



Duurzame warmteoplossingen

Gemeente Renkum

Finaal concept rapport

Oktober 2024

Inhoud

1. Inleiding.....	3
2. Inventarisatie warmteoplossingen	4
2.1. Warmtenetten	4
2.2. <i>All electric</i> warmtepompen	8
2.3. Hybride warmtepompen	13
2.4. Hernieuwbare gassen	14
3. Ruimtelijke mogelijkheden en belemmeringen	17
4. Resultaten model.....	21
4.1. Toelichting werking model	21
4.2. Kostenkengetallen, aannames en beperkingen.....	22
4.3. Waardes afweegkader en resultaten	23
4.4. Resultaat en duiding	24
5. Conclusies en aanbevelingen	28
Bijlage 1: Toelichting WTM.....	32
Gebouwendatabase.....	32
Berekening nationale kosten	32
Bouwkundige kosten	33
Bepaling voorkeurswarmteoplossing	35
Gebruikte bronnen WTM	36
Bijlage 2: Extra kaarten en tabellen.....	37

1. Inleiding

In Nederland werken we toe naar toekomst zonder aardgas. We stappen over op duurzame warmteoplossingen om onze huizen te verwarmen, kraanwater op temperatuur te brengen en te koken. De gemeente Renkum wil vóór 2040 overstappen op duurzame warmteoplossingen. In 2021 heeft de gemeente Renkum de Transitievisie Warmte vastgesteld. De afgelopen jaren heeft de gemeente werk gemaakt van de uitvoering van het bijbehorende uitvoeringsprogramma. Er is onder andere onderzoek gedaan naar de mogelijkheden voor een warmtenet in het dorp Renkum. Daarnaast is de gemeente gestart met het ontwikkelen van wijkuitvoeringsplannen in verschillende gebieden, zoals Stenenkruis en Heveadorp.

In de Transitievisie Warmte heeft de gemeente een eerste verkenning gedaan van de verschillende opties voor duurzaam verwarmen en de voorkeursoplossing per wijk. Sindsdien is de situatie voor het verduurzamen van de gebouwde omgeving veranderd door een sterk veranderde energiemarkt met instabiele energieprijzen. Dit heeft de (nationale) kosten van verschillende warmteoplossingen veranderd. In deze nieuwe situatie wil de gemeente Renkum meer duidelijkheid verschaffen over de voorkeursoplossing voor duurzame warmte in de verschillende dorpen en wijken van de gemeente. Dit helpt inwoners en organisaties om keuzes te maken voor het verduurzamen van hun woningen en gebouwen. Daarnaast creëert het een basis voor de gemeente om beleid en activiteiten te ontwikkelen om hun regierol in de warmtetransitie effectief vorm te geven.

De gemeente Renkum heeft Arcadis Nederland B.V. de opdracht gegeven onderzoek te doen naar duurzame warmteoplossingen voor de gemeente Renkum. De onderzoeksoopdracht bestaat uit vier onderdelen:

1. Het inventariseren van verschillende duurzame warmteoplossingen voor de gebouwde omgeving plus hun belangrijkste technische, financiële en ruimtelijke kenmerken en milieueffecten. Zowel individuele oplossingen (zoals warmtepompen) als collectieve oplossingen (zoals warmtenetten) zijn onderdeel van de inventarisatie.
2. Een analyse van de ruimtelijke mogelijkheden en beperkingen in de gemeente en hun effect op de realiseerbaarheid van de verschillende warmteoplossingen.
3. Een analyse van de voorkeursoplossingen voor duurzame warmte voor de verschillende gebieden in de gemeente.
4. Aanbevelingen voor vervolgstappen in relatie tot het huidige uitvoeringsprogramma.

Leeswijzer

In dit rapport presenteren we de resultaten van het onderzoek. In hoofdstuk 1 beschreven we de inventarisatie van verschillende duurzame warmteoplossingen. In hoofdstuk 2 staat de analyse van de ruimtelijke mogelijkheden en beperkingen en hun effect op de haalbaarheid van warmteoplossingen. Vervolgens leest u in hoofdstuk 3 de uitkomsten van de analyse van de voorkeursoplossingen voor duurzame warmte. Ten slotte doen wij in hoofdstuk 4 aanbevelingen voor de stappen die de gemeente zou kunnen zetten in het kader van de uitvoering.

2. Inventarisatie warmteoplossingen

Dit hoofdstuk bevat een overzicht van duurzame (aardgasvrije) warmteoplossingen. We beschrijven warmtenetten, warmtepompen, hybride warmtepompen en hernieuwbare gassen. Per warmteoplossing beschrijven we de technische en financiële kenmerken, de ruimtelijke impact, de CO₂-uitstoot en, voor zover van toepassing, andere relevante milieueffecten en mogelijkheden en beperkingen voor de toepassing van de warmteoplossing.

2.1 Warmtenetten

Wat is het?

Een warmtenet is een collectieve oplossing waarbij één of meerdere warmtebronnen meerdere woningen en/of gebouwen verwarmen. De warmtebron kan verschillen in temperatuur en het aantal woningen is afhankelijk van de capaciteit van de warmtebron. We spreken van drie verschillende temperaturen bij warmtenetten; hoge-, midden- en (zeer) lagetemperatuur. Zie tabel 1.

Een warmtenet wordt gevormd door twee leidingen: een leiding voor de aanvoer van warmte en een leiding voor de retour. Warmte wordt aangevoerd vanaf de warmtebron en via het warmteoverdrachtsstation aan gebouwen geleverd. Het afgekoelde water keert vervolgens terug via de retourleiding¹.

Technische kenmerken

Hoge- en middentemperatuur warmtenetten

Middels een hoge- of middentemperatuur warmtenet worden een groep woningen en/of gebouwen voorzien van warmte uit een warmtebron buiten de woning of het gebouw. Een afleverset in de woning neemt de

functie van een cv-ketel over en levert warmte voor ruimteverwarming en warm tapwater.

Lagetemperatuur warmtenetten

Bronnen met (zeer) lage temperaturen kunnen dienen voor een laagtemperatuurwarmtenet, al dan niet aangevuld met warmtepompen die de temperatuur van de warmte verhogen. In tegenstelling tot een midden- en hoogtemperatuur warmtenet kan met de geleverde warmte niet direct warm tapwater worden voorzien. Hiervoor is een extra voorziening nodig, zoals een boosterwarmtepomp.

Voorbeelden van warmtebronnen met een lage temperatuur zijn aquathermie en restwarmte afkomstig uit datacenters. Afhankelijk van de beschikbare warmtebron(nen) is de behoefte aan warmte vaak groter tijdens de wintermaanden dan de beschikbare hoeveelheid warmte uit de primaire warmtebron(nen). Dit warmtetekort moet worden opgevangen, bijvoorbeeld met back-up warmtecentrales op aardgas of groengas, warmtepompen en/of warmteopslag. Deze faciliteiten kunnen naast de bron geplaatst worden, maar ook dicht bij de gebruikers in het warmtenet. (Bron: [NPLW](#)) De warmtebron van warmtenetten op hoge en middentemperatuur hebben meestal voldoende capaciteit om te voorzien in de piekvraag. Deze warmtenetten hebben meestal een backup-voorziening in geval van problemen met de primaire warmtebron.

De afgiftetemperatuur in de woning kan afwijken van de aanvoertemperatuur van de warmteleverancier op het overdrachtspunt. Dit overdrachtspunt zit meestal bij de afleverset, waar de warmte de woning binnenkomt. Er is enkele graden warmteverlies over de afleverset en in de leidingen van de binneninstallatie.

¹ Bron: [Warmtenet](#), NPLW

Isolatie

Om woningen en gebouwen te verwarmen door warmtenetten op laag- of middentemperatuur is het nodig dat deze woningen voldoende geïsoleerd zijn. Voor middentemperatuur warmtenetten moeten woningen energielabel B tot D hebben, afhankelijk van de aanvoer temperatuur. Voor een lagetemperatuur warmtenet moeten woningen volledig geïsoleerd zijn.

Soorten warmtenetten

Naast de verschillende temperaturen van het warmtenet (hoge-, midden- en lagetemperatuur) zijn er ook verschillende technieken om een warmtenet op te zetten.

Financiële kenmerken

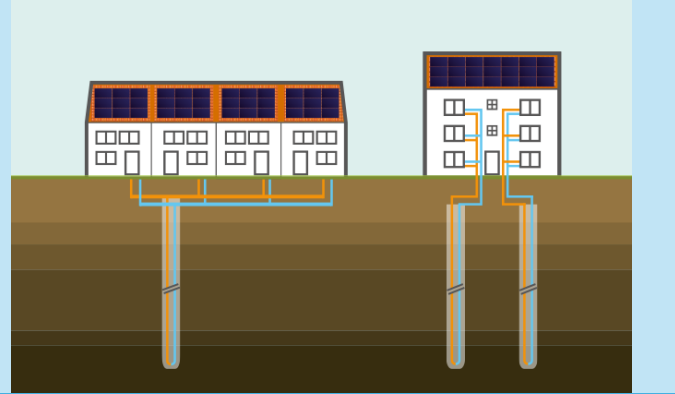
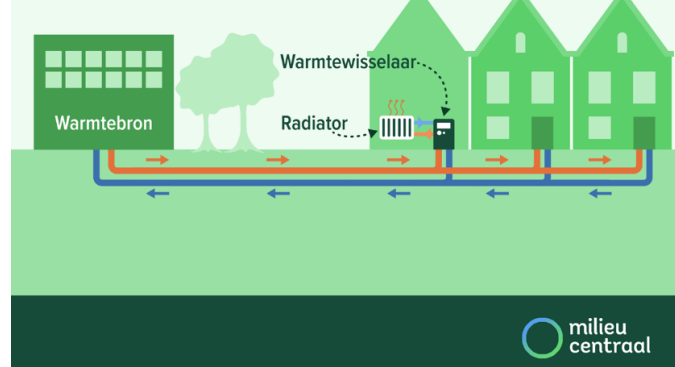

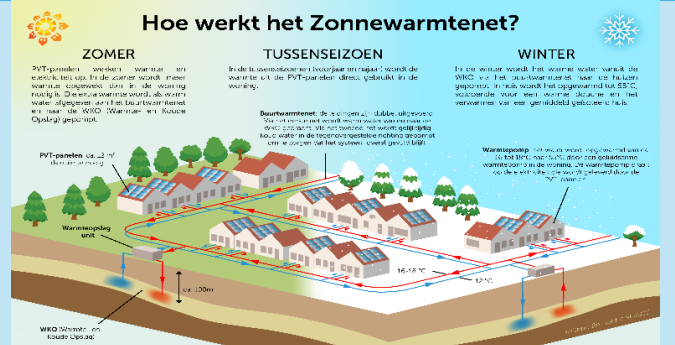
De kosten van een warmtenet zijn opgebouwd uit verschillende onderdelen, zoals de kosten voor de warmtewinning uit de warmtebron(nen), het transport van de warmte, de levering van de warmte aan de woning of het gebouw, het onderhoud en rendement van het warmtebedrijf. Deze kosten zijn in principe voor het warmtebedrijf, die ze doorrekent in het tarief dat ze vragen aan de eindgebruiker. Daarnaast bestaan er ook kosten voor noodzakelijke aanvullende aanpassingen van de woning of het gebouw. Denk aan kosten voor betere isolatie en aangepaste warmteafgiftesystemen. Deze kosten zijn voor de gebouweigenaar.

Warmtewinning: het is belangrijk om de energetische potentie van een warmtebron niet te verwarren met de uiteindelijke warmte die onttrokken kan worden. Er is warmteverlies bij het gebruik van de bron en het transport van de warmte. Vervolgens moet er een sluitende businesscase zijn om het gebruik van de bron rendabel te maken. Binnen een sluitende businesscase moet ook de prijs voor de eindgebruiker acceptabel zijn, zodat voldoende bewoners willen aansluiten. Wat er dan overblijft is de realistische potentie van een

warmtebron. **Transport:** voor de meeste warmtenetten geldt de voorwaarde dat er voldoende woningen en andere gebouwen (uitgedrukt in woningequivalenten, WEQ) aanwezig moeten zijn om een collectieve warmteoplossing financieel haalbaar te maken.

	Typische Afgifte-temperatuur*	Ruimteverwarming	Tapwaterbereiding
Hoge-temperatuur (HT)	90 °C (>75 °C)	Ook toepasbaar in slecht geïsoleerde woningen (label E/F/G)	Regulier
Midden-temperatuur (MT)	55** – 75 °C	Ook toepasbaar in matig geïsoleerde woningen (afhankelijk van afgiftesysteem en temperatuurniveau vanaf label B - D)	Regulier
Lage-temperatuur (LT)	30 – 55** °C	Toepasbaar in goed geïsoleerde woningen en met lage-temperatuur radiatoren of vloerverwarming	Aanvullende voorzieningen nodig zoals een boosterwarmtepomp
Zeer lage temperatuur (ZLT)	10 – 30 °C	Met individuele warmtepomp voor verwarming. Meestal ook geschikt voor koeling***	Aanvullende voorziening nodig zoals een boosterwarmtepomp


Tabel 1 Indeling warmtenetten naar afgiftetemperatuur

Soort oplossing	Toelichting	Beeld
<p>Collectief bronnet met individuele water-water warmtepompen</p>	<p>Per circa vijf woningen wordt één diepe bron geboord van ongeveer 300 meter, die groot genoeg is om aan de vraag van een aaneengesloten woningblok te voldoen. De woningen hebben elk hun eigen warmtepomp en delen alleen de bron.</p> <p><i>Bron afbeelding: Itho Daalderop</i></p>	
<p>Midden- of hoogtemperatuur warmtenet</p>	<p>Middels een middentemperatuur warmtenet worden woningen voorzien van warmte voor ruimteverwarming en warm tapwater. Een afleverset met warmtewisselaar in de woning neemt de functie van een CV-ketel over en levert warmte voor ruimteverwarming en het warme tapwater.</p> <p><i>Bron afbeelding: Milieucentraal</i></p>	 <p style="text-align: right;"></p>
<p>Collectief bronnet met individuele water-water warmtepompen en PVT-panelen</p>	<p>Per woonblok kunnen door inzet van een warmte- koudeopslag (WKO) systeem en een bronnet de woningen worden voorzien van zowel warmte als koude. Om de vereiste thermische balans in de WKO wordt warmte uit de PVT panelen benut.</p> <p><i>Bron afbeelding: Zonnewarmte.nl Ramplaan kwartier</i></p>	<p style="text-align: center;">Hoe werkt het Zonnewarmtenet?</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;"> <p>ZOMER</p> <p>PVT-panelen vullen warmte op in de zomer zodat deze warmte opgeslagen kan worden in de WKO. De warmte wordt gebruikt als warm water opgeslagen in het koudeopslag systeem, voor de WKO. Warmte en koude opslag opslag.</p> </div> <div style="width: 30%;"> <p>TUSSENSEIZOEN</p> <p>In de tussenseizoenen is er nog een laagte van de warmte uit de PVT-panelen direct systeem in de woning.</p> <p>Districtwarmtenet: In de zomer kan de warmte uit de WKO worden gebruikt om de warmte op te slaan in de WKO. Dit zorgt dat het systeem overal goed werkt.</p> </div> <div style="width: 30%;"> <p>WINTER</p> <p>In de winter wordt het warmte water vanuit de WKO via het districtwarmtenet naar de huizen gebracht. In de winter wordt het warmte uit de WKO gebruikt voor warm water opslag, en het warmtenet van een gebiedsgebied gebouwd.</p> <p>Warmtepomp: Het warmtenet wordt opgewarmd door de warmte uit de WKO, en warmtenet is op de WKO. Het warmtenet wordt door de WKO.</p> </div> </div> 

Tabel 2 Technische varianten collectieve warmteoplossingen

Hoe hoger het aantal WEQ per hectare, des te lager de kosten voor het transport per eenheid warmte. Figuur 1 geeft een schatting van de benodigde minimale schaal om verschillende warmtebronnen financieel rendabel te maken.

