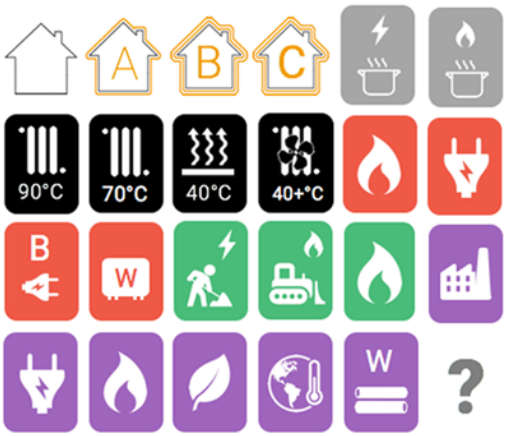
Verduurzaming warmtevoorziening bestaande woningen in Statenkwartier en Vogelwijk Den Haag

10 november 2017



DWa

Het verschil tussen kijken en zien.

Verduurzaming warmtevoorziening bestaande woningen in Statenkwartier en Vogelwijk Den Haag

Datum:	10 november 2017
Projectnummer:	15694
Status:	**Definitief**
Opdrachtgever:	Gemeente Den Haag Dienst Stadsbeheer Postbus 12651 2500 DP DEN HAAG
Uitgevoerd door:	DWA B.V. Duitslandweg 4 Postbus 274 2410 AG BODEGRAVEN Telefoonnummer 088 - 163 55 54 E-mailadres langeveld@dwa.nl
Auteur:	drs. ing. T. Langeveld (Tijs)
Co-lezer:	ing. P. Heijboer (Peter)

Op al onze diensten en mededelingen is DNR 2011 van toepassing.
DNR 2011 is gepubliceerd op onze website onder http://www.dwa.nl/dnr

Inhoudsopgave

1 Samenvatting 3
2 Inleiding 7
3 Selectie referentiewoningen 8
4 Analyse warmtevraagprofiel 10
4.1 Tussenwoning 11
4.1.1 Karakteristieken 11
4.1.2 Maatregelen ter reductie van warmteverliezen 11
4.1.3 Resultaten 12
4.2 Twee-onder-eenkapwoning 13
4.2.1 Karakteristieken 13
4.2.2 Maatregelen ter reductie van warmteverliezen 14
4.2.3 Resultaten 14
5 Analyse van de warmteafgifte 16
5.1 Paneelradiatoren 16
5.2 Convectoren 17
5.3 Vloerverwarming 19
5.4 Wandverwarming 20
6 Afstemming warmtebehoefte en warmteafgifte 22
6.1 Energetisch 22
6.2 Financieel 25
7 Analyse warmteconcepten 27
7.1 Warmteconcepten 27
7.1.1 Bouwstenen warmteconcepten 28
7.1.2 Configuratie warmteconcepten 1 tot en met 6 28
7.1.3 Bouwkundige maatregelen en installaties in de woning 29
7.1.4 Bestaande infrastructuur 31
7.1.5 Collectieve voorzieningen 31
7.1.6 Algemene financiële en energetische uitgangspunten 31
7.2 Kostenanalyse 33
7.3 Resultaten 35
7.4 Gevoeligheidsanalyse 37
8 Variaties 39
8.1 Verkenning transitiepaden 39
8.2 Warmteconcept 7 - Geothermie met ltv-afgiftesysteem 41
8.2.1 Toelichting 41
8.2.2 Resultaten 42
8.3 Warmteconcept 8 – Warmterivier met isolatiepakket C 43
8.3.1 Toelichting 43
8.3.2 Resultaten 44
9 Afwegingskader 46
10 Conclusies, aanbevelingen en vervolg 47
10.1 Conclusies 47
10.2 Aanbevelingen en vervolg 48

Bijlage 1 - Flexibiliteit in de warmtetransitie met geothermie 50

1 Samenvatting

Doel, werkwijze en scope
Voor vier wijken die zich kenmerken door karakteristieke woningen uit de jaren 1880 - 1940 is onderzocht welke duurzame warmteconcepten, als alternatief voor de conventionele gasgestookte combiketel, het meest perspectiefvol zijn. Het doel van de studie is te verkennen welk warmteconcept energetisch en financieel de beste prestaties levert.

Hierbij is gekeken naar verschillende temperatuurniveaus (hoogtemperatuur- en laagtemperatuurverwarming (htv en ltv)), de praktische impact binnen de woning, aanpassingen aan bestaande infrastructuur en de ontwikkeling van nieuwe collectieve voorzieningen. Om tot een helder overzicht van mogelijkheden te komen, zijn drie stappen doorlopen.

Stap 1 In een eerste stap is vastgesteld wat er energetisch mogelijk is. Hiertoe is het huidige warmtevraagprofiel van twee referentiewoningen geanalyseerd, is onderzocht welke besparingsmogelijkheden kunnen worden toegepast en in hoeverre er gegeven specifieke combinaties van temperatuurniveaus en afgiftesystemen aan de comforteisen kan worden voldaan.

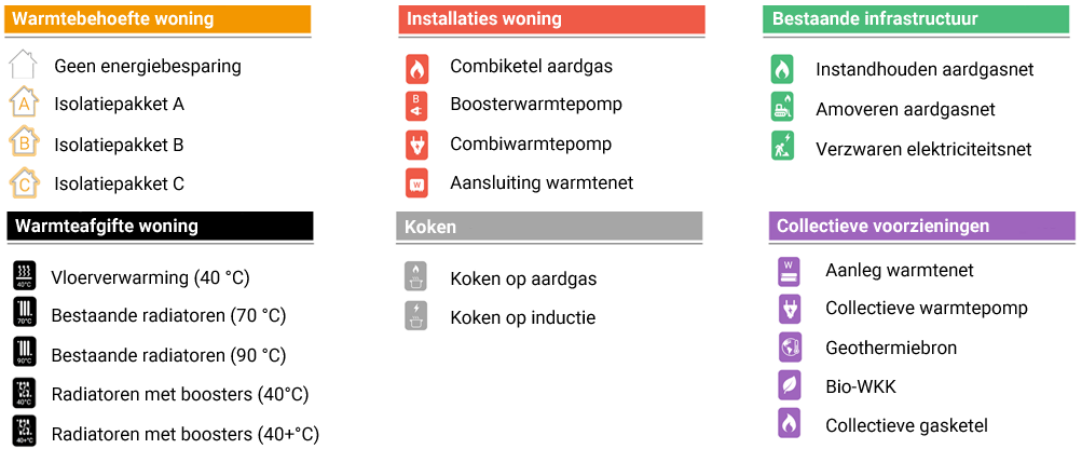
Stap 2 Aan de hand van de bevindingen uit stap 1 is een aantal warmteconcepten samengesteld.

Stap 3 Elk warmteconcept is aan een financiële analyse onderworpen met het doel de meest kosteneffectieve, perspectiefvolle warmteconcepten te identificeren.

Opmerking bij de scope en reikwijdte van dit rapport
We verkennen in dit rapport welke aspecten van invloed zijn op de toepasbaarheid van een aantal warmteconcepten in twee specifieke voorbeeldwoningen die gebouwd zijn in de periode 1880 - 1940. Hiertoe is inzichtelijk gemaakt wat onder welke condities mogelijk is en waar de belangrijkste aandachtspunten zitten. Dit vraagstuk is geanalyseerd aan de hand van een specifieke set uitgangspunten, aannames en praktijkgegevens betreffende twee woningen in de wijken Statenkwartier en Vogelwijk. In een gevoeligheidsanalyse is verkend wat de invloed van een aantal van deze uitgangspunten en aannames is, maar dit rapport is niet opgesteld met het doel een uitputtend beeld van de (on)mogelijkheden te creëren rond de toepassing van warmteconcepten in bestaande woningen. De bevindingen en conclusies uit dit rapport dienen daarom niet zonder meer geïnterpreteerd te worden als algemeen van toepassing op vraagstukken rond de verduurzaming van de warmtevoorziening van bestaande woningen. Dit rapport is bedoeld als een constructief startpunt te voor een verdere verkenning van de mogelijkheden en oplossingen gericht op het aardgasvrij maken van bestaande bouw.

Referentiewoningen
De analyse is gebaseerd op twee referentiewoningen: een tussenwoning (herenhuis) uit 1915 met een gebruiksoppervlak van 230 m^2 en een twee-onder-eenkapwoning uit 1934 met een gebruiksoppervlak van 180 m^2. Dit zijn twee veel voorkomende typen woningen in de wijken Vogelwijk en het Statenkwartier.

Warmteconcepten
Een warmteconcept is een combinatie van installaties binnen en, in het geval van een collectieve warmtevoorziening, buiten de woning, eventueel noodzakelijke bouwfysische aanpassingen aan de woning en de warmteafgiftesystemen in de woning. Onderstaand overzicht toont de bouwstenen waarmee de warmteconcepten zijn samengesteld.

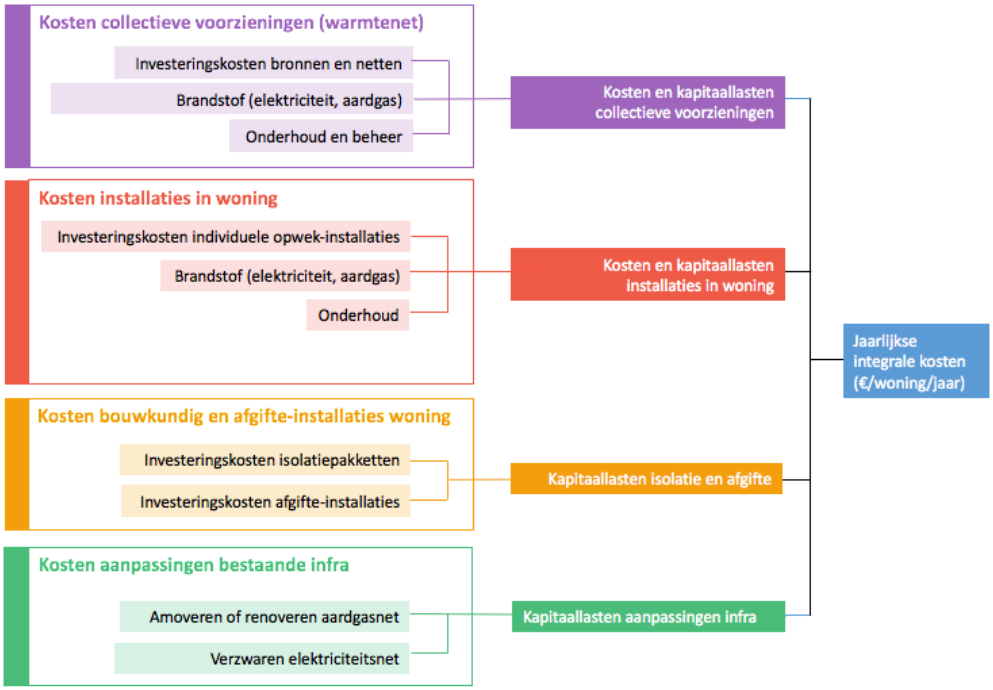


Figuur 1.1 Bouwstenen warmteconcepten

Met deze bouwstenen zijn een achttal warmteconcepten samengesteld. De figuur op de volgende pagina toont de configuratie van elk van de acht warmteconcepten.

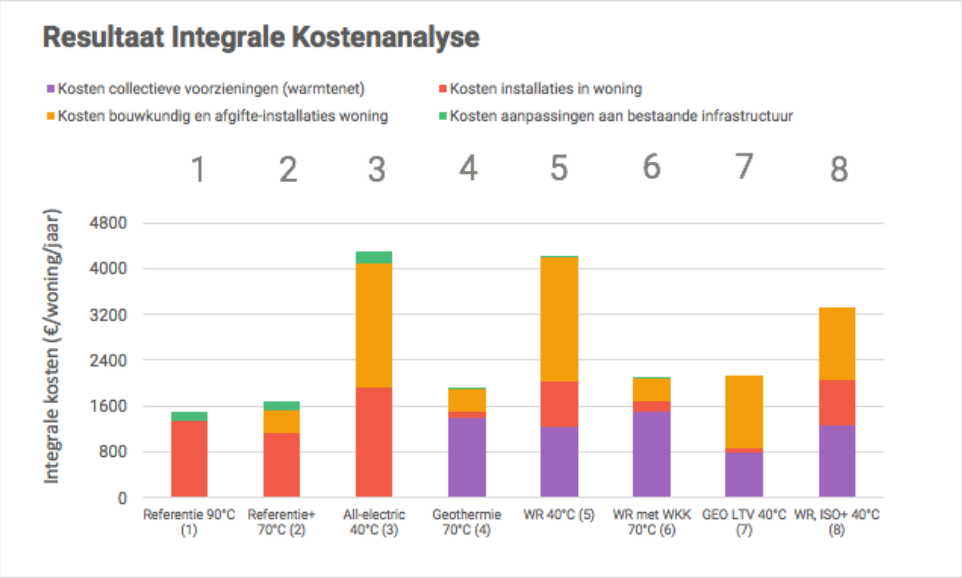
Figuur 1.2 Configuraties warmteconcepten

Voor elk warmteconcept zijn vervolgens met een integrale kostenanalyse de **integrale kosten** in €/woning/jaar berekend. Het schema op de volgende pagina toont de onderdelen waaruit de integrale kosten zijn opgebouwd.



Figuur 1.3 Opbouw integrale kostenanalyse

De onderstaande grafiek toont het resultaat van de integrale kostenanalyse voor het achttal warmteconcepten.



Figuur 1.4 Resultaat integrale kostenanalyse

Conclusies

- Warmteconcepten met een maximale aanvoertemperatuur van 40°C zijn financieel niet optimaal voor de karakteristieke Haagse oudbouwwijken uit 1890 tot 1940. Daarnaast noodzaakt een aanvoertemperatuur van 40°C als vertrekpunt tot ingrijpende maatregelen in de woning om de woning voldoende energiezuinig te maken.
- Warmteconcepten met een aanvoertemperatuur van 70°C als vertrekpunt bieden betere perspectieven omdat concepten met dit vertrekpunt financieel aantrekkelijker en praktisch beter uitvoerbaar zijn.
- Geothermie biedt over het algemeen de beste perspectieven.

2 Inleiding

Binnen Den Haag hebben vertegenwoordigers uit vier wijken (Archipelbuurt, Statenkwartier, Benoordenhout en Vogelwijk) zich verenigd in het VierWijkenOverleg (VWO). Kenmerkend voor deze vier wijken is de karakteristieke architectuur uit de jaren 1880 - 1920. Het VWO heeft de wens inzicht te krijgen welke duurzame warmteconcepten voor deze vier wijken perspectiefvol zijn.

Zijn dit collectieve warmtenetten of juist individuele warmteconcepten? En op welke temperatuur kan de warmte het beste worden aangeleverd in de woningen; is dat 70°C of bijvoorbeeld 40°C? Hoe verhoudt zich dat tot de benodigde aanpassingen aan de schilisolatie, radiatoren en ventilatie van de woningen?

Om die vragen te beantwoorden, heeft DWA een aantal referentiewoningen en warmteconcepten doorgerekend waarbij verschillende combinaties van isolatiemaatregelen en warmtebronnen worden toegepast. Op 2 mei 2017 is DWA samen met het VWO en de gemeente tot een selectie van een tweetal voor de wijken meest representatieve typen referentiewoningen gekomen. Dit zijn:

- Een rijtjeswoning (tussenwoning), bouwperiode 1880 - 1920 (Statenkwartier).
- Een twee-onder-eenkapwoning, bouwperiode 1930 - 1940 (Vogelwijk).

In de studie leggen wij in eerste instantie de focus op deze typen woningen omdat dit type woningen het meeste in de genoemde buurten voorkomen en tegelijkertijd de grootste uitdagingen opwerpen als het gaat om flexibiliteit van renoveren en toe te passen temperatuurtrajecten.

Doelstelling
Het doel van de studie is te verkennen welk warmteconcept energetisch en financieel de beste prestaties levert.

Werkwijze
Wij analyseren de vraagprofielen, toepasbare afgiftesystemen (radiatoren, vloerverwarming et cetera), besparingsmogelijkheden en verschillende vormen van individuele en collectieve opwek van warmte. Aan de hand van warmteverliesberekeningen en combinaties van isolatiemaatregelen is berekend welke typen afgiftesystemen onder welke voorwaarden toereikend zijn. Tot slot is een zestal warmteconcepten, bestaande uit verschillende combinaties van installaties, isolatiepakketten en afgiftesystemen, onderling vergeleken op kostprijs, energiebesparing, CO_2-emissies en reikwijdte.

Scope en reikwijdte rapport
We verkennen in dit rapport welke aspecten van invloed zijn op de toepasbaarheid van een aantal warmteconcepten in twee specifieke voorbeeldwoningen die gebouwd zijn in de periode 1880 - 1940. Hiertoe is inzichtelijk gemaakt wat onder welke condities mogelijk is en waar de belangrijkste aandachtspunten zitten. Dit vraagstuk is geanalyseerd aan de hand van een specifieke set uitgangspunten, aannames en praktijkgegevens betreffende twee woningen in de wijken Statenkwartier en Vogelwijk. In een gevoeligheidsanalyse is verkend wat de invloed van een aantal van deze uitgangspunten en aannames is, maar dit rapport is niet opgesteld met het doel een uitputtend beeld van de (on)mogelijkheden te creëren rond de toepassing van warmteconcepten in bestaande woningen. De bevindingen en conclusies uit dit rapport dienen daarom niet zonder meer geïnterpreteerd te worden als algemeen van toepassing op vraagstukken rond de verduurzaming van de warmtevoorziening van bestaande woningen. We hopen met dit rapport een constructief startpunt te bieden voor een verdere verkenning van de mogelijkheden en oplossingen gericht op het aardgasvrij maken van bestaande bouw.

