductie	<ul style="list-style-type: none"> • 4,8 MW aan geïnstalleerd zonne- energievermogen, dat staat gelijk aan een uitbreiding van 27% ten opzichte van het huidige vermogen • 13,2 MW aan geïnstalleerd windenergie vermogen, dat staat gelijk aan 4 windturbines • De mix van zon en wind is indicatief

Voordelen en nadelen

Voordelen

- Lage systeemkosten
- Hoge realiseerbaarheid
- Inzet groen gas ter versterking lokale rurale economie

Nadelen

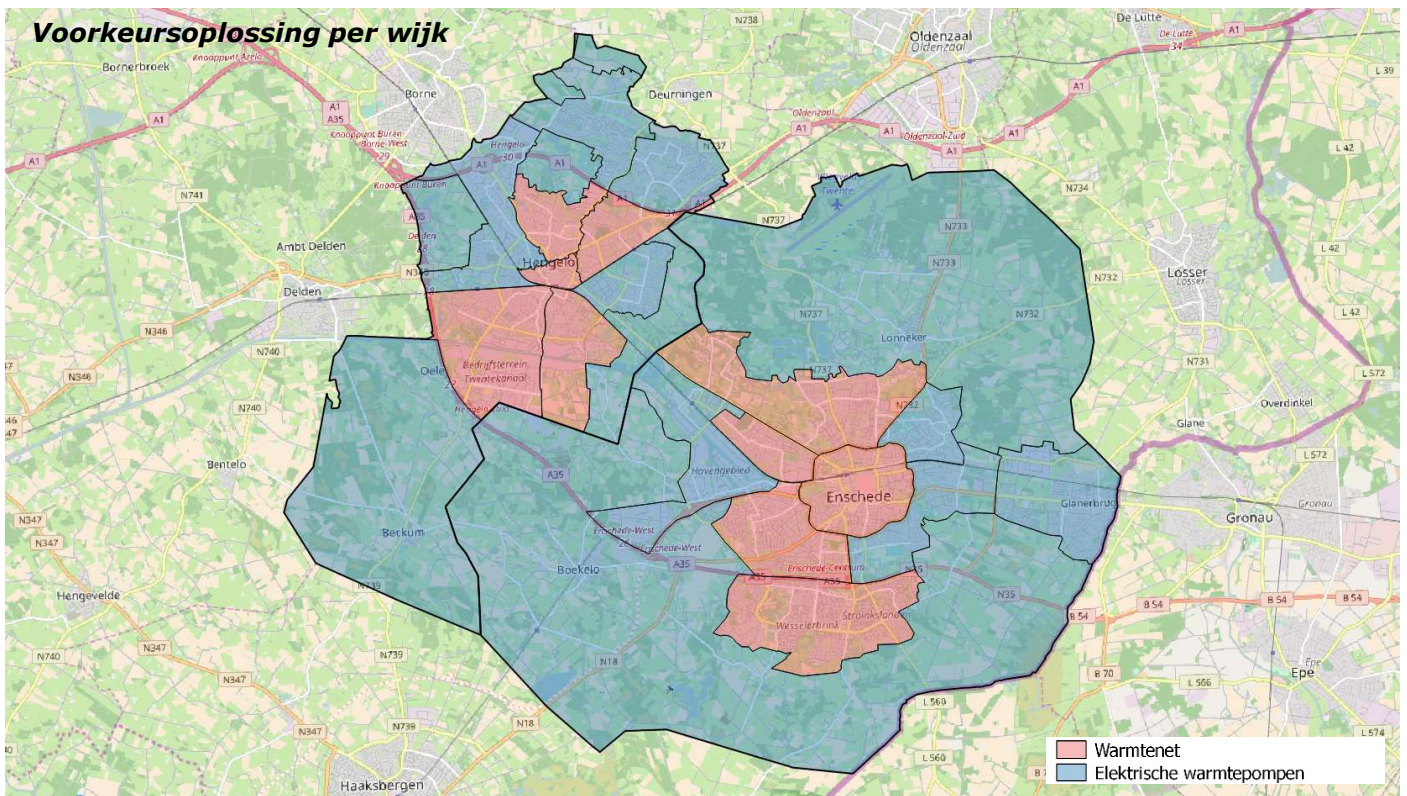
- Beperkte emissiereductie
- Sterk afhankelijk van beschikbaarheid en prijs van groen gas
- Door beperkte isolatie grote opgave verduurzaming van energievoorziening
- Prijsrisico als gevolg van lock-in op groen gas bij bewoners

2

Scenario

Maximale duurzaamheid

Het scenario "Maximale duurzaamheid" schetst een beeld van de mogelijkheden om de warmtevoorziening in 2050 zo duurzaam mogelijk in te richten. Bio-energie wordt in dit scenario alleen ingezet voor hoge temperatuur warmte. Resulterende restwarmte wordt via warmtenetten ingezet.



Bestaande woningen worden gerenoveerd naar minimaal label A en hebben dezelfde isolatiegraad als nieuwbouwwoningen. Warmte wordt voorzien door middel van elektrische warmtepompen of warmtenetten.

<p>Kosten -</p> <p>235 M€ - Zeer grote stijging van systeemkosten, met name als gevolg van investeringen in woningen voor isolatie en technologieën</p>	<p>Uitstoot +</p> <p>Het scenario leidt tot een emissiereductie van 92% ten opzichte van de huidige situatie; deze emissiereductie is sterk afhankelijk van de emissies die samenhangen met de productie van elektriciteit en warmte</p>
<p>Randvoorwaarden -</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zeer grote investeringsbereidheid bij publieke en private eigenaren • Publiek draagvlak voor uitbreiding warmtenetten • Voldoende beschikbaarheid van duurzame elektriciteit • Aansluit- en (op termijn) instandhoudingsplicht voor gas niet meer van toepassing 	<p>Realiseerbaarheid -</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zeer ambitieuze renovatieopgave voor woningcorporaties en particulieren • Zelfs reeds gerenoveerde woningen moeten ambitieuzer geïsoleerd worden • Volledige uitfasering van het gasnet • Grote ingreep in woningen voor isolatie en warmte-afleversysteem

2

Scenario

Maximale duurzaamheid

Gedetailleerde resultaten

criterium	Resultaat
Jaarlijkse kosten Isolatie en installatie	178 M€/jaar
Jaarlijkse kosten Energie	19 M€/jaar
Jaarlijkse kosten Infrastructuur	38 M€/jaar
Uitstoot	19 ktCO ₂ /jaar
Randvoorwaarden	<ul style="list-style-type: none"> • Zeer grote investeringsbereidheid bij publieke en private eigenaren • Publiek draagvlak voor uitbreiding warmtenetten • Voldoende beschikbaarheid van duurzame elektriciteit • Aansluit- en (op termijn) instandhoudingsplicht voor gas niet meer van toepassing
Implementatiesnelheid	<ul style="list-style-type: none"> • Renovatieopgave groter dan natuurlijke renovatiesnelheid
Politieke haalbaarheid	<ul style="list-style-type: none"> • Zeer ambitieuze renovatieopgave, waarbij zelfs reeds gerenoveerde woningen ambitieuzer geïsoleerd moeten worden
Investeringsnoodzaak Huishoudens	€ 23.500
Capaciteit duurzame elektriciteitsproductie	<ul style="list-style-type: none"> • 15,0 MW aan geïnstalleerd zonne- energievermogen, dat staat gelijk aan een uitbreiding van 83% ten opzichte van het huidige vermogen • 40,6 MW aan geïnstalleerd windenergie vermogen, dat staat gelijk aan 14 windturbines • De mix van zon en wind is indicatief

Voordelen en nadelen

Voordelen

- Verregaande emissiereductie
- Lagere blootstelling van bewoners aan energieprijzen door lagere energievraag

Nadelen

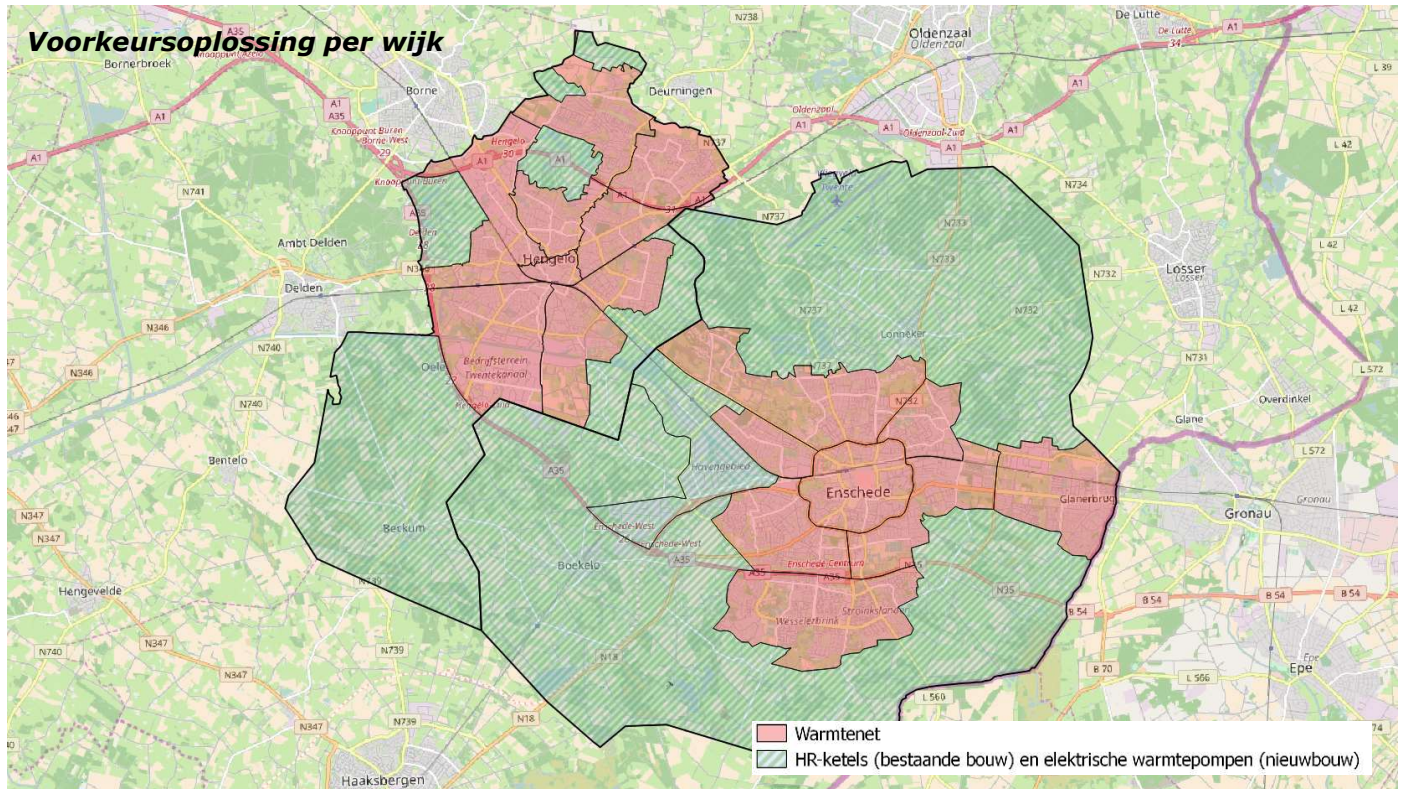
- Hoge systeemkosten
- Zeer ambitieuze renovatieopgave met grote individuele investeringen
- Substantiële netverzwaring voor elektriciteitsdistributie

3

Scenario

Maximale inzet van warmtebronnen

Het scenario "Maximale inzet van warmtebronnen" schetst een beeld van de mogelijkheden om de warmtevoorziening in 2050 zoveel mogelijk uit lokale warmtebronnen (restwarmte) te voeden.



Bestaande woningen worden gerenoveerd naar minimaal label B, waarbij warmte wordt ingezet voor de warmtevoorziening. Nieuwbouwwoningen hebben minimaal label A, waarbij elektrische warmtepompen worden ingezet voor de warmtevoorziening. Als nieuwbouwwoningen nabij bestaande warmtenetten worden gebouwd, wordt warmte ingezet. groen gas wordt alleen gebruikt voor de warmtevoorziening van de bestaande bouw in buitengebieden.

Kosten	~	Uitstoot	+
189 M€ - Forse stijging van systeemkosten, met name als gevolg van investeringen in warmtenetten		Het scenario leidt tot een emissiereductie van 90% ten opzichte van de huidige situatie; deze emissiereductie is sterk afhankelijk van de emissies die samenhangen met de productie van warmte	
Randvoorwaarden	~	Realiseerbaarheid	+
<ul style="list-style-type: none"> • Investeringsbereidheid bij publieke en private eigenaren • Publiek draagvlak voor uitbreiding warmtenetten • Voldoende beschikbaarheid van lokale warmte tegen lage prijs en met lage emissies • Aansluit- en (op termijn) instandhoudingsplicht voor gas niet meer van toepassing 		<ul style="list-style-type: none"> • De natuurlijke renovatiesnelheid is toereikend voor een groot deel van de renovatieopgave • Publieke opinie over warmtenetten is hier erg belangrijk. • Substantiële uitvoeringsopgave voor de uitbreiding van warmtenetten • Wellicht moeten deels LT warmtenetten en afleversystemen worden ingezet. 	

3

Scenario

Maximale inzet van warmtebronnen

Gedetailleerde resultaten

criterium	Resultaat
Jaarlijkse kosten Isolatie en installatie	54 M€/jaar
Jaarlijkse kosten Energie	36 M€/jaar
Jaarlijkse kosten Infrastructuur	99 M€/jaar
Uitstoot	24 ktCO ₂ /jaar
Randvoorwaarden	<ul style="list-style-type: none"> • Investeringsbereidheid bij publieke en private eigenaren • Publiek draagvlak voor uitbreiding warmtenetten • Voldoende beschikbaarheid van lokale warmte tegen lage prijs en met lage emissies • Aansluit- en (op termijn) instandhoudingsplicht voor gas niet meer van toepassing
Implementatiesnelheid	<ul style="list-style-type: none"> • De natuurlijke renovatiesnelheid is toereikend voor een groot deel van de renovatieopgave
Politieke haalbaarheid	<ul style="list-style-type: none"> • Inzet van lokaal geproduceerde warmte • Sterke afhankelijkheid van een alleen lokaal te produceren energiedrager
Investeringsnoodzaak Huishoudens	€ 6.500
Capaciteit duurzame elektriciteitsproductie	<ul style="list-style-type: none"> • 0,5 MW aan geïnstalleerd zonne- energievermogen, dat staat gelijk aan een uitbreiding van 2% ten opzichte van het huidige vermogen • 1,2 MW aan geïnstalleerd windenergie vermogen, dat staat gelijk aan 1 windturbine • De mix van zon en wind is indicatief

Voordelen en nadelen

Voordelen

- Beperkte investeringsnoodzaak voor woningeigenaren
- Inzet van lokaal beschikbare restwarmte
- Controle over de duurzaamheid van de lokaal geproduceerde warmte