Bron	Bandbreedte minimale schaal
Regionaal warmtenet (mix van bronnen)	16 huizen iconen
Diepe geothermie	16 huizen iconen
Retourneert diepe geothermie of <u>icm. industrie / tuinders</u>	5 huizen iconen
Ondiepe geothermie	16 huizen iconen
Restwarmte	5 huizen iconen
Houtachtige biomassa	5 huizen iconen
Biogas of hernieuwbaar gas	3 huizen iconen
<u>Aquathermie</u>	5 huizen iconen
Buitenlucht & bodemenergie	2 huizen iconen

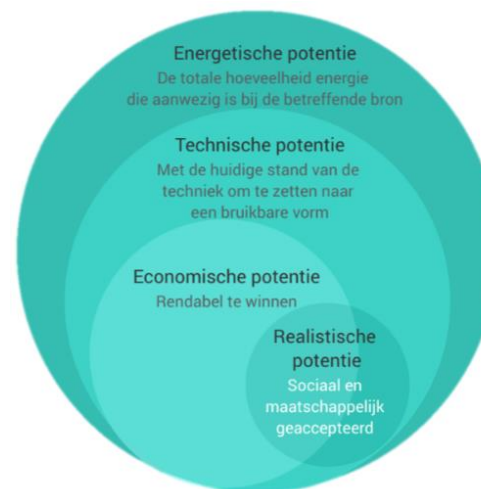
 = 200 woningen

Figuur 1 Schatting benodigde schaal voor verschillende warmtebronnen

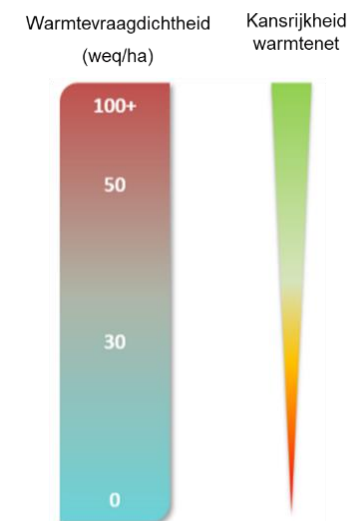
Hoe hoger de dichtheid van de warmtevraag, hoe groter de kansrijker een warmtenet. Vanaf 20 – 30¹ WEQ per hectare is het zinvol om in een gebied kansen op collectieve warmteoplossingen te onderzoeken op

¹Indicatie op basis van verschillende onderzoeken, benoemd door o.a. Factsheet Warmte (CE Delft), Energieregio Utrecht (Greenvis) en Geschiktheid Aquathermie (NPLW)

energetische, technische, economische en realistische haalbaarheid (figuur 2 en 3). Zie ook figuur 2. Bij een lagere warmtevraagdichtheid zijn individuele warmteoplossingen vaak de financieel voordeligste oplossing.



Figuur 2 Verhouding verschillende soorten potentie.



Figuur 3 Dichtheid warmtevraag en kans collectieve warmteoplossingen.

Voor een financieel haalbare collectieve warmteoplossing is een sluitende businesscase noodzakelijk. Met andere woorden: de kosten voor het warmtenet moeten volledig worden gedekt vanuit de inkomsten. Deze kosten moeten zodanig worden verdeeld dat de kosten voor de eindgebruikers van de warmte (voor aansluiting op het warmtenet en voor afname van de warmte) acceptabel en aantrekkelijk

genoeg zijn om te kiezen voor aansluiting op het warmtenet. Met overheidssubsidies kunnen de kosten voor de eindgebruikers worden verlaagd. Desondanks blijkt in de praktijk dat er vaak een onrendabele top overblijft. Hierdoor blijft een sluitende businesscase lastig in veel projecten bij de huidige beschikbare subsidies.

Ruimtelijke impact

De ruimtelijke impact van warmtenetten hangt af van de gekozen variant. In ieder geval vraagt de warmteleiding ondergronds ruimte. Ook aanvullende elementen, zoals warmteopslag en warmtepompen op buurt- of woningniveau vragen ruimte. De lokale situatie beïnvloedt de mate waarin een warmtenet ruimtelijk inpasbaar is, zowel bovengronds als ondergronds. Verschillende beperkingen kunnen leiden tot extra kosten voor aanleg en onderhoud. Dit betekent dat er tijdens het uitwerken van de businesscase al nagedacht moet worden over de onder- en bovengrondse impact.

Eenzijds is er een impact onder de grond. Het aanleggen van warmtenetten neemt flinke ruimte in beslag. In veel gebieden in Nederland liggen al veel kabels en leidingen en is het niet altijd mogelijk om hier warmtenetleidingen aan toe te voegen. Het kan ook voorkomen dat de ondergrond instabiel is. Zeker in combinatie met kwetsbare gebouwen (zoals in historische binnensteden) kan dit een warmtenet belemmeren of leiden tot hogere kosten voor aanleg en onderhoud.

Bovengronds vraagt het warmteoverdrachtstation ruimte. In een warmteoverdrachtstation wordt de warmte van de warmteleiding overgedragen aan het warmtenet in een wijk of gebied. Dit vraagt ongeveer 10m² aan ruimte.

CO₂-uitstoot

De CO₂-uitstoot van een warmtenet hangt af van de duurzaamheid van de gebruikte warmtebronnen. Een warmtenet zorgt momenteel gemiddeld voor 60 procent minder CO₂-uitstoot dan cv-ketels op aardgas¹. De aanstaande Wet collectieve warmtevoorziening (Wcw) voorziet in een afbouw van de CO₂-uitstoot van warmtenetten door normering. Uiteindelijk moeten alle warmtenetten in 2050 CO₂-neutraal zijn conform de afspraken uit het Klimaatakkoord.

Overige aandachtspunten

Warmtenetten kunnen alleen gerealiseerd worden wanneer voldoende gebouw eigenaren besluiten aan te sluiten op het warmtenet, zodat de kosten over voldoende gebruikers verdeeld kunnen worden. Dit vraagt een intensief traject met veel onzekerheden, waarin verschillende stakeholders, gebouw eigenaren en inwoners met elkaar samenwerken.

2.2 All electric warmtepompen

Wat is het?

Een warmtepomp haalt warmte uit lucht, bodem of water en verhoogt deze warmte met elektriciteit tot de benodigde temperatuur. Hiermee verwarmt een warmtepomp via het cv-systeem een woning of gebouw. Een warmtepomp werkt op electriciteit.

Technische kenmerken

Tabel 2 bevat de technische kenmerken van verschillende soorten warmtepompsystemen. Ook bevat de tabel andere volledig elektrische systemen, zoals oplossingen met PVT- of infraroodpanelen.

De meeste warmtepompen verwarmen het water in het cv-systeem tot maximaal 55 graden. Er zijn echter ook warmtepompen die tot een

¹ Bron: [Milieucentraal](#)

hogere temperatuur verwarmen. Warm tapwater wordt, afhankelijk van de soort warmtepomp, door de pomp zelf of een thermisch element bereid. Warmtepompen die de verwarming van de woning en het tapwater volledig voor hun rekening nemen, heten ook wel een *all electric* warmtepomp. De meeste warmtepompen hebben momenteel een rendement van 300 tot 500 procent: met elke kWh energie aan elektriciteit wekt de warmtepomp 3 tot 5 kWh aan warmte op. Hoe groter het verschil tussen de temperatuur van de warmtebron en de benodigde temperatuur, des te lager het rendement.

Om woningen voldoende efficiënt en betaalbaar te verwarmen en van warm tapwater te voorzien met een warmtepomp is het nodig dat woningen voldoende geïsoleerd zijn. Zo is het warmteverlies laag genoeg om de woning met een lage temperatuur te verwarmen.

De levensduur van een warmtepomp wordt momenteel geschat op 15 tot 20 jaar. Afhankelijk van het onderhoud, type warmtepomp en de omstandigheden kan dit oplopen tot 25 jaar.

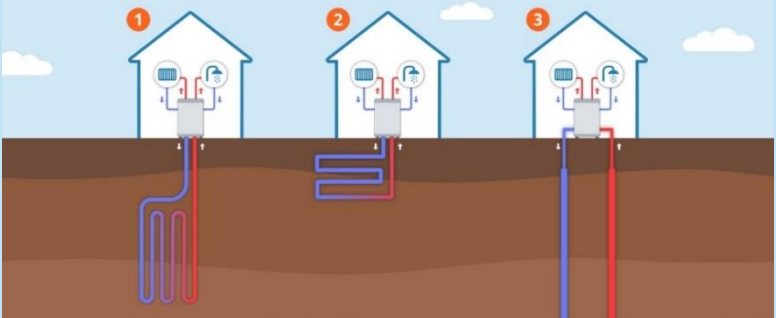
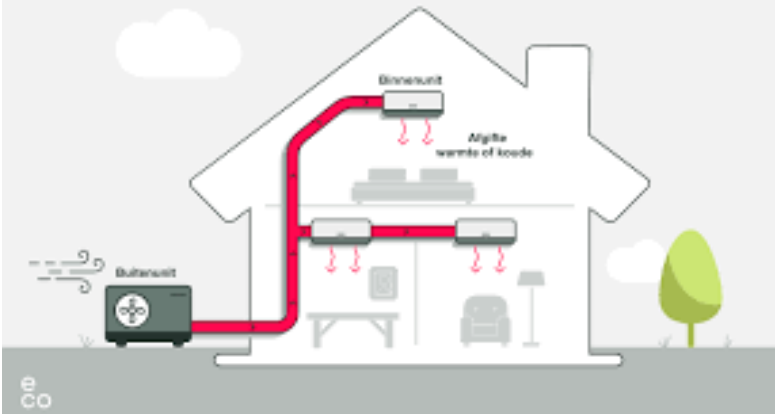
Financiële kenmerken

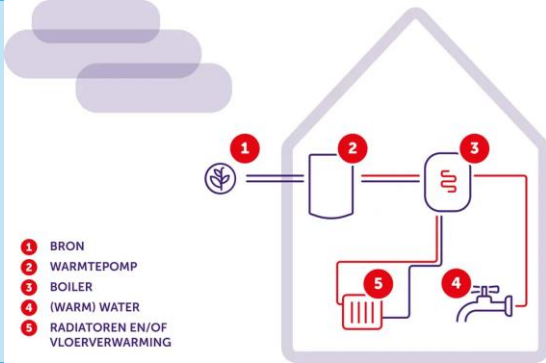
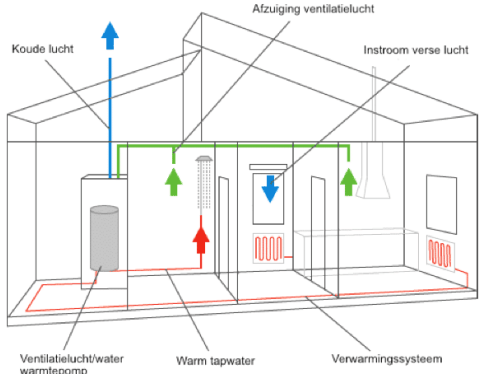
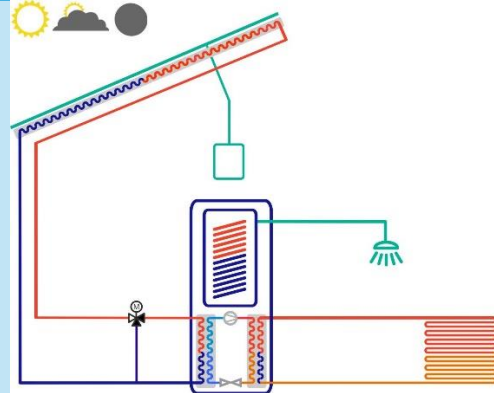
De kosten van een warmteoplossing met een warmtepomp bestaan uit verschillende onderdelen.

- Aanschaf: de aanschaf van de warmtepomp en eventuele andere onderdelen van het verwarmingssysteem, zoals PVT-panelen of infraroodpanelen voor lokale bijverwarming.
- Aanpassing woning: Voor de meeste warmtepompen geldt dat ze het water in het cv-systeem verwarmen tot 55 graden. Een woning moet daarom goed genoeg geïsoleerd zijn en een passend afgiftesysteem hebben voor lage temperatuurverwarming. De totale kosten voor het aanpassen van de woning lopen sterk uiteen en hangen af van de huidige isolatiegraad, het huidige afgiftesysteem en het gebruikersprofiel van de gebruikers van de woning.

- Verbruik: Een warmtepomp werkt op elektriciteit. De totale energiekosten hangen sterk af van de efficiëntie van de warmtepomp. Hoe hoger de geproduceerde hoeveelheid energie per kWh, des te lager de verbruikskosten. Wanneer een warmtepomp wordt gecombineerd met eigen zonnepanelen, zijn de verbruikskosten vaak lager, doordat een deel van de gebruikte elektriciteit zelf wordt opgewekt.
- Netwerkkosten: een woning die volledig met een warmtepomp wordt verwarmd, heeft geen aardgasaansluiting meer nodig voor verwarming. Zonder aardgasaansluiting bestaan de netwerk-kosten voor de woning enkel uit de kosten voor aansluiting op het elektriciteitsnet.
- Onderhoud: Een warmtepomp vraagt minder technisch onderhoud dan een cv-ketel, omdat er minder slijtage van onderdelen optreedt en er in een warmtepomp gemiddeld genomen minder verontreiniging optreedt. De informatie over het benodigd onderhoud en de kosten hiervan loopt sterk uiteen.

Tabel 2 Technische kenmerken verschillende warmtepompsystemen

Soort oplossing	Toelichting	Beeld
<p>Water-water</p>	<p>Warmte uit de ondergrond wordt gebruikt om een water-water warmtepomp te voeden. Middels een water-water warmtepomp in de woning wordt het cv-systeem verwarmd en warm tapwater bereid.</p> <p><i>Bron afbeelding: Slimster</i></p>	
<p>Lucht-lucht</p>	<p>Warmte uit de buitenlucht wordt gebruikt om een lucht-lucht warmtepomp te voeden. Middels een lucht-lucht warmtepomp in de woning wordt de woning per ruimte verwarmd.</p> <p>Een thermisch element verwarmt vervolgens het tapwater. Het is ook mogelijk om hiervoor een doorstroomboiler of zonneboiler in te zetten.</p> <p><i>Bron afbeelding: Eco heating</i></p>	

<p>Lucht-water</p>	<p>Warmte uit de buitenlucht wordt gebruikt om een warmtepomp te voeden. Middels een lucht-water warmtepomp in de woning wordt het cv-systeem verwarmd en warm tapwater bereid. Deze systemen hebben vaak een buitenunit.</p> <p><i>Bron afbeelding: Vereniging eigen huis</i></p>	 <p>1 BRON 2 WARMTEPOMP 3 BOILER 4 (WARM) WATER 5 RADIATOREN EN/OF VLOERVERWARMING</p>
<p>Ventilatielucht-water</p>	<p>Warmte uit de ventilatielucht in de woning wordt gebruikt om een warmtepomp te voeden. Middels een ventilatielucht-water warmtepomp in de woning wordt het cv-systeem verwarmd en warm tapwater bereid. De koude lucht wordt vervolgens centraal afgevoerd.</p> <p><i>Bron afbeelding: DHPS</i></p>	 <p>Atzuiging ventilatielucht Instroom verse lucht Koude lucht Ventilatielucht/water warmtepomp Warm tapwater Verwarmingssysteem</p>
<p>Individuele warmteconcepten met PVT-panelen</p>	<p>PVT-panelen op de daken van de woningen leveren de energie voor een warmtepomp. Deze warmtepomp gebruikt de energie vanuit de panelen om de woning te verwarmen en te voorzien van warm tapwater.</p> <p><i>Bron afbeelding: Triple Solar</i></p>	

**Infraroodpanelen
i.c.m. een
doorstroomboiler
of zonneboiler**

Een combinatie van infraroodpanelen per ruimte in de woning voor ruimteverwarming en een doorstroomboiler of zonneboiler voor de bereiding van warm tapwater.

Bron afbeeldingen: *Technea, B3 Heating, elektrische boiler.be*



Ruimtelijke impact

Een warmtepomp komt vaak op de plaats van een cv-ketel. In veel woningen is dat de meest voor de hand liggende plek. De ruimte waar eerst de cv-ketel hing moet groot genoeg zijn voor de warmtepomp en, afhankelijk van het type warmtepomp, een buffervat of warmwaterboiler.

Een lucht-lucht warmtepomp en lucht-water warmtepomp hebben ook een buitenunit. Er moet dan ruimte zijn in de tuin, op de gevel of op een andere plek dicht bij de woning. Om warmteverlies zo laag mogelijk te houden moet de afstand tot de aansluiting op het cv-systeem zo klein mogelijk zijn. Ook moet de buitenunit bereikbaar zijn voor onderhoud, reparatie en vervanging.

Buitenunits hebben ook invloed op de aanblik van een woning en de ruimte om de woning. Er is steeds meer aandacht voor en vraag naar het visueel goed inpassen van buitenunits. Bedrijven spelen hierop in door buitenunits te integreren in bijvoorbeeld schuttingen of te camoufleren als schoorsteen.