Leeswijzer
Hoofdstuk 3 beschrijft kort de selectieprocedure van een tweetal referentiewoningen. Hoofdstuk 4 presenteert de analyse van het warmtevraagprofiel van de twee referentiewoningen. Hoofdstuk 5 gaat in op de mogelijkheden rond afgiftesystemen in de woning. Hoofdstuk 6 integreert de bevindingen uit de analyses van warmteverliezen en afgiftesystemen en concludeert welke combinaties van vraagprofielen en afgiftesystemen energetisch mogelijk zijn. Hoofdstuk 7 presenteert de analyse en vergelijking van een zestal warmteconcepten op kosten en impact. In hoofdstuk 8 vatten wij alle bevindingen overzichtelijk samen in een afwegingskader en in hoofdstuk 9 concluderen wij welke warmteconcepten voor de wijken het beste perspectief bieden.

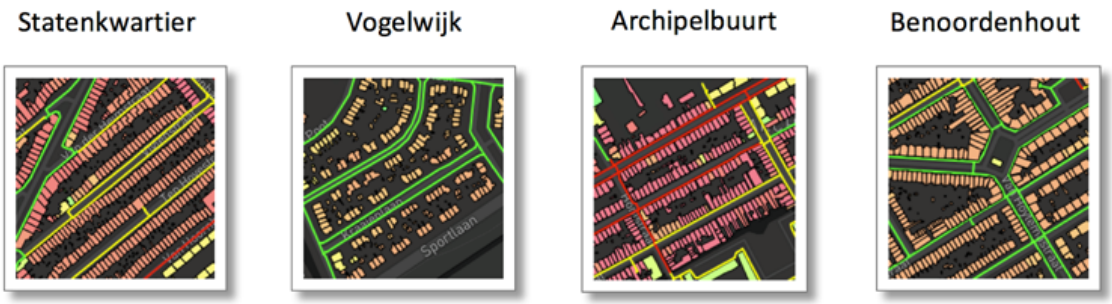
3 Selectie referentiewoningen

In de eerste stap van het onderzoek is een tweetal in de vier wijken veel voorkomende typen woningen geselecteerd waarvoor in het vervolg van het onderzoek de inpassing van een zestal verschillende warmteconcepten is onderzocht.

Het onderzoek richt zich op de wijken Statenkwartier, Vogelwijk, Archipelbuurt en Benoordenhout. Aan de hand van GIS-gegevens zijn de volgende aspecten in kaart gebracht.

- Bouwjaar, woningtypes en bebouwingsdichtheid.
- Het huidige gasverbruik.
- Ouderdom en vervangingsmoment van gasleidingen (informatie van Stedin).
- Ouderdom en vervangingsmoment van riolering (informatie van de gemeente).

Het combineren en interpreteren van deze gegevens via kaarten maakt inzichtelijk welke typen woningen het meest representatief zijn als gemiddelde voor de wijken en welke plekken in de wijken de beste kansen bieden voor de uitrol van collectieve energiesystemen.



Figuur 3.1 Vingerafdruk van de vier wijken

Twee veelvoorkomende typen woningen in de wijken zijn rijtjeswoningen uit de periode 1980 - 1920 en rijtjeswoningen uit het bouwjaar 1930 - 1940. De bovenstaande snapshots tonen een representatieve vingerafdruk van de vier wijken waar dit type woningen in terugkomen. De woningen worden gekenmerkt door een relatief hoog gebruiksoppervlak.

De meest prominente kansen voor de ontwikkeling van een collectieve duurzame energievoorziening liggen in en rond de wijk Statenkwartier, gezien de ligging van de AWZI Houtrust en de bodemgeschiktheid voor geothermie. Verder was vanuit het buurtcollectief reeds veel informatie beschikbaar over een representatief type woning in Vogelwijk.

Voor de analyse zijn daarom de volgende typen woningen geselecteerd.

- Een hoekwoning met bouwjaar 1934 met een bruto vloeroppervlak van 186 m^2 (Vogelenwijk).
- Een tussenwoning met bouwjaar 1915 met een bruto vloeroppervlak van 233 m^2 (Statenkwartier).

De referentiewoningen worden in nader detail beschreven in paragraaf 4.1 en 4.2.

Verder identificeerden wij bij het analyseren van het kaartmateriaal de volgende aandachtspunten die een rol kunnen spelen bij de overweging tot ontwikkeling van een collectieve warmtevoorziening met aanleg van een warmtenet.

- De riolering en gasleidingen in Vogelwijk zijn recentelijk vrijwel volledig vervangen. Slechts een klein deel van de gasinfra rechts onderin de wijk is nog aan vervanging toe.
- In de wijk Statenkwartier is een deel van het riool en de gasleidingen nog niet aan vervanging toe of is recentelijk vervangen. Een uitzondering hierop zijn rioolleidingen in de straten Van Boetzelaerlaan en de Frederik Hendriklaan. De laatstgenoemde straat loopt dwars midden door het Statenkwartier. Hier staan echter op korte termijn werkzaamheden gepland aan het riool, waarbij er naar verwachting onvoldoende tijd beschikbaar is om hierbij gelijktijdig wijzigingen door te voeren aan de ondergrondse energie-infrastructuur.
- In het Oostelijke deel van Benoordenhout is een groot deel van de riolering verouderd en is een deel van het gasnet aan vervanging toe. Dit deel van het studiegebied is verder buiten beschouwing gelaten, gegeven de bovenstaande redenen en omdat het type woningen in deze buurt in mindere mate representatief is voor de vier wijken over het algemeen.

4 Analyse warmtevraagprofiel

DWA heeft een tweetal referentiewoningen aan een analyse onderworpen. Dit betreft een tussenwoning (herenhuis) uit 1915 en een twee-onder-eenkapwoning uit 1934. Dit zijn twee veelvoorkomende typen woningen in de wijken Vogelwijk en het Statenkwartier. Voor de twee-onder-een-kapwoning is een EPA-rapport aangeleverd op basis waarvan een warmteverliesberekening is gemaakt. Voor de tussenwoning zijn alle relevante maten van de verliesoppervlakken aangeleverd, waarvan DWA op basis van aannames een warmteverliesberekening heeft opgesteld.

Doel van de analyse
De mate van isolatie en kierdichting in de woning is bepalend voor zowel het volume van de warmtevraag voor ruimteverwarming als het benodigde verwarmingsvermogen om de woning op temperatuur te brengen en te houden. In het kader van het voorliggend onderzoek is met name dit laatste aspect van belang. Wij willen namelijk weten of het mogelijk is lagere aanvoertemperaturen te hanteren (40 of 70°C) dan standaard het geval is (90°C) in de woonwijken waar wij naar kijken. Een lagere aanvoertemperatuur resulteert, zonder aanpassingen aan de warmteafgifte-installatie, in een lager verwarmingsvermogen. Met de analyse maken wij in deze sectie inzichtelijk welke energiebesparingsmaatregelen er toegepast kunnen worden om het benodigde verwarmingsvermogen omlaag te brengen. Een analyse van de warmteafgifte-installatie is onderwerp van hoofdstuk 3.

Werkwijze
Voor beide referentiewoningen is aan de hand van een drietal verschillende varianten een aantal warmteverliesberekeningen uitgewerkt.

1. De referentiesituatie die een variant reflecteert die wij representatief achten voor de huidige gemiddelde conditie van het type woning in de wijk (beperkt tot geen na-isolatie, wel dubbelglas en een hr-ketel).
2. Een situatie waarin alleen isolatiemaatregelen worden toegepast die rendabel zijn en bij implementatie beperkte overlast voor de bewoner met zich meebrengen (**isolatiepakket A**).
3. Een situatie waarin de woning grondig wordt gerenoveerd en verregaande besparingsmaatregelen worden doorgevoerd (**isolatiepakket B**).

Het is mogelijk in een eerste stap de maatregelen uit isolatiepakket A toe te passen en later in een tweede stap de maatregelen van isolatiepakket B te implementeren.

Eis bouwbesluit aan comfortniveau
De berekening van de warmteverliezen en het daaruit voortvloeiende benodigde vermogen van de afgiftesystemen zijn in dit rapport doorgerekend conform de minimumeisen van het bouwbesluit. Hierbij dienen alle verblijfsruimtes in de woning bij een buitentemperatuur van -10 °C altijd naar een binnentemperatuur van 21 °C gebracht te kunnen worden. Merk op dat het slechts op enkele momenten in het jaar ook werkelijk -10 °C vriest.
De kosten van een aardgasgestookte combiketels en radiatoren liggen per kW opwek- of afgiftevermogen relatief laag, wat het vanuit financieel perspectief acceptabel maakt de vermogens van de installaties in de woning op dit minimum te dimensioneren en minder aandacht te besteden aan de mate van energiezuinigheid.
Bij toepassing van warmtepompen, in het bijzonder in bestaande situaties, nemen deze kosten flink toe. Genoemde eis uit het bouwbesluit zou voor particuliere woningeigenaren daarom wat minder stringent geïnterpreteerd kunnen worden. Zijn bijvoorbeeld alle verblijfsruimtes in gebruik bij -10°C? Deze interpretatieruimte is nog niet verwerkt in dit rapport.

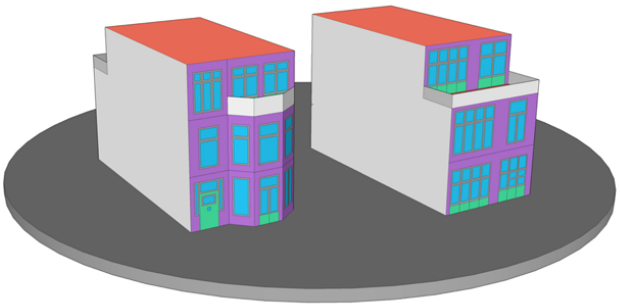
4.1 Tussenwoning

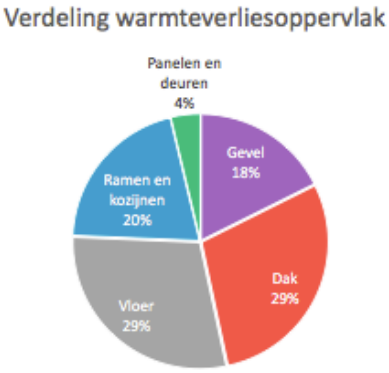
De berekeningen voor de tussenwoning zijn gebaseerd op de bouwtekeningen van een bestaande voorbeeldwoning in de Ten Hovestraat in de wijk Statenkwartier. Deze woning is gebouwd in het jaar 1915. Het vloeroppervlak van deze woning is 233 m². De isolatiewaarden voor de referentievariant zijn gebaseerd op aannames van DWA met het doel de huidige gemiddelde conditie van dit type woningen in de wijk te reflecteren.

4.1.1 Karakteristieken

De belangrijkste kenmerken van de woning met betrekking tot het warmteverliesoppervlak zijn als volgt.

- Enkelsteensgevel.
- Houten raamkozijnen met paneelelementen.
- Houten vloer met kruipruimte.
- Plat dak.





Figuur 4.1 Warmteverliesoppervlakken referentiewoning 1

4.1.2 Maatregelen ter reductie van warmteverliezen

De tabel op de volgende pagina toont de belangrijkste uitgangspunten, kenmerken en toelichting betreffende het tweetal sets aan maatregelen (isolatiepakket A en B) voor verduurzaming van de woning, onderverdeeld in warmteverliesoppervlakken/posten. Het gaat hierbij uitsluitend om maatregelen ter beperking van warmteverliezen. De maatregelen zijn dusdanig gekozen dat de karakteristieke architectuur van de woningen niet wijzigt. Aspecten betreffende de duurzaamheid van de warmtebron komen in de volgende projectfase aan bod.

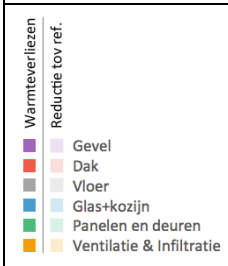
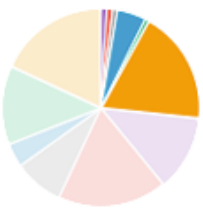
Tabel 4.1 Besparingsmaatregelen isolatiepakket A en B

		Isolatiepakket A	Isolatiepakket B
	Gevel	Geen maatregelen. Wegens ontbreken spouw in muur is eenvoudig na-isoleren niet mogelijk.	Aanbrengen van gevelisolatie aan de binnenkant van de gevels grenzend aan de buitenlucht.
	Dak	Aanbrengen dakisolatie aan de binnenzijde.	Aanbrengen dakisolatie aan de buitenzijde.
	Vloer	Aanbrengen vloerisolatie onder de vloer.	Aanbrengen vloerisolatie onder de vloer.
	Glas en kozijnen	Geen maatregelen. Aangenomen is dat in referentie reeds voorzetramen worden toegepast, implementatie van hr^{++}-glas is niet losstaand van renovatie te implementeren.	Vervanging/aanpassing kozijnen, plaatsen hr^{++}-glas.
	Panelen en deuren	Geen maatregelen. Bestaande kozijnen en deuren worden gehandhaafd.	Plaatsing van nieuwe deuren en kozijnen met verbeterde isolatiegraad.
	Infiltratie	Beperkte maatregelen voor kierdichting.	Meer verregaande kierdichting.
	Ventilatie	Geen. Natuurlijke ventilatie in stand houden.	Mechanische ventilatie met wtw.

4.1.3 Resultaten

De onderstaande tabel toont de uitgangspunten betreffende de gehanteerde isolatiewaarden in de drie varianten. De isolatiewaarden zijn gekozen in lijn met de beschreven maatregelen in voorgaande tabel. De referentievariant reflecteert de aangenomen gemiddelde huidige status van dit type woning in de wijk.

Tabel 4.2 Warmteverliezen in referentie en bij toepassing van de besparingspakketten

			Referentie	Pakket A	Pakket B
	Gevel	m^2*K/W	0,19	0,19	3,00
	Dak	m^2*K/W	0,22	2,00	5,00
	Vloer	m^2*K/W	0,15	2,5	2,5
	Glas en kozijnen	W/m^2*K	2,9	2,9	1,4
	Panelen en deuren	m^2*K/W	0,04	0,04	1,0
	Infiltratie	dm³/(s*m²)	3,00	2,00	1,33
Resulterende warmteverliezen		W/m^2 gbo	240	170	65
					
Gasverbruik		m^3/jaar	2.100	1.500	700
Warmtevraag		GJ/jaar	65	46	20

Het gasverbruik in de referentie is gebaseerd op open verbruiksdata van Stedin en reflecteert het gemiddelde gasverbruik van alle woningen in het postcode-6 gebied waar de referentiewoning binnenvalt. Bij het omrekenen naar GJ's warmtevraag is een ketelrendement van 85% gehanteerd.

Infiltratieverliezen
Uit de taartdiagrammen is af te lezen dat de warmteverliezen naar aanleiding van infiltratie het grootste aandeel vertegenwoordigen in de resterende warmteverliezen na de toepassing van pakket B. Dit berust op de aanname dat het praktisch erg lastig is om de infiltratieverliezen naar lagere niveaus te brengen in het specifieke type woningen waar het hierom gaat.

Dit zijn panden met historische waarde waarbij het niet mogelijk is een nieuwe, luchtdichte voorzetgevel te plaatsen of het lastig is andere maatregelen te implementeren om de infiltratieverliezen verregaand te minimaliseren. Daarom is hier een conservatieve voor het type woningen waar voorliggende studie op focust infiltratiewaarde (Qv-10 waarde) van 1,33 aangehouden. Ter referentie: de Qv-10 waarde van nul-op-de-meter (nom)-woningen ligt op papier rond de 0,2 dm³/(s*m²). Wellicht maken toekomstige innovaties het alsnog mogelijk om lagere infiltratiewaardes te realiseren voor het type woningen waar wij in de voorliggende studie naar kijken. Daarom onderwerpen wij dit aspect in hoofdstuk 9 aan een variatieanalyse.