Nadelen

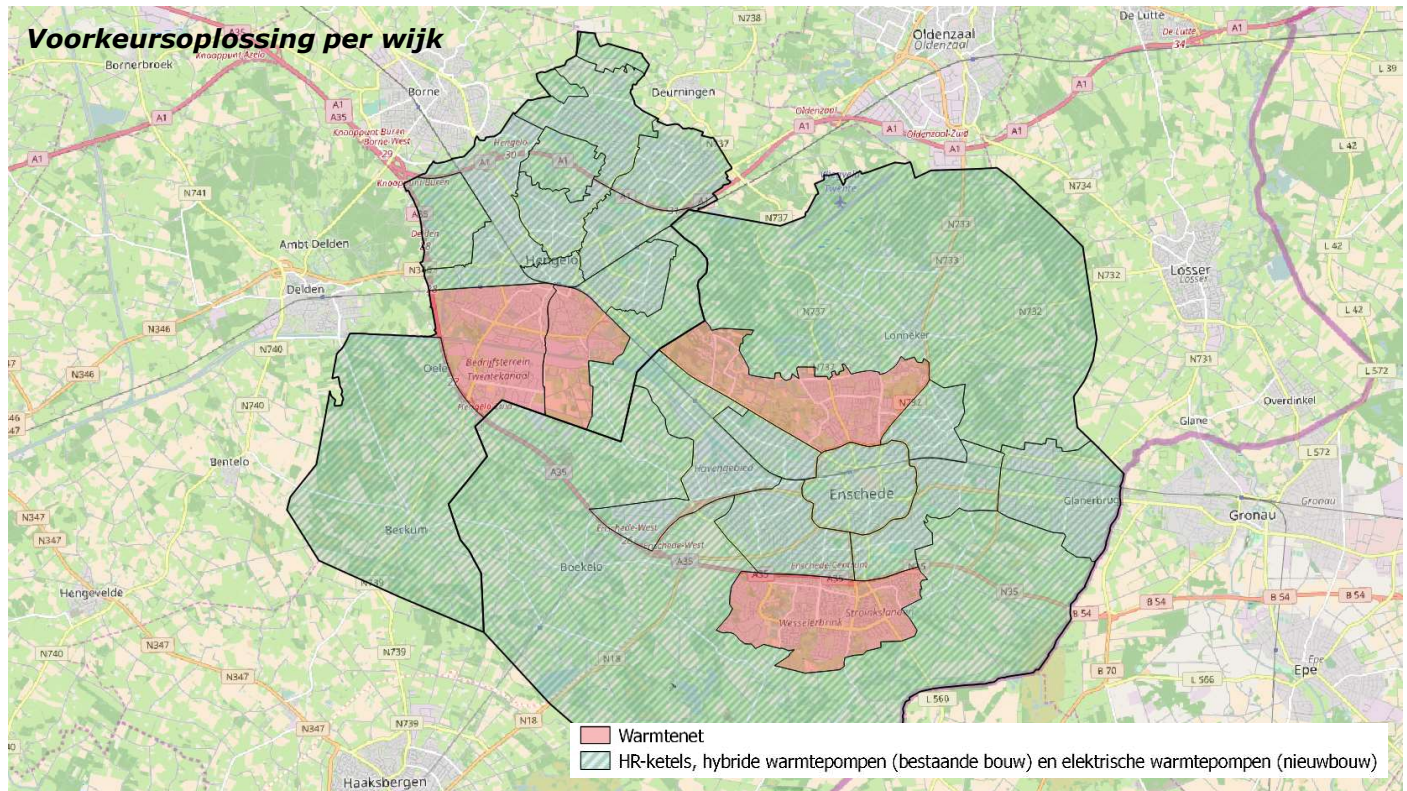
- Geen lokale geothermie (behalve misschien ultradiep)
- Sterke uitbreiding van warmtenetten noodzakelijk
- Netuitbreidingen hebben grote fysieke impact op de steden
- Door beperkte isolatie is er een grotere warmtevraag die duurzaam moet worden geleverd. Als een deel van het huidige duurzame warmteaanbod wegvalt is de verduurzamingsopgave relatief hoog.

4

Scenario

Maximale individuele keuzevrijheid

Het scenario "Maximale individuele keuzevrijheid" schetst een beeld van de mogelijkheden om de warmtevoorziening in 2050 dusdanig vorm te geven dat de keuzevrijheid van individuele huishoudens gewaarborgd wordt. Dit betekent dat in bestaande wijken zowel gasnetten als elektriciteitsnetten beschikbaar blijven. Alleen waar nu al warmtenetten aanwezig zijn, zal er geen gasnet beschikbaar zijn. Dit zal ook het geval zijn voor eventuele nieuwbouwwijken.



Bestaande woningen worden gerenoveerd naar minimaal label B, waarbij groen gas, warmte of hybride warmtepompen worden ingezet voor de warmtevoorziening. Nieuwbouwwoningen hebben minimaal label A, waarbij elektrische warmtepompen worden ingezet voor de warmtevoorziening. Als nieuwbouwwoningen nabij bestaande warmtenetten worden gebouwd, wordt warmte ook ingezet.

Kosten	+	Uitstoot	~
167 M€ - Matige stijging van systeemkosten, met name als gevolg van de instandhouding van het gasnet en investeringen in elektriciteitsnetten en kosten voor groen gas		Het scenario leidt tot een emissiereductie van 83% ten opzichte van de huidige situatie; deze emissiereductie is sterk afhankelijk van de emissies die samenhangen met de productie van groen gas en elektriciteit	
Randvoorwaarden	+	Realiseerbaarheid	-
<ul style="list-style-type: none"> • Investeringsbereidheid bij publieke en private eigenaren • Adequaet nationaal beleid dat moet doorwerken op individuele keuzes • Voldoende beschikbaarheid van groen gas, duurzame lokale warmtebronnen en duurzame elektriciteit 		<ul style="list-style-type: none"> • De natuurlijke renovatiesnelheid is in principe toereikend voor een groot deel van de renovatieopgave • Onzekere uitkomst en onzekere tijdslijn • Veel keuzevrijheid • Grootschalige afhankelijkheid van groen gasaanbod • Afhankelijk van nationaal beleid 	

4

Scenario

Maximale individuele keuzevrijheid

Gedetailleerde resultaten

criterium	Resultaat
Jaarlijkse kosten Isolatie en installatie	63 M€/jaar
Jaarlijkse kosten Energie	58 M€/jaar
Jaarlijkse kosten Infrastructuur	46 M€/jaar
Uitstoot	43 ktCO ₂ /jaar
Randvoorwaarden	<ul style="list-style-type: none"> • Investeringsbereidheid bij publieke en private eigenaren • Adequaat nationaal beleid dat moet doorwerken op individuele keuzes • Voldoende beschikbaarheid van groen gas, duurzame lokale warmtebronnen en duurzame elektriciteit
Implementatiesnelheid	<ul style="list-style-type: none"> • De natuurlijke renovatiesnelheid is in principe toereikend voor een groot deel van de renovatieopgave • Door beperkte sturing is de tijdslijn heel onzeker en zal de implementatie mogelijk langzaam gaan
Politieke haalbaarheid	<ul style="list-style-type: none"> • Veel keuzevrijheid • Onzekere uitkomst • Beperkte emissiereducties
Investeringsnoodzaak Huishoudens	€ 7.250
Capaciteit duurzame elektriciteitsproductie	<ul style="list-style-type: none"> • 9,4 MW aan geïnstalleerd zonne- energievermogen, dat staat gelijk aan een uitbreiding van 52% ten opzichte van het huidige vermogen • 25,5 MW aan geïnstalleerd windenergie vermogen, dat staat gelijk aan 8 windturbines • De mix van zon en wind is indicatief

Voordelen en nadelen

Voordelen

- Lage systeemkosten
- Weinig lokaal beleid nodig
- Inzet groen gas ter versterking lokale rurale economie

Nadelen

- Beperkte emissiereductie
- Beperkte sturingsmogelijkheden
- Sterk afhankelijk van nationale beleid
- Meerdere netten nodig waardoor er mogelijk (onnodig) hoge kosten voor infrastructuur zijn
- Onzekerheid over het al dan niet nodig zijn van netverzwaring
- Door beperkte isolatie grote opgave verduurzaming van energievoorziening
- Prijsrisico als gevolg van lock-in op groen gas bij bewoners

In de factsheets zijn de kosten, uitstoot, randvoorwaarden en realiseerbaarheid van de scenario's uitgelicht. In de verschillende scenario's loopt de beoordeling op deze criteria sterk uiteen.

- **Kosten** – De kosten die samenhangen met de scenario's worden uitgedrukt in systeemkosten per jaar (M€/jaar). Met de systeemkosten worden de financiële kosten voor de gehele warmtevoorziening beschreven. De systeemkosten omvatten de kosten voor isolatie in de bestaande bouw, technologieën in de bestaande bouw en nieuwbouw, additionele infrastructuur en energie, exclusief belastingen en subsidies.⁵ Investeringskosten worden in de jaarlijkse kosten verspreid over de levensduur van de investering. Het scenario *Minimale kosten* leidt tot de laagste systeemkosten, maar resulteert tegelijkertijd in beperkte emissiereducties. Daarnaast is de afhankelijkheid van voldoende beschikbaarheid van betaalbaar en duurzaam groen gas groot. De verhoudingen tussen de verschillende kostenposten lopen uiteen per scenario. De kosten voor woningen (isolatie en technologieën) zijn dominant in het *Maximale duurzaamheid* scenario, waar met name de isolatiegraad en de inzet van elektrische warmtepompen deze kostenpost sterk verhogen. De kosten voor infrastructuur zijn met name hoog bij een sterke uitbreiding van het warmtenet of bij grootschalige elektrificatie waarbij elektriciteitsdistributienetten moeten worden verzaamd. Wanneer de bestaande gasnetten gebruikt worden, zijn de kosten voor infrastructuur beperkt. De kosten voor energie zijn een substantiële kostenpost voor de eindgebruiker, maar door het hoge aandeel belastingen in de kosten voor energie, is het aandeel in de systeemkosten relatief beperkt. In de jaarlijkse kosten zijn de investeringskosten voor huishoudens verspreid over meerdere jaren. Omdat voor huishoudens en voor woningcorporaties belangrijk is wat de benodigde initiële investering is wordt deze ook apart genoemd. Deze investeringskosten per huishouden maken dus deel uit van de weergegeven jaarlijkse kosten.
- **Uitstoot** – De uitstoot gerelateerd aan de warmtevoorziening wordt uitgedrukt in emissies per jaar (ktCO₂/jaar). De uitstoot wordt berekend op basis van de energievraag en emissiefactoren. Hierbij wordt rekening gehouden met een sterke, maar niet volledige verduurzaming van de energievoorziening (elektriciteit, gas en warmte).⁶ Het scenario *Maximale duurzaamheid* leidt tot de laagste uitstoot, maar heeft hoge kosten door investeringen in woningen. De daadwerkelijk gerealiseerde uitstoot is in alle scenario's sterk afhankelijk van externe factoren, zoals de beschikbaarheid duurzaam geproduceerde elektriciteit en groen gas. De duurzaamheid van de geleverde warmte via warmtenetten is lokaal het beste beïnvloedbaar doordat deze per definitie lokaal geproduceerd wordt.
- **Randvoorwaarden** – Scenario *Minimale kosten* en *Maximale individuele keuzevrijheid* laten een meest natuurlijk transitiepad zien, waarbij een aanzienlijk deel van de woningen toegang blijft houden tot het gasnet, gevoed met groen gas. In deze scenario's is de benodigde investeringsbereidheid bij publieke en private eigenaren voor de renovatie van woningen het kleinst. Daartegenover staat dat in deze scenario's de beschikbaarheid van voldoende duurzame

⁵ Kosten voor isolatie, technologieën, infrastructuur en energie worden in detail beschreven in Appendix C

⁶ Emissiefactoren voor elektriciteit, gas en warmte worden in detail beschreven in Appendix C. De emissiefactoren zijn 0.1 kgCO₂/kWh voor elektriciteit, 0,4 kgCO₂/m³ voor gas en 5 kgCO₂/GJ voor warmte.

energie (groen gas, elektriciteit of warmte) het meest essentieel is voor het behalen van emissiereducties. Met name de beschikbaarheid van betaalbaar en duurzaam groen gas en elektriciteit is lokaal moeilijk te beïnvloeden. Bij *Maximale inzet van warmtebronnen* is publiek draagvlak voor de uitbreiding van warmtenetten zeer belangrijk.

- **Realiseerbaarheid** – De renovatiesnelheid van woningen is in elk scenario een uitdaging, maar het grootste in het scenario *Maximale duurzaamheid*, waarbij het grootste deel van de bestaande woningvoorraad naar een zeer hoog isolatieniveau wordt geïsoleerd, met een hoger tempo dan waarin de normale renovatiecyclus voorziet. Substantiële uitbreidingen van warmtenetten in de scenario's *Maximale duurzaamheid* en *Maximale inzet van warmtebronnen* scenario vragen sterke lokale coördinatie. Daar staat tegenover dat er meer lokale invloed uitgeoefend kan worden op uitvoering en duurzaamheid. Het scenario *Maximale individuele keuzevrijheid* heeft de meest onzekere uitkomst doordat de sturingsmogelijkheden beperkt zijn.

De factsheets geven inzichten op geaggregeerd niveau op basis van keuzes die op wijkniveau zijn gemaakt. Per wijk is een keuze gemaakt voor het gebruik van groen gas in HR-ketels, groen gas en elektriciteit in hybride warmtepompen, elektriciteit in elektrische warmtepompen of warmte via aangeleverd via warmtenetten en een warmtewisselaar. Hierbij moet worden opgemerkt dat bij implementatie deze keuze een nog kleinschaliger niveau gemaakt zal moeten worden. Bij deze keuzes zijn de karakteristieken van buurten, blokken en zelfs individuele huizen van belang, zoals:

- **Isolatiegraad** – Een lage isolatiegraad geeft extra prikkels om grootschalig te renoveren, zoals sterke kostenbesparingen en verbeterd comfort. Voor reeds relatief goed geïsoleerde woningen is deze prikkel kleiner.
- **Bouwstijl** – De bouwstijl van woningen kan van invloed zijn op hoe makkelijk renovatie toepasbaar is. De huidige nul-op-de-meterconcepten worden veelal gedemonstreerd met rijtjeswoningen uit de jaren zestig met een uniforme bouw. Wanneer de bouw minder uniform is of wanneer er andere beperkingen zijn (zoals eisen aan monumentale panden in binnensteden) is verregaande renovatie een grotere uitdaging.
- **Eigendomstype** – Bij particuliere eigenaren zijn er veel verschillende actoren in een gebied. Grootschalige renovatietrajecten waarbij meerdere woningen in één keer worden aangepakt zijn daarom makkelijker in samenwerking met woningcorporaties.
- **Bebouwingsdichtheid** – De bebouwingsdichtheid is van invloed op de kosten voor netwerken. Met name warmtenetten hebben hoge investeringskosten die snel oplopen bij een lagere bebouwingsdichtheid.
- **Aanwezigheid en staat van reeds aanwezige netten** – De aanwezigheid van warmte-infrastructuur is van invloed tegen welke prijs en op welke termijn inbreiding of uitbreiding van het warmtenet kan plaatsvinden. De huidige staat van gasnetten is een belangrijke factor in de keuze voor uitfasering van het gasnet. Omdat het belangrijkste deel van de kosten van gasnetten

kapitaalkosten zijn ligt het voor de hand om vlak voor het moment van herinvestering in het gasnet uitfasering te overwegen.

Deze studie heeft als doel om de scenario's in grote lijnen te schetsen voor het vaststellen van een warmtestrategie en geeft daarom inzichten op wijkniveau. Daarbij moet worden opgemerkt dat er slechts in beperkte mate rekening wordt gehouden met wijkspecifieke parameters. Er wordt rekening gehouden met bouwjaar en bebouwingsdichtheid, maar bijvoorbeeld niet met de bouwstijl en de huidige staat van de infrastructuur. Bij implementatie is een analyse op lagere aggregatieniveaus vereist en nog gedetailleerdere informatie over de huidige energielabels, de verdeling van de woningvoorraad (zoals woningtype en eigendomstype), de staat van de huidige infrastructuur en locatiespecifieke informatie over de kosten van toekomstige infrastructuur.