CO₂-uitstoot

De all-electric warmtepomp heeft geen directe CO₂-uitstoot. Wel moet er elektriciteit opgewekt worden om de warmtepomp te laten werken. De opwek van elektriciteit kán duurzaam (middels wind op land en zee of zon-PV), maar wordt ook nog deels met fossiele energiebronnen opgewekt. De uitstoot van een elektrische warmtepomp is dus afhankelijk van de nationale energiemix. Medio 2030 (en zeker in 2050) heeft de elektriciteitsmix een zeer lage CO₂-uitstoot vanwege 100% gebruik van duurzame bronnen.

Andere relevante milieueffecten

De buitenunits van warmtepompen produceren geluid. De geluidsproductie van warmtepompen met een buitenunit wordt

beïnvloed door verschillende factoren. Het vermogen van de warmtepomp bepaalt de snelheid van zowel de ventilator als de compressor. Als de warmtepomp meer vermogen heeft dan nodig is, zullen de ventilator en compressor op lagere snelheden werken en dus minder lawaai produceren. Daarnaast spelen het ontwerp van de warmtepomp en de grootte en vorm van de ventilatorbladen een rol in het geluidsniveau. Hierdoor kan het geluidsniveau aanzienlijk variëren per warmtepomp. Over het algemeen genereert een buitenlucht warmtepomp met een buitenunit ongeveer 55 tot 65 decibel aan geluid, vergelijkbaar met het geluid van een vaatwasser. Door het plaatsen van een ombouw kan het geluid worden gedempt. Zie hoofdstuk Kansen en beperkingen voor meer informatie over geluidsnormen.

2.3 Hybride warmtepompen

Wat is het?

Een hybride warmtepomp is een warmtepomp die wordt gebruikt in combinatie met een andere warmteoplossing.

Bij deze warmteoplossing wordt nu steeds aardgas verbruikt. Daarom is dit geen duurzame eindoplossing, maar een tussenstap richting duurzaam verwarmen. Een aantal modellen hybride warmtepompen kunnen met beperkte aanpassingen worden opgewaardeerd tot een warmtepomp die een woning jaarrond kan verwarmen en ook warm tapwater kan bereiden.

Technische kenmerken

Een hybride warmtepomp is een lucht-water warmtepomp. Zie tabel 3. Dit betekent dat de warmtepomp warmte uit de buitenlucht haalt en verhoogt, en deze warmte afgeeft aan het water in het cv-systeem.

Warmte uit de buitenlucht wordt gebruikt om het cv-systeem te verwarmen tot maximaal 55 graden. Hiermee kan een woning

grotendeels worden verwarmd. Een hybride warmtepomp heeft niet voldoende vermogen om woningen op koude dagen altijd voldoende te verwarmen. Op koude dagen levert een cv-ketel (op aardgas) extra warmte. Ook levert de cv-ketel warm tapwater. De meeste hybride warmtepompen hebben momenteel een rendement van 300 tot 500 procent: met elke kWh energie aan elektriciteit wekt de warmtepomp 3 tot 5 kWh aan warmte op. Hoe groter het verschil tussen de temperatuur van de warmtebron en de benodigde temperatuur, des te lager het rendement.

Hoe lager de benodigde aanvoertemperatuur van de warmte in het cv-systeem, des te hoger het percentage van de warmte die door de hybride warmtepomp wordt opgewekt. Dit hangt af van de isolatiegraad van de woning en het warmteafgiftesysteem. Vloerverwarming en convectoren zijn meestal effectiever voor verwarming op lage temperaturen dan radiatoren.

In veel gevallen is een hybride warmtepomp bij woningen vanaf label D of beter financieel interessant.

Hybride warmtepompen kunnen ook worden gebruikt in combinatie met andere warmtebronnen dan aardgas, wanneer deze beschikbaar zijn, zoals groen gas.

Financiële kenmerken

De kosten voor de aanschaf van een hybride warmtepomp liggen lager dan voor een volledige warmtepomp. Daartegenover staan de extra kosten voor aanschaf en onderhoud van een cv-ketel. Daarnaast blijven de netwerkkosten voor de aardgasaansluiting. Ten slotte zijn er verbruikskosten voor zowel het verbruik van elektriciteit als van aardgas.

In vergelijking met aardgas is de hybridewarmtepomp al in wat minder goed geïsoleerde woningen, vanaf label D, financieel rendabel. Voor een

volledig elektrische warmtepomp is dat alleen voor goed geïsoleerde huizen het geval.

Ruimtelijke impact

In vergelijking met een volledige warmtepomp neemt een hybride warmtepomp binnenshuis minder ruimte in beslag, doordat naast de binnenunit geen buffervat of warmteboiler wordt geplaatst. Daarnaast is de buitenunit vaak kleiner dan die van een volledige warmtepomp, omdat het vermogen lager is.

CO₂-uitstoot

De CO₂-uitstoot van een hybride warmtepomp in combinatie met een cv-ketel hangt af van het aandeel van de warmte dat door warmtepomp en cv-ketel wordt geproduceerd en de CO₂-uitstoot van de energiemix voor de geleverde elektriciteit (zie warmtepomp).

Een hybride warmtepomp levert in de meeste woningen 60 tot 80% van de warmtevraag voor woningverwarming. Daarmee draagt deze warmteoplossing bij aan een flinke verlaging van de CO₂-uitstoot voor de verwarming van een woning. Naarmate de CO₂-uitstoot voor elektriciteit afneemt, daalt de CO₂-uitstoot van deze warmteoplossing de komende jaren verder.

Andere relevante milieueffecten

Zie warmtepompen.

2.4 Hernieuwbare gassen

Wat is het?

Als alternatief voor aardgas kunnen groen gas of waterstof worden ingezet als duurzame warmteoplossing.

Groen gas

Groen gas wordt geproduceerd uit organisch materiaal, zoals biomassa of dierlijke mest. Hieruit wordt biogas geproduceerd, dat wordt gezuiverd en verbeterd tot groen gas. Groen gas heeft dezelfde eigenschappen en kwaliteit als aardgas.

Waterstof

Waterstof is een gasvormige energiedrager die wordt geproduceerd uit verschillende energiebronnen. Er wordt onderscheid gemaakt tussen grijze waterstof (uit aardgas), groene waterstof (door elektrolyse uit zonne-energie, windenergie of waterkracht) en blauwe waterstof (uit aardgas met CO₂-opslag). Voor toepassing als duurzame warmteoplossing komen alleen groene en blauwe waterstof in aanmerking.

Technische kenmerken

Groen gas

Voor het transport en levering van groen gas kan het bestaande aardgasnetwerk gebruikt worden. In de woning wordt groen gas in een cv-ketel verbrand voor de productie van warmte, net zoals aardgas. De cv-ketel levert zowel warmte voor het cv-systeem als warm tapwater. Alle woningen en gebouwen die geschikt zijn voor verwarming met aardgas, zijn geschikt voor verwarming met groen gas.

Waterstof

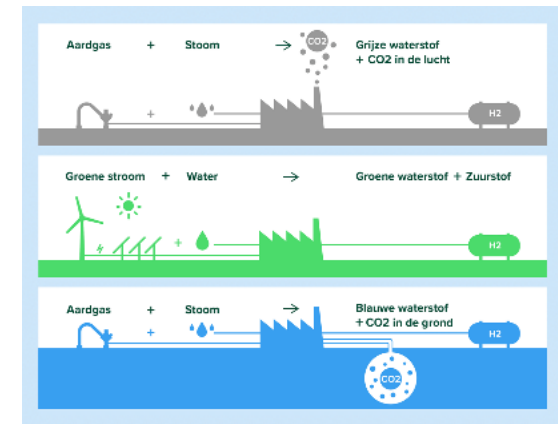
Waterstof kan bewerkt worden bijgemengd met aardgas en kan in principe worden getransporteerd via het bestaande aardgasnetwerk. Er is nader onderzoek nodig om te achterhalen of het aardgasnetwerk op onderdelen moet worden aangepast voor veilig transport van waterstof. Ook kan pure waterstof zonder aanpassing via een apart netwerk

worden geleverd aan gebouwen. In de woning vraagt dit een aangepaste cv-ketel zodat de waterstof overgezet kan worden in warmte.

De productie en transport van waterstof kost energie. Cijfers over het rendement van groene waterstof door elektrolyse variëren. De meeste bronnen noemen een rendement tussen 65% en 80%. Bij het verbranden van waterstof in een ketel (zoals we nu de cv-ketel kennen) is nagenoeg geen rendementsverlies¹. Ter vergelijking, het rendement van warmtepompen ligt, afhankelijk van de omstandigheden vaak tussen 300% en 500%.².

Beschikbaarheid groen gas en waterstof

De beschikbaarheid van zowel groen gas als waterstof is momenteel zeer beperkt. Schattingen laten zien dat ook in 2030 - 2050 de beschikbaarheid van groen gas voor de gebouwde omgeving waarschijnlijk zodanig beperkt is dat het slechts een klein deel van de



Figuur 2 bron: Milieu Centraal

woningen kan verwarmen³. De beschikbaarheid van groen gas wordt opgeschaald door de bijmengverplichting in het aardgasnetwerk voor de gebouwde omgeving. Conform het Nationaal Plan Energiesysteem is groen gas nadrukkelijk bedoeld voor woningen en gebouwen waarvoor een andere warmteoplossing moeilijk te realiseren is⁴.

¹ Bron: [Waterstof](#), NPLW. [Waterstofproductie](#), TU Delft

² Bron: [Warmtepomp](#), RVO

³ Bron: [Beschikbaarheid Groen Gas](#), NPLW (2024). [Groen Gas voor de gebouwde omgeving](#), CE Delft (2021).

⁴ Bron: [Nationaal Plan Energiesysteem](#), Rijksoverheid

Ook de beschikbaarheid van groene waterstof voor woningen is onzeker en waarschijnlijk beperkt¹. Het rijk zit in op het gebruik van groene waterstof voor in de chemische en voor hogetemperatuur-processen in de energieintensieve industrie.

Financiële kenmerken

De opbouw van de kosten voor warmte uit groen gas of waterstof lijkt sterk op die van verwarming met aardgas. Er zijn kosten voor aanschaf en onderhoud van een cv-ketel, verbruikerskosten voor duurzame gassen en netwerkkosten voor zowel een elektriciteits- als een gasaansluiting.

Ruimtelijke impact

Een voordeel van het gebruik van groen gas en groene waterstof is dat de bestaande infrastructuur kan worden gebruikt (onder voorwaarden). De ruimtelijke impact is niet anders dan bij het huidige aardgasnet.

CO₂-uitstoot

Groen gas

Groen gas wordt gemaakt van organische grondstoffen zoals mest, rioolslib en voedselresten. Net als biomassa wordt groen gas beschouwd als CO₂-neutrale energiebron, omdat de CO₂-uitstoot onderdeel is van een korte koolstofkringloop: de CO₂ is recent opgenomen in de organische materialen en wordt ook weer opgenomen door nieuw organisch materiaal².

Waterstof

De CO₂-uitstoot van waterstof is afhankelijk van hoe het geproduceerd wordt (zie technische kenmerken). Groene waterstof (uit hernieuwbare energiebronnen) wordt beschouwd als CO₂-neutraal. Bij blauwe waterstof wordt CO₂ die vrijkomt bij de productie afgevangen en

opgeslagen. Het percentage afgevangen CO₂ varieert momenteel tussen 55% en 90%¹.

¹ Bron: [Waterstof](#), NPLW

² Bron: [CO₂ emissiefactoren](#), CO₂ emissiefactoren

3. Ruimtelijke mogelijkheden en belemmeringen

Iedere duurzame warmteoplossing heeft een andere ruimtelijke impact. Als tweede stap in dit onderzoek kijken we daarom naar de relevante ruimtelijke mogelijkheden, beperkingen en ontwikkelingen in de gemeente die van invloed kunnen zijn op de keuze van de duurzame warmteoplossingen in de verschillende gebieden.

Nieuwbouw

De komende jaren is op verschillende locaties in gemeente Renkum nieuwbouw gepland. Nieuwbouw van woningen en gebouwen kunnen invloed hebben op de mogelijkheden voor collectieve warmteoplossingen in bestaande bouw, doordat het bijdraagt aan de benodigde schaal en warmtevraag om een warmtenet haalbaar te maken. Nieuwbouw wordt altijd duurzaam verwarmd.

Als nieuwbouwwoningen geen koeling nodig hebben, zou eventueel aansluiting op een midden- of hoogtemperatuur warmtenet kunnen, al dan niet samen met bestaande woningen. Is er wel koeling nodig? Dan zijn warmtepompen of WKO een optie. Een WKO-systeem kan worden gebruikt voor een collectieve oplossing.

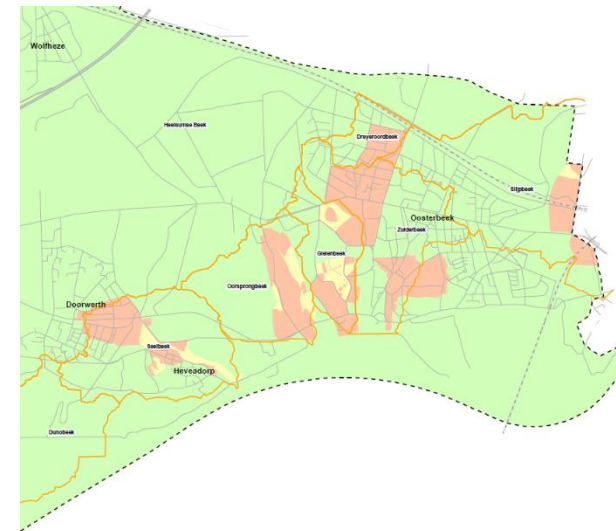
Ruimte in de ondergrond voor warmtenetten

Voor warmtenetten geldt dat er voldoende ruimte in de ondergrond moet zijn om de warmtebuizen aan te leggen. In de ondergrond is ongeveer een ruimte van 150 cm bij 120 cm nodig om een warmtenet te kunnen aanleggen op een diepte van 1 meter.

Bescherming grondwaterstromingen gemeente Renkum

In gemeente Renkum is er daarnaast ook specifiek beleid om ondergrondse grondwaterstromingen te beschermen. Hierbij wordt specifiek iets gezegd over de mogelijkheid tot het plaatsen van bouwwerken tot een diepte van 5 meter. Er gelden beperkingen in Oosterbeek,

Doorwerth en nabij Heveadorp. In de rest van de gemeente gelden geen specifieke gemeentelijke beperkingen. In de praktijk betekent het dat enkele puntboringen in deze gebieden mogelijk zouden kunnen zijn. Daarnaast is het realiseren van grote WKO-systemen in deze gebieden onder dit beleid onwaarschijnlijk.



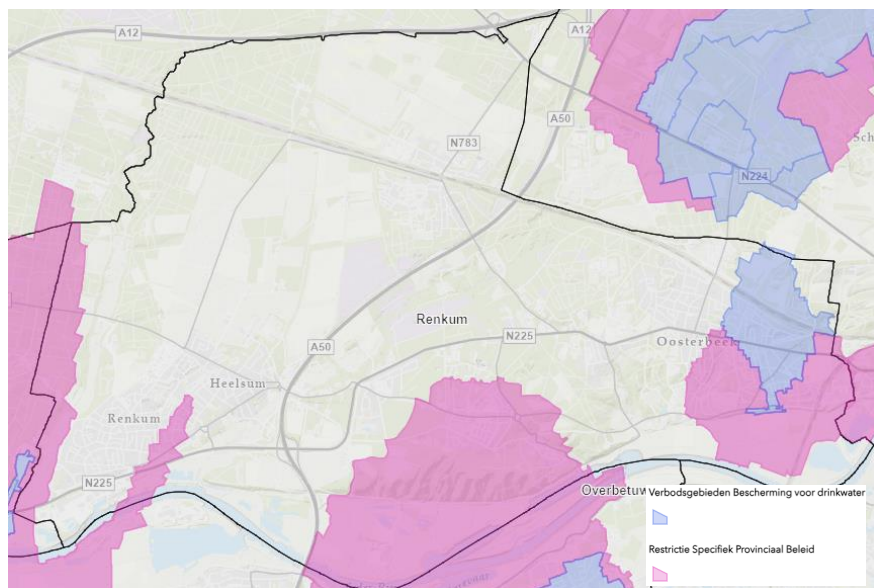
Figuur 3 Beleid omtrent de bescherming van grondwaterstromingen. De Groene gebieden hebben geen beperkingen. Voor de oranje gebieden geldt een beschermingszone: hier is geohydrologisch onderzoek nodig voor een eventuele bouwvergunning. Voor de gele gebieden geldt net als in de oranje gebieden een beschermingszone. Hier geldt aanvullend een verbod vanwege de bestemming Bos- en natuurgebied

WKO-systemen

Verbodsgebieden en restricties

Naast het specifieke gemeentelijke beleid is er ook regionaal beleid dat geldt voor gemeente Renkum. Er is een verbodsgebied voor de bescherming van drinkwater in Oosterbeek (figuur 7). Hier zijn boringen in de bodem niet mogelijk. Daarnaast geldt er ook specifiek Provinciaal beleid rondom grondwateronttrekkingen. De roze gebieden (figuur 4) zijn

boringsvrije zones waarbij kleilagen die het onderliggende grondwater beschermen niet mogen worden doorboord (Provinciale milieuverordening Gelderland).