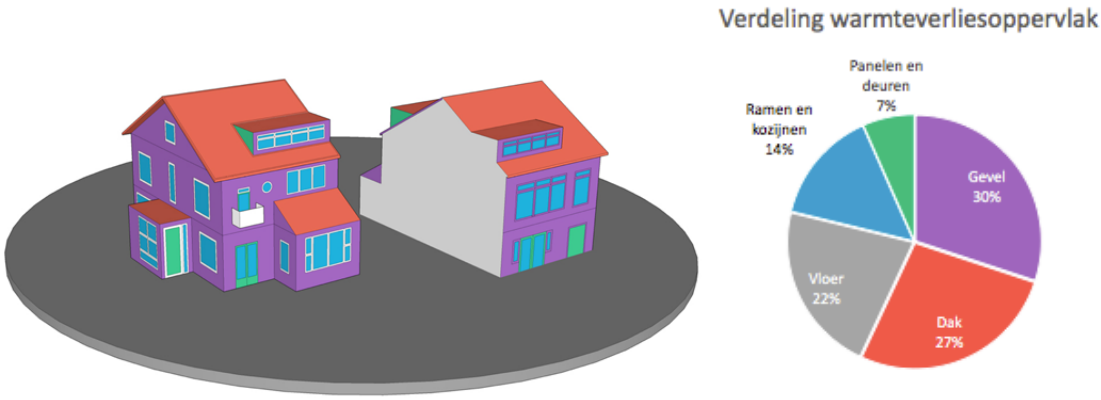
4.2 Twee-onder-eenkapwoning

De berekeningen voor de twee-onder-eenkapwoning zijn gebaseerd op gegevens uit een EPA-berekening van een bestaande voorbeeldwoning aan de Kraaienlaan in de wijk Vogelwijk. Deze woning is gebouwd in het jaar 1934. Het vloeroppervlak van deze woning is 186 m². De isolatiewaarden voor de referentievariant zijn gebaseerd op aannames van DWA met het doel de huidige gemiddelde conditie van dit type woningen in de wijk te reflecteren.

4.2.1 Karakteristieken

De belangrijkste kenmerken van de woning met betrekking tot het warmteverliesoppervlak zijn als volgt.

- Gevel met spouw.
- Voornamelijk houten raamkozijnen.
- Dakkapellen voor en achter.
- Houten vloer met kruipruimte.
- Hellend dak voor en achter.



Figuur 4.2 Warmteverliesoppervlakken referentiewoning 2

4.2.2 Maatregelen ter reductie van warmteverliezen

De onderstaande tabel toont de belangrijkste uitgangspunten, kenmerken en toelichting betreffende het tweetal sets aan maatregelen (isolatiepakket A en B) voor verduurzaming van de woning, onderverdeeld in warmteverliesoppervlakken/posten. Het gaat hierbij uitsluitend om maatregelen ter beperking van warmteverliezen. Aspecten betreffende de duurzaamheid van de warmtebron komen in de volgende projectfase aan bod.

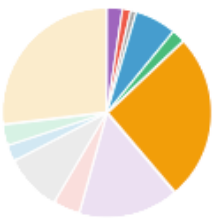
Tabel 4.3 Besparingsmaatregelen isolatiepakket A en B

		Isolatiepakket A	Isolatiepakket B
	Gevel	Isoleren gevel door vullen spouw.	Aanvullen spouw en aanbrengen van gevelisolatie aan de binnenkant van de gevels grenzend aan buitenlucht.
	Dak	Aanbrengen dakisolatie aan de binnenzijde.	Aanbrengen dakisolatie aan de buitenzijde.
	Vloer	Aanbrengen vloerisolatie onder de vloer.	Aanbrengen vloerisolatie onder de vloer.
	Glas en kozijnen	Geen maatregelen. Aangenomen is dat in referentie reeds voorzetramen zijn toegepast, implementatie van hr^{++}-glas is niet losstaand van renovatie te implementeren.	Vervanging/aanpassing kozijnen, plaatsen hr^{++}-glas.
	Panelen en deuren	Plaatsing van geïsoleerde deur en isolatie van zijwanden dakkapellen.	Plaatsing van geïsoleerde deur en isolatie van zijwanden dakkapellen.
	Infiltratie	Beperkte maatregelen voor kierdichting	Meer verregaande kierdichting
	Ventilatie	Geen. Natuurlijke ventilatie in stand houden.	Mechanische ventilatie met wtw.

4.2.3 Resultaten

De onderstaande tabel toont de uitgangspunten betreffende de gehanteerde isolatiewaarden in de drie varianten. De isolatiewaarden zijn gekozen in lijn met de beschreven maatregelen in voorgaande tabel. De referentievariant reflecteert de aangenomen gemiddelde huidige status van dit type woning in de wijk.

Tabel 4.4 Warmteverliezen in referentie en bij toepassing van de besparingspakketten

			Referentie	Pakket A	Pakket B
	Gevel	m^2*K/W	0,35	1,50	3,00
	Dak	m^2*K/W	1,03	2,00	5,00
	Vloer	m^2*K/W	0,15	2,50	2,50
	Glas en kozijnen	W/m^2*K	3,4	3,4	1,9
	Panelen en deuren	m^2*K/W	0,26	0,63	0,78
	Infiltratie	dm³/(s*m²)	3,5	2,5	1,5
Resulterende warmteverliezen		W/m^2 gbo	225	145	90
Warmteverliezen / Reductie tov ref.	Gevel Dak Vloer Glas+kozijn Panelen en deuren Ventilatie & Infiltratie				
Gasverbruik		m^3/jaar	2.500	1.500	1.100
Warmtevraag		GJ/jaar	64	55	34

Het gasverbruik in de referentie is gebaseerd op open verbruiksdata van Stedin en reflecteert het gemiddelde gasverbruik van alle woningen in het postcode-6 gebied waar de referentiewoning binnenvalt.

Infiltratieverliezen
Uit de taartdiagrammen van tabel 4.4 is af te lezen dat de infiltratie het grootste aandeel vertegenwoordigt in de resterende warmteverliezen na de toepassing van pakket B. Dit berust op de aanname dat het praktisch erg lastig is om de infiltratieverliezen naar lagere niveaus te brengen in het specifieke type woningen waar het hier om gaat. Dit zijn panden met historische waarde waarbij het niet mogelijk of is een nieuwe, luchtdichte voorzetgevel te plaatsen of lastig is andere maatregelen te implementeren om de infiltratieverliezen verregaand te minimaliseren. Daarom is hier een conservatieve voor het type woningen waar voorliggende studie op focust infiltratiewaarde (Qv-10 waarde) van 1,5 aangehouden. Ter referentie: de Qv-10 waarde van nul-op-de-meter (nom)-woningen ligt op papier rond de 0,2 $dm^3/(s*m^2)$. Wellicht maken toekomstige innovaties het alsnog mogelijk om lagere infiltratiewaardes te realiseren voor het type woningen waar wij in de voorliggende studie naar kijken. Daarom onderwerpen wij dit aspect in hoofdstuk 9 aan een variatieanalyse.

5 Analyse van de warmteafgifte

Met verbranding van aardgas als warmtebron is het goed mogelijk om met temperaturen van 90°C te werken. Dit maakt het mogelijk om relatief slecht geïsoleerde woningen te verwarmen met radiatoren van relatief beperkte omvang.

De meeste duurzame warmtebronnen werken echter niet op basis van verbranding van brandstof. Dit introduceert een restrictie in de maximaal haalbare aanvoertemperatuur aan de warmteafgifte-installatie. Bij geothermie is de aanvoertemperatuur bijvoorbeeld meestal gelimiteerd tot 70°C, bij de aansluiting op de warmterivier is een aanvoertemperatuur van 40°C van toepassing en warmtepompen produceren doorgaans een aanvoertemperatuur van 30 - 40°C.

Doel van de analyse
In het voorgaande hoofdstuk is naar isolatie en kierdichting gekeken om vast te stellen in hoeverre het benodigde verwarmingsvermogen van de woning omlaag kan worden gebracht. In dit hoofdstuk wordt uiteengezet welke typen afgifte-installaties kunnen worden toe- of aangepast en wordt er gekwantificeerd welke vermogens hiermee gerealiseerd kunnen worden.

Werkwijze
Voor een aantal verschillende afgiftesystemen (radiatoren, convectoren, boosterventilatoren, vloerverwarming en wandverwarming) zijn verschillende aanvoertemperaturen uiteengezet welke afgiftevermogens er bij de toepassing gerealiseerd kunnen worden.

5.1 Paneelradiatoren

In de huidige situatie wordt in de referentiewoningen gebruikgemaakt van paneelradiatoren. Paneelradiatoren in bestaande bouw zijn meestal gedimensioneerd op een temperatuurtraject van 90/70°C.

Figuur 5.1 Paneelradiator, bron: Radson

Wanneer radiatoren op een lager temperatuurtraject worden gebruikt, neemt het vermogen van warmteafgifte fors af. Een optie is om bestaande radiatoren te vervangen door grotere radiatoren om zo het afgiftevermogen te vergroten. Daar moet uiteraard wel plaats voor zijn, in fysieke en esthetische zin. Het onderstaande lijstje toont de afname in afgiftevermogen bij de toepassing van alternatieve temperatuurtrajecten met lagere temperaturen.

- Bij 90/70°C: 100% van het oorspronkelijke ontwerpvermogen.
- Bij 70/50°C: circa 56% van het oorspronkelijke ontwerpvermogen.
- Bij 40/30°C: circa 14% van het oorspronkelijke ontwerpvermogen.

Uit het lijstje komt naar voren dat het vergroten van de radiatoren slechts in beperkte mate bij kan dragen aan het benodigde totaalpakket aan maatregelen om met lagere temperatuurtrajecten te kunnen werken.

Paneelradiatoren met boosterventilatoren
Het vermogen van de warmteafgifte van radiatoren bij de toepassing kan sterk worden vergroot door boosterventilatoren toe te passen. Voor radiatoren zijn ‘add-on’-systemen beschikbaar die op de bestaande radiatoren bevestigd kunnen worden.

Figuur 5.2 Paneelradiator met boosterventilator, bron: ClimateBooster

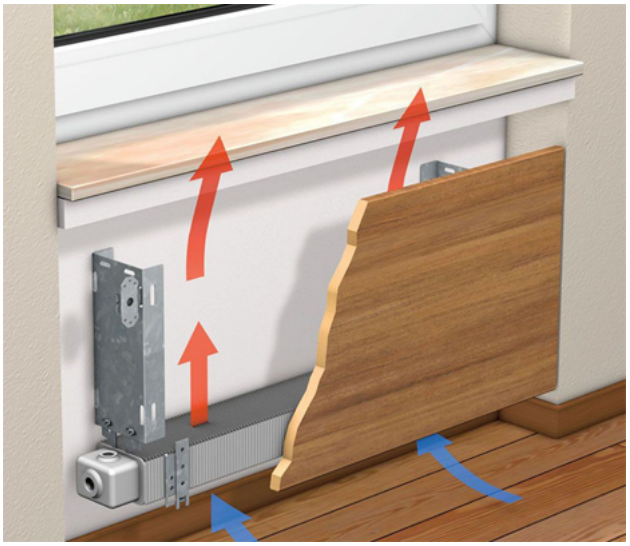
De ventilatoren zijn voorzien van een toerentalregeling die regelt op het verschil en gevraagde ruimtetemperatuur. De ventilatoren schakelen uit wanneer de convector van zichzelf al voldoende warmte afgeeft. Bij een laag toerental zijn de ventilatoren geruisloos, op maximaal vermogen produceren de ventilatoren geluid. Het maximaal toelaatbare toerental is instelbaar.

Het onderstaande lijstje toont de toename in vermogen van warmteafgifte bij maximale inzet van de boosterventilatoren. Dit voorbeeld is van toepassing op een radiatortype 22 (80 x 50 x 10) en gebaseerd op een opgave van ClimateBooster.

- Bij een aanvoertemperatuur van 70°C: toename afgiftevermogen van circa 73%.
- Bij een aanvoertemperatuur van 40°C: toename afgiftevermogen van circa 98%.

5.2 Convectoren

Convectoren bestaan uit dunne warmwaterleidingen met daaromheen, op korte afstand van elkaar, een groot aantal dunne lamellen. Door de geringe waterinhoud en lage massa zijn convectoren zeer snel op temperatuur en een stuk compacter dan radiatoren. Het nadeel van convectoren is dat de warmte volledig convectief (door stroming van warmte lucht) wordt overgedragen. De stralingscomponent ontbreekt daardoor grotendeels.



Figuur 5.3 Convector, bron: Kampmann/ArchiExpo

Convectoren kunnen compacter worden uitgevoerd dan radiatoren, maar de voetafdruk van radiatoren en convectoren is nagenoeg gelijk. Bij de toepassing van convectoren kan in vergelijking met radiatoren in de hoogte van het apparaat worden bespaard op ruimtegebruik.

Convectoren met boosterventilatoren
Het vermogen van de warmteafgifte van convectoren bij de toepassing van lage cv-watertemperaturen kan sterk worden vergroot door boosterventilatoren toe te passen.

Figuur 5.4 Convector met boosterventilator, bron: Jaga

De ventilatoren zijn voorzien van een toerentalregeling die regelt op het verschil en de gevraagde ruimtetemperatuur. De ventilatoren schakelen uit wanneer de convector van zichzelf al voldoende warmte afgeeft. Bij een laag toerental zijn de ventilatoren geruisloos, op maximaal vermogen produceren de ventilatoren geluid. Het maximaal toelaatbare vermogen is instelbaar. Een aandachtspunt bij de toepassing van boosterventilatoren is dat de convectoren een elektrische aansluiting dienen te krijgen.

Het onderstaande lijstje toont de toename in vermogen van warmteafgifte bij maximale inzet van de boosterventilatoren. Dit voorbeeld is van toepassing op een convector van Jaga met afmetingen 60 x 20 x 10.

- Bij een aanvoertemperatuur van 75°C: toename afgiftevermogen van circa 38%.
- Bij een aanvoertemperatuur van 55°C: toename afgiftevermogen van circa 71%.
- Bij een aanvoertemperatuur van 40°C: toename afgiftevermogen van circa 95% (aanname).

5.3 Vloerverwarming

Vloerverwarming functioneert bij gebruik van relatief lage cv-watertemperaturen waardoor het systeem ideaal te combineren is met warmtepompen, de warmterivier of geothermie. In bestaande bouw kan vloerverwarming als droogbouwsysteem worden ingebouwd. Er worden dan bijvoorbeeld modules van piepschuim op de bestaande vloer gelegd waar de slangen voor het transport van warm water in worden 'geklikt'. Hier bovenop wordt een beschermende laag geplaatst waarop de uiteindelijke vloerbedekking wordt aangebracht.

Figuur 5.5 Vloerverwarming in bestaande bouw, bron: droogbouw-vloerverwarming.nl

Praktische aspecten
Een aandachtspunt bij de toepassing van vloerverwarming zijn restricties in de toe te passen typen vloerbedekking. De warmteweerstand van een houten vloer (parket) is bijvoorbeeld veel hoger dan bij een stenen vloer. In hoeverre het mogelijk is om een houten vloer toe te passen in combinatie met vloerverwarming is dan ook afhankelijk van het benodigde vermogen van warmteafgifte om de ruimte op temperatuur te brengen.

Omdat het benodigde vermogen voor ruimteverwarming in bestaande bouw over het algemeen, ook in combinatie met gangbare na-isolatiemaatregelen, relatief hoog ligt, wordt gebruik van vloerverwarming in combinatie met parket in bestaande bouw afgeraden. Over het algemeen geldt dit ook voor laminaatvloeren. Bij de toepassing van vloerverwarming in bestaande bouw is het beter om vinyl/pvc, marmoleum of stenen plavuizen toe te passen. Stenen vloeren (plavuizen) leveren het beste rendement. Uitgevoerd als 'keramisch parket' kan met een stenen vloer de uitstraling van houten parket worden nagebootst en tegelijkertijd optimaal rendement worden gerealiseerd.

De bestaande vloer wordt door de dikte van het aan te brengen pakket vloerisolatie, piepschuim, leidingen, de beschermde toplaag verhoogd, waarbij vooral de beschermende toplaag bepalend is voor de dikte van het totale pakket. Dit varieert van speciaal plaatmateriaal met een dikte van slechts 5 mm tot gipsvezelplaten van circa 20 mm dikte, waarmee de dikte van het totale pakket circa 30 tot 50 mm bedraagt. Dit is een aandachtspunt; bij de toepassing van vloerverwarming in bestaande situaties moeten bijvoorbeeld deuren/plinten mogelijk een stuk worden ingekort.

Het afgiftevermogen van vloerverwarming wordt bepaald door de volgende aspecten.
- De aanvoertemperatuur.
- De gewenste ruimtetemperatuur (20 - 22°C).
- De maximaal toelaatbare of comfortabele oppervlaktetemperatuur van de vloer.
- De hart-op-hart maat (de afstand tussen de buizen - hoe kleiner, hoe groter het vermogen).
- Het type vloerbedekking.

Het strekt tot aanbeveling de vloer niet warmer te laten worden dan 29°C. Hogere temperaturen c.q. afgiftevermogens zijn technisch haalbaar, maar kunnen in de praktijk in comfortklachten resulteren. De vloertemperatuur vormt daardoor in de praktijk een belangrijke restrictie in het maximaal haalbare afgiftevermogen.

Vloerverwarming functioneert bij een aanvoertemperatuur van tussen de 25 en 50°C. De optimale aanvoertemperatuur wordt deels bepaald door het toe te passen type vloerbedekking en de warmteopwekker. In de voorliggende studie hanteren wij hiervoor de volgende set van uitgangspunten.