Rekening houdend met het bovenstaande zijn de bevindingen per wijk als volgt:

- De reeds bestaande warmtenetwerken in Enschede-Noord en Enschede-Zuid en de warmtenetten in de zuidelijke kant van Hengelo worden in elk scenario in stand gehouden en verder uitgebreid. In het scenario *Maximale duurzaamheid* worden de warmtenetten verder uitgebreid naar wijken met een hoge bebouwingsdichtheid.⁷ In het scenario *Maximale inzet van warmtebronnen* worden warmtenetten ingezet in de gehele dicht bebouwde omgeving.⁸
- Gezien de lage bebouwingsdichtheid is het met name in de buitengebieden⁹ van belang om in te zetten op grootschalige vraagvermindering door isolatie om hoge infrastructuurkosten te voorkomen. In deze gebieden zijn warmtenetten vanwege hoge kapitaalkosten en operationele kosten onaantrekkelijk. Er zal dus óf groen gas (scenario *Minimale kosten* en *Maximale individuele keuzevrijheid*) óf elektriciteit (scenario *Maximale duurzaamheid*) worden ingezet.¹⁰ Wanneer er een keuze wordt gemaakt om in te zetten op elektrificatie is een verregaande renovatie in die wijken het meest urgent.
- In de wijken waarin hoge temperatuur warmtenetten zullen worden ingezet, is renovatie minder belangrijk. Bij lage temperatuur warmtenetten en elektrificatie daarentegen is renovatie belangrijk om warmteafgifte en schil geschikt te maken. Een vroege keuze hierin is belangrijk om renovatieplannen af te stemmen.
- In het algemeen zien we dat groen gas, mits beschikbaar in voldoende mate en tegen acceptabele prijs, in bijna alle wijken een alternatief is voor warmte. Bij nieuwbouw en zeer goed geïsoleerde woningen kan ook elektriciteit met warmte concurreren.

⁷ Enschede: Wijk 00, Wijk 02-06; Hengelo: Wijk 00-02, Wijk 05-06

⁸ Enschede: Wijk 00-06, Wijk 08, Hengelo: Wijk 00-08

⁹ Wijk 09 Landelijke gebieden in Enschede en Wijk 09 Buitengebied in Hengelo

¹⁰ In de meeste scenario's (behalve *Maximale inzet warmtebronnen*) is hier sprake van in de Wijk 01, 05, 07-09 in Enschede en Wijk 03-04, 07-09 in Hengelo

- Bij elektrificatie van wijken kan synergie gezocht worden met andere toepassingen waarvoor het net verzaamd moet worden, zoals zonnepanelen en elektrische auto's. Dit biedt kansen voor minder dichtbebouwde wijken waar veel ruimte is voor zonnepanelen en elektrische auto's.

Om een begin te maken aan de verduurzaming van Hengelo en Enschede zijn er op basis van de bovenstaande bevindingen voldoende eerste stappen te identificeren die met grote zekerheid zullen bedragen aan het doeltreffend en doelmatig verduurzamen van de warmtevoorziening in Hengelo en Enschede. Voor de betreffende wijken zal een implementatieplan opgesteld moeten worden. Het is aan te raden de uitvoering aan een onderzoeksagenda te verbinden om te verzekeren dat het leereffect gemaximaliseerd wordt. Gedetailleerde monitoring van woningeigenschappen en energieverbruik is hierbij belangrijk.

3 Discussie

Deze studie schetst de karakteristieken en bijbehorende resultaten van de scenario's in de steden Enschede en Hengelo. Daarbij worden aannames gedaan voor beleid en het voortschrijden van de energietransitie op grotere schaal. De ontwikkelingen op provinciaal, nationaal en internationaal niveau zullen de uitkomsten in Enschede en Hengelo beïnvloeden. Hiermee moet rekening gehouden worden bij het maken van lokale keuzes.

Welke overwegingen zijn er mee te nemen door de gemeentes?

- **Isolatie versus verduurzaming van de energievoorziening** – Er zijn verschillen tussen de scenario's wat betreft de mate van isolatie die wordt toegepast. Deze mate van isolatie hangt samen met de technologieën die worden toegepast. Een belangrijke overweging bij de keuze tussen verduurzaming en isolatie is risicomatig. Bij hoge isolatieniveaus gaat de energievraag naar beneden, waardoor de verduurzamingsopgave in absolute zin kleiner wordt. De kans is hiermee groter dat deze wordt gehaald. Bij een minder hoge mate van isolatie blijft de energievraag relatief hoog, waardoor het bereiken van de doelstellingen in grotere mate afhankelijk wordt van de verduurzaming van deze energievoorziening.
- **Verduurzaming van elektriciteit, gas of warmte** – De opgave voor verduurzaming is verschillend voor verschillende energiedragers. De gevoeligheid hiervoor moet dus ook apart worden overwogen. Voor warmtenetten geldt dat de verduurzaming een sterk lokaal vraagstuk is – warmte kan niet over grote afstanden getransporteerd worden zoals elektriciteit en gas. Dit betekent dat verduurzaming lokaal opgelost moet worden. Dit is een nadeel, maar ook een kans indien er lokaal aantrekkelijke warmtebronnen beschikbaar zijn en blijven.
- **Groen gas voor ruimteverwarming** – Groen gas biedt de mogelijkheden om de warmtevoorziening in woningen op korte termijn te verduurzamen, omdat gebruik gemaakt kan worden van de bestaande gasnetten en huidige technologieën. Groen gas is echter een hoogwaardige brandstof die ook gebruikt kan worden voor het verduurzamen van de hoge temperatuur warmte in de industrie en kan daarom, bij beperkte beschikbaarheid, beter alleen als transitiebrandstof worden ingezet.
- **Realiseerbaarheid op korte termijn en haalbaarheid van de lange termijn doelstelling** – Het uitgangspunt van de scenario's is dat in 2050 aardgas uit de gebouwde omgeving is verdwenen. Daarbij is het belangrijk om ook tussentijdse doelen in de gaten te houden. Voor het halen van deze doelstellingen zijn ook op de kortere termijn maatregelen nodig. Aan de andere kant zorgen technologische ontwikkeling en toename van schaal ervoor dat het kosten effectiever kan zijn om bepaalde maatregelen later toe te passen. Gezien de beperkte tijdsspanne voor het realiseren van een klimaatneutrale woningvoorraad is korte termijn actie echter noodzakelijk.

- **Mismatch warmtevraag en warmte aanbod** – In de huidige warmtevoorziening speelt de opslag van aardgas een belangrijke rol bij het voorzien in de grote energiebehoefte gedurende de winter. Vooral bij verregaande elektrificatie is dit een uitdaging. Opslaan van elektriciteit is relatief duur en de balanshandhaving van het elektriciteitssysteem luistert erg nauw in vergelijking met gas- en warmtenetwerken. Dit kan resulteren in grote elektriciteitsprijsspieken in koude periodes wanneer ook de gebruikte volumes groot zijn. Door de samenloop van hoge prijzen en hoge volumes is het effect op de totale kosten van elektriciteit potentieel groot. Ook het opslaan van warmte over langere perioden is een uitdaging vanwege de warmteverliezen. Specifiek in Enschede en Hengelo, waar de warmte wordt geleverd uit restwarmtebronnen en doormiddel van afvalverbrandingsinstallaties en biomassaketels, is dit het geval als de maximale piekvraag groter is dan de beschikbare capaciteit.
- **Optimale oplossing kan van geval tot geval verschillen** – De gekozen scenario's laten per wijk verschillende oplossingen zien. In realiteit bestaan er echter ook binnen wijken grote verschillen, in sommige gevallen van huis tot huis. Het is daarom belangrijk dat definitieve maatregelen bij individuele gevallen kunnen worden aangepast indien nodig. Dit zorgt voor behoud van draagvlak.

4 Conclusies

De scenario's in deze studie schetsen verschillende eindbeelden voor de uitfasering van aardgas in Enschede en Hengelo. Op dit moment verbruikt circa 8% van de huishoudens in Enschede en Hengelo zelf geen aardgas. In alle scenario's zijn alle woningen aardgasloos in 2050. Indien dit jaar met de gestage uitvoering van de transitie wordt gestart zal in Enschede en Hengelo in aan het begin van 2023 ongeveer 22% van de warmtevoorziening van huishoudens aardgasloos zijn. Hiermee wordt voldaan aan de wens om 16% van de woningen aardgasvrij te maken. Deze transitie gaat echter niet vanzelf en vraagt om korte termijn actie. Daarnaast moeten afdoende maatregelen genomen worden om te verzekeren dat 16% van de warmtevoorziening ook daadwerkelijk lokaal duurzaam wordt opgewekt.

Door de uitfasering van aardgas worden in elk scenario substantiële emissiereducties gerealiseerd doordat de alternatieven gebruik maken van efficiëntere technologieën en duurzamere energiedragers. Door de sterke vraagreductie in het scenario *Maximale duurzaamheid* is de emissiereductie in dit scenario het grootste. De verwachte emissiereducties zijn echter onzeker vanwege de afhankelijkheid van de duurzaamheid van de verschillende energiedragers. Voor een grote daling van emissies is een sterke verduurzaming van de groen gas-, elektriciteits- en warmteproductie noodzakelijk. Deze onzekerheid is het grootst in de scenario's met een relatieve hoge warmtevraag. Op gemeentelijk niveau is duurzame warmtevoorziening voor warmtenetten het best lokaal te beïnvloeden. In deze studie is rekening gehouden met groen gas en groene stroom die buiten Enschede en Hengelo is geproduceerd. Om er zeker van te zijn dat de benodigde hoeveelheid duurzame energie beschikbaar is, kan worden overwogen om lokaal additioneel duurzame energie op te wekken. Voor elektriciteit wordt in de factsheets een indicatie gegeven van de benodigde capaciteit om aan de jaarlijkse duurzame elektriciteitsvraag te voldoen.

Geen van de scenario's in deze studie leidt tot een absoluut klimaatneutrale woningvoorraad in 2050. Voor deze doelstelling zijn zeer ambitieuze maatregelen nodig gericht op de vermindering van de energievraag (isolatie, efficiënte technologieën) en de verduurzaming van de resterende energievraag (duurzaam geproduceerde groen gas, elektriciteit en warmte).¹¹ Om een klimaatneutrale woningvoorraad mogelijk te maken moet de gehele woning- en gebouwvoorraad energieneutraal zijn of het gehele resterende energieverbruik zonder emissies worden geproduceerd.

Maatregelen moeten zowel in de bestaande als in de nieuwbouw plaatsvinden en zullen resulteren in een grote investeringsopgave voor particuliere eigenaren en woningcorporaties. In 2050 bestaat de woningvoorraad nog voor circa 80% uit woningen die vóór

¹¹ Zie ook het rapport *Kwantificering van toekomstscenario's voor de gebouwde omgeving* voor het Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, waarin diverse scenario's toekomstscenario's worden geschetst. Ook deze scenario's leiden tot significante emissiereducties ten opzichte van de huidige situatie, maar resulteren niet in een klimaatneutrale woningvoorraad. Ecofys, 2016. Kwantificering van toekomstscenario's voor de gebouwde omgeving. Beschikbaar op: http://www.ecofys.com/files/files/rapport_kwantificering-van-toekomstscenarios-voor-de-gebouwde-omgeving_final.pdf.

2015 zijn gebouwd. Omdat nieuwe woningen al zeer duurzaam worden gebouwd, ligt de uitdaging grotendeels bij deze bestaande woningen. Voor ambitieuze renovaties is de uitdaging met name bij particuliere eigenaren groot. Woningcorporaties kunnen hele blokken in één keer aanpakken, terwijl voor particulieren meer maatwerk nodig is. Wanneer een ambitieuze renovatie niet waar gemaakt kan worden, leidt dit tot grotere uitdagingen voor de verduurzaming van de energievoorziening.

De transitie naar alternatieven voor aardgas brengen elk hun eigen voordelen en uitdagingen met zich mee.

- De **grootschalige inzet van groen gas** in de scenario's *Minimale kosten* en *Maximale keuzevrijheid* heeft als voordeel dat de systeemveranderingen beperkt blijven. Het huidige gasnet blijft beschikbaar en bewoners kunnen gebruik blijven maken van bekende technologieën als de HR-ketel en gaskookplaten. Ook zijn de gasnetwerken voldoende gedimensioneerd om aan de vraag naar gas te voldoen. De beschikbaarheid van groen gas is echter vele malen lager dan de beschikbaarheid van het aardgas op dit moment, wat leidt tot grote onzekerheid in kosten als groen gas op grote schaal geproduceerd moet worden. Daarnaast is passende regelgeving noodzakelijk om de gewenste duurzaamheid van groen gas te garanderen (o.a. gerealiseerde emissiereducties, effecten van landgebruik, druk op voedselproductie, etc.). Een voordeel is dat in de omgeving van Enschede en Hengelo lokaal biomassa beschikbaar is voor de productie van groen gas en deze lokaal kan worden ingezet om de beschikbaarheid van duurzaam groen gas te garanderen.
- De **verregaande elektrificatie** in het scenario *Maximale duurzaamheid* leidt tot een grote emissiereductie als dit samengaat met een verregaande verduurzaming van de elektriciteitsproductie. Er zijn veel mogelijkheden voor de verduurzaming van elektriciteit, er is een goede verbinding met nationale en internationale markten en de doelstellingen zijn ambitieus. Productie van duurzame elektriciteit uit wind en zon is echter variabel waardoor er grote verschillen kunnen ontstaan tussen vraag en aanbod.¹² Het is daardoor een grote uitdaging om het elektriciteitssysteem te verduurzamen tot zeer hoge percentages duurzame elektriciteit. Deze integratie zal ook typisch op grotere geografische schaal gebeuren, waardoor de sturingsmogelijkheden voor gemeenten beperkt zijn. Om de impact op elektriciteitsnetten te beperken is voor de inzet van volledig elektrische warmtepompen verregaande isolatie noodzakelijk en zelfs dan is de netbelasting op zeer koude dagen hoog. Deze netverzwaringen zullen echter ook nodig zijn voor de integratie van zonnepanelen en elektrische voertuigen en wanneer gebruik wordt gemaakt van innovatieve technologieën voor het slim sturen van apparaten kan hiervan optimaal gebruik worden gemaakt.¹³ Het is ook mogelijk om overschotten

¹² Zie hiervoor de presentatie *Windstille winterweken* gehouden op het Nationaal Warmtecongres op 26 november 2016. Ecofys, 2016. *Windstille winterweken: welke impact heeft onze toekomstige warmtevoorziening op de energie-infrastructuur*. Beschikbaar op: <http://www.ecofys.com/nl/news/windstille-winterweken-welke-impact-heeft-onze-toekomstige-warmtevoorziening/>.

¹³ Zie hiervoor de studie *Waarde van congestiemanagement* waarin wordt onderzocht hoe slim sturen van elektrische voertuigen, warmtepompen en zonnepanelen kan bijdragen aan het optimaal gebruik van distributie en transmissienetten. Ecofys, 2016. *Waarde van congestiemanagement*. Beschikbaar op: <http://www.ecofys.com/files/files/ecofys-2016-waarde-van-congestiemanagement.pdf>.

aan duurzame elektriciteit in duurzame warmte om te zetten om op een moment van tekorten te leveren. Dit heeft een dempende werking op de verschillen tussen vraag en aanbod.

- De **uitbreiding van warmtenetten** die nodig is in het scenario *Maximale duurzaamheid* en met name in het scenario *Maximale inzet van warmtebronnen* vraagt lokale organisatie. Warmtenetten zijn een uitstekend middel om het gebruik van restwarmte te realiseren. Het lokale karakter van warmtenetten maakt sturing op duurzaamheid mogelijk. Warmtenetten zijn bij uitstek geschikt binnen de bebouwde kom en nabij warmtebronnen. Voor landelijke gebieden zijn warmtenetten niet in te zetten vanwege de hoge kosten voor de warmte-infrastructuur en de warmteverliezen die plaatsvinden bij transport over langere afstanden. De kosten van energie-infrastructuur en met name warmtenetten zijn sterk afhankelijk van de lokale omstandigheden en kunnen van wijk tot wijk en van buurt tot buurt sterk uiteenlopen. Bij lagere kosten voor warmtenetten komen de systeemkosten van het scenario *Maximale inzet warmtebronnen* in de buurt van de systeemkosten van het scenario *Minimale kosten*.¹⁴ De resultaten bieden een goede basis voor het vaststellen van een warmteplan. Bij de gedetailleerde kosteninschattingen die voor implementatie is het echter mogelijk dat de kosten in specifieke wijken en buurten afwijken. Een van de grootste uitdagingen voor een verdere uitbreidingen van warmtenetten is de publieke acceptatie. Het adresseren van deze barrière is essentieel voor het waarmaken van deze scenario's.