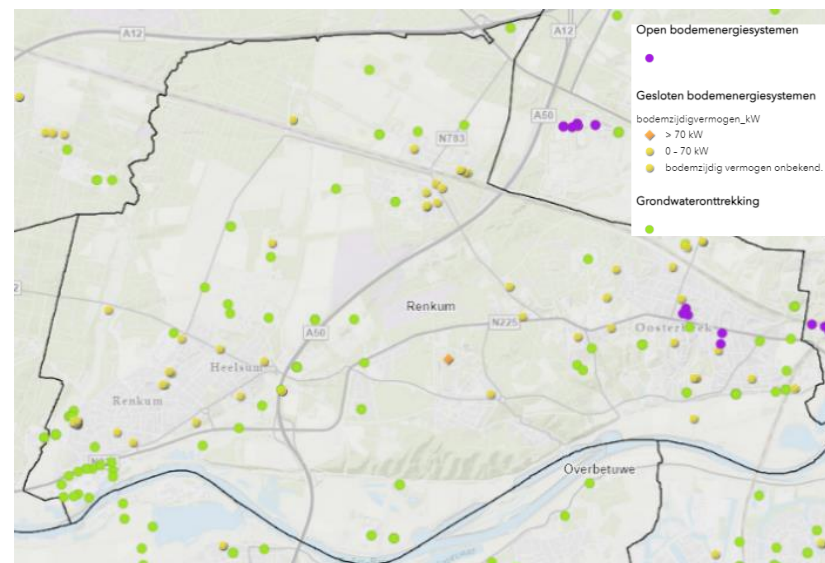


Figuur 4 Verbods- en restrictiegebieden voor grondwateronttrekking vanuit drinkwaterbedrijven en Provinciaal beleid

Bestaande bodemenergiesystemen en grondwateronttrekkingen

In de gemeente zijn al diverse bodemenergiesystemen bekend. Wat opvalt is dat enkele energiesystemen zich begeven in de verbodsgebieden van de provincie en drinkwaterbeschermingsgebieden.

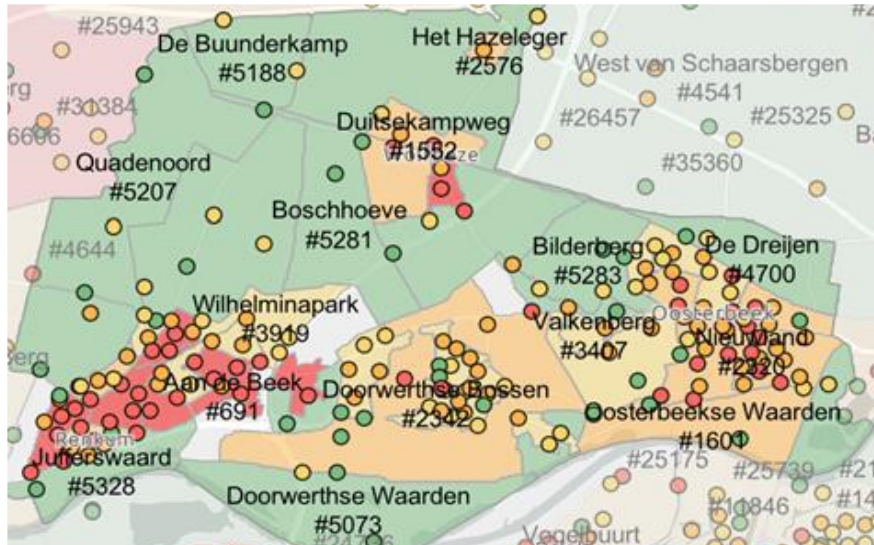
De open bodemenergiesystemen hebben vaak een enkele boring met een grote diameter. De gesloten systemen zijn vaak systemen met één of meerdere kleinere boringen. De open systemen zijn geschikt voor grotere afname van warmte en voor koeling. De gesloten systemen zijn geschikt voor kleinere afnames (groepen woningen of utiliteit).



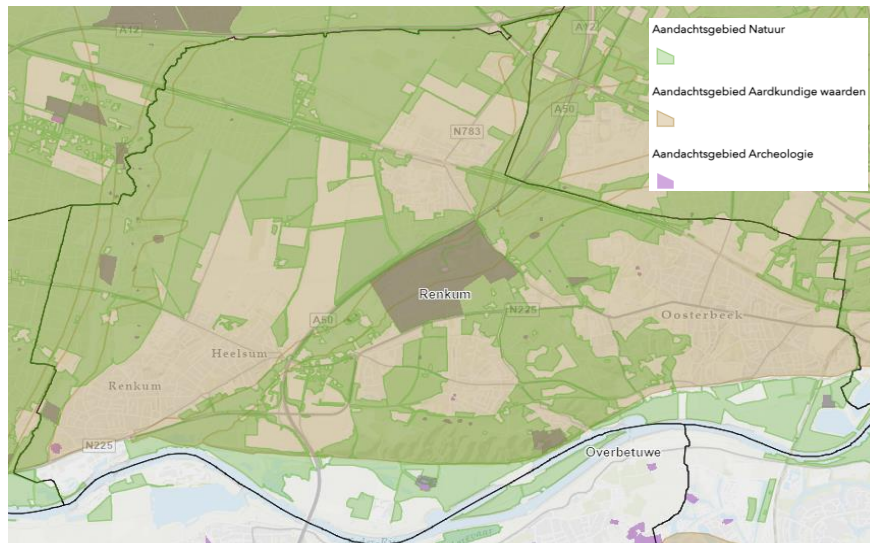
Figuur 5 Bestaande gesloten en open bodemenergiesystemen in gemeente Renkum

Aandachtsgebieden voor natuur, aardkundige waarden en archeologie

Verder zijn er gebieden waar rekening gehouden moet worden met bepaalde waarden in het landschap die behouden moeten blijven. Om hieraan de slag te kunnen moeten deze elementen worden meegenomen in de vergunningsaanvragen bij de provincie. De natuurgebieden zijn de gebieden van Natuurnetwerk Nederland (NNN). Het aandachtsgebied voor Aardkundige waarden is wat minder specifiek. De duiding hiervan moet opgevraagd worden bij de provincie.



Figuur 6 Het urgentieniveau voor het uitbreiden van de elektriciteitsinfrastructuur



Figuur 7 Aandachtsgebieden voor grondwateronttrekking in gemeente Renkum.

Netcongestie

Extra elektriciteitsinfrastructuur nodig

De warmtetransitie heeft impact op het elektriciteitsnet. We zien dat door warmtepompen de pieken in het elektriciteitsverbruik met name in de winter zullen toenemen. Deze pieken komen nog boven op het toenemende elektriciteitsverbruik door andere ontwikkelingen zoals de transitie naar elektrisch vervoer, elektrisch koken, en bedrijven die elektrificeren. Wanneer de maximale capaciteit van het elektriciteitsnet in gebieden wordt bereikt, ontstaat netcongestie. In de praktijk kan dit betekenen dat de benodigde elektriciteit op piekmomenten niet kan worden geleverd, waardoor bijvoorbeeld warmtepompen afgeschakeld worden. De netbeheerder investeert de komende jaren in het verzwaren van het elektriciteitsnet in wijken.

Locatie

Figuur 6 geeft de krapte op het elektriciteitsnet medio 2024 weer in de wijken in gemeente Renkum. In de rode gebieden is de krapte het hoogst. Dit zijn vooral gebieden in Renkum, Oosterbeek en Wolfheze. Liander voorziet dat hier in de periode tot 2032 het net wordt verzwakt. De ruimte op het elektriciteitsnet verandert continu, door voortdurende elektrificatie en verzwaring van het elektriciteitsnet. In het kader van de warmtetransitie is het daarom belangrijk om deze periodiek te monitoren en het beleid daarop af te stemmen.

Inzichten met de Buurtanalysetool van Liander

Netbeheerder Liander biedt met de Buurtanalysetool inzicht in de benodigde extra middenspanningsruimtes (MSR's) om de warmtetransitie mogelijk te maken in verschillende scenario's. Ze hebben een scenario ontwikkeld voor een gebouwde omgeving die helemaal overgaat op mid-temperatuurwarmtenetten, en een scenario waarin gebouwen volledig verwarmd worden met warmtepompen. In de scenario's is rekening gehouden met andere ontwikkelingen, zoals de elektrificatie van de

verwarming van woningen en een groeiende laadvraag voor elektrische auto's.

Woningcorporatiebezit

Organiseren van collectiviteit

In het algemeen geldt dat collectieve warmteprojecten eenvoudiger te organiseren zijn in gebieden waarbij je met een kleine groep gebouweigenaren te maken hebt, maar wel een groot woningbezit. Dit zijn vaak gebieden met een hoog percentage sociale huurwoningen van een woningcorporatie. Woningcorporaties fungeren vaak als startmotor van collectieve warmteprojecten. Zij worden vaak vroegtijdig betrokken bij collectieve warmteprojecten. Als een woningcorporatie wenst aan te sluiten op een toekomstig warmtenet, wordt de haalbaarheid van het project groter ingeschat.

Beleid en regelgeving

Regels rondom geluid van warmtepompen

In Renkum gelden alleen de landelijke regels rondom de geluidsnormering van warmtepompen¹. De norm is dat een bij de woning geplaatste installatie, zoals een warmtepomp, geluid produceert dat niet meer is dan 40 dB, gemeten op de erfgrans.

Regels rondom welstand van warmtepompen en airco's

In Renkum geldt nog geen specifiek beleid rondom de zichtbaarheid van airco's en buitenunits van warmtepompen. De gemeente is van plan om bij de herziening van de Welstandsnota, of vooruitlopend hierop, uitgangspunten op te nemen voor de plaatsing van warmtepompen.

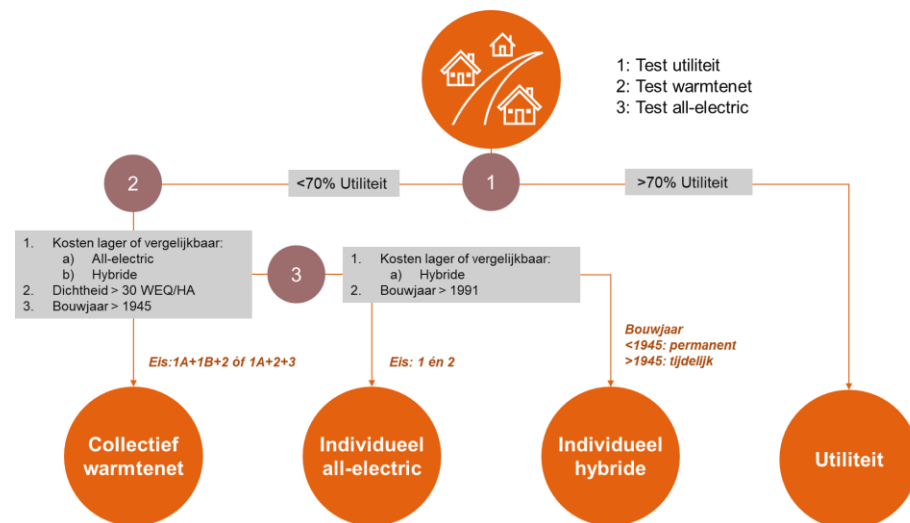
¹ Bron: [Geluid van bouwwerkinstallaties](#), Informatiepunt Leefomgeving

4. Resultaten model

In dit hoofdstuk kijken we naar de werking en de resultaten van het Warmtetransitiemodel. Ook staan we stil bij de aannames en beperkingen die in het model zitten.

Het Warmtetransitiemodel (WTM) wordt gebruikt voor de bepaling van de voorkeurswarmteoplossing per gebied. Het WTM is een financieel-technisch rekenmodel dat aan de basis stond van de Transitievisie Warmte in bijna 100 gemeenten. Vooruitkijkend naar de Warmteprogramma's is het model geüpdatet, zodat de inputwaarden weer voldoen aan de huidige standaarden.

Hieronder volgt een korte toelichting van de werking van het model, in bijlage 1: toelichting wtm is een uitgebreide uitleg terug te vinden.



Figuur 8 stroomschema afweegkader WTM

4.1 Toelichting werking model

Het model onderscheidt de volgende warmteoplossingen:

- Collectief warmtenet
- Individueel all-electric
- Individueel hybride
Waarbinnen een onderscheid wordt gemaakt in woningen die op termijn over zullen gaan op all-electric en woningen waar een alternatieve bron zal moeten worden gezocht
- Utiliteit

Voor elk gebied worden de nationale kosten van deze vier warmteopties bepaald op basis van de kenmerken van de bebouwing van het gebied. Het model onderscheidt 30 verschillende gebouw- en woningtypes en bevat per woningtype actuele (kosten)kengetallen voor de verschillende warmteoplossingen.

Voor het bepalen van de totale nationale kosten wordt gebruikt gemaakt van een netto contante waarde-berekening voor 30 jaar die alle kosten in de energieketen, van bron tot eindgebruiker, meeneemt. Welke kosten allemaal worden meegenomen staat toegelicht in bijlage 1: toelichting wtm.

De nationale kosten worden in combinatie met een aantal andere kenmerken (dichtheid, bouwjaar en percentage utiliteit) van een gebied in het afweegkader getoetst op elk van de warmteoplossingen (**Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**). Hieruit volgt een voorkeurswarmte-alternatief per gebied.

4.2 Kostenkengetallen, aannames en marges

Om een realistisch beeld te schetsen van de nationale kosten rekenen we met kostenkengetallen. Dit wil zeggen dat we een aanname doen van wat we verwachten dat een realistische kostenrange is voor de verschillende warmteopties in de gebouwtypes. Deze kostenranges zijn gebaseerd op vakliteratuur (onder andere Digipesis van RVO) en input van opdrachtgevers en warmtebedrijven.

Benodigde isolatie en maatregelen in woning

We onderscheiden twee isolatieniveaus, een basis isolatieniveau (warmtevraag van maximaal 70 KWh/m², passend bij een midden temperatuur warmtenet of hybride oplossing) en een vergaand isolatieniveau (warmtevraag van maximaal 45 KWh/m², passend bij een all-electric oplossing). Op basis van het bouwjaar van de woning, indien beschikbaar in combinatie met het energielabel, is bepaald welke maatregelen er nodig zijn om de isolatieniveaus te behalen. Voor elk van deze maatregelen zijn gemiddelde kosten per vierkante meter bepaald. Het gaat hier bijvoorbeeld om het isoleren van vloeren, muren, daken en vervangen van glas en kozijnen (zie bijlage 1: toelichting wtm).

Daarnaast zijn er nog andere maatregelen in de woning nodig, zoals aanpassingen aan de ventilatie, vervangen van radiatoren en een aansluiting om elektrisch te koken.

Kosten infrastructuur, installatie en energie

Voor de realisatie van de aardgasvrije oplossing moeten er aanpassingen gedaan worden aan de lokale infrastructuur en installatie in de woning. Per woning doen we een schatting van de kosten voor het aanleggen en aansluiten van het warmtenet, aanschaf, installatie en onderhoud van een warmtepomp en het afsluiten van de gasleiding.

Als laatste kostenpost kijken we naar de kosten voor energie en de verwachte ontwikkeling hiervan in de komende jaren. Afhankelijk van het benodigde isolatieniveau wordt de toekomstige warmtevraag van woningen berekend. Deze warmtevraag, de prijs voor energie (gas, elektra en warmte) en het vastrecht samen, stelt ons in staat de energiekosten op jaarbasis uit te rekenen. We beginnen hierbij met de huidige energieprijzen, maar deze zullen gaan veranderen in de komende 30 jaar. Op basis van de trends van afgelopen jaren wordt een aanname gedaan over de verwachte toename van energieprijzen.

Marge nationale kosten

Het WTM is, net als elk ander rekenmodel, een versimpelde weergave van de werkelijkheid waarin een aantal aannames en beperkingen zitten. Zo werken we met gemiddelden en soms schattingen wat betreft de kosten en de ontwikkeling hiervan. De lokale situatie, en daarmee de totale nationale kosten, kan hiervan afwijken.