- Voor de vloerbedekking maken wij onderscheid tussen twee extremen:
  - stenen plavuizen (lage warmteweerstand);
  - houten vloeren (hoge warmteweerstand).
- Voor de warmteopwekker maken wij onderscheid tussen:
  - een situatie waarin warmte afkomstig van de warmterivier direct toegepast kan worden voor vloerverwarming ofwel een aanvoertemperatuur van gemiddeld 40°C;
  - een situatie waarin de warmte wordt opgewekt met een warmtepomp. Voor een warmtepomp geldt: hoe lager de benodigde aanvoertemperatuur aan het verwarmingssysteem, hoe hoger de efficiëntie van de warmtepomp. In de voorliggende analyse is gerekend met een aanvoertemperatuur van gemiddeld 35°C.

De onderstaande tabel toont de resulterende afgiftevermogens bij de vermeldde uitgangspunten. Hierbij is een gewenste ruimtetemperatuur van 22°C van toepassing en wordt het vloeroppervlak niet warmer dan 30°C. Voor de onderlinge leidingafstand is 125 mm aangehouden.

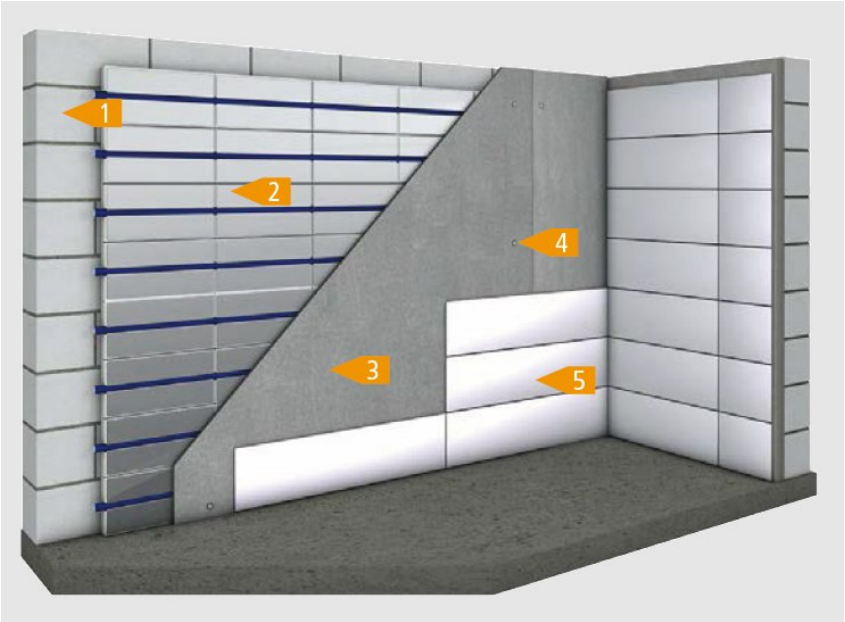
Tabel 5.1 Afgiftevermogens vloerverwarming

	Afgiftevermogen bij steen (W/m^2)	**Afgiftevermogen bij laminaat (W/m^2)**
40°C aanvoertemperatuur (30°C retourtemperatuur, gemiddeld 35°C)	80	65
45°C aanvoertemperatuur (35°C retourtemperatuur, gemiddeld 40°C)	130	85

Bij de aansluiting op geothermie (70°C) moet, om te voorkomen dat de vloertemperatuur hoger oploopt dan 30°C, de aanvoertemperatuur worden gereduceerd tot 45°C.

5.4 Wandverwarming

Wandverwarming is qua principe goed vergelijkbaar met vloerverwarming. Op de muur worden modules aangebracht waar de slangen voor distributie van warm water in worden geklikt. De modules met slangen worden afgedekt met gipsvezelplaten, waarop de toplaag ter afwerking van de muur wordt aangebracht. De totale opbouwhoogte bedraagt circa 40 mm.



Figuur 5.6 Wandverwarming (1: ruwe muur, 2: modules met verwarmingsbuizen, 3: afdekking met gipsvezelplaten, 5: toplaag. Bron: droogbouw-vloerverwarming.nl.

Wandverwarming kent enkele belangrijke aandachtspunten.

- Er kunnen geen kasten tegen een wand met wandverwarming worden geplaatst. Voor kleinere kasten of open boekenkasten kan wellicht een uitzondering worden gemaakt, maar over het algemeen belemmert alles wat op of voor de wand wordt geplaatst de warmteafgifte.
- Boren en spijkeren in de muur is problematisch. Omdat de slangen van kunststof zijn gemaakt, bieden leidingzoekers hierbij geen uitkomst.

De onderstaande tabel toont de afgiftevermogens van wandverwarming bij een gewenste ruimtetemperatuur van 22°C en een leidingafstand van 125 mm. Het voordeel van wandverwarming boven vloerverwarming is een ruimere tolerantie voor hogere temperaturen zonder verlies van comfort omdat de temperatuur van de wand wat hoger op mag lopen. Het afgiftevermogen van wandverwarming ligt daardoor ook iets hoger in verhouding tot vloerverwarming. De maximale oppervlaktetemperatuur van de wand is in dit geval beperkt tot 40°C.

Tabel 5.2 Afgiftevermogens wandverwarming

	Afgiftevermogen bij steen (W/m^2)
55°C aanvoertemperatuur (geothermie)	135
40°C aanvoertemperatuur (warmterivier)	65

6 Afstemming warmtebehoefte en warmteafgifte

In hoofdstuk 4 en 5 zijn de warmtebehoefte van de woningen en de mogelijkheden voor warmteafgifte geïnventariseerd. De resultaten zijn samengevat in de volgende tabellen.

De onderstaande tabel toont het benodigde verwarmingsvermogen om de woning bij een buitentemperatuur van - 10°C naar een binnentemperatuur van 22°C te brengen en in hoeverre dit naar beneden wordt bijgesteld door toepassing van de isolatiepakketten.

Tabel 6.1 Benodigd afgiftevermogen

Verwarmingsvermogen bij Tbuiten - 10°C	Unit	Referentie	Pakket A	Pakket B
Absoluut				
Tussenwoning	W/m^2 gebruikersoppervlakte	240	170	65
Twee-onder-eenkapwoning	W/m^2 gebruikersoppervlakte	220	145	85
Resterend benodigde vermogen ten opzichte van referentie				
Tussenwoning	%	100	71%	27%
Twee-onder-eenkapwoning	%	100	66%	39%

De onderstaande tabel toont de afgiftevermogens die resulteren bij de toepassing van alternatieve aanvoertemperaturen en afgiftesystemen. Aangenomen is dat het huidige afgiftesysteem is gedimensioneerd op het gevraagde afgiftevermogen voor de referentiesituatie (220 W/m^2 voor de twee-onder-eenkapwoning en 240 W/m^2 voor de tussenwoning).

Tabel 6.2 Afgiftevermogens bij toepassing van verschillende afgiftesystemen

Warmteafgifte	Unit	Aanvoer 90°C	Aanvoer 70°C	Aanvoer 40°C
Radiatoren	Afgiftevermogen ten opzichte van huidig (%)	100%	56%	14%
Radiatoren met boosterventilatoren	Afgiftevermogen ten opzichte van huidig (%)		97%	50%
Convector	Afgiftevermogen ten opzichte van huidig (%)		56%	14%
Convector met boosterventilatoren	Afgiftevermogen ten opzichte van huidig (%)		78%	27%
Vloerverwarming, steen	W/m^2 gebruikersoppervlakte		130*	80
Vloerverwarming, laminaat	W/m^2 gebruikersoppervlakte		85*	65
Wandverwarming	W/m^2 gebruikersoppervlakte		135**	65

* Aanvoertemperatuur aan vloerverwarming: maximaal 45°C.
** Aanvoertemperatuur aan wandverwarming: maximaal 60°C.

6.1 Energetisch

In de tabellen op de volgende pagina's is voor beide referentiewoningen en besparingspakketten aangegeven in hoeverre het energetisch mogelijk is het benodigde afgiftevermogen te realiseren bij een aanvoertemperatuur van 70°C of 40°C.

Het percentage, vermeld bij elke combinatie, reflecteert de verhouding tussen het benodigde afgiftevermogen per m^2 gebruiksoppervlak (zie de tabel in paragraaf 4.1) en het haalbare afgiftevermogen (zie de tabel in paragraaf 4.2). Hoe hoger het percentage, hoe hoger de garantie op het behalen van het gewenste comfortniveau.

Op de kleurcodering in de tabel zijn de volgende opmerkingen van toepassing.

- Combinaties met een rode arcering zijn naar verwachting technisch niet haalbaar. Voor deze combinaties geldt dat het afgiftevermogen naar verwachting ontoereikend is om het vereiste comfortniveau te realiseren. Combinaties met een groene of gele arcering zijn naar verwachting wel mogelijk. De hoogte van het percentage reflecteert de mate van zekerheid. Alle waarden hoger dan 75% zijn geel gearceerd, omdat:
  - de huidige radiatoren over-gedimensioneerd zouden kunnen zijn waardoor het toch mogelijk is om het benodigde afgiftevermogen te realiseren;
  - het pakket aan energiebesparende maatregelen mogelijk nader geoptimaliseerd kan worden teneinde het gevraagde vermogen verder te reduceren om de combinatie technisch haalbaar te maken.

Tabel 6.3 Match benodigd afgiftevermogen vs. haalbaar afgiftevermogen bij toepassing van verschillende afgiftesystemen

Balans vraagvermogen en afgiftevermogen (de verhouding tussen benodigd en beschikbaar afgiftevermogen)						
70°C aanvoertemperatuur	Tussenwoning			Twee-onder-eenkapwoning		
	Referentie	Pakket A	Pakket B	Referentie	Pakket A	Pakket B
Bestaande radiatoren	56%	79%	207%	56%	85%	145%
Radiatoren met boosterventilatoren	97%	137%	358%	97%	147%	251%
Convector	56%	79%	207%	56%	85%	145%
Convector met boosterventilatoren	78%	110%	288%	78%	118%	202%
Vloerverwarming, steen	54%	76%	200%	59%	90%	153%
Vloerverwarming, laminaat	35%	50%	131%	39%	59%	100%
Wandverwarming	56%	79%	208%	61%	93%	159%
40°C aanvoertemperatuur	Tussenwoning			Twee-onder-eenkapwoning		
	Referentie	Pakket A	Pakket B	Referentie	Pakket A	Pakket B
Huidige radiatoren	14%	20%	52%	14%	21%	36%
Huidige radiatoren met boosterventilatoren	50%	71%	185%	50%	76%	129%
Convector	14%	20%	52%	14%	21%	36%
Convector met boosterventilatoren	27%	38%	100%	27%	41%	70%
Vloerverwarming, steen	33%	47%	123%	36%	55%	94%
Vloerverwarming, laminaat	27%	38%	100%	30%	45%	76%
Wandverwarming	27%	38%	100%	30%	45%	76%

Uit de tabel komt naar voren dat een aanvoertemperatuur van 70°C nog veel flexibiliteit biedt qua toe te passen type afgiftesysteem en grondig renoveren hierbij in veel gevallen niet noodzakelijk is om het gewenste comfortniveau te bereiken. Bij een aanvoertemperatuur van 40°C zijn de mogelijkheden een stuk beperkter en zijn meer grondige energiebesparende maatregelen noodzakelijk om het gewenste comfortniveau te bereiken. Dan zijn echter ook verschillende afgiftesystemen mogelijk, al zijn hierbij wel een aantal aandachtspunten betreffende het comfortniveau van toepassing die niet direct uit de cijfers in de bovenstaande tabel naar voren komen. Hier komen wij onderstaand op terug.

Verder valt het op dat de resultaten voor beide typen referentiewoningen op hoofdlijnen identiek zijn. Dankzij de mogelijkheid spouwmuurisolatie toe te passen in de twee-onder-eenkapwoning is bij de toepassing van isolatiepakket A iets minder afgiftevermogen nodig ten opzichte van de tussenwoning. Bij de toepassing van pakket B worden de gevels bij beide woningen geïsoleerd, waardoor dit omdraait en de twee-onder-eenkapwoning een hoger afgiftevermogen nodig heeft ten opzichte van de tussenwoning. Dit is te verklaren aan de hand van het extra aan buitenlucht grenzende geveldeel van de twee-onder-eenkapwoning. Hierdoor liggen de transmissie- en infiltratieverliezen in de twee-onder-eenkapwoning iets hoger.

Selectie van afgiftesysteem en isolatiepakket voor warmteconcepten
In het volgende hoofdstuk analyseren wij een aantal warmteconcepten, waarvoor wij op voorhand – gegeven de in het concept beschikbare aanvoertemperatuur – vaststellen welk type afgiftesysteem en isolatiepakket wordt toegepast. De selectie is gebaseerd op de volgende overwegingen.

Selectie isolatiepakket: uit de tabel op de vorige pagina kan worden geconcludeerd dat het bij een aanvoertemperatuur van 40°C waarschijnlijk noodzakelijk is isolatiepakket B toe te passen en dat bij een aanvoertemperatuur van 70°C kan worden volstaan met isolatiepakket A. Pakket A heeft dan wegens beperktere kosten en een beperktere praktische impact de voorkeur boven pakket B.

Selectie afgiftesysteem: welk type afgiftesysteem de beste perspectieven biedt is naast energetische haalbaarheid ook afhankelijk van comfortaspecten en kosten. Uiteindelijk is voor de doorrekening van de warmteconcepten in het volgende hoofdstuk voor beide referentiewoningen bij een aanvoertemperatuur van 70°C gekozen voor behoud van de bestaande radiatoren en bij een aanvoertemperatuur van 40°C gekozen voor de toepassing van vloerverwarming.

Deze keuze wordt nader toegelicht in de volgende tabel. De resultaten uit de tabel op de vorige pagina en de hieruit voortvloeiende bevindingen zijn op hoofdlijnen identiek. Omwille van de overzichtelijkheid is dit onderscheid daarom in de onderstaande tabel achterwege gelaten. Verder is ook de referentiesituatie buiten beschouwing gelaten omdat in de analyse van warmteconcepten (volgende hoofdstuk) geen variant met een combinatie van een aanvoertemperatuur van 70°C of 40°C zonder toepassing van een energiebesparingspakket terugkomt.

Tabel 6.4 Toelichting selectie van type afgiftesysteem voor de warmteconcepten

Toelichting selectie van type afgiftesysteem voor de warmteconcepten	
Isolatiepakket A	**Isolatiepakket B**
70°C aanvoertemperatuur	
• De huidige radiatoren blijven in gebruik. Naar verwachting volstaat hierbij het vermogen, al is er wel sprake van weinig speling. • Mochten op zeer koude dagen toch comfortklachten optreden, dan bestaat de mogelijkheid om achteraf alsnog een aantal radiatoren van boosterventilatoren te voorzien in vertrekken waar comfortklachten optreden. • Omdat de bestaande radiatoren in stand worden gehouden, worden bij deze combinatie (70°C aanvoertemperatuur en isolatiepakket A) geen investeringskosten voor aanpassingen aan het afgiftesysteem in de investeringsramingen meegenomen.	Niet van toepassing - Uit tabel 6.3 kan worden geconcludeerd dat bij een aanvoertemperatuur van 70 °C kan worden volstaan met isolatiepakket A. Pakket A heeft dan wegens beperktere kosten en een beperktere praktische impact de voorkeur boven pakket B.
40°C aanvoertemperatuur	
Niet van toepassing - Uit tabel 6.3 kan worden geconcludeerd dat bij een aanvoertemperatuur van 40°C toepassing van isolatiepakket B noodzakelijk is.	• Uit tabel 6.3 komt naar voren dat met de toepassing van de huidige radiatoren in combinatie met boosterventilatoren in principe voldoende afgiftevermogen wordt bereikt om met een combinatie van isolatiepakket B en aanvoertemperatuur van 40°C uit de voeten te kunnen. • Het is echter de vraag onder deze condities of het gewenste comfortniveau wordt bereikt met de toepassing van boosterventilatoren. – De boosterventilatoren moeten al vrij snel worden ingeschakeld bij een dalende buitentemperatuur en zullen op de koudere dagen op volle toeren moeten draaien om het gewenste temperatuurniveau te bereiken. Het geluid wat de ventilatoren hierbij produceren kan als hinderlijk worden ervaren. – Bij een aanvoertemperatuur van 40°C komt bij de toepassing van radiatoren of convectoren, ongeacht het feit dat de ruimtetemperatuur wel op het gewenste niveau wordt gebracht, zeer weinig stralingswarmte vrij. Dit kan in de praktijk als comfortissue worden ervaren. Vloerverwarming leidt dan tot een sterk verbeterd comfortniveau. • Gegeven de bovenstaande overwegingen en gezien het feit er toch al ingrijpend gerenoveerd moet worden bij de toepassing van isolatiepakket B, is ervoor gekozen bij alle warmteconcepten met een aanvoertemperatuur van 40°C te kiezen vloerverwarming toe te passen.

Verderop in de analyse zal blijken dat de keus voor het type toe te passen warmteafgiftesysteem bij een aanvoertemperatuur van 40°C sterk bepalend is voor de kostprijs van de warmteconcepten op 40°C. Het toe te passen afgiftesysteem bij 40°C is daarom aan een variatieanalyse ontworpen in hoofdstuk 9.