Ondanks de grote verschillen tussen de scenario's zijn er op wijkniveau richtingen te schetsen.

- De reeds bestaande warmtenetwerken in Enschede-Noord en Enschede-Zuid en de warmtenetten in de zuidelijke kant van Hengelo worden in elk scenario in stand gehouden en verder uitgebreid. In het scenario *Maximale duurzaamheid* worden de warmtenetten verder uitgebreid naar wijken met een hoge bebouwingsdichtheid.¹⁵ In het scenario *Maximale inzet van warmtebronnen* worden warmtenetten ingezet in de gehele dicht bebouwde omgeving.¹⁶
- Gezien de lage bebouwingsdichtheid is het met name in de buitengebieden¹⁷ van belang om in te zetten op grootschalige vraagvermindering door isolatie om hoge infrastructuurkosten te voorkomen. In deze gebieden zijn warmtenetten vanwege hoge kapitaalkosten en operationele kosten onaantrekkelijk. Er zal dus óf groen gas (scenario *Minimale kosten* en *Maximale individuele keuzevrijheid*) óf elektriciteit (scenario *Maximale duurzaamheid*) worden ingezet.¹⁸

¹⁴ Uit de gevoeligheidsanalyse in Appendix A blijkt dat de systeemkosten sterk afhankelijk zijn van de investeringskosten in warmtenetten. Wanneer deze investeringskosten lager zullen uitvallen, hebben de scenario's Maximale inzet warmtebronnen en Minimale kosten (met extra warmtenetten) vergelijkbare kosten als het scenario Minimale kosten. De keuze voor warmtenetten vraagt daarom om een gedegen analyse van de kosten op wijk en buurtniveau.

¹⁵ Enschede: Wijk 00, Wijk 02-06; Hengelo: Wijk 00-02, Wijk 05-06

¹⁶ Enschede: Wijk 00-06, Wijk 08, Hengelo: Wijk 00-08

¹⁷ Wijk 09 Landelijke gebieden in Enschede en Wijk 09 Buitengebied in Hengelo

¹⁸ In de meeste scenario's (behalve *Maximale inzet warmtebronnen*) is hier sprake van in de Wijk 01, 05, 07-09 in Enschede en Wijk 03-04, 07-09 in Hengelo

Wanneer er een keuze wordt gemaakt om in te zetten op elektrificatie is een verregaande renovatie in die wijken het meest urgent.

- In de wijken waarin hoge temperatuur warmtenetten zullen worden ingezet, is renovatie minder belangrijk. Bij lage temperatuur warmtenetten en elektrificatie daarentegen is renovatie belangrijk om warmteafgifte en schil geschikt te maken. Een vroege keuze hierin is belangrijk om renovatieplannen af te stemmen.
- In het algemeen zien we dat groen gas, mits beschikbaar in voldoende mate en tegen acceptabele prijs, in bijna alle wijken een alternatief is voor warmte. Bij nieuwbouw en zeer goed geïsoleerde woningen kan ook elektriciteit met warmte concurreren
- Bij elektrificatie van wijken kan synergie gezocht worden met andere toepassingen waarvoor het net verzaamd moet worden, zoals zonnepanelen en elektrische auto's. Dit biedt kansen voor minder dichtbebouwde wijken waar veel ruimte is voor zonnepanelen en elektrische auto's.

Bij een keuze voor een bepaalde technologie moet goed onderzocht worden of de benodigde energie in voldoende mate en tegen acceptabele kosten kan worden voorzien.

Te veel sturing kan leiden tot uitdagingen voor de publieke acceptatie, terwijl te veel keuzevrijheid kan leiden tot suboptimale eindsituaties, waarbij doelstellingen door lock-in effecten niet worden gehaald (bijvoorbeeld beperkte isolatie en beperkte beschikbaarheid van duurzame energie) of kosten onnodig hoog zijn (bijvoorbeeld als gevolg van een elektriciteits-, gas- én warmtenet in een buurt).

De rode lijn is dat er twee belangrijke overwegingen zijn bij de keuzes tussen maatregelen. Ten eerste is er een overweging tussen kosten en duurzaamheid: wat mogen additionele vermeden emissies kosten en in hoeverre moet de gemeente hier verantwoordelijkheid voor nemen? Ten tweede is er de overweging van de risico's. Bij verregaande investeringen in beperking van de warmtevraag neemt het risico op hoge kosten en emissies voor de bewoners af. Hoeveel is het waard om de burgers van Hengelo en Enschede tegen deze risico's te beschermen?

Appendix A Gedetailleerde resultaten

Huidige situatie

De tabel hieronder beschrijft het huidige energiegebruik en de huidige aansluiting in Enschede en Hengelo. Uit de analyse blijkt dat 8% van de woningen warmte via een warmtenet ontvangt. Van deze 8% kan circa driekwart als duurzaam gezien worden.

Tabel 3. Schets van huidige situatie.

		Aantal			Percentage		
		Enschede	Hengelo	Totaal	Enschede	Hengelo	Totaal
Gas	#	65.570	37.093	102.663	88%	98%	92%
	GJ	2.757.749	1.785.571	4.543.320	90%	99%	93%
Warmte (restwarmte/bodemlussen)	#	6.501	47	6.548	9%	0%	6%
	GJ	234.408	1.180	235.588	8%	0%	5%
Warmte (gasketel of WKK)	#	2.222	578	2.800	3%	2%	2%
	GJ	65.882	14.505	80.387	2%	1%	2%

Scenario's

De tabel hieronder beschrijft de invulling van de scenario's wat betreft het toegepaste isolatieniveau. In Appendix C wordt meer informatie gegeven over deze isolatieniveaus.

Tabel 4. Invulling van isolatieniveaus in de verschillende scenario's.

	Minimale kosten	Maximale duurzaamheid	Maximale inzet warmtebronnen	Maximale keuzevrijheid
Bestaande bouw	Midden	Hoog	Midden	Midden
Nieuwbouw	Hoog	Hoog	Hoog	Hoog

De tabel hieronder beschrijft de invulling van de scenario's wat betreft de toegepaste technologieën. In Appendix C wordt meer informatie gegeven over deze technologieën.

Tabel 5. Invulling van de technologieën in de verschillende scenario's.

	Minimale kosten		Maximale duurzaamheid		Maximale inzet warmtebronnen		Maximale keuzevrijheid	
	Bestaand	Nieuw	Bestaand	Nieuw	Bestaand	Nieuw	Bestaand	Nieuw
Enschede								
Wijk 00: Binnensingelgebied	HR	Elektrische warmtepomp	Warmtenet	Warmtenet	Warmtenet	Warmtenet	HR & Hybride warmtepomp	Elektrische warmtepomp
Wijk 01: Hogeland-Velve	HR	Elektrische warmtepomp	Elektrische warmtepomp	Elektrische warmtepomp	Warmtenet	Warmtenet	HR & Hybride warmtepomp	Elektrische warmtepomp
Wijk 02: Boswinkel - Stadsveld	HR	Elektrische warmtepomp	Warmtenet	Warmtenet	Warmtenet	Warmtenet	HR & Hybride warmtepomp	Elektrische warmtepomp
Wijk 03: Tweekelerveld	HR	Elektrische warmtepomp	Warmtenet	Warmtenet	Warmtenet	Warmtenet	HR & Hybride warmtepomp	Elektrische warmtepomp
Wijk 04: Enschede-Noord	Warmtenet	Warmtenet	Warmtenet	Warmtenet	Warmtenet	Warmtenet	Warmtenet	Warmtenet
Wijk 05: Ribbelt - Stokhorst	HR	Elektrische warmtepomp	Elektrische warmtepomp	Elektrische warmtepomp	Warmtenet	Warmtenet	HR & Hybride warmtepomp	Elektrische warmtepomp
Wijk 06: Enschede-Zuid	Warmtenet	Warmtenet	Warmtenet	Warmtenet	Warmtenet	Warmtenet	Warmtenet	Warmtenet
Wijk 07: Enschede-West	HR	Elektrische warmtepomp	Elektrische warmtepomp	Elektrische warmtepomp	HR	Elektrische warmtepomp	HR & Hybride warmtepomp	Elektrische warmtepomp
Wijk 08: Glanerburg en omgeving	HR	Elektrische warmtepomp	Elektrische warmtepomp	Elektrische warmtepomp	Warmtenet	Warmtenet	HR & Hybride warmtepomp	Elektrische warmtepomp
Wijk 09: Landelijk gebied	HR	Elektrische warmtepomp	Elektrische warmtepomp	Elektrische warmtepomp	HR	Elektrische warmtepomp	HR & Hybride warmtepomp	Elektrische warmtepomp
Hengelo								
Wijk 00: Binnenstad	HR	Elektrische warmtepomp	Warmtenet	Warmtenet	Warmtenet	Warmtenet	HR & Hybride warmtepomp	Elektrische warmtepomp
Wijk 01: Hengelo Es	HR	Elektrische warmtepomp	Warmtenet	Warmtenet	Warmtenet	Warmtenet	HR & Hybride warmtepomp	Elektrische warmtepomp
Wijk 02: Noord	HR	Elektrische warmtepomp	Warmtenet	Warmtenet	Warmtenet	Warmtenet	HR & Hybride warmtepomp	Elektrische warmtepomp
Wijk 03: Hasseler Es	HR	Elektrische warmtepomp	Elektrische warmtepomp	Elektrische warmtepomp	Warmtenet	Warmtenet	HR & Hybride warmtepomp	Elektrische warmtepomp

	Minimale kosten		Maximale duurzaamheid		Maximale inzet warmtebronnen		Maximale keuzevrijheid	
	Bestaand	Nieuw	Bestaand	Nieuw	Bestaand	Nieuw	Bestaand	Nieuw
Wijk 04: Groot Driene	HR	Elektrische warmtepomp	Elektrische warmtepomp	Elektrische warmtepomp	Warmtenet	Warmtenet	HR & Hybride warmtepomp	Elektrische warmtepomp
Wijk 05: Berflo Es	Warmtenet	Warmtenet	Warmtenet	Warmtenet	Warmtenet	Warmtenet	Warmtenet	Warmtenet
Wijk 06: Wilderinks hoek	Warmtenet	Warmtenet	Warmtenet	Warmtenet	Warmtenet	Warmtenet	Warmtenet	Warmtenet
Wijk 07: Woolde	HR	Elektrische warmtepomp	Elektrische warmtepomp	Elektrische warmtepomp	Warmtenet	Warmtenet	HR & Hybride warmtepomp	Elektrische warmtepomp
Wijk 08: Slangenbeek	HR	Elektrische warmtepomp	Elektrische warmtepomp	Elektrische warmtepomp	Warmtenet	Warmtenet	HR & Hybride warmtepomp	Elektrische warmtepomp
Wijk 09: Buitengebied	HR	Elektrische warmtepomp	Elektrische warmtepomp	Elektrische warmtepomp	HR	Elektrische warmtepomp	HR & Hybride warmtepomp	Elektrische warmtepomp

Jaarlijkse kosten voor isolatie en installatie, infrastructuur en energie

Tabel 6. Jaarlijkse kosten voor isolatie en installatie, infrastructuur en energie (in MC).

	Minimale kosten				Maximale duurzaamheid				Maximale inzet warmtebronnen				Maximale keuzevrijheid			
	Isolatie en technologieën	Infrastructuur	Energie	Totaal	Isolatie en technologieën	Infrastructuur	Energie	Totaal	Isolatie en technologieën	Infrastructuur	Energie	Totaal	Isolatie en technologieën	Infrastructuur	Energie	Totaal
Enschede	37	28	40	105	114	25	12	150	35	61	23	119	40	31	36	107
Wijk 00: Binnensingelgebied	6	3	8	17	17	5	2	25	6	11	3	20	7	3	7	17
Wijk 01: Hogeland-Velve	3	1	4	9	11	1	1	13	3	6	2	11	3	1	4	9
Wijk 02: Boswinkel - Stadsveld	5	2	7	14	14	4	2	20	5	9	3	17	6	2	6	14
Wijk 03: Tweckelerveld	3	< 1	3	7	7	2	< 1	9	2	4	1	8	3	1	3	7
Wijk 04: Enschede-Noord	5	8	3	16	14	4	2	19	5	8	3	16	5	9	3	17
Wijk 05: Ribbelt - Stokhorst	2	< 1	3	7	8	1	< 1	10	2	5	1	8	3	< 1	3	7
Wijk 06: Enschede-Zuid	8	9	2	18	22	4	1	27	8	9	2	18	8	10	2	20
Wijk 07: Enschede-West	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Wijk 08: Glanenburg en omgeving	2	1	5	9	12	2	1	15	2	7	2	12	3	2	5	9
Wijk 09: Landelijk gebied	2	< 1	4	8	8	1	1	11	2	< 1	4	8	3	1	4	7
Hengelo	20	15	24	60	64	13	7	84	19	38	13	70	22	16	22	60
Wijk 00: Binnenstad	< 1	< 1	1	2	2	< 1	< 1	3	< 1	2	< 1	3	< 1	< 1	< 1	2
Wijk 01: Hengelo Es	3	1	4	8	7	2	< 1	10	2	5	2	9	3	1	3	7
Wijk 02: Noord	3	1	3	7	7	2	< 1	10	2	5	1	9	3	1	3	7
Wijk 03: Hasseler Es	3	1	4	8	11	1	< 1	13	3	5	2	10	4	1	3	8
Wijk 04: Groot Driene	2	< 1	3	7	8	1	< 1	10	2	5	1	8	3	< 1	3	7
Wijk 05: Berflo Es	2	4	1	6	5	2	< 1	7	2	4	1	6	2	4	1	6
Wijk 06: Wilderinkshoek	3	5	2	10	8	2	< 1	11	3	5	2	10	3	5	2	10
Wijk 07: Woolde	2	< 1	3	5	7	< 1	< 1	8	2	4	1	6	2	< 1	2	5
Wijk 08: Slangenbeek	1	< 1	3	6	7	1	< 1	9	< 1	5	2	7	2	< 1	3	5
Wijk 09: Buitengebied	< 1	< 1	< 1	2	3	< 1	< 1	3	< 1	< 1	< 1	2	< 1	< 1	< 1	2

Emissies

Tabel 7. Jaarlijkse emissies (ktCO₂/jaar)

	Huidige emissies	Minimale kosten	Maximale duurzaamheid	Maximale inzet warmtebronnen	Maximale keuzevrijheid
Enschede	150,36	27,87	11,41	15,34	26,53
Wijk 00: Binnensingelgebied	25,86	5,45	1,37	2,25	5,15
Wijk 01: Hogeland-Velve	15,70	3,05	1,60	1,27	2,88
Wijk 02: Boswinkel - Stadsveld	21,43	4,62	1,14	1,91	4,37
Wijk 03: Twekkelerveld	11,74	2,20	0,54	0,91	2,08
Wijk 04: Enschede-Noord	16,40	1,71	1,01	1,71	1,71
Wijk 05: Ribbelt - Stokhorst	12,56	2,35	1,23	0,98	2,22
Wijk 06: Enschede-Zuid	13,06	1,60	0,93	1,60	1,60
Wijk 07: Enschede-West	0,59	0,17	0,10	0,17	0,16
Wijk 08: Glanerburg en omgeving	17,56	3,71	1,93	1,54	3,50
Wijk 09: Landelijk gebied	15,46	3,02	1,55	3,02	2,85
Hengelo	98,73	17,18	7,64	8,58	16,35
Wijk 00: Binnenstad	3,95	0,79	0,20	0,33	0,74
Wijk 01: Hengelo Es	13,16	2,58	0,64	1,08	2,44
Wijk 02: Noord	11,92	2,30	0,57	0,95	2,17
Wijk 03: Hasseler Es	13,69	2,50	1,27	1,04	2,36
Wijk 04: Groot Driene	12,65	2,32	1,24	0,96	2,20
Wijk 05: Berflo Es	7,91	0,78	0,48	0,78	0,78
Wijk 06: Wilderinkshoek	13,78	1,10	0,64	1,10	1,10
Wijk 07: Woolde	9,28	1,82	0,98	0,75	1,72
Wijk 08: Slangenbeek	9,37	2,41	1,32	1,02	2,28
Wijk 09: Buitengebied	3,02	0,58	0,30	0,58	0,55

Energieverbruik

Tabel 8. Jaarlijkse energieverbruik (TJ/jaar).