Om deze reden wordt er niet alleen naar de warmteoplossing met de laagste nationale kosten gekeken maar hanteren we hierbij een marge. Als er in een gebied qua kenmerken twee warmteoplossingen zouden passen en de kosten vergelijkbaar zijn is het de moeite waard om beide oplossingen te onderzoeken in de lokale context. Welke nationale kosten als vergelijkbaar worden gezien is in overleg met de opdrachtgever bepaald. Deze maximaal toegestane marge is aan te passen in het afweegkader.

4.3 Waardes afweegkader en resultaten

Het model bepaalt aan de hand van het afweegkader (**Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**) welke warmteoplossing de voorkeur heeft op basis van de kenmerken van een gebied en nationale kosten van de verschillende oplossingen. Qua kenmerken neemt het model het percentage utiliteit, de dichtheid van de bebouwing en de mediaan van het bouwjaar van de bebouwing mee. In

bijlage 2: extra kaarten en tabellen, staan kaarten met de kenmerken van de gebieden weergegeven. Voor het bepalen van de voorkeurswarmteoplossing zijn drie varianten van de inputwaardes in het afweegkader bekeken (tabel 3).

Variatie marge nationale kosten

De eerste inputwaarde waar we naar hebben gekeken is de maximaal toelaatbare marge in nationale kosten tussen twee warmteoplossingen. Zoals hierboven toegelicht kan de lokale situatie wat afwijken van de standaardwaardes die in het model worden gebruikt. In de eerste variant is de maximale marge ingesteld op maximaal 2.5% verschil tussen de totale nationale kosten (gemiddelde ca €100.000 per woning) van de warmteopties over een periode van de 30 jaar.

In een aantal gebieden zagen we dat het verschil tussen een warmtenet en all-electric in het model net hoger was dan deze 2.5%. Gezien de ligging van het gebied, dicht bij een potentiële warmtebron, of overige kenmerken zou een warmtenet hier toch geschikt kunnen zijn (bijvoorbeeld in de wijk Hogenkamp in het dorp Renkum). In variant 2 en 3 hebben we de toegestane marge tussen warmtenet en all-electric daarom op 5% ingesteld. Hierdoor kan een warmtenet als voorkeursoplossing uit de bus komen bij gebieden waar de kosten tot 5% hoger zijn, mits de overige kenmerken goed passen bij een warmtenet.

Variatie dichtheid bebouwing warmtenet

Voor een lokaal warmtenet geldt dat dit het beste past in gebieden met een hogere dichtheid van gebouwen. Als standaardwaarde wordt een minimum dichtheid van 30 WEQ/Ha aangehouden voor de realisatie van een warmtenet. Deze waarde is gebruikt in het afweegkader in variant 1 en 2.

Daarnaast zien we in de praktijk terug dat een collectieve oplossing, zoals een warmtenet, een hogere kans van slagen heeft als er in een

gebied een groot deel corporatiewoningen staan. Deels omdat dit vaak een hogere dichtheid met zich meebrengt, maar ook omdat de woningcorporatie als startmotor kan dienen voor de aansluiting in het gebied. Deelname van een woningcorporatie betekent namelijk dat direct een groot percentage van de woningen in zo'n gebied kan worden aangesloten. Dat vergroot de kans dat het minimum percentage aan te sluiten woningen wordt bereikt om het warmtenet te kunnen realiseren.

Voor een aantal gebieden in de gemeente geldt dat de dichtheid lager is dan 30 WEQ/Ha maar dat hier een relatief hoog percentage woningen in het eigendom van de woningcorporatie is (bijvoorbeeld in de wijken De Enk en Onder de Bomen in het dorp Renkum). In variant 3 hebben we de minimum dichtheid daarom verlaagd naar 25 WEQ/Ha.

Tabel 3 versies inputwaardes afweegkader

		V1	V2	V3
1	Utiliteit vanaf utiliteit opp. %.	70%		
2.1a	Marge kosten warmtenet/all-electric	2.5%	5.0%	
2.1b	Marge kosten warmtenet/hybride	2.5%		
2.2	Lokaal warmtenet vanaf dichtheid	30	25	
2.3	Lokaal warmtenet vanaf mediaan bouwjaar	1945		
3.1	Marge kosten all-electric/hybride	2.5%		
3.2	Individueel all-electric vanaf med. bouwjaar	1991		
-	Jaar verandering hybride in AE	2040		

4.4 Resultaat en duiding

De drie varianten van waardes in het afweegkader leveren verschillen op in de uitkomsten van het model in vier gebieden. Deze vier wisselen van een individuele oplossing in variant 1 naar een collectieve warmtenet oplossing in variant 2 of 3. Voor de overige 29 gebieden blijft het resultaat van het model gelijk. In bijlage 2: extra kaarten en tabellen staan de resultaten per variant weergegeven.

Voorkeurswarmteoplossing

De voorkeurswarmteoplossing geeft aan wat een logische warmteoplossing is in een gebied op basis van de resultaten van het Warmtetransitiemodel. Deze resultaten zijn afhankelijk van de nationale kosten per warmteoplossing, de dichtheid en bouwjaar van de bebouwing en het percentage utiliteitsgebruik.

Voor de gebieden waar een warmtenet als oplossing in één of meerdere varianten van het afweegkader naar voren komt is er aanleiding om vervolgonderzoek te verrichten. Om deze reden classificeren we de voorkeurswarmteoplossing hier als ‘Lokaal warmtenet – onderzoeksgebied’. Dit wil niet zeggen dat er perse een warmtenet komt. Andersom is dat wel het geval, komt een warmtenet er in geen van de drie varianten als oplossing uit, dan kan er vanuit worden gegaan dat er op gebiedsniveau geen warmtenet komt. Op lager schaalniveau zijn er misschien nog wel mogelijkheden voor zogenaamde mini-warmtenetjes.

In figuur 9 is de verdeling van buurten naar voorkeurswarmteoplossing weergegeven en figuur 10 laat dit op kaart zien. Hieronder lichten we de resultaten per oplossing nader toe.

All-electric

In vijf gebieden, samen 4% van de woningequivalenten, heeft een all-electric warmtepomp als voorkeursoplossing en is op korte termijn al aardgasvrij te maken. Dit betreft met name de gebieden met nieuwere bebouwing.

Hybride

In negentien gebieden, samen 49% van de woningequivalenten, is een hybride warmtepomp de voorkeursoplossing. Deze woningen zullen in de toekomst ook geschikt gemaakt moeten worden voor een all-electric oplossing.

In de wijk Talud in Oosterbeek past ook een hybride warmtepomp, maar gezien het bouwjaar van de bebouwing is de verwachting dat veel woningen in dit gebied niet makkelijk het benodigde isolatieniveau kunnen behalen voor een all-electric oplossing. De eindoplossing van dit gebied kan nu nog niet worden bepaald.



Figuur 9 Verdeling Buurten en % WEQ naar voorkeurswarmteoplossing

Voor de gebieden met een individuele oplossing geldt dat niet elke woning zich leent voor de aangegeven voorkeursoplossing. In een later stadium kan op gebouwniveau worden bepaald wat passend is.

Onderzoeksgebied warmtenet

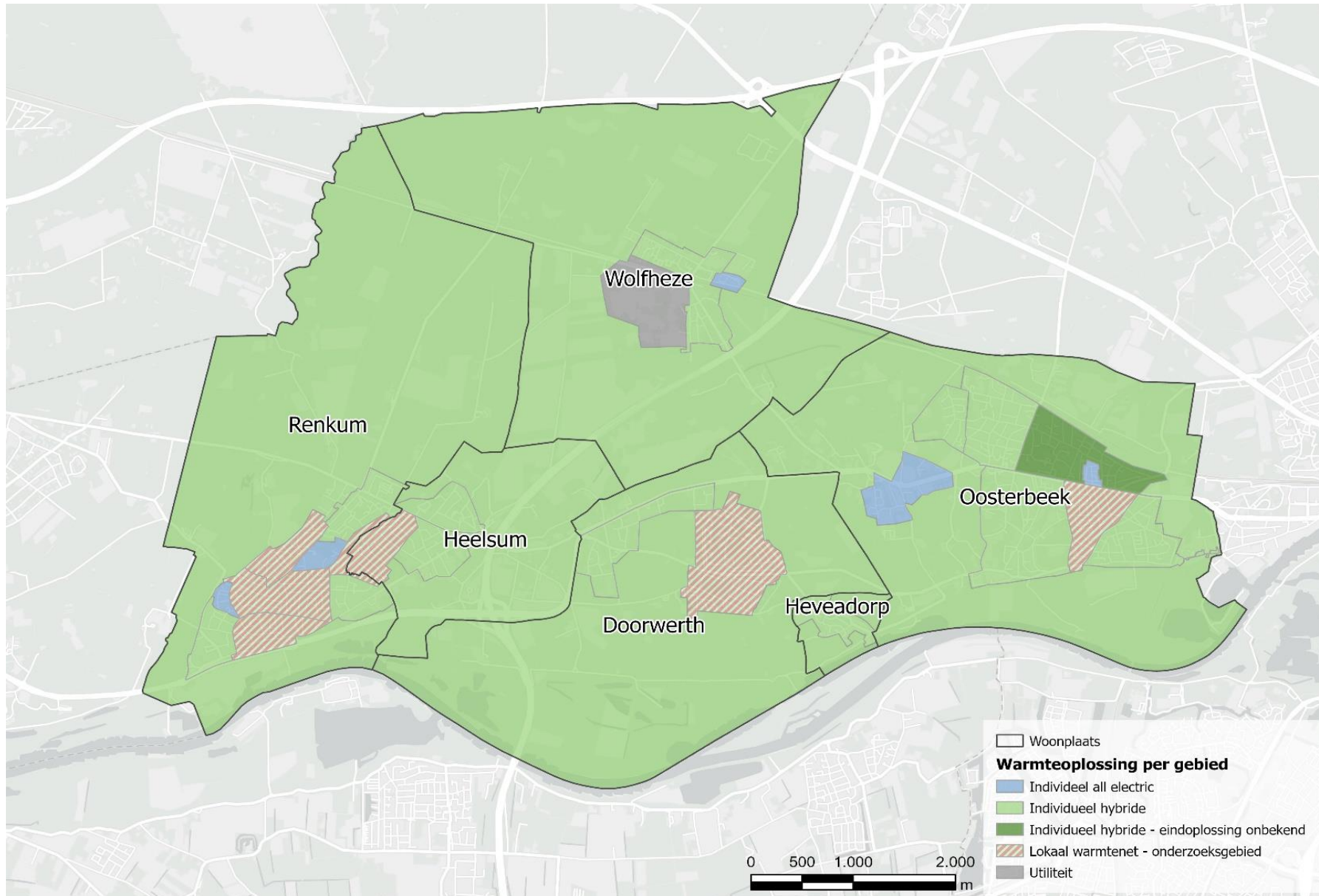
Voor zeven gebieden, 37% van de woningequivalenten, is een warmtenet een mogelijke oplossing. Dit zijn gebieden waar aanleiding is

vervolgonderzoek uit te voeren naar de financiële en technische haalbaarheid van een warmtenet vergeleken met een individuele oplossing.

Vervolg

De resultaten van het WTM zijn afhankelijk van de actuele kosten, en is daarom onderhevig aan veranderingen door de tijd. De voorkeursoplossingen die zijn getoond laten het beeld zien van de huidige situatie. Bij het uitvoeren van vervolgonderzoek kan het zijn dat de resultaten wat veranderen door de kosten die op dat moment gangbaar zijn en de totale nationale kosten die dat met zich meebrengt.

Voor de gebieden die in de varianten van het afweegkader wisselen van een individuele oplossing naar een collectieve oplossing geldt dat de nationale kosten van de verschillende oplossing dichtbij elkaar liggen. Een kleine verandering in kosten kan daarmee al een groot gevolg hebben op de uitkomsten van het model en daarmee op de voorkeurswarmteoplossing.



Figuur 10 voorkeurswarmteoplossing per gebied

5. Conclusies en aanbevelingen

In de voorgaande hoofdstukken hebben we de volgende stappen gezet:

- We hebben in kaart gebracht welke verschillende duurzame warmteoplossingen bestaan voor de gebouwde omgeving en hun kenmerken beschreven;
- We hebben verkend welke ruimtelijke en andersoortige mogelijkheden en beperkingen in de gemeente aanwezig zijn, die van invloed kunnen zijn op de keuze van de voorkeursoplossing voor duurzame warmte;
- We hebben geanalyseerd welke warmteoplossing de voorkeur heeft op basis van nationale kosten en andere kenmerken van de onderzochte gebieden.

De opbrengsten van het onderzoek helpen de gemeenten Renkum om richting te geven aan de uitvoering van de lokale warmtetransitie. Vanaf 2021 heeft de gemeente de uitvoering vormgegeven volgens het uitvoeringsprogramma van de Transitievisie Warmte. Zie figuur 16. Op basis van de uitkomsten van dit onderzoek doen wij aanbevelingen voor de uitvoering tot en met 2026. Daarnaast doen wij aanbevelingen met het oog op het Warmteprogramma dat de gemeente uiterlijk in 2026 vaststelt onder de Omgevingswet.

Stem het uitvoeringsplan af op de resultaten van dit onderzoek. De uitkomsten van onze analyse met het Warmtetransitiemodel laten zien welke duurzame warmteoplossing per geselecteerd gebied de voorkeur heeft. Wij adviseren om voor het herijken van het uitvoeringsprogramma deze resultaten als uitgangspunt te nemen. Op basis daarvan doen wij de volgende aanbevelingen.



Figuur 11 Uitvoeringsprogramma Transitievisie Warmte gemeente Renkum 2021-2026

Onderzoeken warmtenet

Uit onze analyse blijkt dat in een aantal gebieden een warmtenet kansrijk is op basis van nationale kosten en fysieke kenmerken van de gebouwde omgeving. In die gebieden zijn de nationale kosten voor individuele warmtepompen met hybride als tussenstap lager dan die van een warmtenet. Echter, het verschil in nationale kosten is lager dan 5 procent. Daarom concluderen wij dat een warmtenet in die gebieden kansrijk kan zijn. In die gebieden adviseren wij om op korte termijn duidelijkheid te geven aan eigenaren en gebruikers van woningen en gebouwen of in deze gebieden een warmtenet haalbaar is. Met andere woorden: komt er wel of geen warmtenet in die wijk of buurt? Wij adviseren daarom om op korte termijn via vervolgonderzoek de haalbaarheid van warmtenetten meer in detail te onderzoeken. Houd daarbij rekening met koppelkansen met geplande nieuwbouw in deze gebieden.

In de eerste plaats geldt dit voor een aantal wijken in Renkum. Voor die kern is al een eerste haalbaarheidsonderzoek uitgevoerd en is een grote restwarmtebron dichtbij aanwezig. De volgende stap is om gezamenlijk

met de woningcorporatie Vivare, Parenco en betrokken inwoners meer gedetailleerd haalbaarheidsonderzoek te doen naar de businesscase voor het warmtenet en specifieke gebieden. Werk in dit proces de precieze gebiedsafbakening verder uit.

Ook in de gebieden Doorwerth-Zuid/Cardanuslaan en Nieuwland in Oosterbeek is een warmtenet op basis van ons model de voorkeursoplossing. In deze gebieden is op basis van de beschikbare gegevens echter geen (duurzame) warmtebron beschikbaar met voldoende capaciteit om een warmtenet te voeden. Om duidelijkheid te bieden aan eigenaren en inwoners in deze gebieden adviseren wij om te onderzoeken of (op termijn) duurzame warmtebronnen mogelijk geschikt zijn voor een warmtenet in die gebieden. Denk aan (diepe) aardwarmte (geothermie) of aquathermie. Blijkt uit dit onderzoek dat een passende warmtebron beschikbaar is? Dan adviseren wij in samenspraak met partners in het gebied meer gedetailleerde haalbaarheidsonderzoeken uit te voeren. Wanneer geen warmtebron beschikbaar is, is een warmtenet niet haalbaar. In dat geval is ook in dat gebied de voorkeursoplossing een warmtepomp, al dan niet met hybride warmtepompen als tussenstap.

Doorwerth Clusterwoningen: uit het onderzoek blijkt dat de voorkeursoplossing voor Clusterwoningen als gebied op zich warmtepompen zijn met hybride warmtepompen als tussenstap. Wanneer we de clusterwoningen opnemen in het gebied Doorwerth Zuid/Cardanuslaan is de voorkeursoplossing voor dit hele gebied een warmtenet. Wij adviseren daarom om Clusterwoningen mee te nemen in het vervolgonderzoek voor Doorwerth Zuid.