Combinaties van verschillende afgiftesystemen en andere temperatuurtrajecten
In het voorgaande hebben wij gekeken naar de toepassing van één enkel type afgiftesysteem per warmteconcept. Het is ook mogelijk om een combinatie van verschillende afgiftesystemen toe te passen, bijvoorbeeld vloerverwarming in combinatie met (enkele) convectoren. Op flink koude dagen kunnen de convectoren dan extra vermogen leveren om de woning op temperatuur te brengen. Ook kan ervoor worden gekozen om bij de toepassing van vloerverwarming in eerste instantie alleen enkele aansluitpunten voor convectoren aan te brengen in de woonkamer en keuken. Dit creëert flexibiliteit om, wanneer het afgiftevermogen van de vloerverwarming om welke reden dan ook ontoereikend blijkt, eenvoudig extra afgiftevermogen bij te plaatsen.

De voorliggende studie heeft tot doel op hoofdlijnen vast te stellen wat er mogelijk is en welke aandachtspunten er spelen bij de toepassing van verschillende temperatuurniveaus, vraagprofielen en afgiftesystemen. Maatwerkconcepten waarin combinaties van verschillende afgiftesystemen worden toegepast, temperatuurniveaus anders dan 70 of 40°C worden gehanteerd (bijvoorbeeld een aanvoertemperatuur van 50°C) of andere mogelijkheden tot nadere optimalisatie van warmteconcepten vallen buiten de scope van de voorliggende studie.

6.2 Financieel

In de voorgaande paragraaf is vastgesteld welke combinaties van isolatiepakketten en afgiftesystemen het beste energetische resultaat opleveren. In een vervolgstap zijn de kosten voor implementatie van de isolatiepakketten en afgiftesystemen ingeschat. De onderstaande tabel toont de betreffende investeringskosten per woning (de bedragen zijn exclusief btw).

Tabel 6.5 Kosten

Woning	Investeringskosten besparings-maatregelen (€)	Investeringskosten afgiftesysteem	Investeringskosten totaal (€)
70°C aanvoertemperatuur			
Tussenwoning	€ 6.000,- (pakket A)	Geen (behoud bestaande radiatoren)	€ 7.400,-
Hoekwoning	€ 8.000,- (pakket A)	Geen (behoud bestaande radiatoren)	€ 9.100,-
40°C aanvoertemperatuur			
Tussenwoning	€ 19.000,- (pakket B)	€ 19.000,- vloerverwarming	€ 38.000,-
Hoekwoning	€ 18.000,- (pakket B)	€ 15.000,- vloerverwarming	€ 32.000,-

Op de raming van de investeringskosten in de isolatiepakketten is het volgende van toepassing.

- Voor **pakket A** geldt dat de maatregelen worden toegepast als op zichzelf staande maatregelen/investeringen. Dat wil zeggen dat alle kosten van implementatie van de maatregelen onderdeel uitmaken van de kostenraming.
- Voor **pakket B** geldt dat de maatregelen worden geïmplementeerd als onderdeel van een woningrenovatie en alleen de meerkosten voor extra energiebesparende maatregelen worden meegerekend. Dit houdt bijvoorbeeld in dat voor het isoleren van het dak alleen de meerkosten voor extra isolatiemateriaal worden meegerekend terwijl de kosten van andere handelingen zoals het vervangen van de bitumendakbedekking en de afwerking niet zijn meegerekend.

Als onderdeel van de analyse van de warmtevraag is vastgesteld hoeveel energie er op jaarbasis in volume wordt bespaard in het tweetal referentiewoningen bij de toepassing van de verschillende isolatiepakketten (zie tabel 4.2 en 4.4). Hierbij is meetdata van Stedin als basis gebruikt voor het berekenen van de warmtevraag in de referentie en is aan de hand van rekenmodellen bepaald

hoeveel er op jaarbasis op aardgasverbruik wordt bespaard bij de toepassing van de isolatiepakketten.

Door de investeringskosten, vermeld in de voorgaande tabel, te delen door de jaarlijkse energiekostenbesparing is de eenvoudige terugverdientijd (ETVT) van de warmteconcepten berekend. De volgende tabel toont de resulterende kostenbesparing en ETVT van de verschillende warmteconcepten. Hierbij wordt ter referentie vooralsnog in alle concepten een aardgasgestookte ketel toegepast.

Tabel 6.6 Kosten

Woning	Investeringskosten energiebesparende maatregelen en afgiftesysteem totaal (€)	Gas-verbruik (m^3/jaar)	Besparing gaskosten (€/jaar)*	Vastrecht gas-aansluiting (€/jaar)	Onderhoud (€/jaar)	ETVT (jaar)
90°C aanvoertemperatuur (referentie, geen energiebesparende maatregelen)						
Tussenwoning		2.100		€162,-	€ 80,-	
Hoekwoning		2.500		€162,-	€ 80,-	
70°C aanvoertemperatuur (isolatiepakket A)						
Tussenwoning	€ 6.000,-	1.500	€ 300,-	€162,-	€ 80,-	20
Hoekwoning	€ 8.000,-	1.600	€ 450,-	€162,-	€ 80,-	18
40°C aanvoertemperatuur (isolatiepakket B)						
Tussenwoning	€ 38.000,-	600	€ 750,-	€162,-	€ 80,-	50
Hoekwoning	€ 33.000,-	1.000	€ 750,-	€162,-	€ 80,-	44

*Bij een aardgastarief van € 0,54 (exclusief btw).

Met de toepassing van energiebesparingspakket A wordt tussen de 300 en 450 €/jaar op gaskosten bespaard, waarmee een terugverdientijd van 18 - 20 jaar wordt behaald. Bij de toepassing van energiebesparingspakket B neemt de stijging in investeringskosten onevenredig toe met de stijging in energiekostenbesparing. Hierdoor komt de terugverdientijd bij de toepassing van deze concepten met 44 - 50 jaar een stuk hoger uit.

De bovenstaande tabel vormt het referentiekader voor de verdere financiële verkenning van een aantal warmteconcepten waarin ook alternatieve opwekkers van warmte dan aardgasgestookte combiketels worden beschouwd. Dit is het onderwerp van volgend hoofdstuk.

7 Analyse warmteconcepten

In de voorgaande secties lag de focus op de warmtebehoefte en het warmteafgiftesysteem van de woningen zelf, waarbij ter referentie voor de opwek van warmte alleen nog naar een gasgestookte combiketel is gekeken. In de voorliggende sectie worden alternatieve vormen van warmteopwek verkend, waarbij wij ook nader ingaan op collectieve oplossingen. Wij beschouwen hierbij de gehele keten van productie, transport, distributie en afname.

Doel van de analyse
De analyse heeft tot doel verschillende warmteconcepten te vergelijken op financiële en energetische prestaties. De demarcatie van het warmteconcept omvat hierbij de gehele keten van (de)centrale opwek van de warmte tot en met afgifte van de warmte in de woning. De vraag welk warmteconcept (dat wil zeggen de combinatie van vraag, opwek, transport en afgifte van warmte) de laagste kosten met zich meebrengt, is namelijk niet uitsluitend beperkt tot investeringskosten in energiebesparende maatregelen, opwek- en afgifte-installaties in de woning oftewel de portemonnee van de eindgebruiker. Ook de kosten voor opwek en transport van de energie (gas, elektriciteit of warmte) noodzakelijk voor de uiteindelijke verwarming van de woning, zijn van invloed op het integrale, maatschappelijke kostenplaatje. Met de analyse is vanuit dit integrale totaalperspectief vastgesteld welke oplossing of welk scenario over de totale keten bezien de laagste kosten met zich meebrengt.

Methode
In een eerste stap is een zestal warmteconcepten gedefinieerd. Een warmteconcept bestaat uit een specifieke combinatie van bouwkundige maatregelen, installaties en energienetten.

Vervolgens is voor elk van de warmteconcepten een integrale kostenanalyse uitgewerkt. In deze kostenanalyse worden de totaalkosten voor realisatie en exploitatie van een warmteconcept geraamd zonder op voorhand vast te leggen welke partij de investering en exploitatie ter hand neemt of winstmarges en risicopremies te verrekenen bij onderlinge verhandeling van energie (bijvoorbeeld de verkoop van warmte door een leverancier aan een afnemer). Hieruit komt naar voren welke concepten vanuit maatschappelijk perspectief tegen de laagste kosten gerealiseerd kunnen worden.

Leeswijzer hoofdstuk
Paragraaf 7.1 introduceert de warmteconcepten. In paragraaf 7.2 wordt nader toegelicht hoe de integrale kostenanalyse is opgebouwd. Paragraaf 7.3 presenteert de resultaten met een bijbehorende gevoeligheidsanalyse in paragraaf 7.4.

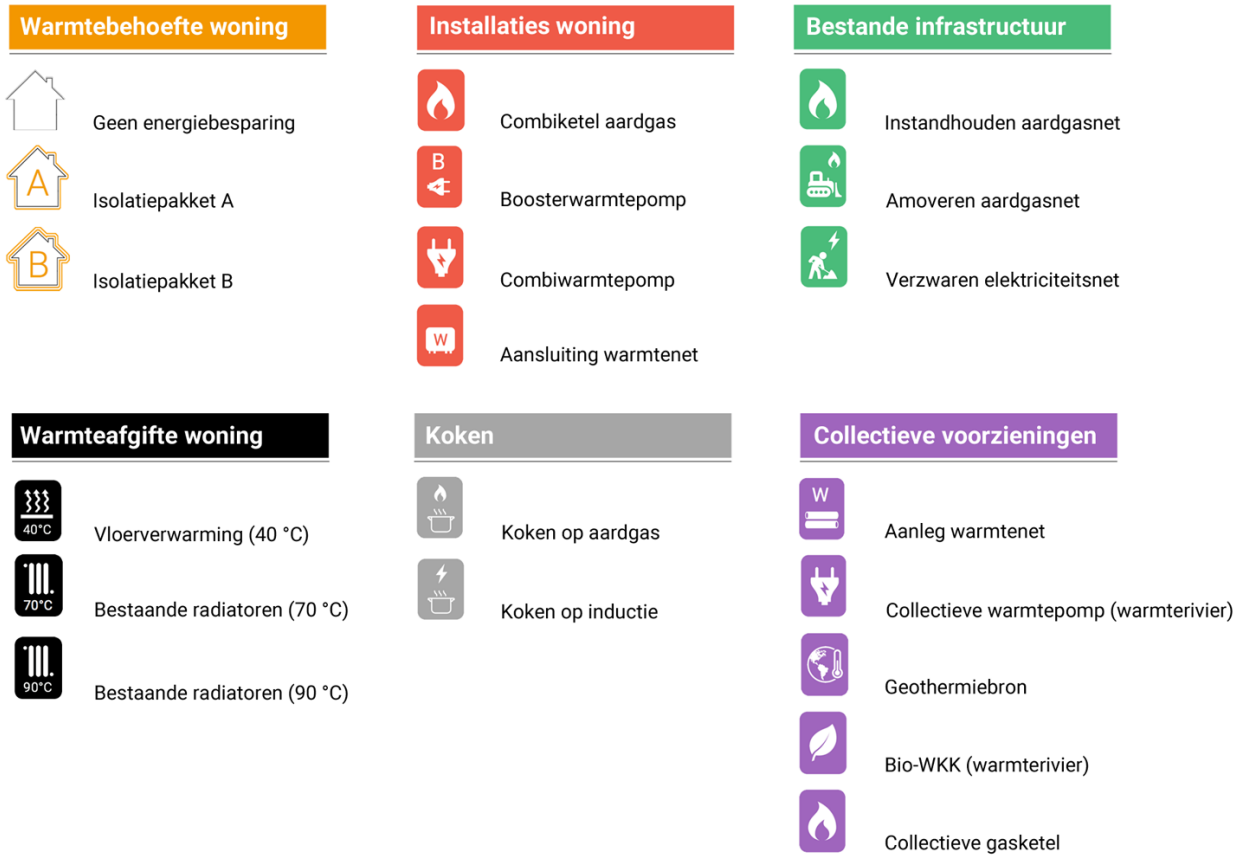
7.1 Warmteconcepten

In de analyse vergelijken wij in totaal een zestal warmteconcepten. Hierin worden configuraties van verschillende typen installaties en energiebesparende maatregelen toegepast.

Wij kijken naar de volgende concepten.
1 **Referentie:** voortzetten van de situatie met aardgasketels. Dit is de referentie.
2 **Referentie+**: voortzetten van de situatie met aardgasketels in combinatie met energiebesparing.
3 **All-electric:** individuele warmtepomp per woning met buitenlucht als bron.
4 **Geothermie:** warmtenet op 70°C met geothermie als warmtebron.
5 **Warmterivier:** warmtenet op 40°C met warmterivier als warmtebron.
6 **Warmterivier + wkk:** warmtenet op 40°C met warmterivier als warmtebron in combinatie met wkk.

7.1.1 Bouwstenen warmteconcepten

De volgende figuur toont de bouwstenen waaruit de warmteconcepten zijn opgebouwd. De figuur op de volgende pagina toont de configuratie van elk warmteconcept oftewel hoe de onderstaande bouwstenen over de verschillende warmteconcepten zijn verdeeld.



Figuur 7.1 Bouwstenen warmteconcepten

De bouwstenen worden nader toegelicht in paragraaf 7.1.2 tot en met 7.1.6.

7.1.2 Configuratie warmteconcepten 1 tot en met 6

In concept 1 tot en met 3 ligt de focus op individueel woningniveau met uitsluitend een aardgas- en/of (al dan niet verzwaarde) elektriciteitsaansluiting. Concept 4 tot en met 6 zijn collectieve concepten waarbij de warmte hoofdzakelijk gecentraliseerd wordt opgewekt en via een nieuw aan te leggen warmtenet naar de woningen wordt getransporteerd.

Figuur 7.2 Configuratie warmteconcepten

De verschillende bouwstenen worden nader toegelicht in paragraaf 7.1.3 tot en met 7.1.6.

7.1.3 Bouwkundige maatregelen en installaties in de woning

Bouwkundige maatregelen
Het per warmteconcept toe te passen energiebesparingspakket is vastgesteld op basis van de bevindingen uit paragraaf 6.2: bij een aanvoertemperatuur van 70 - 90°C volstaat besparingspakket A, bij een aanvoertemperatuur van 40°C is de toepassing van pakket B technisch noodzakelijk.

Ruimteverwarming
Voor ruimteverwarming kunnen de volgende bouwstenen worden toegepast.

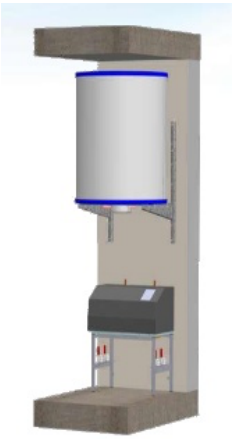
- **Combiketel aardgas**: de warmte voor ruimteverwarming wordt opgewekt met behulp van een conventionele aardgasgestookte ketel. Aanvoertemperaturen tot 90°C zijn mogelijk.
- **Combiwarmtepomp**: de warmte voor ruimteverwarming wordt opgewekt met behulp van een combiwarmtepomp, in dit geval een lucht-waterwarmtepomp waarmee met een op het dak of naast de woning te plaatsen buitenunit warmte uit de buitenlucht wordt onttrokken. Een warmtepomp functioneert het beste bij een aanvoertemperatuur van 40°C of lager aan het afgiftesysteem van de woning.
- **Warmteafleverset**: de warmte voor ruimteverwarming wordt van een warmtenet onttrokken met een warmteafleverset, te plaatsen tussen het warmtenet en het afgiftesysteem in de woning.

Figuur 7.3 Voorbeelden van installaties in de woning. Van linksboven naar rechtsonder: warmteafleverset, combiwarmtepomp met losse buiten-unit, combiwarmtepomp met geïntegreerde buitenunit in het dak, combiwarmtepomp met boilervat.

Warm tapwater

Voor de warmtapwatervoorziening kunnen de volgende bouwstenen worden toegepast.

- **Aardgasgestookte combiketel of warmteafleverset**: met een aanvoertemperatuur vanaf 60°C kan direct warm tapwater worden bereid met een combiketel of warmteafleverset. Dit is van toepassing op warmteconcepten 1, 2, 4 en 6.
- **Combiwarmtepomp**: in warmteconcept 3 wordt in warm tapwater voorzien met een combiwarmtepomp met boilervat. Een boilervat is nodig als buffer omdat het vermogen van een combiwarmtepomp ontoereikend is als doorstroomtoestel. Voor een toereikend warmtapwaterdebiet wordt daarom warm water gebufferd in een warmtapwaterboiler.
- **Boosterwarmtepomp**.
  - In warmteconcept 5 wordt geen individuele combiwarmtepomp toegepast omdat de warmte direct op 40°C vanuit het warmtenet via de afgifteset aan het vloerverwarmingssysteem wordt aangeleverd. Een aanvoertemperatuur van 40°C is in combinatie met een standaard warmteafleverset ontoereikend voor de bereiding van warm tapwater. De afbeelding rechts toont een boosterwarmtepomp met boilervat.
  - Om in warm tapwater te voorzien wordt daarom een boosterwarmtepomp toegepast die de warmte opwaardeert naar 60°C, ook weer in combinatie met een boilervat.
  - Het elektrisch vermogen van een boosterwarmtepomp is in vergelijking met een combiwarmtepomp relatief beperkt. Grootschalige toepassing van boosterwarmtepompen heeft daarom ook een minder grote impact op het benodigde vermogen vanuit het elektriciteitsnet.