	Minimale kosten			Maximale duurzaamheid			Maximale inzet warmtebronnen			Maximale keuzevrijheid		
	Groen gas	Elektriciteit	Warmte	Groen gas	Elektriciteit	Warmte	Groen gas	Elektriciteit	Warmte	Groen gas	Elektriciteit	Warmte
Enschede	1.963	80	662	-	231	999	253	11	2.431	1.655	158	662
Wijk 00: Binnensingelgebied	434	18	-	-	-	274	-	-	449	364	36	-
Wijk 01: Hogeland-Velve	243	10	-	-	58	-	-	-	253	205	20	-
Wijk 02: Boswinkel - Stadsveld	368	16	-	-	-	228	-	-	382	310	30	-
Wijk 03: Tweekelerveld	176	7	-	-	-	108	-	-	182	148	14	-
Wijk 04: Enschede-Noord	-	-	341	-	-	203	-	-	341	-	-	341
Wijk 05: Ribbelt - Stokhorst	189	7	-	-	44	-	-	-	195	160	15	-
Wijk 06: Enschede-Zuid	-	-	321	-	-	185	-	-	321	-	-	321
Wijk 07: Enschede-West	10	2	-	-	4	-	10	2	-	9	2	-
Wijk 08: Glanerburg en omgeving	299	11	-	-	69	-	-	-	307	253	23	-
Wijk 09: Landelijk gebied	243	9	-	-	56	-	243	9	-	205	19	-
Hengelo	1.212	54	376	-	184	506	48	2	1.600	1.023	102	376
Wijk 00: Binnenstad	62	3	-	-	-	40	-	-	65	52	6	-
Wijk 01: Hengelo Es	203	10	-	-	-	128	-	-	215	171	18	-
Wijk 02: Noord	183	8	-	-	-	114	-	-	190	154	15	-
Wijk 03: Hasseler Es	204	7	-	-	46	-	-	-	207	172	15	-
Wijk 04: Groot Driene	189	6	-	-	45	-	-	-	192	159	14	-
Wijk 05: Berflo Es	-	-	156	-	-	95	-	-	156	-	-	156
Wijk 06: Wilderinkshoek	-	-	220	-	-	129	-	-	220	-	-	220
Wijk 07: Woolde	145	6	-	-	35	-	-	-	150	122	12	-
Wijk 08: Slangenbeek	180	13	-	-	47	-	-	-	204	152	20	-
Wijk 09: Buitengebied	48	2	-	-	11	-	48	2	-	40	3	-

Investeringen

Tabel 9. Investeringen per huishouden (in €)

	Minimale kosten	Maximale duurzaamheid	Maximale inzet warmtebronnen	Maximale keuzevrijheid
Enschede	6.586	23.025	6.327	7.041
Wijk 00: Binnensingelgebied	5.908	18.931	5.541	6.593
Wijk 01: Hogeland-Velve	7.487	27.606	6.914	8.154
Wijk 02: Boswinkel - Stadsveld	6.475	21.361	6.015	7.153
Wijk 03: Twekkelerveld	7.965	22.693	7.566	8.650
Wijk 04: Enschede-Noord	5.756	19.806	5.756	5.756
Wijk 05: Ribbelt - Stokhorst	8.461	28.860	8.023	9.144
Wijk 06: Enschede-Zuid	7.364	23.882	7.364	7.364
Wijk 07: Enschede-West	7.107	20.073	7.107	7.508
Wijk 08: Glanerburg en omgeving	4.510	26.620	4.126	5.200
Wijk 09: Landelijk gebied	7.371	29.201	7.371	8.055
Hengelo	7.057	24.442	6.655	7.576
Wijk 00: Binnenstad	6.401	19.047	5.841	7.063
Wijk 01: Hengelo Es	7.382	22.379	6.777	8.044
Wijk 02: Noord	7.400	21.478	6.960	8.079
Wijk 03: Hasseler Es	9.206	30.925	8.906	9.909
Wijk 04: Groot Driene	8.331	27.923	8.064	9.034
Wijk 05: Berflo Es	6.138	20.281	6.138	6.138
Wijk 06: Wilderinkshoek	7.573	23.895	7.573	7.573
Wijk 07: Woolde	6.653	25.234	6.164	7.326
Wijk 08: Slangenbeek	3.209	23.206	2.013	3.801
Wijk 09: Buitengebied	6.980	29.222	6.980	7.682

Gevoeligheidsanalyse

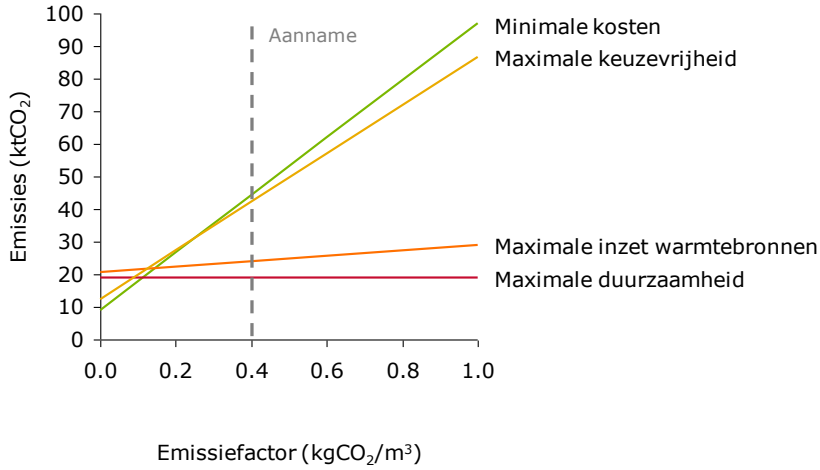
De gerealiseerde emissies in de scenario's zijn sterk afhankelijk van de duurzaamheid van de geleverde energie. In onderstaande gevoeligheidsanalyses wordt onderzocht hoe de emissies zich ontwikkelen bij verschillende mate van duurzaamheid van de energiedragers.

- **Groen gas** speelt in de meeste scenario's een aanzienlijke rol, waardoor de gerealiseerde emissiereductie sterk afhankelijk is van de mate waarin duurzame groen gas geproduceerd kan worden. In de scenario's *Minimale kosten* en *Maximale individuele keuzevrijheid* is dit effect het sterkste.
- **Elektriciteit** wordt grootschalig ingezet in het scenario *Maximale duurzaamheid*. In dit scenario is de gerealiseerde emissiereductie sterk afhankelijk van de emissiefactor van elektriciteit. Verregaande verduurzaming van de elektriciteitsproductie kan de emissies verder omlaag brengen.
- **Warmte** wordt ingezet in alle scenario's en daarmee is de emissiereductie in alle scenario's afhankelijk in de emissies die samenhangen met de productie van warmte. Wanneer warmte op grote schaal en met lage emissies geproduceerd kan worden, biedt dit veel potentie voor emissiereducties.

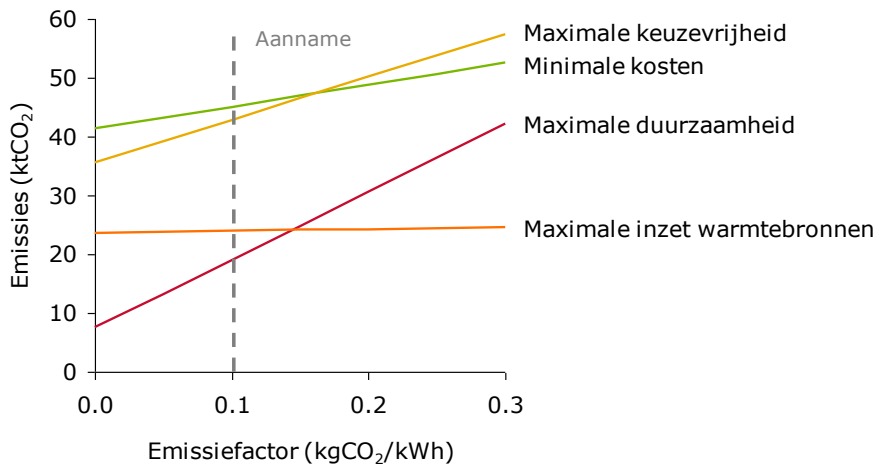
De energiekosten in de scenario's zijn sterk afhankelijk van de beschikbaarheid en kosten van duurzame energie. De ontwikkelingen naar de toekomst zijn onzeker en daarom is in onderstaande gevoeligheidsanalyse onderzocht hoe de systeemkosten zich ontwikkelen bij verschillende kostenniveaus.

- De kosten voor energie kunnen sterk uiteenlopen bij verschillende prijzen als er **beperkte isolatie** wordt toegepast, zoals in het scenario *Minimale kosten* voor groen gas en het scenario *Maximale inzet warmtebronnen* voor warmte.
- De kosten voor energie zijn minder gevoelig bij toepassing van **verregaande isolatie**, zoals in het scenario *Maximale duurzaamheid*.

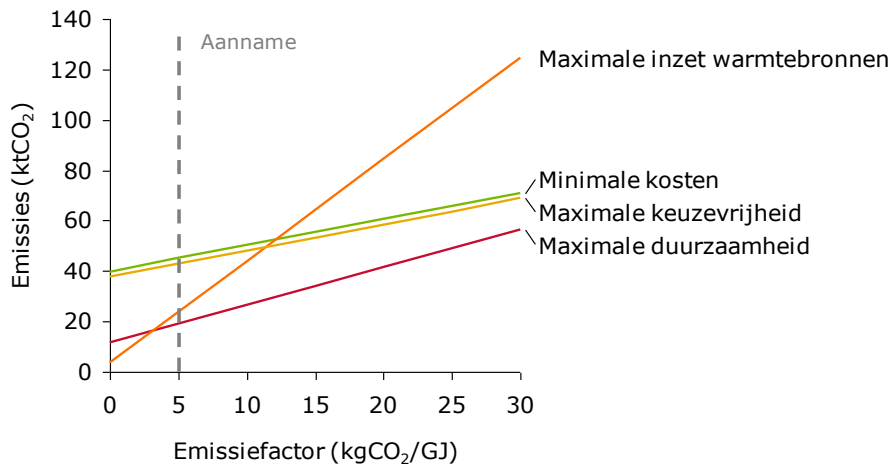
Impact van emissiefactor van groen gas



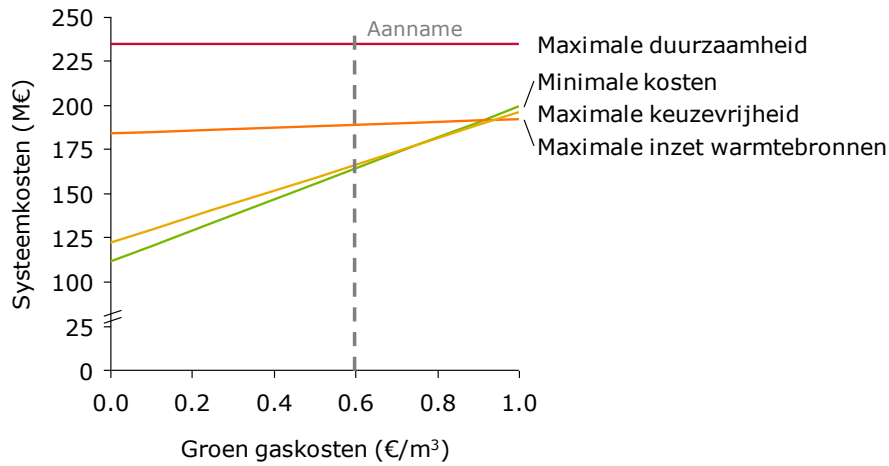
Impact van emissiefactor van elektriciteit



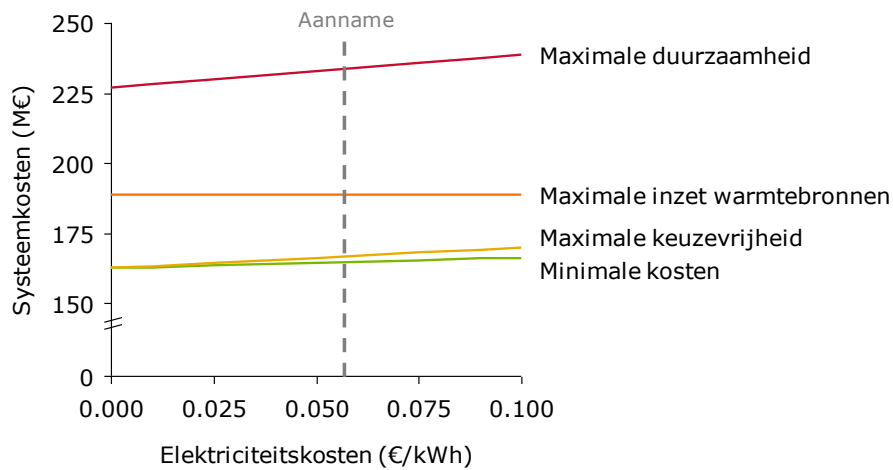
Impact van emissiefactor van warmte



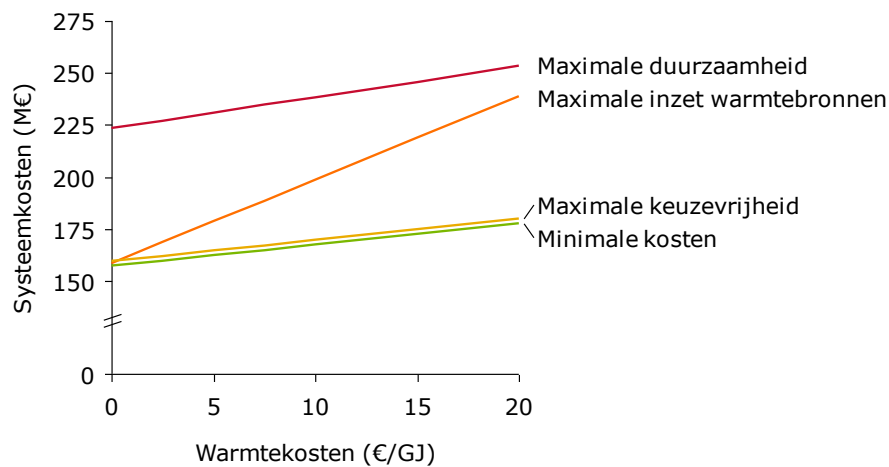
Impact van kosten voor groen gas



Impact van kosten voor elektriciteit



Impact van kosten voor warmte



De scenario's laten een sterke afhankelijkheid zien van de kosten voor warmtenetten. Van warmtenetten is echter bekend dat de kosten van wijk tot wijk en van buurt tot buurt sterk kunnen verschillen. Hieronder is daarom een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd met betrekking tot de infrastructuurkosten van warmtenetten. Hiervoor zijn de systeemkosten van de vier scenario's herrekend met investeringskosten van 750 €/kW in plaats van 1.250 €/kW. Daarnaast is onderzocht wat de invloed is van een groter aandeel warmtenetten (vergelijkbaar met maximale duurzaamheid) in het scenario *Minimale kosten* bij deze lagere investeringskosten.

Uit de resultaten in Tabel 10 blijkt dat de systeemkosten sterk beïnvloed worden door bij lagere investeringskosten voor warmtenetten. De kosten voor scenario *Maximale inzet warmtebronnen* zijn nu vergelijkbaar met die van scenario *Minimale kosten*. Het scenario *Minimale kosten* met een groter aandeel warmtenetten is zelfs goedkoper dan het oorspronkelijke scenario *Minimale kosten*, onder andere doordat de warmte in Enschede en Hengelo tegen lage kosten beschikbaar is. Uit de gevoeligheidsanalyse blijkt dus dat de investeringskosten voor warmtenetten een belangrijke rol spelen in de ideale oplossing per wijk en per buurt. De beschikbare informatie over deze kosten, specifiek voor Enschede en Hengelo, is echter beperkt. Voor een goede beoordeling hiervan is een analyse van de infrastructuurkosten voor warmte per wijk en buurt aan te raden.