Wijkuitvoeringsplannen

Momenteel ontwikkelt de gemeente in een aantal wijken een wijkuitvoeringsplan. Dit doet zij samen met inwoners en andere stakeholders. In deze gebieden onderzoekt de gemeente verschillende warmtealternatieven. Wij adviseren om de resultaten uit ons onderzoek te benutten om

voor deze gebieden de voorkeursoplossing te bepalen, in samenspraak met betrokkenen. Deel de uitkomsten van dit onderzoek met betrokkenen en bepaal in samenspraak wat dit betekent voor de warmteoplossingen in het gebied. Wanneer de gemeente in deze wijkaanpakken momenteel meerdere warmteopties onderzoekt, adviseren wij om de resultaten van dit onderzoek mee te nemen in het proces om een warmteoplossing te kiezen.

Heveadorp, Stenenkruis en Bato's wijk (start 2025): in deze gebieden zijn warmtepompen met een hybride warmtepomp als tussenstap de voorkeursoplossing met de laagste nationale kosten. Dit betekent dat een groot deel van de woningen eerst de stap maakt naar verwarming met een hybride warmtepomp in combinatie met een cv-ketel op aardgas. Vervolgens stappen deze woningen geheel over op warmtepompen voor zowel verwarming van de woning als warm tapwater. Een deel van de woningen kan (met aanpassingen) direct overgaan naar volledig verwarmen met een warmtepomp. Hoewel in deze gebieden individuele warmteoplossingen de voorkeursoplossing zijn, kan een wijkuitvoeringsplan waardevol zijn. Ten eerste om de opgebouwde samenwerking met inwoners in die wijken te benutten. In sommige wijken onderzoekt de gemeente kleine collectieve oplossingen. Het is zinvol om dit voort te zetten, zodat duidelijk wordt of kleine collectieve oplossingen kansrijk zijn voor bepaalde groepen woningen. Daarnaast kan de gemeente via een wijkuitvoeringsplan meer inwoners activeren om over te stappen op een (hybride) warmtepomp, zodra dit mogelijk is. Dit versnelt de CO₂-reductie. Aanvullend op een gemeentelijke aanpak voor (hybride) warmtepompen (zie verderop in dit hoofdstuk), adviseren wij daarom met dit netwerk een dorps- of wijkgerichte aanpak op te zetten om woningen klaar te maken voor (hybride) warmtepompen en de overstap te maken naar duurzaam verwarmen.

Gemeentebreed

Voor een groot deel van de gebieden in de gemeente Renkum zijn de nationale kosten het laagst voor verwarmen met individuele warmtepompen met hybride warmtepomp (in combinatie met aardgas) als tussenstap voor de komende jaren. Net als voor Heveadorp, Stenenkruis en Bato's wijk betekent dit dat een groot deel van de woningen eerst overstapt op hybride verwarmen (warmtepomp met cv-ketel) en vervolgens op volledig verwarmen met een warmtepomp. Een kleiner deel van de woningen kan direct de overstap maken naar een warmtepomp zonder aanvullende verwarming met een cv-ketel.

In deze gebieden kunnen inwoners dus zelf aan de slag met duurzaam verwarmen. Zij weten namelijk dat er geen warmtenet komt. Voor het uitvoeringsprogramma adviseren wij voor deze gebieden een gemeentebrede aanpak op te zetten om warmtepompen te stimuleren. Dit stimuleert inwoners om over te stappen op een (hybride) warmtepomp, zodra dit technisch en financieel mogelijk is. Dit verlaagt direct het gebruik van aardgas en de CO₂-uitstoot. Combineer deze aanpak met activiteiten om woningen klaar te maken voor duurzaam verwarmen, zoals betere isolatie en warmteafgiftesystemen. Dat helpt inwoners om de overstap te maken.

Wij adviseren dat de gemeente een gemeentebrede aanpak aanvult met gebiedsgerichte activiteiten in een dorp, wijk of buurt. Bijvoorbeeld in gebieden met bewonersinitiatieven, zoals in Stenenkruis en Clusterwoningen in Doorwerth. Maar ook gebieden met veel woningen met dezelfde (technische) kenmerken kunnen baat hebben bij een specifieke aanpak. De gemeente kan daar juist haar invloed uitoefenen op het versnellen van de warmtetransitie. Door actief de samenwerking met inwoners en bestaande netwerken in wijken op te zoeken en inwoners actief te ondersteunen bij het verduurzamen van hun woning. Zo benut de

gemeente de kracht van de gemeenschap en geeft het inwoners het nodige vertrouwen om de stap te zetten naar duurzaam verwarmen.

Talud Oosterbeek

Voor het gebied Talud in Oosterbeek is volgens ons onderzoek hybride verwarmen de eindoplossing met de laagste nationale kosten. Veel woningen in dit gebied zijn ook op de lange termijn niet geschikt om volledig te verwarmen met een warmtepomp tegen aanvaardbare kosten. Dit komt vooral door de hoge leeftijd van deze woningen, waardoor zij onvoldoende te isoleren zijn. Deze woningen kunnen vaak wel voldoende worden geïsoleerd om te verwarmen met een hybride warmtepomp in combinatie met een cv-ketel. Een kleiner deel van de woningen in het gebied is op termijn echter wel technisch geschikt voor volledig verwarmen met een warmtepomp.

Het is op dit moment niet te zeggen hoe in de eindoplossing voor deze woningen aan de volledige warmtevraag van deze woningen wordt voldaan (aanvullend op de hybride warmtepomp.) Vaak wordt groen gas genoemd als eindoplossing voor deze gebieden. De beschikbaarheid en kosten van groen gas op de lange termijn zijn onzeker. Het is nu niet realistisch in te schatten of deze oplossing voor dit gebied haalbaar is. Het is echter wel duidelijk dat veel woningen de stap kunnen maken naar hybride verwarmen. Voor het uitvoeringsprogramma adviseren wij daarom in dit gebied een aanpak op te zetten om hybride warmtepompen te stimuleren. Dit kan de gemeentelijke aanpak zijn die wij hierboven benoemen. Met name oude woningen, die technisch minder goed te verduurzamen zijn, vragen vaak maatwerk. De gemeente kan in haar ondersteuningsaanbod voor deze woningen specialistisch advies aanbieden.

Warmtepompen: afstemmen op het elektriciteitsnet

De overstap van de cv-ketel naar een (hybride) warmtepomp vergroot de belasting van het elektriciteitsnet. Met name het hoge vermogen van

warmtepompen die een woning volledig verwarmen zorgt voor een hoge piekvraag van elektriciteit. In steeds meer gebieden leidt de hogere vraag naar elektriciteit in wijken tot problemen. De netbeheerder heeft hier inzicht in en breidt de komende jaren het net uit. In het kader van de wijkuitvoeringsplannen is er al afstemming tussen de gemeente en de netbeheerder. Voor het uitvoeringsprogramma adviseren wij om ook de activiteiten voor het stimuleren van (hybride) warmtepompen af te stemmen met de netbeheerder. Mogelijk blijkt hieruit dat het verstandig is om in bepaalde gebieden volledige warmtepompen voorlopig niet te stimuleren.

Doorkijk naar het warmteprogramma

Tot slot staan we kort stil bij wat de uitkomsten van dit onderzoek betekenen voor het Warmteprogramma, dit is de opvolger van de Transitievisie Warmte. Het Warmteprogramma is een programma onder de Omgevingswet, waarin de gemeente beschrijft hoe zij de komende 10 jaar vormgeeft aan de lokale warmtetransitie. In het Warmteprogramma moet de gemeente in ieder geval aangeven voor welke gebieden zij de intentie heeft om in de periode tot 2035 de aanwijsbevoegdheid in te zetten. Dit betekent dat de gemeente voor die gebieden op een gegeven moment besluit de aardgaslevering af te sluiten. Deze bevoegdheid is onderdeel van de Wet gemeentelijke instrumenten warmtetransitie. Deze wet is nog niet definitief vastgesteld.

De inschatting is dat gemeenten deze aanwijsbevoegdheid vooral zullen inzetten voor gebieden waar een warmtenet wordt gerealiseerd. Hierboven doen wij de aanbeveling om op korte termijn de vervolgonderzoeken te doen naar de haalbaarheid van warmtenetten in de gebieden waar deze kansrijk is. Aansluitend daarop adviseren wij om de uitkomsten van deze onderzoeken te gebruiken om te bepalen in welke gebieden de gemeente daadwerkelijk een warmtenet wil realiseren en óf en wanneer zij hiervoor de aanwijsbevoegdheid wil inzetten.

Daarnaast is het Warmteprogramma een uitgesproken middel om concreet te maken hoe de gemeente de komende jaren de lokale doelen voor de warmtetransitie gaat behalen. Daarom adviseren wij om de voorkeursoplossing voor duurzame warmte uit dit onderzoek als uitgangspunt te nemen voor het Warmteprogramma. Daarnaast doen wij de aanbeveling om de eerdergenoemde activiteiten, zoals vervolgonderzoek naar warmtenetten en een gemeentelijke (en gebiedsgerichte) aanpak voor warmtepompen op te nemen in het Warmteprogramma.

Bijlage 1: Toelichting WTM

Het Warmtetransitiemodel (WTM) is een financieel-technisch model dat wordt gebruikt voor de bepaling van de passende aardgasvrije warmteoplossingen per gebied. Het model geeft beleidsmakers, adviseurs, energieleveranciers en netwerkbedrijven de inzichten en instrumenten die zij nodig hebben om de transitie te maken naar een aardgasvrije leefomgeving.

Gebouwendatabase

Aan de basis van het model ligt een landelijke database van gebouwen. Deze database is gebaseerd op de Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG) van het Kadaster. Deze gebouwendatabase is verrijkt met gegevens uit verschillende bronnen. Zo bevat gebouwendatabase voor alle gebouwen in Nederland informatie over onder andere:

- Bouwjaar, bouwtype en eigendomssituatie
- Buurtkenmerken, zoals dichtheid en WOZ-waarde
- Energieverbruik en energieprestatie
- Investeringsbandbreedtes voor verschillende bouwkundige en energetische maatregelen

Het Warmtetransitiemodel maakt vrijwel geheel gebruik van openbare data uit betrouwbare bronnen. Daarnaast kan het model worden aangevuld met eigendomsgegevens van bijvoorbeeld woningcorporaties. De gebouwendatabase wordt aangevuld met kengetallen over energieprestatie, investeringskosten, besparingspotentie en opbrengsten van maatregelen. Deze kengetallen worden bepaald afhankelijk van het type en bouwjaar van een gebouw. Deze combinatie van het type en bouwjaar wordt een sleuteltype genoemd, het WTM onderscheidt 30 sleuteltypes met elk eigen kengetallen.

Berekening nationale kosten

Het model maakt gebruik van een netto contante waarde-berekening voor 30 jaar die alle kosten in de energieketen, van bron tot eindgebruiker, meeneemt. Het model berekent voor elke woning of utiliteitspand in een gebied wat de verwachte kosten en opbrengsten zijn voor de verschillende warmteopties. Deze kosten worden doorgerekend voor de komende 30 jaar.

De kosten die worden meegenomen:

- Bouwkundige kosten: isolatie van de muren, vloeren en het dak. Vervangen van glas/kozijnen. Aanpassing ventilatie, radiatoren, groepenkast en benodigdheden voor elektrisch koken.
- Infrastructurele en installatiekosten: afsluitkosten gas, onrendabele top warmtenet, kosten aanschaf en installatie warmtepomp, aanpassing van elektriciteitsnet. Hierbij zijn ook kosten voor vervangen reparatie meegenomen.
- Verbruikskosten: kosten vastrecht netbeheerder, kosten voor elektriciteits-, warmte- en (tijdelijk) gas, afhankelijk van het benodigde isolatieniveau en de toekomstige warmtevraag van woningen.

Het optellen van alle kosten en besparingen per woning per gebied voor een periode van 30 jaar leidt tot een som, waarbij de sommen van de verschillende warmteopties vergeleken kunnen worden om de optie met de laagste nationale kosten te vinden.

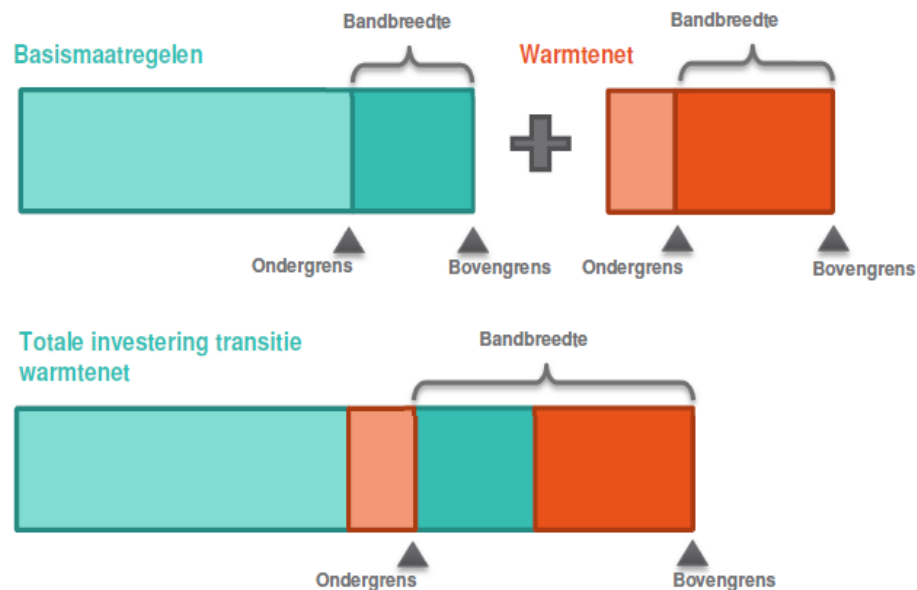
Bandbreedtes in investeringskosten en besparingen

Alle investeringskosten worden uitgedrukt in een bandbreedte met een onder- en bovengrens. Deze bandbreedte is nodig omdat er onzekerheid schuilt in de kengetallen. Die onzekerheid heeft te maken met de volgende beïnvloedende factoren:

- Bestaande prijsverschillen op de markt

- Marktontwikkelingen zoals schaarste en inzetbaarheid van personeel, materiaal, etc.
- Het al dan niet benutten van natuurlijke momenten voor investeringen (woningrenovatie, aanpakken van de riolering, etc.)
- Reeds getroffen maatregelen in de woning
- Afwijking van de kengetallen als gevolg van sterk afwijkende woningen

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



Figuur 12 Bandbreedte investering warmtenet

Bouwkundige kosten

Om ervoor te zorgen dat gebouwen in de toekomst klaar zijn voor een overstap naar warmte met een lagere temperatuur – tussen de 35°C en 70°C – is het een randvoorwaarde dat gebouwen voldoende geïsoleerd zijn, en dat ze overgaan op elektrisch koken. Dit wordt ook wel het “transitie gereed” maken van de woningvoorraad genoemd: woningen moeten aangepast worden voor de verwarming van de toekomst.

Het isoleren van de woningvoorraad vergt grote investeringen en zal gefaseerd uitgevoerd moeten worden. Door de ingrepen gelijktijdig uit te voeren met verbouw en onderhoud zullen de kosten lager uitvallen. Bouwkundige maatregelen kunnen getroffen worden onafhankelijk van de warmteoptie. Zo kan een huis altijd beter geïsoleerd en geventileerd worden, ongeacht de warmteoptie. Warmteopties kunnen echter wel vragen om een minimaal niveau van bouwkundige maatregelen vanwege vraag en aanbod van de afgiftetemperatuur. Zo vraagt all-electric om meer vergaande bouwkundige maatregelen dan een warmtenet met een aanvoertemperatuur van 70°C.

Isolatie niveaus

Hoe dikker de “schil” om een woning, hoe minder warmteverlies. Dat zorgt ervoor dat je een slecht geïsoleerde woning niet met lagere temperaturen kan verwarmen: er gaat te veel warmte naar buiten en de woning wordt niet warm. We onderscheiden twee isolatieniveaus in de route naar aardgasvrij, namelijk basisisolatie en vergaande isolatie. Hieronder zijn de maatregelen die horen bij deze isolatieniveaus aangegeven.