Figuur 7.4 Boosterwarmtepomp met boilervat

Koken
Op de voorziening voor koken zijn de volgende opmerkingen van toepassing.
- In alle warmteconcepten waarbij geen individuele aardgasgestookte combiketels worden toegepast, wordt het aardgasnet in de woonwijken verwijderd. Dit gaat gepaard met een switch van koken op aardgas naar elektrisch koken op inductie.
- In de kostenanalyse zijn investeringskosten inbegrepen voor de aanschaf van een inductiekookplaat, een nieuwe pannenset (geschikt voor koken op inductie), het bijplaatsen van een groep in de meterkast en aansluiting in de keuken.
- Koken op elektriciteit is in het gebruik iets duurder (circa 15 €/jaar) dan koken op aardgas, dit is meegenomen in de kostenanalyse.

7.1.4 Bestaande infrastructuur

Met betrekking tot het bestaande aardgas- en elektriciteitsnet kunnen de volgende maatregelen worden toegepast.
- **Instandhouding van het bestaande gasnet**: het aardgasnet en de bijbehorende kosten voor renovatie en/of onderhoud van het aardgasnet worden in stand gehouden.
- **Amoveren aardgasnet**: het aardgasnet wordt verwijderd, de kosten vormen onderdeel van de analyse.
- **Verzwaren elektriciteitsnet**: het elektriciteitsnet in de woonwijk wordt verzwaard, de kosten vormen onderdeel van de analyse. Dit is alleen noodzakelijk bij grootschalige toepassing van individuele combiwarmtepompen in de woningen.

7.1.5 Collectieve voorzieningen

Bij nieuw te ontwikkelen collectieve voorzieningen kunnen de volgende onderdelen worden toegepast.
- **Aanleg warmtenet**: in alle warmteconcepten met een collectieve component wordt een nieuw warmtenet aangelegd voor de transport van warmte van een centrale bron naar de individuele woningen. Het warmtenet wordt via een afgifteset op de binneninstallatie van de woning aangesloten.
- **Collectieve warmtepomp**: plaatsing van een collectieve centrale warmtepomp. In dit geval voor het opwaarderen van warmte uit effluent (warmterivier, AWZI Houtrust) naar een temperatuur van 40°C in te voeden op een warmtenet.
- **Geothermiebron**: ontwikkeling van een geothermiebron voor de winning van duurzame aardwarmte van 70°C op 2 km diepte. Verondersteld is dat een onttrekkingsdebiet van 300 m³/h uit de bodem haalbaar is.
- **Bio-wkk**: op de AWZI Houtrust is een warmtekrachtkoppeling (wkk)-installatie in bedrijf waarvan de geproduceerde warmte met een temperatuur van > 70°C nog niet volledig wordt benut. Met de toepassing van een additionele rookgaskoeler kan de wkk onderdeel worden gemaakt van een totaalconcept bestaande uit een collectieve warmtepomp, de bio-wkk en een collectieve gasketel voor de piekvraag. De bio-wkk draait op biogas wat vrijkomt bij de vergisting van rioolslib. Mogelijk is de huidige biogasproductie nog verder op te voeren.
- **Collectieve gasketel**: in alle collectieve warmteconcepten wordt een aardgasgestookte collectieve gasketel toegepast voor de inzet bij de piekvraag naar warmte. Dit berust deels op een economische afweging (aardgasgestookt opwekvermogen is doorgaans goedkoper dan duurzaam opwekvermogen), maar maakt het ook mogelijk om een veel groter aantal woningen op de collectieve voorziening aan te sluiten. Dit heeft als nadeel dat aardgas onderdeel blijft uitmaken van de warmtevoorziening, maar betekent tegelijkertijd dat de duurzame warmtebron veel optimaler benut kan worden. De collectieve gasketel wordt centraal opgesteld, zodat de aardgasnetten in de woonwijken verwijderd kunnen worden.

7.1.6 Algemene financiële en energetische uitgangspunten

Naast de keuze van de te implementeren bouwstenen voor opwek, transport en afgifte van warmte zijn er ook bepaalde uitgangspunten en keuzes van toepassing op de wijze waarop de bouwstenen worden ingezet. Dit speelt met name een belangrijke rol bij de collectieve concepten.

De energetische en de daaruit voortvloeiende financiële prestaties van collectieve concepten zijn in bepaalde situaties sterk afhankelijk van het aantal aan te sluiten woningen en het verschil tussen de aanvoer- en retourtemperatuur waarmee het warmtenet gaat functioneren.

Een geothermiebron kan bijvoorbeeld meer afnemers van warmte voorzien bij nagenoeg gelijkblijvende kosten bij een groter verschil tussen de temperatuur van onttrekking (aanvoer) en injectie (retour) in de bron. Een ander voorbeeld zijn investeringskosten die niet of beperkt afhankelijk zijn van het aantal aan te sluiten afnemers. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de boorkosten van een geothermiebron. Verdeling van dergelijke investeringskosten over een groter aantal afnemers leidt tot lagere kosten per afnemer.

Retourtemperatuur en aantal aan te sluiten woningen
Lagere cv-retourtemperaturen leiden, met name bij de toepassing van een geothermiebron, tot een beter financieel rendement en maken het mogelijk meer woningen op een enkele bron aan te sluiten. De mogelijkheid en mate van uitkoeling wordt met name bepaald door het type afgiftesysteem en de inregeling hiervan in de woning. In het concept waarin geothermie wordt toegepast (warmteconcept 4) vormt de toepassing van radiatoren op 70°C in combinatie met isolatiepakket A het uitgangspunt. Hierbij veronderstellen wij een retourtemperatuur van 50°C, oftewel een delta-T van 70 - 50 = 20 K. Dit is een relatief beperkte delta-T waarbij de geothermiebron suboptimaal presteert.

Het is technisch goed mogelijk om de delta-T te verdubbelen tot circa 40 K (70 - 30). Daarvoor is het echter noodzakelijk om additionele maatregelen te treffen. Warmteconcept 4 (geothermie) zou hiertoe bijvoorbeeld kunnen worden voorzien van isolatiepakket B in combinatie met vloerverwarming en een boosterwarmtepomp voor tapwater. Dit leidt echter tot significant hogere kosten en biedt daarom naar verwachting uit financieel perspectief netto geen betere uitkomst. De impact van de delta-T op de prestaties van geothermie zijn echter dermate van omvang, dat wij hier nog wel nader op inzoomen in de variatie-analyse in hoofdstuk 9.

Gegeven de genoemde uitgangspunten voor het temperatuurregime is met behulp van een rekenmodel het optimaal aantal aan te sluiten woningen per warmteconcept vastgesteld. Bij dit optimaal aantal woningen wordt de laagste kostprijs van warmteproductie gerealiseerd. De volgende tabel toont de uitgangspunten voor de delta-T en het aantal woningaansluitingen. Een woningaansluiting representeert hier een gemiddelde woning (in de wijken Statenkwartier en Vogelwijk) met een vloeroppervlak van 200 m^2.

Tabel 7.1 Aansluitpotentieel aantal woningen

Scenario	Delta temperatuur aanvoer/retour (K)	Optimaal aantal aansluitingen (woningen)
Individuele concepten		
1 Aardgas, 90°C	20	Niet van toepassing
2 All-electric, 40°C	10	Niet van toepassing
Collectieve concepten		
3 Warmtenet, 70°C, geothermie	20	2.700
4 Warmtenet, 70°C, warmterivier	20	400 tot 1.000
5 Warmtenet, 40°C, warmterivier	10	2.500 +

De optimale grootte van concept 4 hangt samen met de beschikbare hoeveelheid biowarmte die met de wkk's geproduceerd kan worden.

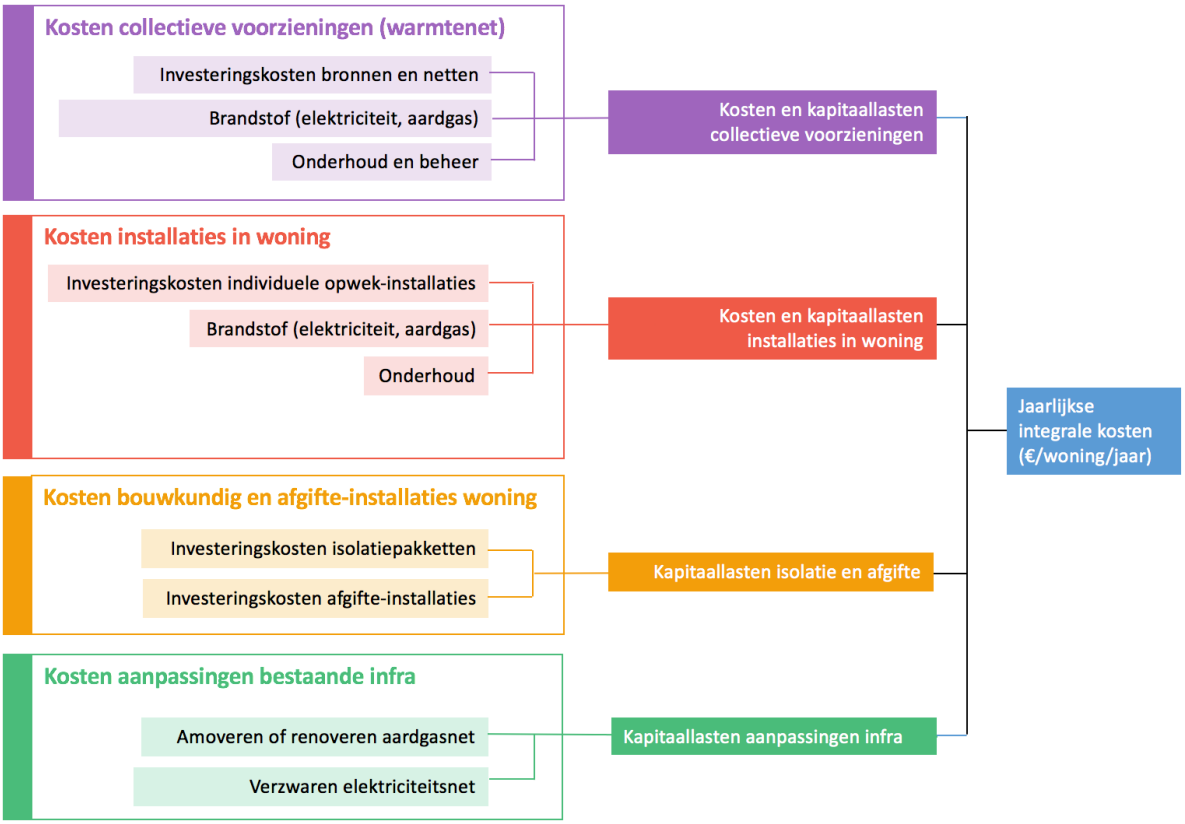
In paragraaf 7.4 wordt de gevoeligheid van deze uitgangspunten op het eindresultaat bekeken.

SDE+ op geothermie
In het warmteconcept met geothermie wordt SDE+-subsidie meegenomen in de analyse. Hierbij zijn de huidige SDE+-tarieven (2017) gehanteerd, oftewel een basisbedrag van 0,053 €/kWh in combinatie met een correctiebedrag van 0,012 €/kWh. Omgerekend resulteert dit in een netto SDE+-bijdrage van 11,39 €/GJ geothermische warmte. Hierop is een maximaal aantal vollasturen van 5.000 uur/jaar van toepassing, waarmee rekening is gehouden in de berekeningen. Het warmterivier-concept komt

waarschijnlijk niet in aanmerking voor SDE+-subsidie, omdat het hierbij om een bestaande installatie gaat.

7.2 Kostenanalyse

Het onderstaand schema toont de opbouw van de integrale kostenanalyse, uitgewerkt voor een zestal warmteconcepten.



Figuur 7.5 Opbouw integrale kostenanalyse

Toelichting bij de kostenposten.

- **Kosten collectieve voorzieningen** – De kosten die gepaard gaan met collectieve productie, transport, distributie en aflevering van warmte. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de kapitaalslasten voortvloeiend uit de boring van een geothermiebron en aanleg van leidingnetten, elektriciteitsverbruik voor het rondpompen van water en het beheer en onderhoud van de collectieve energievoorziening.
- **Kosten installaties woning** – De kosten voor alle in de woning aan te brengen installaties en de kosten van brandstof en onderhoud noodzakelijk om aan de warmtebehoefte te voldoen. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de kapitaalslasten voortvloeiend uit de aanschaf van een ketel, (booster)warmtepomp, het aanbrengen van vloerverwarming of het plaatsen van een extra groep in de groepenkast voor de aansluiting van een inductiekookplaat.
- **Bouwkundige kosten in woning** – Dit betreft de kapitaalslasten voortvloeiend uit investeringen in energiebesparende maatregelen en het warmteafgiftesysteem. Denk hierbij bijvoorbeeld aan kosten voor het isoleren van de woning en de benodigde aanpassingen aan het ruimteverwarmingssysteem.
- **Kosten voor aanpassingen aan bestaande infrastructuur** – Afhankelijk van de toe te passen energieoplossing moet het bestaande gasnet worden verwijderd of gerenoveerd of moet het bestaande elektriciteitsnet worden verzwaard. Deze post reflecteert de kapitaalslasten voortvloeiend uit de noodzakelijke investeringen daartoe.

Toelichting bij de methode.

- **Btw**: alle bedragen zijn exclusief btw.
- **Afschrijving/aflossingstermijn**: de investeringen worden omgerekend in jaarlijkse lasten aan de hand van een afschrijving/aflossingsstermijn en rentepercentage. Hierbij wordt rekening gehouden met verschillende afschrijvingstermijnen. Voor investeringskosten in de aanleg en aanpassing van een infrastructuur (aanleg warmtenet, verzwaren elektriciteitsnet et cetera) wordt bijvoorbeeld veertig jaar gehanteerd, voor investeringen in energiebesparende maatregelen en een geothermiebron wordt een periode van dertig jaar gehanteerd en voor individuele installatieonderdelen (warmtepomp, ketel et cetera) wordt een periode van vijftien jaar gehanteerd.
- **Rentelasten**: het uitgangspunt is dat alle investeringskosten worden gefinancierd met extern vermogen, de bijbehorende kapitaalslasten zijn verdisconteerd in de uiteindelijke jaarlijkse integrale kosten. Voor investeringen vanuit marktpartijen in collectieve onderdelen wordt een rentepercentage van 8% gehanteerd, voor investeringen in maatschappelijke onderdelen (bijvoorbeeld wijzigingen aan de bestaande energie-infrastructuur) wordt een rente van 5% gehanteerd en voor investeringen in bouwkundige (energiebesparende) maatregelen en de binneninstallaties in de woningen wordt 4% aangehouden. De rentepercentages worden als parameter aan een gevoeligheidsanalyse onderworpen in paragraaf 7.4.
- **Gemiddelden**: de analyse is gebaseerd op gemiddelden (van de warmtevraag, investeringskosten in bouwkundige maatregelen, afgiftesystemen et cetera) van twee referentiewoningen, zoals besproken in paragraven 4.1 en 4.2. Het gemiddelde vloeroppervlak bedraagt circa 200 m^2 bvo.

Let op dat de analyse geen uitsluitsel geeft over de uiteindelijke rentabiliteit of haalbaarheid van de ontwikkeling van de collectieve warmteconcepten (concept 3 tot en met 6). Dit is onder meer afhankelijk van aanloopverliezen, de rendementseis van de ontwikkelaar/exploitant van het energiesysteem en de onderlinge verrekening van kosten tussen partijen, in het bijzonder de Bijdrage Aansluitkosten (BAK). In de integrale kostenanalyse kijken wij uitsluitend naar het totaal van kosten, de onderlinge verrekening van kosten tussen partijen en tijdsafhankelijke aspecten anders dan rentelasten die vallen buiten de scope van de analyse.

7.3 Resultaten

De onderstaande grafieken tonen voor elk warmteconcept de uitkomsten van de kostenanalyse, het energieverbruik en de CO_2-uitstoot. De getallen gelden bij de optimale projectgrootte, zoals benoemd in de tabel in paragraaf 7.1.6.

Figuur 7.6 Resultaten analyse warmteconcepten

De grafiek rechtsonder toont de totale CO_2-reductie ten opzichte van het warmteconcept 'referentie', bij de aansluiting van het optimaal aantal woningen op de collectieve voorziening. De individuele warmteconcepten (1, 2 en 3) zijn hierin buiten beschouwing gelaten.

De belangrijkste bevindingen zijn als volgt.

Financieel

- Concepten 1 en 2 scoren nagenoeg gelijkwaardig. Hieruit komt naar voren dat de kapitaalslasten voortvloeiend uit de investering in isolatiepakket A grotendeels worden terugverdiend uit de besparing op aardgaskosten.
- Concepten 3 en 5 zijn in vergelijking tot de andere concepten ruim tweemaal zo duur. Dit wordt veroorzaakt door de hoge investeringskosten in isolatiepakket B en het aanbrengen van vloerverwarming.

- Concepten 4 (geothermie) en 6 (warmterivier met wkk) zijn beide iets, maar niet significant veel duurder dan de referentie. Dankzij de toepassing van duurzame energiebronnen liggen de brandstofkosten bij deze concepten een stuk lager dan ten opzichte van de referentie. Dankzij de mogelijkheid met een aanvoertemperatuur van 70°C te werken, volstaat isolatiepakket A en kunnen de bestaande radiatoren worden gehandhaafd. Dit maakt deze concepten stukken goedkoper in vergelijking tot concepten 3 en 5.