Tabel 10. Gevoeligheidsanalyse naar de investeringskosten voor warmtenetten.

Scenario	Systeemkosten in M€ bij een investering van 750 €/kW	Systeemkosten in M€ bij een investering van 1.250 €/kW
<i>Minimale kosten</i>	157	165
<i>Minimale kosten</i> (met groter aandeel warmtenetten)	156	176
<i>Maximale duurzaamheid</i>	229	235
<i>Maximale inzet warmtebronnen</i>	157	189
<i>Maximale individuele keuzevrijheid</i>	159	167

Appendix B Aanpak

In deze studie worden vier scenario's voor de verduurzaming van de warmtevoorziening gepresenteerd en geanalyseerd. Deze scenario's zijn door de Provincie Overijssel in samenspraak met verschillende partijen gedefinieerd en door Ecofys verder uitgewerkt. In deze appendix worden de belangrijkste onderdelen van de aanpak beschreven, zoals de scenario's, de uitgangspunten en het afwegingskader.

Scenario's

De vier scenario's hebben elk een verschillende invalshoek en worden gekarakteriseerd met de volgende kernwoorden: *minimale kosten*, *maximale duurzaamheid*, *maximale inzet warmtebronnen* en *maximale individuele keuzevrijheid*. In alle scenario's wordt ingezet op energiebesparing door middel van isolatie. De mate waarop dit plaatsvindt is echter afhankelijk van het ambitieniveau en de gekozen maatregelen. Nieuwbouwwoningen (>2015) zullen een hoog isolatieniveau hebben. Bestaande woningen worden, afhankelijk van het scenario, óf geïsoleerd tot isolatieniveau midden (label B) óf tot isolatieniveau hoog (verregaande, nul-op-de-meter isolatie (Label A+)). Het hoogste isolatieniveau wordt in de bestaande bouw alleen grootschalig toegepast in het scenario *Maximale duurzaamheid*. Qua technologieën kunnen groen gasketels, hybride warmtepompen en warmtenetten ingezet worden bij zowel isolatieniveau midden als hoog. Elektrische warmtepompen kunnen alleen kosteneffectief worden ingezet in woningen met een zeer hoog isolatieniveau. Hier wordt rekening mee gehouden bij de toegepaste maatregelen in de scenario's. In Tabel 11 hieronder worden de uitwerking van de scenario's nader weergegeven.

Tabel 11. Nadere uitwerking van de scenario's voor de verduurzaming van de warmtevoorziening.

Scenario	Karakteristieken	Technologieën ¹⁹	Uitwerking
<i>Minimale kosten</i>	<ul style="list-style-type: none"> Gericht op maatschappelijke kostenoptimalisatie Totale systeemkosten²⁰ van warmtevoorziening als uitgangspunt 	<ul style="list-style-type: none"> Transitie van aardgas naar het goedkoopste alternatief, bijvoorbeeld groen gasketel, hybride warmtepomp, elektrische warmtepomp of warmtenet Geen of beperkte sturing op duurzaamheid/emissies 	<p><u>Isolatie</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Bestaande bouw isoleren naar label B Nieuwbouw zeer goed isoleren naar minstens label A <p><u>Technologie</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Bestaande bouw: Mix van warmte en groen gas Nieuwbouw: All-electric of warmtenetten afhankelijk van afstand bestaande warmtenetten

¹⁹ Isolatiemaatregelen worden dusdanig gekozen dat ze passend zijn bij de technologieën. Verschillende technologieën hebben verschillende optimale isolatieniveaus. Gasnetten vervoeren in 2050 uitsluitend bio-methaan.

²⁰ Met de systeemkosten worden de financiële kosten voor de warmtevoorziening beschreven. De systeemkosten omvatten de kosten voor isolatie en technologieën, infrastructuur en energie, exclusief belastingen en subsidies.

Scenario	Karakteristieken	Technologieën ¹⁹	Uitwerking
<i>Maximale duurzaamheid</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Gericht op een zo laag mogelijk CO₂-uitstoot in de gehele warmtevoorziening • Bronnen voor hoge temperatuur warmte die geschikt zijn voor industriële toepassingen zijn niet beschikbaar voor ruimteverwarming en tapwater 	<ul style="list-style-type: none"> • Bio-energie primair gereserveerd voor hoge temperatuur warmte (met gebruik van restwarmte voor lage temperatuur warmte) • Elektrificatie of warmtenetten afhankelijk van wijkeigenschappen • Toepassing van hoge isolatiewaarden 	<p><u>Isolatie</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Bestaande bouw isoleren naar label A • Nieuwbouw zeer goed isoleren naar minstens label A <p><u>Technologie</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Bestaande bouw: Mix van warmte en all-electric • Nieuwbouw: All-electric of warmtenetten afhankelijk van afstand bestaande warmtenetten
<i>Maximale inzet warmtebronnen</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Gericht op maximale inzet van aardwarmte en restwarmte voor ruimteverwarming en tapwater 	<ul style="list-style-type: none"> • Maximale inzet van onder andere restwarmte met behulp van warmtenetten²¹ 	<p><u>Isolatie</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Bestaande bouw isoleren naar label B • Nieuwbouw zeer goed isoleren naar minstens label A <p><u>Technologie</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Bestaande bouw: Mix van warmte en groen gas (groen gas alleen in buitengebieden) • Nieuwbouw: Mix van warmte en all-electric of groen gas (groen gas alleen in buitengebieden)
<i>Maximale individuele keuzevrijheid</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Gericht op maximale keuzevrijheid van iedere gebouweigenaar en –gebruiker • Dwingende beleidsinstrumenten en centrale besluitvorming ontbreken • 	<ul style="list-style-type: none"> • Zowel gasnetten als elektriciteitsnetten blijven in bestaande wijken beschikbaar om maximale keuzevrijheid te garanderen • Keuze voor bio-energieketel, hybride warmtepomp of elektrische warmtepomp 	<p><u>Isolatie</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Bestaande bouw isoleren naar label B • Nieuwbouw zeer goed isoleren naar minstens label A <p><u>Technologie</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Bestaande bouw: Mix van warmte (bestaande warmtenetten), hybridewarmtepompen en groen gas (groen gas alleen in buitengebieden) • Nieuwbouw: Mix van hybride warmtepompen en groen gas (groen gas alleen in buitengebieden)

²¹ Ultradiepe geothermie wordt niet meegenomen. Gemeente Enschede zal op korte termijn een verkennende studie uitvoeren naar de toepassing van ultradiepe geothermie in de regio.

Uitgangspunten

Bij de ontwikkeling van de scenario's is rekening gehouden met diverse uitgangspunten die van toepassing zijn op alle scenario's. Deze uitgangspunten schetsen het kader waaraan alle scenario's voldoen:

- **Geen gebruik aardgas voor lage temperatuurwarmte** – In 2050 wordt in Enschede en Hengelo geen fossiel aardgas meer gebruikt voor lage temperatuurwarmte. Daarnaast wordt zichtbaar gemaakt wat hoe de huidige situatie en de ontwikkelingen in de scenario's zich verhouden tot de doelstelling om in 2023 minimaal 16% van de lage temperatuur warmte in Hengelo en Enschede uit duurzame bronnen te halen. Dit komt overeen met de doelstellingen van het Energieakkoord.
- **Leveringszekerheid** – Bij bepaling van de kosten wordt rekening gehouden met leveringszekerheid tijdens extreme koude. Deze kosten werken met name door in de vaste kosten voor geïnstalleerde capaciteit. Er wordt uitgegaan van leveringsgarantie tot -17 °C gemiddelde effectieve dagtemperatuur. Om de vergelijkbaarheid tussen de scenario's te vergemakkelijken en het maatschappelijk draagvlak niet in gevaar te brengen wordt ervan uitgegaan dat de lokale leefbaarheid in alle scenario's gelijk is. Als hierop uitzonderingen bestaan, zoals gevallen van mogelijke stank- of geluidsoverlast, zal dit duidelijk worden aangegeven.
- **Jaarlijkse kosten** – Om de scenario's en maatregelen goed te kunnen vergelijken worden kosten uitgedrukt in jaarlijkse kosten in een gemiddeld jaar. Dit betekent dat investeringen worden geannualiseerd op basis van levensduur en kapitaalkosten.
- **Energiebronnen** – Bij gebruik van additionele duurzame energie wordt rekening gehouden met de totale beschikbaarheid van bronnen in de regio.
- **Isolatie** – Alle woningen worden tenminste tot label B geïsoleerd in 2050. Nieuwbouwwoningen die vanaf 2020 worden gebouwd hebben ten minste label A+.
- **Woningvoorraad** – Bij de aannames rond de woningvoorraad en de isolatiegraad wordt rekening gehouden met huidige plannen en prestatieafspraken tussen gemeenten en woningcorporaties.

Afwegingskader

De scenario's worden beoordeeld met behulp van een afwegingskader bestaande uit diverse criteria die zowel kwantitatieve aspecten (kosten, investeringen, uitstoot) en kwalitatieve aspecten (realiseerbaarheid) omvatten. Tabel 12 worden de criteria weergegeven en wordt aangegeven op welke wijze het criterium zal worden gescoord. Een gedetailleerde uitwerking van het afwegingskader volgt na de tabel.

Tabel 12. Overzicht van afwegingskader bestaande uit diverse criteria.

Groep	Criterium	Eenheid	Onderliggende parameters
Kosten	Isolatie en technologieën	€/jaar	<ul style="list-style-type: none"> • Toegepaste isolatiemaatregelen • Toegepaste energietechnologieën
	Energie	€/jaar	<ul style="list-style-type: none"> • Volume per energiedrager • Eenheidskosten per energiedrager
	Infrastructuur	€/jaar	<ul style="list-style-type: none"> • Piekvraag per energiedrager • Dichtheid woningen • Kosten voor verzwaring of verwijdering van netwerken
Uitstoot	CO ₂ -uitstoot	ktCO ₂ /jaar	<ul style="list-style-type: none"> • Volume per energiedrager • Emissiefactoren per energiedrager
Realiseerbaarheid	Te scheppen randvoorwaarden door beleid	Kwalitatief	<ul style="list-style-type: none"> • O.a. mate van collectieve maatregelen
	Snelheid van implementatie	Kwalitatief	<ul style="list-style-type: none"> • O.a. termijn waarop maatregelen mogelijk zijn en of maatregelen kunnen samenvallen met natuurlijke renovatie
	Politieke haalbaarheid	Kwalitatief	<ul style="list-style-type: none"> • Lokale effecten met invloed op lokaal maatschappelijk draagvlak
Investeringsnoodzaak	Benodigde investeringen per huishouden	€/huishouden	<ul style="list-style-type: none"> • Toegepaste isolatiemaatregelen • Toegepaste energietechnologieën
	Capaciteit in duurzame elektriciteitsproductie	MW-zon MW-wind	<ul style="list-style-type: none"> • Indicatieve benodigde capaciteit om de gewenste hoeveelheid duurzame elektriciteit op te wekken

De kosten van duurzame energieproductie die samenhangen met het bereiken van de gewenste emissiefactoren worden op kwalitatieve wijze besproken. Hierbij wordt een grove inschatting gemaakt van de kosten die hiermee gemoeid zijn. Ook wordt besproken welke uitdagingen er in een geëlektrificeerd energiesysteem ontstaan door de groeiende hoeveelheid niet-stuurbare zonne- en windenergie in combinatie met een groeiende seizoensgebonden elektriciteitsvraag.

Kosten: Isolatie en technologieën

Voor het vaststellen van de kosten voor isolatie en technologieën (maatregelen) wordt rekening gehouden met de huidige isolatiegraad en het type woning. Onder de kosten voor isolatie en technologieën vallen zowel de kosten voor het materiaal als de plaatsing ervan. De kosten worden over meerdere jaren afgeschreven met een annuïteitsfactor. Deze wordt nader beschreven in Appendix C.

Bestaande bouw

- Het vaststellen en indelen van de huidige woningvoorraad:
 - Het vaststellen van het huidige aantal woningen per categorie en per wijk en het vervolgens indelen naar isolatiegraad (laag, midden, hoog) en woningtype (appartement, woning). De isolatiegraad wordt bepaald door het bouwjaar, woningen gebouwd voor het jaar 1990 worden ingeschaald in laag, woningen gebouwd tussen 1990-2000 in midden en alle woningen gebouwd na 2000 in hoog.
 - Het bepalen van de afname van het aantal bestaande woningen in 2050 ten opzichte van de huidige woningvoorraad.
 - Er wordt rekening gehouden met reeds uitgevoerde en geplande renovaties zoals aangegeven door de woningcorporaties.
- Het vaststellen van de jaarlijkse kosten voor het toepassen van maatregelen:
 - Het vaststellen van de kosten voor het toepassen van elke maatregel voor elke woning categorie.
 - Het bepalen van de afschrijvingsduur per toepassing.
 - Het vaststellen van de jaarlijkse kosten voor het toepassen van elke maatregel voor elke woning categorie op basis van de annuïteitsfactor.
 - Het optellen van de jaarlijkse kosten voor alle woning categorieën.

Nieuwbouw

- Het vaststellen van het aantal nieuw te bouwen woningen, per woningtype, tussen nu en 2050. Dit wordt vastgesteld op basis van huidige plannen en prestatieafspraken.
- De isolatiegraad voor alle nieuwe woningen is hoog.
- Het vaststellen van de jaarlijkse kosten voor het toepassen van de maatregelen:
 - Het vaststellen van de basisconfiguratie voor nieuwe woningen.
 - Het vaststellen van de kosten voor het toepassen van elke maatregel voor elk woningtype, ten opzichte van de basisconfiguratie.
 - Het bepalen van de afschrijvingsduur van elke toepassing.
 - Het vaststellen van de jaarlijkse kosten voor het toepassen van elke maatregel voor elk woningtype, ten opzichte van de basisconfiguratie.
 - Het optellen van de jaarlijkse kosten voor alle woningtypes.

Kosten: Energie

De kosten van energie per jaar wordt berekend voor elektriciteit, (bio)gas en warmte. Het huidige volume aan energieverbruik wordt bepaald op basis van aantal woningen per woningtype, elk woningtype wordt met een bepaalde hoeveelheid ingeschaald. Deze waarden worden vervolgens gecorrigeerd op basis van huidige daadwerkelijk afgenomen volumes. Voor het toekomstige energieverbruik wordt het effect van toegepaste maatregelen meegenomen. Dit kunnen zowel vermindering in energievraag als een verschuiving van energievraag zijn, zoals een verschuiving van gas naar elektriciteit.

- Het vaststellen en indelen van de woningvoorraad in 2050, zoals beschreven in de stappen bij Kosten: Isolatie en technologieën.
- Het vaststellen van het jaarlijkse energieverbruik per woning categorie voor elke energiedrager:
 - Het gemeten geaggregeerde huidige energieverbruik in Enschede en Hengelo bepalen.
 - Het verschil tussen de totaal gemodelleerde en totaal gemeten energieverbruik bepalen.
 - Het gemodelleerde energieverbruik van elke woning categorie schalen zodat het totaal verbruik overeenkomt met het gemeten energieverbruik.
 - Het bepalen van de besparing of verschuiving van energieverbruik per maatregel voor elke woning categorie.
- Het bepalen van de kosten per GJ voor duurzame elektrische energie, (bio)gas en warmte.
- Het berekenen van de totale jaarlijkse energiekosten.

Kosten: Infrastructuur

De kosten voor de infrastructuur voor elke energiedrager is afhankelijk van de totale piekvraag. De piekvraag per woning wordt bepaald door het woningtype, de isolatiegraad en toegepaste maatregelen. De totale piekvraag wordt vervolgens bepaald door het opsommen van de vraag van alle woningtypes.

- Het vaststellen en indelen van de woningvoorraad in 2050, zoals beschreven in de stappen bij Kosten: Isolatie en technologieën.
- Het bepalen van de piekvraag per energiedrager na het toepassen van maatregelen op basis van warmtevraagprofielen. Voor elke woningcategorie wordt de invloed van de maatregelen berekend.
- Het vaststellen van de kosten voor additioneel transportvermogen.
- Het berekenen van de totale kosten per jaar.