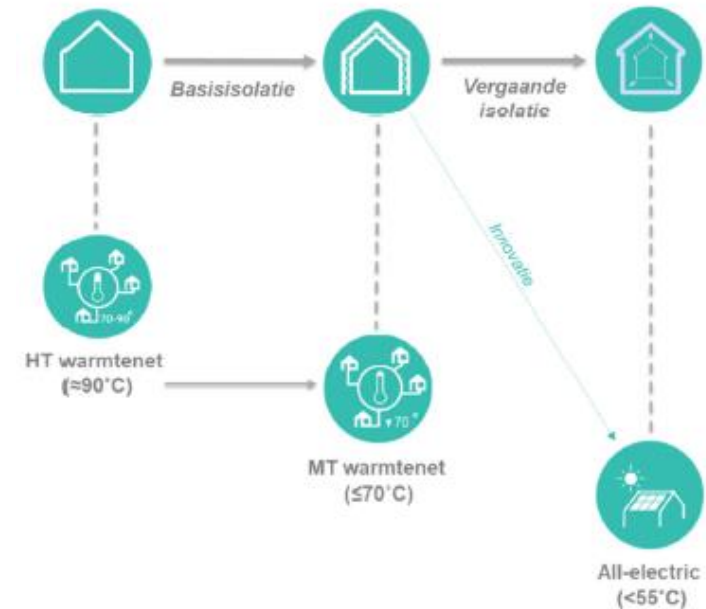
Basisisolatie: Isolatie van vloer, spouwmuur, binnenkant dak, HR++ glas, kieren dichten en toepassen van mechanische ventilatie*.

Vergaande isolatie: Isolatie van vloer, buitengevel en buitenkant dak, nieuwe kozijnen met HR+++ glas, ventilatie met warmteterugwinning¹.

De mate waarin een woning is geïsoleerd is een belangrijke indicatie met welk type warmteoplossing een woning verwarmd kan worden, zoals is weergegeven in figuur 13. Voor een woning die niet of weinig geïsoleerd is kan een warmtenet met een hoge temperatuur warmtebron een uitkomst bieden. Om over te stappen op een warmtenet op zogenaamde midden temperatuur (verwarming van de woning met 70°C of minder) is het noodzakelijk dat er basisisolatie is toegepast. Om een woning elektrisch te kunnen verwarmen moet de woning vergaand geïsoleerd zijn en moet de woning uitgerust zijn met een lage temperatuur verwarmingssysteem en een naverwarmingssysteem voor het warme water uit de kraan (tapwater).

Onderstaande tabel geeft aan wat de temperatuur en warmtevraag is bij de verschillende isolatieniveaus.

Mate van isolatie	Benodigde temperatuur	Warmtevraag Ruimteverwarming	Warmtevraag tapwater
Basisisolatie	55 °C - 70 °C	45 – 70 kWh/m ²	15 – 25 kWh/m ²
Vergaande isolatie	35 °C – 55 °C	20 – 45 kWh/m ²	15 – 25 kWh/m ²



Figuur 13 Isolatie niveau gekoppeld aan warmteopties

¹ Kijk voor meer informatie over deze maatregelen op www.milieucentraal.nl

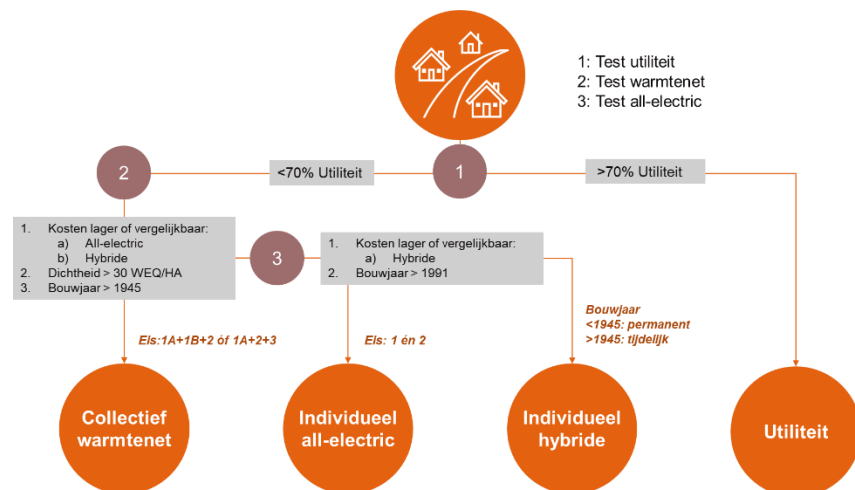
Bepaling voorkeurswarmteoplossing

Warmteopties

Warmteopties zijn alternatieven voor verwarming met aardgas in de gebouwde omgeving. Het Warmtetransitiemodel kent vier verschillende warmteopties: Het model onderscheidt de volgende warmteoplossingen:

- Collectief warmtenet
- Individueel all-electric (volledige warmtepomp)
- Individueel hybride (hybride warmtepomp)
Waarbinnen een onderscheid wordt gemaakt in woningen die op termijn over zullen gaan op all-electric en woningen waar een alternatieve bron zal moeten worden gezocht
- Utiliteit

Het warmtenet en hybride oplossing vragen minimaal om basis isolatiemaatregelen. All-electric vraagt bij de huidige stand van de techniek minimaal om vergaande isolatiemaatregelen.



Figuur 14 Afweegkader WTM

Afweegkader

Aan de bepaling van de voorkeurswarmteoplossing ligt een afweegkader ten grondslag. Hierbij worden de nationale kosten van de verschillende warmteopties vergeleken met de kenmerken van het gebied (dichtheid, bouwjaar en percentage utiliteit). Het afweegkader is schematisch weergegeven in Figuur 14 Afweegkader WTM.

1. De eerste stap in het afweegkader is dat er onderscheidt wordt gemaakt tussen gebieden met een hoog percentage utiliteitsgebouwen. De kengetallen en warmteoplossingen in het WTM zijn afgestemd voor woningen en daarom niet altijd passend voor utiliteit en industrie.
2. In de tweede stap wordt gekeken of een warmtenet passend is een gebied. Ten eerste worden nationale kosten getoetst, wanneer een warmtenet goedkoper is dan of vergelijkbaar is met de andere opties, vinden er twee checks plaats: een check op de minimale dichtheid en check op het gemiddelde bouwjaar van het gebied. Indien aan die twee voorwaarden wordt voldaan zal het model warmtenet rapporteren als de voorkeursoplossing.
3. In stap drie wordt gekeken naar de bebouwing waar een warmtenet niet de voorkeur heeft gekregen. Ten eerste kijken we weer naar de nationale kosten. We kijken of all-electric goedkoper is dan of vergelijkbaar is met hybride. Daarnaast wordt er ook getoetst op het gemiddelde bouwjaar. Als het gebied voldoet aan beide voorwaarden wordt all-electric als voorkeursoplossing gerapporteerd.
4. Enkel de gebieden die niet aan de voorwaarden van stap 2 en 3 voldoen komen op de hybride optie uit. De reden hiervoor is dat hernieuwbaar gas aan schaarste onderhevig is en naar verwachting geen grootschalige toepassing zal vinden in de gebouwde omgeving. Onze verwachting is dat dit een oplossing zou kunnen zijn voor oude historische bebouwing omdat het hier niet altijd mogelijk is een

geschikt isolatieniveau te behalen dat nodig is voor een all-electric oplossing. Voor nieuwere bebouwing met een hybride voorkeursoplossing is de verwachting dat deze stapsgewijs van hybride naar een all-electric oplossing kunnen gaan.

Marge nationale kosten

Voor veel gebieden zijn in werkelijkheid meerdere oplossingen mogelijk, omdat gebieden niet homogeen zijn en omdat de nationale kosten voor de verschillende opties dichtbij elkaar kunnen liggen. Het is belangrijk om te noemen dat de uitkomsten van het model zijn gebaseerd op de huidige stand van de techniek. Dit geeft dus een richting maar kan met voortschrijdend inzicht aangepast worden.

Daarnaast geldt dat het WTM, net als elk ander rekenmodel, een versimpelde weergave van de werkelijkheid is, waarin een aantal aannames en beperkingen zitten. Zo werken we met gemiddelden en soms schattingen wat betreft de kosten en de ontwikkeling hiervan. De lokale situatie, en daarmee de totale nationale kosten, kan hiervan afwijken.

Om deze reden wordt er in het afweegkader niet alleen naar de warmteoplossing met de laagste nationale kosten gekeken maar hanteren we hierbij een marge wanneer we de kosten vergelijkbaar achten. Als er in een gebied qua kenmerken twee warmteoplossingen zouden passen en de kosten vergelijkbaar zijn is het de moeite waard om beide oplossingen te onderzoeken in de lokale context. Welke nationale kosten als vergelijkbaar worden gezien is in overleg met de opdrachtgever bepaalt. Deze maximaal toegestane marge is aan te passen in het afweegkader.

Gebruikte bronnen WTM

Bron	Onderdeel
RVO	Woningtypen en -specificaties (Voorbeeldwoningen)
	Energie labels en index (EP-Online)
	Digipesis, kostenkengetallen
CBS	Wijk- en Buurtindeling
	Kerncijfers postcodegebieden (zescijferig)
	Gemiddelde gas- en elektraprijzen en ontwikkeling
Kadaster	Basisregistratie Adressen en Gebouwen
	Basisregistratie Topografie (TOP10NL)
ACM	Prijsinformatie energie
Nibud	Energieverbruiken, prijsinformatie
Regionale netbeheerders	Kleinverbruiksdata, vastrechtkosten
Milieucentraal	Kenmerken isolatieniveaus, kosten aardgasvrije oplossingen
Arcadis	Marktkennis investeringskosten, besparingen en prestatie van maatregelen