Uit financieel perspectief hebben warmteconcepten 4 (geothermie) en 6 (warmterivier met wkk) de voorkeur. Warmteconcept 4 (geothermie) scoort dankzij de SDE+-subsidie financieel gezien gelijkwaardig met het referentieconcept.

Brandstofverbruik

- Het brandstofverbruik ligt het hoogst in de referentiesituatie (concepten 1 en 2) omdat de warmte in deze concepten volledig aardgasgestookt is.
- Het brandstofverbruik ligt bij concept 3 een stuk lager omdat een substantieel deel van de warmte wordt onttrokken uit de buitenlucht. Het resterende verbruik is toe te schrijven aan het elektraverbruik van de combiwarmtepomp.
- De toepassing van een warmtenet met geothermie (concept 4) brengt het brandstofverbruik nog iets verder omlaag ten opzichte van concept 3. Het resterende brandstofverbruik is toe te schrijven aan het elektraverbruik voor het rondpompen van water door de geothermiebron en het warmtenet en het gasverbruik voor de pieklastketel.
- Concept 5 (warmterivier op 40°C) wordt gekenmerkt door het hoogste brandstofverbruik van de drie collectieve concepten. Dit brandstofverbruik is een optelsom van elektriciteit voor de collectieve warmtepomp, voor het rondpompen van water door het warmtenet, de inzet van de pieklastketel en de boosterwarmtepomp in de woning voor de bereiding van warm tapwater.
- Concept 6 heeft het laagste brandstofverbruik. Dit is te danken aan de benutting van restwarmte uit de rookgassen uit de wkk op Houtrust. Het resterende brandstofverbruik is toe te schrijven aan het gasverbruik door de pieklastketel.

CO_2-uitstoot per woning

- Met concept 4 (geothermie) wordt dankzij de inzet van geothermische warmte de laagste CO_2-uitstoot per woning bereikt. De resterende CO_2-uitstoot is toe te schrijven aan elektriciteitsverbruik voor pompenergie en gasverbruik door de pieklastketel.
- De CO_2-uitstoot per woning ligt bij concept 5 (warmterivier op 40°C) het hoogst van alle collectieve concepten. Dit wordt veroorzaakt door een optelsom van verschillende verbruiksposten: elektriciteit voor de collectieve warmtepomp, voor het rondpompen van water door het warmtenet en boosterwarmtepompen voor warm tapwater, aardgas voor de inzet van de pieklastketel.

Reductie CO_2-uitstoot over het totaal

- Op basis van de woningaantallen genoemd in tabel 7.1 is de totale CO_2-emissiereductie ten opzichte van de referentie over alle aan te sluiten woningen berekend. Dit maakt inzichtelijk welke impact er kan worden bereikt bij de toepassing van de verschillende concepten wanneer een bepaald aantal woningen wordt aangesloten.
- De grafiek toont het resultaat bij aansluiting van 2.700 woningen op geothermie (dit is een bovengrens; gegeven de gehanteerde uitgangspunten stijgt de kostprijs bij de aansluiting van additionele woningen), voor de warmterivier zijn dit 2.500 woningen (dit is de ondergrens; er kunnen meer woningen worden aangesloten bij gelijkblijvende kostprijs, bij de aansluiting van minder dan 2.500 woningen stijgt de kostprijs). Voor het warmterivier-concept op 40°C ligt het optimaal aantal aan te sluiten woningen tussen de 400-1000. Deze indicator is arbitrair voor warmteconcepten
  1 tot en met 3 omdat deze concepten op individueel woningniveau worden toegepast. Let op dat het optimaal aantal aan te sluiten woningen en daarmee de impact op de CO_2-emissiereductie sterk afhankelijk is van de gehanteerde uitgangspunten, in het bijzonder de mate van uitkoeling (het verschil tussen de aanvoer- en retourtemperatuur), zie ook de gevoeligheidsanalyse in de volgende paragraaf.

7.4 Gevoeligheidsanalyse

Zoals reeds aangestipt in de inleiding, worden in de voorliggende studie aan de hand van specifieke sets de perspectieven van een aantal warmteconcepten voor de wijken Statenkwartier en Vogelwijk verkend. Een aantal van deze aspecten worden in deze paragraaf aan een gevoeligheidsanalyse onderworpen.

Hierbij kijken wij naar de volgende aspecten.
- Stijging van de aardgas/elektriciteitsprijs. In het voorgaande vormen de huidige tarieven (2017) het uitgangspunt.
- Rente voor financiering.
- Subsidies (ISDE op warmtepompen). In het voorgaande zijn subsidies, met uitzondering van SDE+ op geothermie, buiten beschouwing gelaten.

De volgende tabel toont de invloed op de jaarlijkse integrale kosten per gemiddelde woning bij wijziging van uitgangspunten in een vijftal scenario's.

Legenda/symbolen in tabel.
- ▼ = **daling** in kostprijs ten opzichte van concept 'referentie+' als gevolg van gewijzigde uitgangspunt.
- ▲ = **stijging** in kostprijs ten opzichte van concept 'referentie+' als gevolg van gewijzigde uitgangspunt.
- Bij **gelijkblijvende** kosten zijn de cellen omwille overzichtelijkheid leeg gelaten.
- Groen: kostprijs warmteconcept lager ten opzichte van concept 'referentie+'.
- Geel: kostprijs warmteconcept tussen 0 - 500 €/jaar hoger ten opzichte van concept 'referentie+'.
- Rood: kostprijs warmteconcept tussen 500+ €/jaar hoger ten opzichte van concept 'referentie+'.

Tabel 7.2 Gevoeligheidsanalyse

			Referentie	Referentie+	All-Electric	Geothermie	Warmterivier	WR+wkk
		Aantal woningen	Individ.	Individ.	Individ.	2.700	2.500+	1000
	Basis							
	Conform paragraaf 7.3	Totaal	1.500	1.700	4.300	1.900	4.200	2.100
		Meerprijs ten opzichte van referentie+	- 200		2.600	200	2.500	400
	Gevoeligheidsanalyse							
1	50% hogere gasprijs	Meerprijs ten opzichte van referentie+	- 100 ▲		2.200 ▼	0 ▼	2.200 ▼	100 ▼
2	50% hogere elektriciteitsprijs	Meerprijs ten opzichte van referentie+	- 200 ●		2.900 ▲	300 ▲	2.800 ▲	600 ▲
3	Lagere rentetarieven	Meerprijs ten opzichte van referentie+	- 100 ▲		2.100 ▼	100 ▼	2.100 ▼	
4	Met ISDE-subsidie	Meerprijs ten opzichte van referentie+	- 200 ●		2.400 ▼		2.400 ▼	
5	Zonder SDE+ op geothermie	Meerprijs ten opzichte van referentie+	- 200 ●		2.600 ●	700 ▲		

Toelichting per scenario.

1 De aardgasprijs stijgt met 50%. De concepten waarin aardgas geen of een minimale rol speelt (alleen als piekfaciliteit) worden hierdoor goedkoper ten opzichte van de ‘referentie+’-variant waarin volledig op aardgas wordt gestookt.
2 De elektriciteitsprijs stijgt met 50%. De concepten waarin elektriciteit een belangrijke rol speelt (bij de toepassing van warmtepompen en pompenergie in warmtenetten) vallen hierdoor duurder uit.
3 In de basis wordt gerekend met 8% rente op private investeringen, 4% rente op particuliere investeringen en 5% rente op publieke investeringen. In de gevoeligheidsanalyse is elk van deze rentepercentages met 2%-punt naar beneden bijgesteld.
4 In het concept ‘Warmterivier’ wordt een boosterwarmtepomp toegepast, waarvoor € 1.000,- ISDE-subsidie verkregen kan worden. In het concept ‘All-electric’ wordt een combiwarmtepomp toegepast, waarvoor inmiddels € 1.700,-subsidie kan worden verkregen.
5 De SDE+-subsidie van 11 €/GJ op geothermische warmte vervalt.

8 Variaties

8.1 Verkenning transitiepaden

In de voorgaande hoofdstukken hebben wij verkend welke aspecten van invloed zijn op de toepasbaarheid van een aantal warmteconcepten in woningen gebouwd in de periode 1900 - 1940 in de wijken Statenkwartier en Vogelwijk. Hierbij zijn een aantal aspecten naar voren gekomen die een belangrijke impact blijken te hebben op de perspectieven voor de geanalyseerde warmteconcepten. De onderstaande tabel toont een overzicht van deze aspecten, welke uitgangspunten en aannames wij hebben gedaan en welke gevolgen dit heeft voor de conclusies/bevindingen.

Omdat deze aspecten een belangrijke impact blijken te hebben op de conclusies aangaande welke warmteconcepten wel of niet haalbaar zijn, onderwerpen wij deze aspecten in voorliggend hoofdstuk aan een nadere analyse. Dit is een aanvullend hoofdstuk op de gevoeligheidsanalyse. In de gevoeligheidsanalyse wordt uitsluitend de invloed van directe uitgangspunten als energieprijzen en rentetarieven op de uitkomsten belicht. In de variantenanalyse rekenen wij in feite een aantal additionele configuraties van warmteconcepten door.

Ruimte voor innovatie
Met dit hoofdstuk willen wij aanstippen dat onze conclusies niet in beton zijn gegoten. Dit rapport heeft tot doel een bijdrage te leveren aan de verkenning van het transitiepad naar een duurzame warmtevoorziening. Dit transitieproces, wat nu van start gaat, brengt ongetwijfeld een breed scala aan nieuwe innovaties voort waar op dit moment nog beperkt zicht is. Innovaties die van significante invloed kunnen zijn op de toepasbaarheid van de in deze studie geanalyseerde warmteconcepten. Denk hierbij bijvoorbeeld aan nieuwe maatregelen waarmee infiltratieverliezen in bestaande woningen verder kunnen worden gereduceerd, maar bijvoorbeeld ook financiële/sociale innovaties waarbij de hoogte van energietarieven worden gerelateerd aan de mate van uitkoeling van de via het warmtenet aan te leveren warmte. Ook dergelijke maatregelen kunnen op hun beurt weer een prikkel geven aan nieuwe en verdere ontwikkelingen in de techniek.

In dit kader belichten wij in toevoeging op de basisanalyse nog een tweetal belangrijke aspecten met het doel nader inzichtelijk te maken onder welke condities de perspectieven voor de concepten Warmterivier en Geothermie qua kosten en/of aansluitpotentieel kunnen verbeteren.

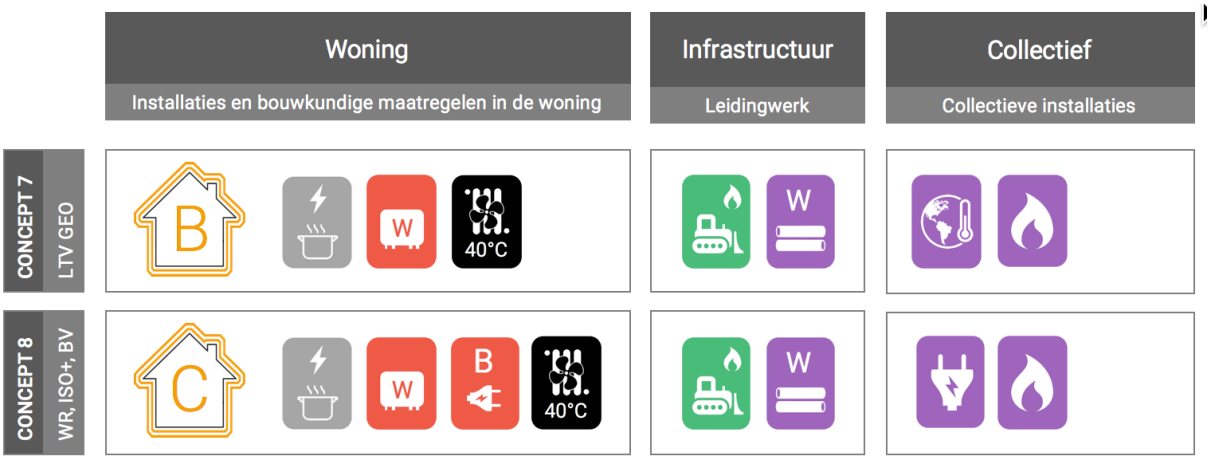
Tabel 8.1

Aspect	Besproken in	Uitgangspunt/aanname	Gevolg
Infiltratieverliezen, toe te passen afgiftesystem bij laagtemperatuur-verwarming (ltv)	Paragraaf 4.1	Wij schatten in dat het lastig haalbaar is de infiltratieverliezen in de referentiewoningen verregaand te minimaliseren. Wij gaan daarom, ondanks de toepassing van isolatiepakket B, uit van een conservatieve infiltratiewaarde en daarmee relatief hoge warmteverliezen via infiltratie.	Er worden hogere eisen gesteld aan de capaciteit van het afgiftesysteem, waardoor bepaalde typen afgiftesystemen als minder of niet toereikend worden bestempeld en de toepassing van vloerverwarming wordt geadviseerd. Het aanbrengen van vloerverwarming in een bestaande situatie is kostbaar en heeft daarmee een significante impact op de kostprijs van warmteconcepten waarin met een aanvoertemperatuur van 40°C wordt gewerkt.
Mate van uitkoeling (delta-T tussen aanvoer en retourtemperatuur), potentie geothermie	Paragraaf 7.1.6	Wij gaan er in de 70°C-concepten van uit dat een retourtemperatuur van 50°C wordt gerealiseerd ofwel een relatief beperkte uitkoeling van 20 K. Deze aanname is gestoeld op het feit dat er afgiftesystemen met een (in verhouding tot vloerverwarming) relatief klein afgifteoppervlak worden toegepast in de 70°C concepten (radiatoren, convectoren).	De prestaties van de collectieve concepten (geothermie, warmterivier + wkk) waarbij een aanvoertemperatuur van 70°C wordt toegepast, zijn afhankelijk van de mate van uitkoeling. Bij een hogere mate van uitkoeling (dat wil zeggen een delta-T hoger dan 20 K) kunnen de duurzame warmtebronnen in een groter aantal woningen van warmte voorzien tegen goeddeels gelijkblijvende investeringskosten in de bron. Het gehanteerde uitgangspunt, 20 K, is realistisch, maar om inzicht te verschaffen in de impact van een meer optimale uitkoeling is dit punt wel aan een variatieanalyse onderworpen.

Op al onze diensten en mededelingen is DNR 2011 van toepassing.
DNR 2011 is gepubliceerd op onze website onder http://www.dwa.nl/dnr

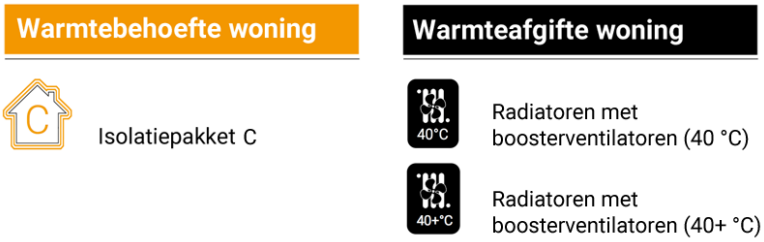
Wij doen dit aan de hand van een tweetal additionele concepten. De onderstaande figuur toont de configuratie van de betreffende concepten.

- Concept 7 met geothermie waarbij de uitkoeling van het cv-net van 70 naar 40°C plaatsvindt (dT van 30 K).
- Concept 8 met het warmterivierconcept (collectieve warmtepomp) waarbij is verondersteld dat de infiltratie in de woningen fors kan worden verlaagd.



Figuur 8.1 Configuratie van additionele warmteconcepten

Hierbij introduceren wij, in toevoeging op het overzicht uit paragraaf 8.1.1, een drietal nieuwe bouwstenen.