Uitstoot

De totale CO₂-uitstoot per jaar wordt berekend door een opsomming van de uitstoot van de individuele energiedragers. Er wordt gerekend met emissiefactor voor elke energiedrager, die de uitstoot van CO₂ per energie-eenheid geeft.

- Het berekenen van het jaarlijkse energieverbruik per bron, zoals beschreven in de stappen bij Kosten: Energie.
- Het berekenen van de totale jaarlijkse emissie op basis van het jaarlijkse energieverbruik en de emissiefactoren per energiedrager.

Investeringsnoodzaak voor huishoudens

Voor de investeringsnoodzaak voor huishoudens wordt met dezelfde kosten gerekend als bij Kosten: Isolatie en installatie, maar deze zijn op een andere manier weergegeven. Het geeft een indicatie van de initiële investering die huishoudens moeten doen voor de verduurzaming van de warmtevoorziening in plaats van dat het bedrag is afgeschreven over meerdere jaren.

Capaciteit in duurzame elektriciteitsproductie

Per scenario wordt er berekend hoeveel windturbines en zonnepanelen er nodig om de benodigde hoeveelheid duurzame elektrische energie op te wekken. Er wordt gekeken naar de jaarlijkse vraag naar duurzame elektrische energie, de verwachte verdeling van energie uit zon en wind in Nederland en de gemiddelde opwekking per bron per geïnstalleerd vermogen. De berekende vermogens kunnen vervolgens worden uitgedrukt in aantallen windturbines en zonnepanelen.

- Het berekenen van het jaarlijkse energieverbruik per bron, zoals beschreven in de stappen bij Kosten: Energie.
- Het vaststellen van de verdeling van zonne- en windenergie.
- Het vaststellen van de capaciteitsfactor van zonne- en windenergie.
- Het berekenen van het benodigde vermogen van zonne- en windenergie.
- Het vaststellen van de gemiddelde vermogen van een zonne-energie installatie en een windturbine.
- Het berekenen van het aantal benodigde zonne-energie installaties en windturbines.

Appendix C Aannames

Voor de beoordeling van de scenario's wordt gebruik gemaakt van diverse rapporten en databronnen:

- CBS, Kerncijfers wijken en buurten 2016
- CBS/PBL, 2016. *Regionale bevolkings- en huishoudensprognose 2016-2040*
- Ecofys & ECN, 2015. *De systeemkosten van warmte voor woningen.*
- Ecofys, 2016. *Waarde van congestiemanagement.*
- PICO. Er is gebruik gemaakt van de bèta versie van PICO, zoals deze in januari 2016 beschikbaar was op <http://pico.geodan.nl/beta3/>.

Woningvoorraad

- De huidige woningvoorraad in Enschede en Hengelo is afkomstig uit PICO. In PICO wordt de huidige woningvoorraad op PC6 niveau beschreven, waarbij onder andere inzicht wordt gegeven in het aantal panden en adressen, het aandeel woningen (eengezinswoningen) en appartementen (meergezinswoningen) en het gemiddelde elektriciteits- en gasverbruik.
- Voor de toekomstige woningvoorraad wordt gekeken naar de plannen die op dit moment vastgesteld zijn. Als lange termijn projectie wordt aangenomen dat de woningvoorraad niet zal toe- of afnemen. In de *Regionale bevolkings- en huishoudensprognose 2016-2040* van CBS en PBL wordt voor aangegeven dat het aantal huishoudens in Enschede en Hengelo redelijk stabiel zal blijven of licht zal groeien (-2,5% tot 5,0%).²²
- Er wordt rekening gehouden met een beperkte vervanging van de bestaande woningvoorraad van 0,5% per jaar.
- Het aantal toekomstige huishoudens in Hengelo is aangevuld met de *Woningbouwplanning en programmering 2015-2025 Hengelo*, kijkend naar het type (een- of meergezins) en de wijk waar de nieuwbouw gepland staat.
- Het aantal toekomstige huishoudens in Enschede is aangevuld met *Bod corporaties 2016-2017*, kijkend naar het type (een- of meergezins) en de wijk waar de nieuwbouw gepland staat. Ook is het totaal aantal door de gemeente geplande nieuwbouwwoningen, 2000 stuks, meegenomen. De hoeveelheid die overblijft na de invulling van het *Bod corporaties 2016-2017* is gelijk verdeeld over alle wijken een- en meergezinswoningen.
- Het aantal huidige aansluitingen op gas en warmte netwerken is bepaald met behulp van CBS-data, dat per wijk het aandeel warmteaansluitingen geeft. Voor Hengelo is er onterecht gegeven dat er geen aansluitingen zijn op warmtenetten. We hebben daarom voor Hengelo data van Ennatuurlijk gebruikt. Naast de indeling in woningtypen worden de woningen ook gekarakteriseerd op basis van het isolatieniveau. Er wordt hierbij onderscheid gemaakt tussen isolatieniveau laag (label CDEFG), midden (label B) en hoog (label A). De isolatieniveaus worden verderop in detail beschreven. Een

²² CBS/PBL, 2016. *Regionale bevolkings- en huishoudensprognose 2016-2040*. Beschikbaar op: <https://www.cbs.nl/nl-achtergrond/2016/37/pbl-cbs-regionale-prognose-2016-2040>.

eerste inschatting van de energielabels wordt gedaan op basis van het bouwjaar van de woning (woningen gebouwd voor 1990 hebben isolatieniveau *laag*, woningen gebouwd tussen 1990 en 2010 hebben isolatieniveau *midden* en woningen gebouwd na 2010 hebben isolatieniveau *hoog*).

- Van een gedeelte van de woningen is de isolatiegraad aangepast met behulp van informatie van woningcorporaties. Uit een overzicht met verbouwingen met daarin bouwjaar en nieuwe isolatiegraad zijn deze aanpassingen gehaald.

Tabel 13. Huidige en toekomstige woningvoorraad in 2050 in Enschede en Hengelo. Bron: PICO en Ecofys analyse.

Wijk	Huidig		Toekomstig	
	Eengezinswoning	Meergezinswoning	Eengezinswoning	Meergezinswoning
Enschede	47468	28334	48417	29382
Wijk 00: Binnensingelgebied	5293	9024	5484	9195
Wijk 01: Hogeland-Velve	4395	1130	4508	1314
Wijk 02: Boswinkel - Stadsveld	6474	4067	6666	4260
Wijk 03: Tweekelerveld	2841	1762	2898	1819
Wijk 04: Enschede-Noord	4720	6029	4795	6177
Wijk 05: Ribbelt - Stokhorst	3311	826	3368	883
Wijk 06: Enschede-Zuid	10745	3956	10838	4023
Wijk 07: Enschede-West	139	13	196	70
Wijk 08: Glanerburg en omgeving	5721	1165	5778	1222
Wijk 09: Landelijk gebied	3829	362	3886	419
Hengelo	27121	11492	28818	11727
Wijk 00: Binnenstad	660	950	684	1025
Wijk 01: Hengelo Es	3497	1469	3802	1469
Wijk 02: Noord	2728	2230	2895	2230
Wijk 03: Hasseler Es	4768	545	4768	545
Wijk 04: Groot Driene	2810	1468	2810	1468
Wijk 05: Berflo Es	1884	1656	2120	1656
Wijk 06: Wilderinkshoek	4045	1041	4268	1094
Wijk 07: Woolde	2155	1569	2208	1676
Wijk 08: Slangenbeek	3296	393	3985	393
Wijk 09: Buitengebied	1278	171	1278	171

Tabel 14. Isolatie-niveau van huidige woningvoorraad in Enschede en Hengelo. Bron: PICO en Ecofys analyse.

Wijk	Eengezinswoningen			Meergezinswoningen		
	Laag	Midden	Hoog	Laag	Midden	Hoog
Enschede	36144	11294	30	19231	9035	68
Wijk 00: Binnensingelgebied	4039	1252	2	5628	3396	0
Wijk 01: Hogeland-Velve	3587	793	15	791	339	0
Wijk 02: Boswinkel - Stadsveld	4632	1842	0	2935	1064	68
Wijk 03: Twekkelerveld	2699	142	0	1420	342	0
Wijk 04: Enschede-Noord	3537	1183	0	3894	2135	0
Wijk 05: Ribbelt - Stokhorst	3066	245	0	697	129	0
Wijk 06: Enschede-Zuid	9065	1677	3	3282	674	0
Wijk 07: Enschede-West	88	51	0	11	2	0
Wijk 08: Glanerburg en omgeving	2454	3261	6	451	714	0
Wijk 09: Landelijk gebied	2977	848	4	122	240	0
Hengelo	21480	5639	2	7462	4030	0
Wijk 00: Binnenstad	622	38	0	497	453	0
Wijk 01: Hengelo Es	2922	575	0	996	473	0
Wijk 02: Noord	2358	370	0	1860	370	0
Wijk 03: Hasseler Es	4768	0	0	307	238	0
Wijk 04: Groot Driene	2790	20	0	1166	302	0
Wijk 05: Berflo Es	1619	263	2	970	686	0
Wijk 06: Wilderinkshoek	3634	411	0	783	258	0
Wijk 07: Woolde	1787	368	0	846	723	0
Wijk 08: Slangenbeek	15	3281	0	0	393	0
Wijk 09: Buitengebied	965	313	0	37	134	0

De gebruikte data voor de woningvoorraad is niet compleet. Het geeft echter een goede indicatie van de huidige staat van de woningvoorraad. Uiteindelijk wordt het huidige verbruik gecorrigeerd op basis van CBS-verbruiksdata om het modelmatig bepaalde verbruik te kalibreren met het daadwerkelijke verbruik.

Isolatie niveaus

Om de woningvoorraad te karakteriseren wordt gebruik gemaakt van drie isolatieniveaus. In de studie *De systeemkosten van warmte voor woningen* door Ecofys en ECN is het energieverbruik van diverse woningtypen doorgerekend bij verschillende combinaties van isolatieniveau en toegepaste technologie. De onderstaande beschrijving van de isolatieniveaus en de specificatie van Rc en U waarden in Tabel 15 zijn afkomstig uit deze studie.

- Isolatiegraad *laag* betekent dat de woning niet is voorzien van dak-, vloer-, of gevelisolatie, waarbij het aandeel dubbelglas significant meer is dan enkelglas. Een woning met dit isolatieniveau en een HR-ketel heeft een energielabel E.
- Isolatiegraad *midden* betekent dat de woning is (na)geïsoleerd tot $R_c=1,3$ voor de gevel (spouwmuurisolatie), $R_c=2,5$ voor dak en vloer en overall voorzien van HR++ glas. Vanaf 1992 zijn alle nieuwbouwwoningen met dit isolatieniveau gebouwd, en dit is tevens het gebruikelijke niveau van na-isolatie. Een woning met dit isolatieniveau en een HR-ketel heeft een energielabel B.
- Isolatiegraad *hoog* betekent zeer goede isolatie met een $R_c=5$ voor de gehele gebouwschil en driedubbel glas. Een nul op de meter woning zoals bij renovaties in het kader van de Stroomversnelling worden gerealiseerd, voldoet aan dit isolatieniveau. Nieuwbouw vanaf 2015 heeft een vergelijkbaar isolatieniveau, hoewel de isolatie-eisen uit het bouwbesluit nog iets lager liggen op $R_c=4,5$ voor de gevel, $R_c=6$ voor het dak en $R_c=3,5$ voor de vloer. Wanneer vanaf 2020 bijna energieneutraal gebouwd moet gaan worden, zal de isolatiegraad zeker voldoen aan de karakteristiek van isolatiegraad hoog.

Tabel 15. Karakteristieken van de gemodelleerde isolatieniveaus en de toegepaste technologieën.

Bron: Ecofys/ECN, 2015.

Isolatieniveau	Rc dak [m ² · K/W]	Rc gevel [m ² · K/W]	Rc vloer [m ² · K/W]	U glas [W/m ² · K]
Laag	0,86	0,43	0,17	Enkel glas 5,2 Dubbel glas 2,9
Midden	2,5	1,3	2,5	HR++ glas 1,8
Hoog	5,0	5,0	5,0	Triple glas 0,5

Technologieën

De verduurzaming van de warmtevoorziening vindt plaats door het toepassen van isolatiemaatregelen en door het inzetten van duurzame en efficiënte technologieën. In de studie *De systeemkosten van warmte voor woningen* door Ecofys en ECN is het energieverbruik van diverse woningtypen doorgerekend bij verschillende combinaties van isolatieniveau en toegepaste technologie, zoals HR107 ketels, warmtenetten, luchtwarmtepompen, bodemwarmtepompen en hybride warmtepompen. Deze beschrijving geldt ook voor deze studie:

- (Bio)gasketel: Voor de HR-ketels is uitgegaan van een HR-combitapketel, waarbij het gemiddeld rendement wordt gebruikt dat voor HR-ketels is gemeten in de veldtesten (Energy Matters,

2014). Het praktijkrendement voor ruimteverwarming ligt tussen de 90 en 95% op bovenwaarde. We nemen 90% bij isolatieniveau laag, en 95% bij isolatieniveau Midden of Hoog. Omdat de CV aanvoer- en retourtemperatuur in een woning met slechtere isolatie hoger moet zijn zal de HR-ketel minder in condenserend bedrijf zijn waardoor het rendement lager ligt. Het praktijkrendement voor warm tapwater ligt op 54% bij een tapwatervraag van 4,3 kWh thermisch per dag. Aangenomen is dat een HR ketel tapwater kan maken met een rendement van 87%, betekent dat het praktijkrendement een factor 62% lager ligt door stilstandsverliezen. Bij isolatieniveau hoog en bij een hybride warmtepomp wordt ervan uitgegaan dat er een ketel wordt toegepast met een verhoogd tapwaterrendement van 62%.

- Elektrische warmtepompen: Er is gerekend met twee verschillende types combi-warmtepompsystemen: een lucht-water warmtepomp (air source) en een bodem-water warmtepomp (ground source) met een gesloten bronnen een verticale bodem warmtewisselaar. In de scenario's hebben we ervoor gekozen een bodem-water warmtepomp alleen toe te passen in de nieuwbouw. In de bestaande bouw wordt een lucht-water warmtepomp toegepast. Een bodem warmtepomp heeft een hogere efficiency maar vereist wel installatie van warmtewisselaars in de bodem, wat in de bestaande bouw lastig kan zijn. De gebruikte warmtepomp efficiency-curves zijn samengesteld op basis van gemeten data van het Heat Pump Test Center WPZ in Buchs, Zwitserland (NTB, 2015) bij verschillende bron- en aanvoertemperaturen. Deze efficiency-curves zijn gebruikt om de efficiency van de warmtepompen voor ruimteverwarming en warm tapwater te bepalen. Bij warm tapwater bereiding nemen we daarnaast stilstandsverliezen en boiler(buffervat)verliezen mee. Voor de stilstandsverliezen wordt gewerkt met een factor 62% gelijk aan de HR-ketel. Voor boilerverliezen wordt uitgegaan van een warmteverlies van 1,5 kWh/dag.
- Hybride warmtepomp: De hybride warmtepomp is een combinatie van een lucht-water warmtepomp en een HR107 ketel. Hiervoor is als uitgangspunt gekozen voor de Itho Daalderop HP Cube (lucht-water warmtepomp) + Base Cube (HR-ketel). De luchtwarmtepomp heeft een nominaal afgegeven vermogen van 2,5 kW_{th}, de HR-ketel een vermogen van 24 kW_{th}. De HR-ketel wordt gebruikt voor zowel ruimteverwarming als warm tapwater, de warmtepomp wordt alleen gebruikt voor ruimteverwarming. Dat is vermogen gestuurd, wanneer de warmtevraag groter is dan het vermogen van de warmtepomp, dan gaat de hybride warmtepomp over op HR-ketel bedrijf. Echter, ook al het vermogen voldoende is, is tevens de regelstrategie afgestemd op een economische afweging. Als de buitentemperatuur te laag wordt daalt het rendement van de warmtepomp zoveel dat het rendabeler is de gasketel in te zetten voor ruimteverwarming. De HR-ketel verzorgt dan de ruimteverwarming. Voor de luchtwarmtepomp gebruiken we dezelfde efficiency curves als bij de all-electric warmtepomp. Voor de HR-ketel gebruiken we dezelfde efficiency cijfers als bij de HR-ketel als individuele techniek.
- Warmtenetten: Bij warmtenetten wordt de geleverde warmte centraal opgewekt. Deze warmte wordt via een warmtenet aan de klant geleverd. In huis is er naast het warmteafgiftesysteem een warmtewisselaar aanwezig. Voor ruimteverwarming gaan we uit van een rendement van 100%, voor warmtapwater nemen we stilstandsverliezen mee. Voor de stilstandsverliezen wordt gewerkt met een factor 62% gelijk aan de HR-ketel.