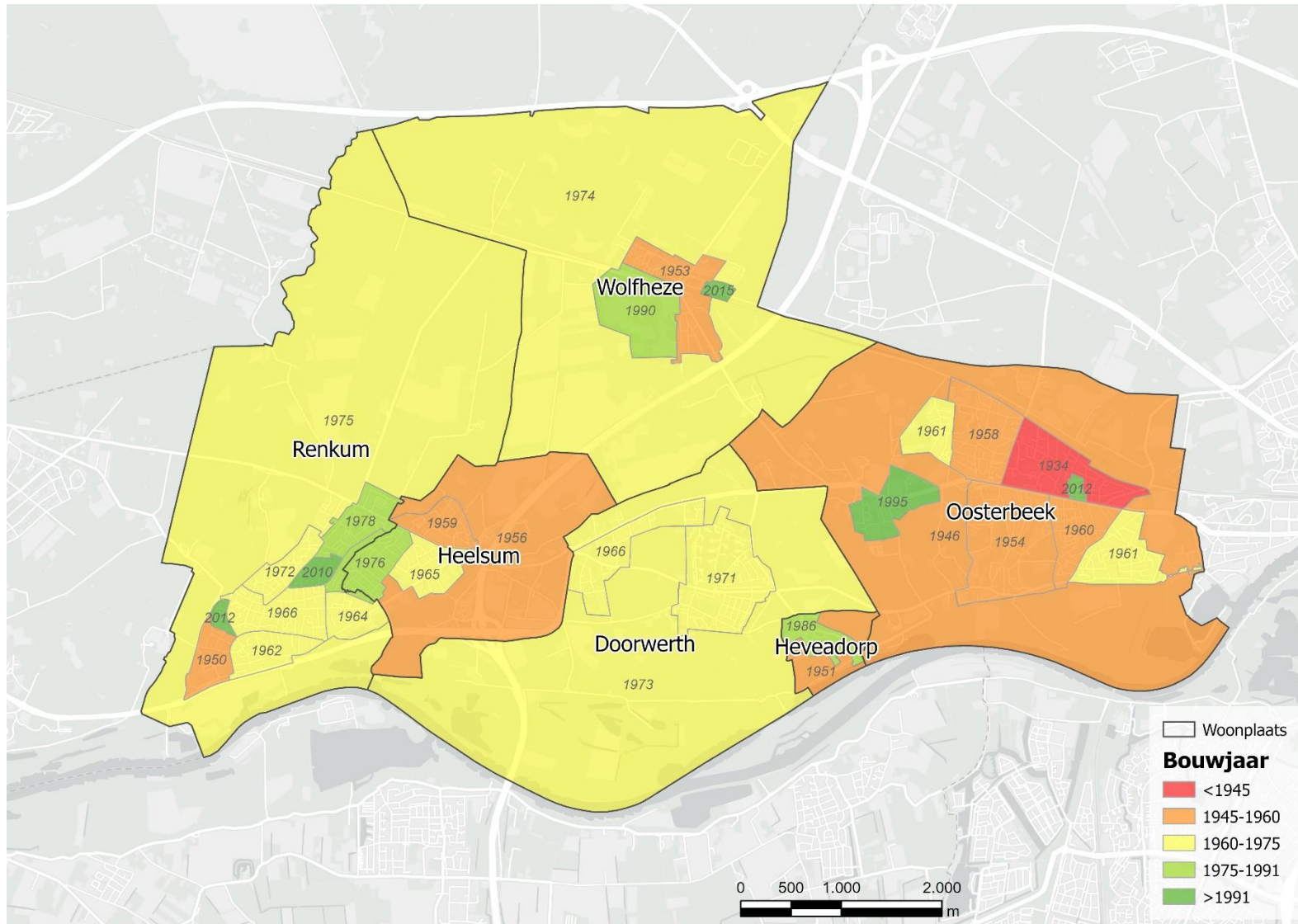
Bijlage 2: Extra kaarten en tabellen

Kenmerken en voorkeursoplossing per gebied

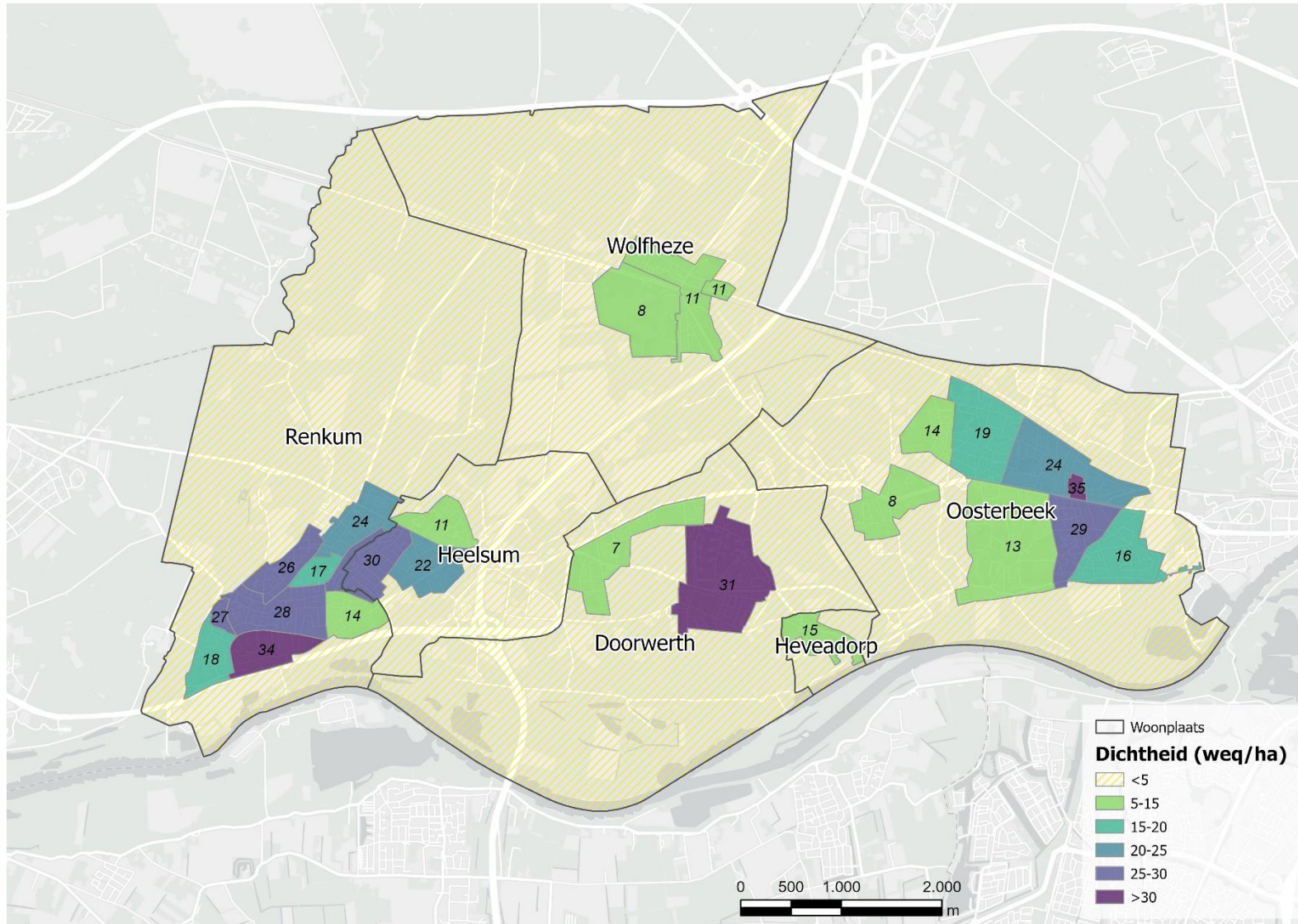
Gebiedsnaam	Woonplaats	Aantal panden	Aantal WEQ	Dichtheid (WEQ/Ha)	Mediaan bouwjaar	Woon Oppervlakte (m ²)	Utiliteit Oppervlakte (m ²)	Corporatie-bezit	Voorkeursoplossing			Gem. gewogen nationale kosten per woning x€1.000		
									V1	V2	V3	Warmtetenet	Hybride	All-electric
Aan de Beek, Kamperdijk	Heelsum	730	659	22	1965	70702	10061	2%				€ 101	€ 98	€ 93
Bakkershaag	Renkum	88	169	17	2010	8534	13344	2%				€ 98	€ 87	€ 85
Bato's Wijk	Oosterbeek	1275	1208	13	1954	143290	20798	1%				€ 105	€ 101	€ 96
Buitengebied Doorwerth	Doorwerth	151	177	0	1973	14442	17451	0%				€ 132	€ 126	€ 118
Buitengebied Heelsum	Heelsum	333	135	0	1956	27331	3127	0%				€ 135	€ 127	€ 120
Buitengebied Heveadorp	Heveadorp	3	1	0	1951	157	0	0%				€ 137	€ 122	€ 118
Buitengebied Oosterbeek	Oosterbeek	473	438	1	1946	38830	34950	1%				€ 127	€ 121	€ 114
Buitengebied Renkum	Renkum	251	128	0	1975	10157	10066	9%				€ 126	€ 119	€ 113
Buitengebied Wolfheze	Wolfheze	373	275	0	1974	18986	20600	0%				€ 137	€ 124	€ 119
Clusterwoningen	Doorwerth	691	853	24	1975	86381	13168	0%				€ 81	€ 80	€ 77
De Enk	Renkum	2277	1183	28	1966	127558	6135	44%				€ 105	€ 101	€ 96
De Stichting	Wolfheze	180	468	8	1990	13252	48264	0%				€ 103	€ 97	€ 93
Dennenkamp, Talud (deel a)	Oosterbeek	1792	1347	24	1934	143788	27467	17%				€ 108	€ 106	€ 95
<i>Doorwerth totaal: Zuid, Cardanuslaan, Clusterwoningen</i>	<i>Doorwerth</i>	<i>1984</i>	<i>2625</i>	<i>31</i>	<i>1971</i>	<i>254138</i>	<i>27720</i>	<i>23%</i>				€ 81	€ 79	€ 76
Doorwerth Zuid, Cardanuslaan	Doorwerth	1293	1844	38	1972	167757	14552	35%				€ 81	€ 79	€ 76
Dreyeroord (deel B)	Oosterbeek	310	358	14	1961	40670	649	28%				€ 93	€ 89	€ 85
Duitsekampweg (deel A), Lawijckerhof	Wolfheze	802	567	11	1953	67893	2270	7%				€ 108	€ 103	€ 98
Duitsekampweg (deel B)	Wolfheze	89	49	11	2015	7405	0	31%				€ 99	€ 84	€ 84
Fluitersmaat	Renkum	1064	716	24	1978	87538	976	30%				€ 100	€ 96	€ 92
Gelria	Renkum	441	301	14	1964	39483	2552	6%				€ 103	€ 98	€ 94
Heidestein	Heelsum	1538	1083	30	1976	100507	5608	52%				€ 92	€ 89	€ 86
Heveadorp	Heveadorp	543	327	15	1986	46082	218	23%				€ 111	€ 105	€ 101
Hogenkamp	Renkum	877	580	26	1972	65062	5359	4%				€ 102	€ 97	€ 93
Kievitsdet	Doorwerth	468	316	7	1966	52670	9227	0%				€ 128	€ 117	€ 112
Klein Zwitserland	Heelsum	298	275	11	1959	35270	6344	0%				€ 108	€ 102	€ 97
Nieuwland	Oosterbeek	1213	1021	29	1960	121250	5065	5%				€ 102	€ 99	€ 94
Onder de Bomen (deel A)	Renkum	763	431	18	1950	54554	2316	8%				€ 113	€ 109	€ 103
Onder de Bomen (deel B)	Renkum	189	134	27	2012	19314	0	56%				€ 87	€ 77	€ 77
Renkum Centrum	Renkum	690	917	34	1962	74046	20533	3%				€ 92	€ 91	€ 86
Stenenkruis	Oosterbeek	1229	701	16	1961	127604	10233	4%				€ 105	€ 100	€ 96
Talud (deel b)	Oosterbeek	119	130	35	2012	17524	5	3%				€ 83	€ 76	€ 75
Transvaal, Dreyeroord (deel A)	Oosterbeek	1343	1031	19	1958	125788	9212	12%				€ 107	€ 103	€ 98
Valkenberg	Oosterbeek	184	275	8	1995	34738	7808	1%				€ 91	€ 87	€ 84

Lokaal warmtetenet
Individueel hybride
Individueel all electric
Utiliteit

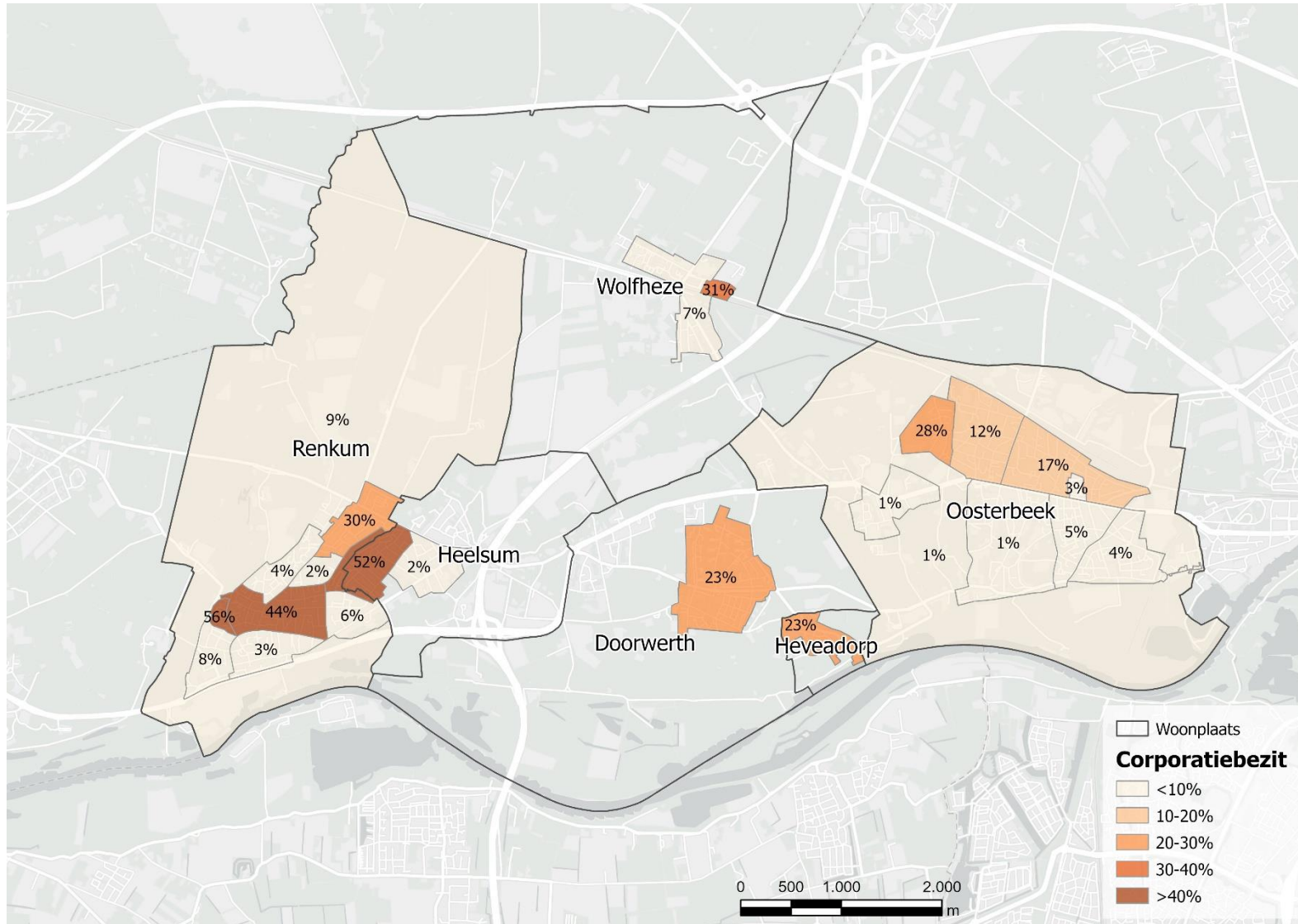
Bouwjaar per gebied



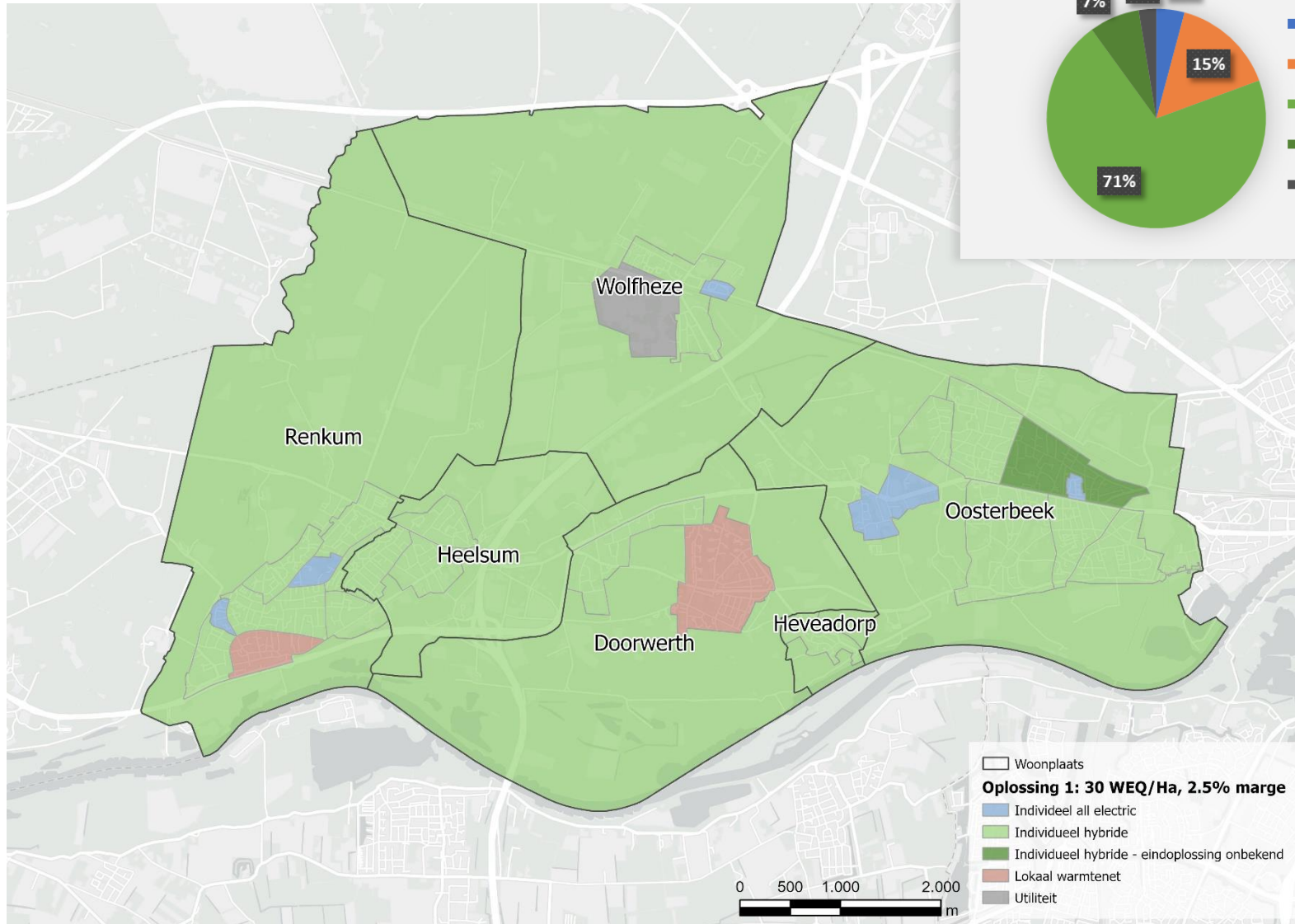
Dichtheid per gebied



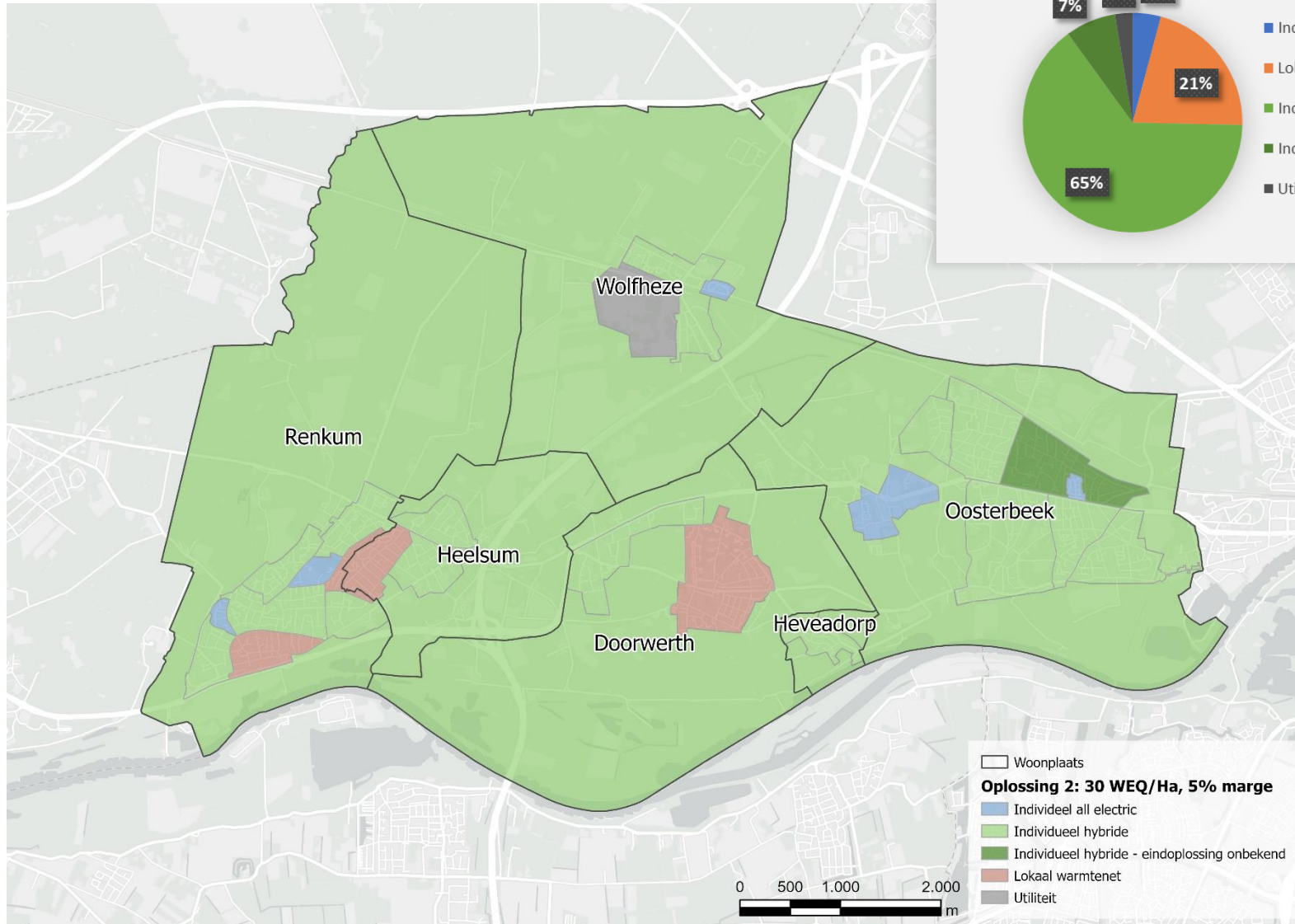
% Corporatiebezit per gebied



Variant 1



Variant 2



Variant 3