Bij de verschillende woningtypen, isolatiegraden en technologieën hoort een verschillende energievraag, zowel qua volume als qua piekvraag. In de onderstaande tabellen wordt het volume en de piek bij verschillende isolatiegraden en technologieën gegeven.

Bij gebruik van de gegeven hoeveelheden zijn deze aangepast naar het huidige gemeten verbruik. Hiertoe zijn de verbruikscijfers voor aardgas van CBS gebruikt. Per wijk is een factor berekend die zorgt dat het gemodelleerd huidige verbruik en het gemeten huidige verbruik overeenkomen. Tevens is gecorrigeerd voor het de graaddagen in 2015 die lager liggen dan die van een gemiddeld jaar.

Tabel 16. Energievraag (GJ) per woningtype, technologie en isolatiegraad (met graaddagen gecorrigeerd voor een gemiddeld jaar). Bron: Ecofys/ECN, 2015.

Wijk	Eengezinswoningen			Meergezinswoningen		
	Laag	Midden	Hoog	Laag	Midden	Hoog
HR107	86,3	66,4	35,1	55,1	41,2	26,0
Warmtenetten	76,5	61,3	31,6	48,4	37,4	23,0
Luchtwarmtepomp	-	24,6	12,6	-	15,7	10,0
Bodemwarmtepomp	-	-	9,1	-	-	7,2
Hybride warmtepomp	-	51,2	23,7	-	30,8	18,7

Tabel 17. Piekvraag (kW) per woningtype, technologie en isolatiegraad (met graaddagen gecorrigeerd voor een gemiddeld jaar). Bron: Ecofys/ECN, 2015.

Technologie	Eengezinswoningen			Meergezinswoningen		
	Laag	Midden	Hoog	Laag	Midden	Hoog
HR107	20,7	19,0	4,6	14,1	10,6	3,3
Warmtenetten	18,6	17,9	4,3	12,6	9,9	3,0
Luchtwarmtepomp	-	15,8	2,5	-	8,8	1,9
Bodemwarmtepomp	-	-	1,1	-	-	0,8
Hybride warmtepomp	-	19,8	5,1	-	11,3	3,6

Isolatie- en technologiekosten

De kosten voor isolatie en technologieën worden bepaald op basis van de investeringskosten (Tabel 18 en Tabel 19). De kosten worden vervolgens in jaarlijkse kosten uitgedrukt op basis van een annuïteitsfactor. De kostenaannames worden in detail beschreven in de studie *De systeemkosten van warmte voor woningen* van Ecofys en ECN.

Tabel 18. Kosten voor isolatie (€ per woning, excl. BTW). Bron: Ecofys/ECN, 2015.

Isolatiesprong	Eengezinswoning	Meergezinswoning
Laag → Midden	8.899	5.450
Laag → Hoog	31.361	17.000
Midden → Hoog	25.089	13.600

Tabel 19. Kosten voor technologieën (€ per woning, excl. BTW). Bron: Ecofys/ECN, 2015.

Technologie	Eengezinswoning	Meergezinswoning
HR107	1.193	1.193
Warmtenetten	2.000	2.140
Luchtwarmtepomp	5.750	5.750
Bodemwarmtepomp	10.238	10.238
Hybride warmtepomp	2.875	2.875

Energiekosten en emissies

- Voor de kosten van **elektriciteit** wordt een aanname gedaan op basis van de Nationale Energieverkenning 2016.²³ Voor 2050 worden de verwachte prijzen van 2035 gehanteerd, namelijk 65 €/MWh. De extra uitdaging om voldoende duurzame elektriciteit bij een hoge vraag te produceren wordt kwalitatief beschreven. In elk scenario wordt ervan uit gegaan dat de elektriciteitsproductie in Nederland verregaand wordt verduurzaamd, resulterend in minstens 80% emissiereductie. Er wordt daarom een emissiefactor van 0,100 kgCO₂/kWh gehanteerd.
- Ook voor de kosten van **aardgas** wordt er een aanname gedaan op basis van de Nationale Energieverkenning 2016. Voor 2050 worden de verwachte prijzen van 2035 gehanteerd, namelijk 0,30 €/m³. Vanwege de grootschalige uitfasering van aardgas in de scenario's zal de aardgasprijs voor 2050 echter niet relevant zijn. De emissiefactor voor aardgas is 1,785 kgCO₂/m³.²⁴
- Op nationale schaal is de beschikbare hoeveelheid **groen gas** beperkt. Er wordt rekening gehouden met een maximale beschikbaarheid van 6 miljard m³, waarvan maximaal 1,5 miljard m³ voor huishoudens.²⁵ Voor Enschede en Hengelo betekent dit dat er circa 20 miljoen m³ beschikbaar is, dit is equivalent aan circa 15% van het huidige gasverbruik. De kosten voor groen

²³ ECN/PBL, 2016. Nationale Energieverkenning 2016. Beschikbaar op: <https://www.ecn.nl/nl/energieverkenning/>.

²⁴ Aanname op basis van verbrandingsemissiefactor van aardgas op <http://co2emissiefactoren.nl/>.

²⁵ De Gemeyn/ECN/Groen Gas Nederland/RVO, 2014. Routekaart Hernieuwbaar Gas. Beschikbaar op: <https://groengas.nl/wp-content/uploads/2015/07/Routekaart-hernieuwbaar-gas.pdf>. Er wordt uitgegaan van het doortrekken van hierin aangegeven lijn tot 6 BCM. Op basis van de huidige vraag als onderdeel van het totaal wordt 25% hiervan aan huishoudens toegekend.

gas bedragen 0,60 €/m³ en de emissiefactor is 0,4 kgCO₂/m³.²⁶ De daadwerkelijke kosten en emissies zijn sterk afhankelijk van de herkomst van het groen gas.

- De kosten voor en emissies van **warmte** is heel regio- en technologie-specifiek. Op basis van de studie *Warmtekaarten Hengelo – Enschede* van CE Delft wordt in deze analyse aangenomen dat de kosten 7,5 €/GJ bedragen. Er wordt aangenomen dat de emissies 5 kgCO₂/GJ zijn.²⁷ De daadwerkelijke kosten en emissies zijn sterk afhankelijk van de gekozen voeding van het warmtenet.
- Emissies in de scenario's worden vergeleken met de huidige emissies. Deze zijn berekend op basis van het gasverbruik uit CBS (129 miljoen m³) en het warmteverbruik van Ennatuurlijk (260 TJ). De hieraan gerelateerde emissies bedragen respectievelijk circa 129 miljoen m³ x 1,785 kgCO₂/m³ = 231 ktCO₂ en 260 TJ * 5 tCO₂/TJ = 1,3 ktCO₂, resulterend in totaal 232 ktCO₂. Er wordt daarnaast een correctie uitgevoerd met behulp van het aantal graaddagen omdat dit in 2015 lager was dan in een gemiddeld jaar. Deze correctiefactor is 2884 / 2685 = 1.074x. Er wordt daarom gerekend met een huidig emissieniveau van 249 ktCO₂.

Infrastructuurkosten

Voor de berekening van de kosten voor gas- en warmte-infrastructuur wordt gebruik gemaakt van de studie *De systeemkosten van warmte voor woningen* van Ecofys en ECN. Voor de berekening van de elektriciteitsinfrastructuur wordt gebruik gemaakt van de studie en *Waarde van congestiemanagement* van Ecofys omdat deze de meest recente inzichten bevat.

In deze studie wordt onderscheid gemaakt tussen kosten voor dichtbebouwde gebieden (typisch binnen de bebouwde kom) en niet dichtbebouwde gebieden (typisch buiten de bebouwde kom). Voor de dichtbebouwde gebieden wordt het gemiddelde van buiten-centrum en groen-stedelijk gebruikt. Voor niet dichtbebouwde gebieden wordt het gemiddelde van centrum-dorps en landelijk wonen gehanteerd.

Tabel 20. Karakterisatie van bebouwingsdichtheid in Enschede en Hengelo.

Wijk	Bebouwingsdichtheid	Dichtbebouwd of niet dichtbebouwd?
Enschede		
Wijk 00: Binnensingelgebied	5784	Dichtbebouwd
Wijk 01: Hogeland-Velve	2774	Dichtbebouwd
Wijk 02: Boswinkel - Stadsveld	5055	Dichtbebouwd
Wijk 03: Twekkelerveld	4739	Dichtbebouwd
Wijk 04: Enschede-Noord	2529	Dichtbebouwd
Wijk 05: Ribbelt - Stokhorst	3796	Dichtbebouwd
Wijk 06: Enschede-Zuid	4573	Dichtbebouwd

²⁶ De kosten zijn een aanname op basis van Ecofys expertise, de emissiefactor is op basis van ketenemissiefactor van biogas uit stortgas van <http://co2emissiefactoren.nl/>.

²⁷ Aanname op basis van de warmteladder in Ecofys, 2014. Warmteladder: Afwegingskader warmtebronnen voor warmtenetten. Beschikbaar op: <http://www.ecofys.com/nl/pers/ecofys-warmteladder-beoordeelt-bronnen-op-duurzaamheid/>.

Wijk	Bebouwingsdichtheid	Dichtbebouwd of niet dichtbebouwd?
Wijk 07: Enschede-West	49	Niet dichtbebouwd
Wijk 08: Glanerburg en omgeving	3163	Dichtbebouwd
Wijk 09: Landelijk gebied	93	Niet dichtbebouwd
Hengelo		
Wijk 00: Binnenstad	3830	Dichtbebouwd
Wijk 01: Hengelo Es	4497	Dichtbebouwd
Wijk 02: Noord	4073	Dichtbebouwd
Wijk 03: Hasseler Es	3486	Dichtbebouwd
Wijk 04: Groot Driene	3802	Dichtbebouwd
Wijk 05: Berflo Es	1786	Dichtbebouwd
Wijk 06: Wilderinkshoek	1658	Dichtbebouwd
Wijk 07: Woolde	1354	Dichtbebouwd
Wijk 08: Slangenbeek	2425	Dichtbebouwd
Wijk 09: Buitengebied	65	Niet dichtbebouwd

- De huidige **laagspanningsnetten** voor elektriciteit hebben een gemiddelde capaciteit van 1,5 kW per huishouden. Zodra het piekvermogen groter is, zal het net moeten worden uitgebreid. De investeringskosten voor de aanleg van nieuwe laagspanningskabels is geschat op 700 euro per huishouden. Deze verzwaring is alleen nodig bij de inzet van elektrische warmtepompen.
- Voor de netverzwaringkosten van **middenspanningsnetten** voor elektriciteit is uitgegaan van kentallen, die per netwerktype verschillen. In de studie *Waarde van congestiemanagement* wordt een overzicht gegeven van de verschillende bronnen die informatie geven over middenspanningsnetten. Uiteindelijk heeft dit geleid tot een minimum, maximum en meest waarschijnlijk bedrag per netwerktype. In de voorliggende studie wordt voor dichtbebouwde en niet-dichtbebouwde gebieden een kostenpost van respectievelijk 400 en 950 euro per kW gehanteerd.
- Voor **gasnetten** is de bovenstaande aanpak niet bruikbaar omdat gasnetten al aanwezig zijn en de capaciteit van gasnetten sowieso voldoende is. Voor gasnetten wordt daarom gebruik gemaakt van kosten voor het in stand houden van het gasnet en voor de eventuele verwijdering van het gasnet. De netto kosten voor het in stand houden van het gasnet bedragen 132 euro per aansluiting per jaar. De kosten voor de verwijdering van het gasnet bedragen 2070 euro per aansluiting (eenmalig). Daarbij wordt rekening gehouden met de daadwerkelijke verwijdering (870 euro) en een versnelde afschrijving (1200 euro).
- De kosten voor **warmtenetten** bedragen respectievelijk 1250 en 1800 euro per kW voor dichtbevolkte en niet-dichtbevolkte wijken. De kosten voor warmtenetten zijn geanalyseerd op basis van beschikbare data uit een eerder door Ecofys uitgevoerd project over investeringskosten van warmtenetten voor verschillende thermische vermogens en warmtevraagdichtheid.

Annüiteitsfactor

De jaarlijkse kosten worden berekend op basis van de investeringskosten en een bij de afschrijvingstermijnen en rentepercentage horende annüiteitsfactor,

$$\text{Jaarlijkse kosten} = \text{Investeringskosten} \cdot \text{Annüiteitsfactor}$$

waarbij de annüiteitsfactor is gedefinieerd als $\frac{r}{1-(1+r)^{-n}}$, met r als rentepercentage en n als afschrijvingstermijn in jaren. De annüiteitsfactor is gebaseerd op een rentepercentage van 5%. Dit percentage is gekozen als een globaal gemiddelde van de "opportunity cost" van het kapitaal dat voor deze investeringen wordt gereserveerd. Voor technologieën wordt een afschrijvingstermijn van 15 jaar gehanteerd, terwijl voor isolatie en distributienetwerken een afschrijvingstermijn van 40 jaar wordt gebruikt.

Opwekking duurzame energie

Voor de invulling van de benodigde energie in de verschillende scenario's wordt er gekeken naar opwekking door zonnepanelen en windturbines. Voor de verdeling van de energie door zon en wind opgewekt is er naar het PRIMES-scenario²⁸ van Nederland gekeken. Het aandeel van zonne-energie is 12%, het aandeel van windenergie is 88%. Om de benodigde capaciteit te berekenen wordt er met vollasturen gerekend. Het aantal vollasturen geeft aan welke hoeveelheid energie geproduceerd wordt met een gegeven vermogen. Voor zon is dit 923 uren per jaar, de waarde gegeven door PRIMES¹² en voor wind 2500 uren per jaar (gebaseerd op Ecofys expertise). De benodigde hoeveelheid zonnepanelen wordt weergegeven als een factor in verhouding met het huidige geïnstalleerde vermogen. Het huidige geïnstalleerde vermogen is 18,8 MW.²⁹ De benodigde hoeveelheid windturbines wordt berekend door turbines met een vermogen van 3 MW aan te nemen, de meest gebruikte turbinegrootte.³⁰ De additionele capaciteit die nodig is voor het elektriciteitsverbruik dat niet voor warmte gebruikt wordt (met het huidige verbruik, 340 MWh per jaar, als uitgangspunt) is te vinden in Tabel 21.

Tabel 21. Benodigde vermogen van zonne- en windenergie voor overige elektriciteitsvoorziening.

	Benodigd vermogen zon	Benodigde uitbreiding ten opzichte van huidige hoeveelheid	Benodigd vermogen wind	Aantal windturbines
Overige elektriciteitsvoorziening	44,2 MW	146%	119,7 MW	40

²⁸ https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/20160713%20draft_publication_REF2016_v13.pdf

²⁹ Inschatting op basis van het overzicht van geregistreerde zonnepanelen in Enschede en Hengelo. Dit overzicht is aangeleverd door Enaxis.

³⁰ <http://www.ewea.org/wind-energy-basics/faq/>

ECOFYS



sustainable energy for everyone

ECOFYS

sustainable energy for everyone



ECOFYS Netherlands B.V.

Kanaalweg 15G
3526 KL Utrecht

T: +31 (0) 30 662-3300

F: +31 (0) 30 662-3301

E: info@ecofys.com

I: www.ecofys.com