Figuur 8.2 Additionele bouwstenen warmteconcepten

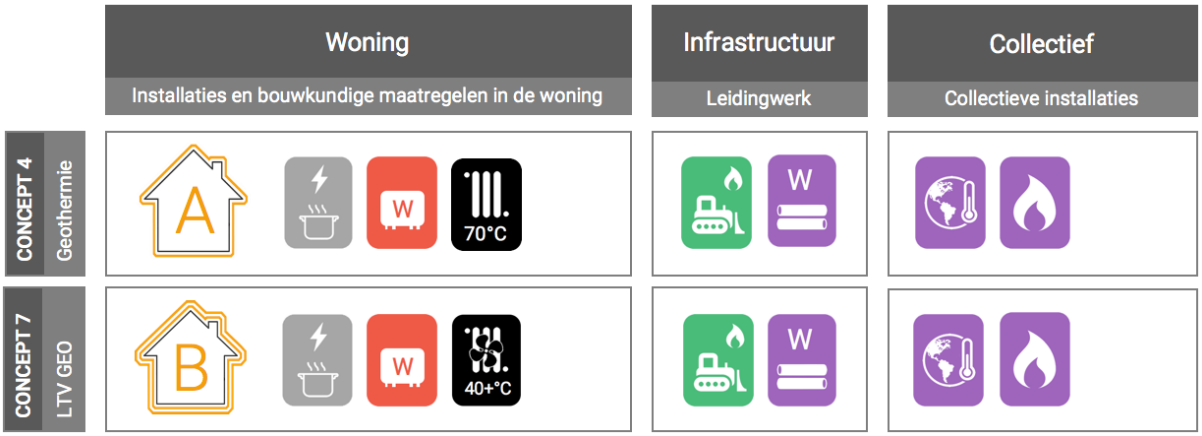
Isolatiepakket C
Isolatiepakket C is een variant op isolatiepakket B, met als enige verschil een lagere infiltratiewaarde. In plaats van 1,33 (tussenwoning) of 1,5 (hoekwoning), hanteren wij bij de toepassing van isolatiepakket C een infiltratiewaarde van 0,5. Dit resulteert een daling in warmteverliezen via kieren en gaten. Met welke maatregelen dit kan worden gerealiseerd en welke kosten hierbij komen kijken, is onbekend. Isolatiepakket C reflecteert een hypothetisch uitgangspunt met het doel inzichtelijk te maken hoe ltv-concepten presteren wanneer innovaties het mogelijk maken lagere infiltratiewaardes te realiseren bij de renovatie van het type woningen waar wij naar kijken. Zie ook de toelichting onder paragraven 4.1.3 en 4.2.3.

Radiatoren op 40(+)°C op met boosterventilatoren
De toepassing van geothermie in combinatie met ltv-afgiftesystemen of het concept warmterivier in combinatie met isolatiepakket C creëert de mogelijkheid radiatoren met boosterventilatoren toe te passen. Afhankelijk van de toe te passen warmtebron bestaat hierbij nog de mogelijkheid om de aanvoertemperatuur op de koudste dagen iets op te voeren om een hoger comfortniveau te bereiken. Geothermie biedt deze flexibiliteit zonder een noemenswaardige impact op kosten of CO_2-emissies. Bij het warmterivierconcept is dit technisch gezien ook mogelijk. Toch wordt deze flexibiliteit achterwege gelaten in warmteconcept 8 omdat dit wel gepaard zou gaan met een nadelige impact op kosten en CO_2-emissies. De efficiëntie van de collectieve warmtepomp verslechterd namelijk bij de productie van hogere temperatuurniveaus met een stijging van het elektriciteitsverbruik tot gevolg.

8.2 Warmteconcept 7 - Geothermie met ltv-afgiftesysteem

8.2.1 Toelichting

Warmteconcept 7 is in essentie een variant op warmteconcept 4. De onderstaande figuur toont de twee concepten zij aan zij.



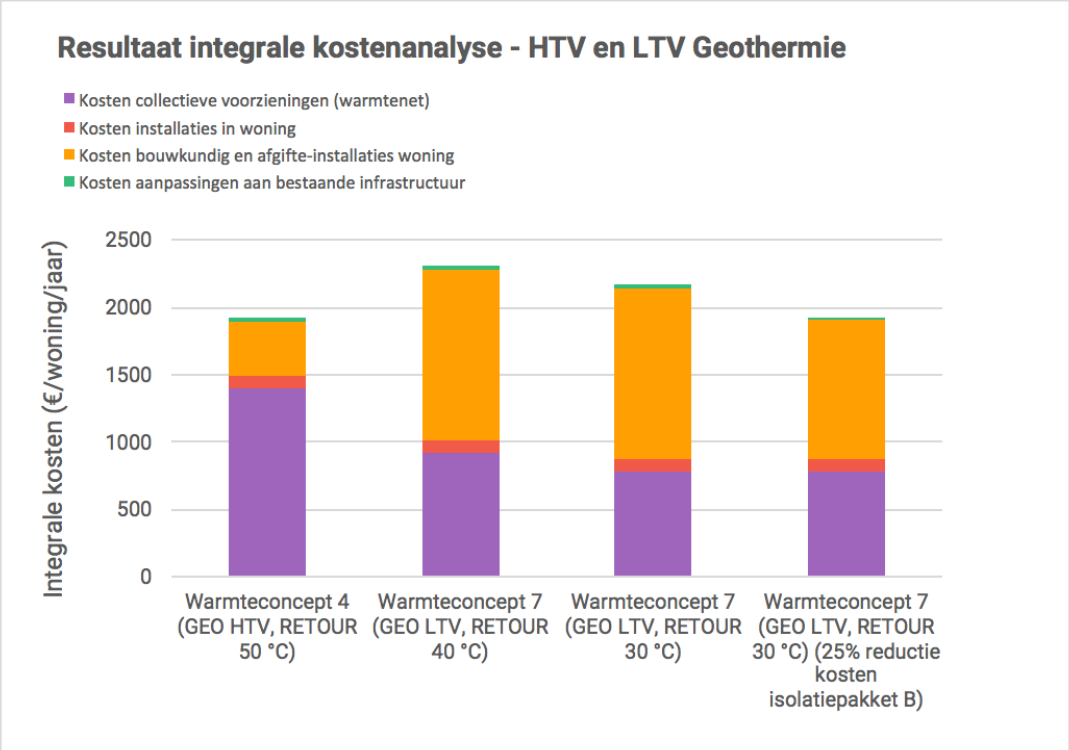
Figuur 8.3 Vergelijking configuratie van warmteconcepten 4 en 7

Ten opzichte van het basisconcept met geothermie is in het 'Ltv GEO'-concept op twee punten gewijzigd.

- **Afgiftesysteem**
  - De bestaande radiatoren worden nog steeds in stand gehouden, maar nu voorzien van boosterventilatoren om het benodigde vermogen te realiseren.
  - De warmte wordt nog steeds op 70°C aan de woning aangeleverd, dit is inherent aan de toepassing van geothermie. Dit heeft als voordeel dat het warm tapwater rechtstreeks door de afgifteset geproduceerd kan worden. De toepassing van een boosterwarmtepomp met boilervat is niet nodig.
  - Wel wordt de binneninstallatie van de woning zodanig ontworpen dat er in beginsel 40°C aan de radiatoren wordt aangeleverd. Dit waarborgt de doelstelling waarop dit specifieke warmteconcept is vormgegeven: een lage retourtemperatuur (~ 30°C) voor een meer optimale benutting van geothermische warmte.
  - Op zeer koude dagen kan de temperatuur van het water dat wordt aangevoerd aan de radiatoren desgewenst wat worden verhoogd om een hoger comfortniveau te bereiken.
    - De inzet van de boosterventilatoren kan hiermee worden beperkt om geluidsoverlast te voorkomen.
    - Afhankelijk van de specifieke wensen van de bewoner ten aanzien van het comfortniveau kan de aanvoertemperatuur aan de radiatoren worden verhoogd met het doel meer stralingswarmte te genereren.
      - Dit gaat op een zeker punt ten koste van de uitkoeling (resulteert in hogere retourtemperaturen), met een minder optimale benutting van geothermische warmte en hogere productiekosten tot gevolg.
      - Door nieuwe tariefstructuren te ontwikkelen en de mate van uitkoeling van de warmte hier onderdeel van te maken kan een prikkel worden afgegeven aan de eindgebruiker om te voorkomen dat de retourtemperatuur in het warmtenet te hoog oploopt, zonder afbreuk te doen aan de keuzevrijheid van de eindafnemer.
  - De kosten voor aanschaf en installatie van de boosterventilatoren op de bestaande radiatoren is ingeschat op € 5.000,-.
- **Isolatiepakket**: om een lage retourtemperatuur mogelijk te maken, wordt isolatiepakket B toegepast. Isolatiepakket A is hiertoe niet toereikend.

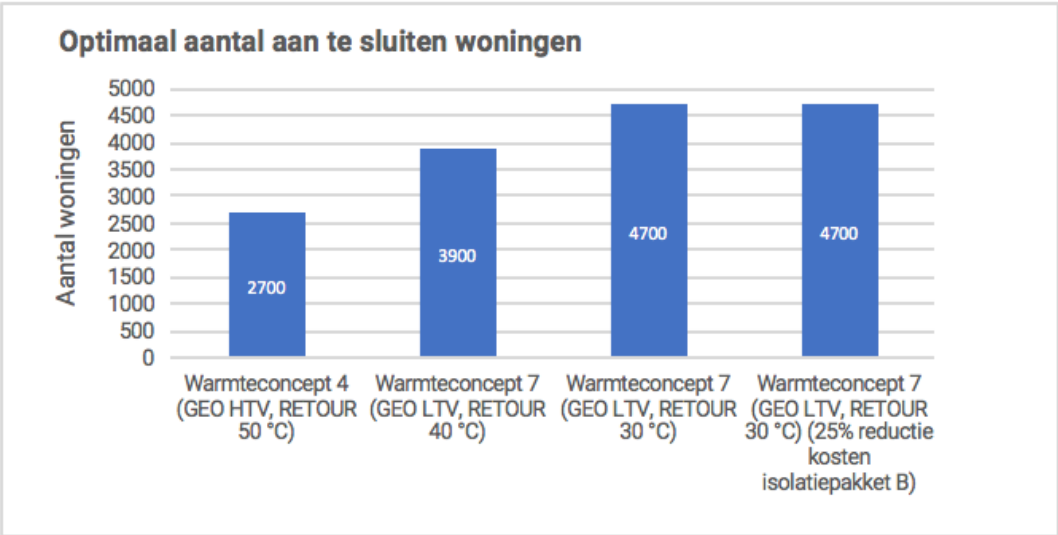
8.2.2 Resultaten

De onderstaande grafiek toont de integrale jaarlijkse kosten per woning bij de toepassing van warmteconcept 4 (Geothermie op hoogtemperatuurverwarming (htv)) en een drietal variaties op warmteconcept 7, waarbij wordt uitgekoeld tot een retourtemperatuur van 30 of 40°C of een kostenreductie van 25% op de investeringskosten in isolatiepakket B.



Figuur 8.4 Resultaat integrale kostenanalyse warmteconcept 7

De retourtemperatuur is bepalend voor het optimaal aansluitbare aantal woningen op de geothermiebron. De volgende grafiek toont het optimaal aan te sluiten aantal woningen bij de vier varianten uit de bovenstaande grafiek. Dit zijn de woningaantallen die ook het uitgangspunt vormen bij de resulterende integrale kosten getoond in de bovenstaande grafiek. Aansluiting van meer of minder woningen leidt tot hogere integrale kosten.



Figuur 8.5 Impact uitkoeling op potentie aantal aan te sluiten woningen

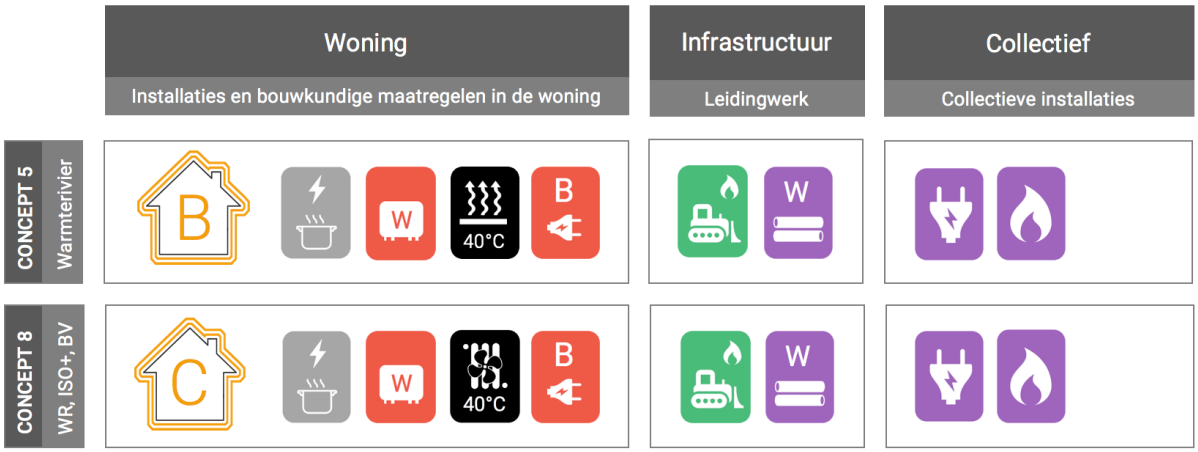
Conclusies
De integrale jaarlijkse kosten per woning komen bij de toepassing van geothermie in een ltv-configuratie een paar honderd euro hoger uit. De kosten voor de te implementeren besparingsmaatregelen en afgifte-installaties in de woning komen wel substantieel hoger te liggen, maar deze stijging wordt voor een groot deel gecompenseerd door een daling in kosten op collectief niveau. De investeringskosten in de geothermiebron kunnen over een groter aantal woningen worden verdeeld waardoor de kosten voor collectieve installaties per woning sterk dalen. Tegelijkertijd blijven de investeringskosten in installaties (afgiftesystemen daarbij buiten beschouwing gelaten) binnen de woning gelijk ongeacht de toepassing van geothermie op htv- of ltv-niveau. Dit is mogelijk dankzij de constante aanvoertemperatuur van 70°C, waardoor er bij de toepassing op ltv-niveau geen additionele maatregelen hoeven worden getroffen voor warm tapwater. Warm tapwater kan in beide gevallen worden opgewekt met behulp van een conventionele en relatief goedkope warmteafleverset.

Dit toont aan dat geothermie ook vanuit het perspectief als no-regretmaatregel zeer interessant is. Geothermie biedt dankzij de hoge aanvoertemperatuur van 70°C de flexibiliteit om woningen van warmte te voorzien zonder de noodzaak tot ingrijpende aanpassingen binnen de woning en maakt het mogelijk om, ongeacht de toepassing van een ltv-afgiftesysteem voor ruimteverwarming, op een simpele en goedkope manier warm tapwater te produceren. Tegelijkertijd blijft een aansluiting op geothermie te allen tijde de ruimte bieden voor verdere optimalisaties aan de vraagkant. Dat is niet alleen technisch goed mogelijk, ook hebben zowel de eindafnemer van de warmte als de producent van geothermische warmte hier beide financieel voordeel bij. Naarmate er steeds meer woningen van betere schilisolatie worden voorzien en tegelijk de cv-retourtemperatuur weten te verlagen door ltv (vloerverwarming) of boosterventilatoren op de bestaande radiatoren toe te passen, ontstaat er gaandeweg de woningvoorraad beter geïsoleerd raakt, steeds meer ruimte voor de aansluiting van additionele woningen op de geothermiebron.

8.3 Warmteconcept 8 – Warmterivier met isolatiepakket C

8.3.1 Toelichting

Warmteconcept 8 is in essentie een variant op warmteconcept 5. De onderstaande figuur toont de twee concepten zij aan zij.



Figuur 8.6 Vergelijking configuratie van warmteconcepten 5 en 7

Ten opzichte van het basisconcept met de warmterivier (warmteconcept 5) zijn in warmteconcept 8 de volgende wijzigingen doorgevoerd aan het afgiftesysteem en isolatiepakket.

- Om de investeringskosten in aanpassingen aan het afgiftesysteem in de woning sterk te reduceren, worden de bestaande radiatoren gehandhaafd in plaats van vloerverwarming toe te passen.
  - Om een toereikend afgiftevermogen te realiseren, worden boosterventilatoren op de radiatoren geplaatst.

- Dankzij de toepassing van isolatiepakket C daalt het benodigde afgiftevermogen, waardoor de boosterventilatoren minder werk hoeven te verrichten en geluidsoverlast binnen de perken wordt gehouden. Zie ook de tabel op de volgende pagina.
- De absentie van stralingswarmte bij een aanvoertemperatuur van 40°C aan de radiatoren blijft een aandachtspunt voor het comfortniveau. Het is technisch mogelijk een hogere aanvoertemperatuur te produceren met de collectieve warmtepomp, maar omdat dit gepaard gaat met een hoger elektriciteitsverbruik en daarmee hogere kosten en CO_2-emissies achten wij het niet wenselijk de aanvoertemperatuur te verhogen. Dit concept is daarom beperkt in flexibiliteit qua verbetering van het comfortniveau wanneer de eindgebruiker de absentie van stralingswarmte als comfort-issue wordt ervaren door de eindgebruiker.

- Er worden additionele maatregelen doorgevoerd om de infiltratieverliezen te minimaliseren. In plaats van een infiltratiewaarde van 1,33 (tussenwoning) of 1,5 (hoekwoning) dm³/(s*m²), hanteren wij bij de toepassing van isolatiepakket C een infiltratiewaarde van 0,5 dm³/(s*m²). Dit resulteert een daling in warmteverliezen via kieren en gaten.
- Met welke maatregelen dit kan worden gerealiseerd en welke kosten hierbij komen kijken, is onbekend. Voor isolatiepakket C is qua investeringsbedrag hetzelfde uitgangspunt gehanteerd als voor isolatiepakket B. Isolatiepakket C reflecteert een hypothetisch uitgangspunt met het doel inzichtelijk te maken hoe ltv-concepten presteren wanneer innovaties het mogelijk maken lagere infiltratiewaardes te realiseren bij de renovatie van het type woningen waar wij naar kijken. Zie ook de toelichting onder paragraven 4.1.3 en 4.2.3.

De volgende tabel toont nogmaals de tabel uit paragraaf 7.1, maar nu met de aangepaste infiltratiewaarde als uitgangspunt.

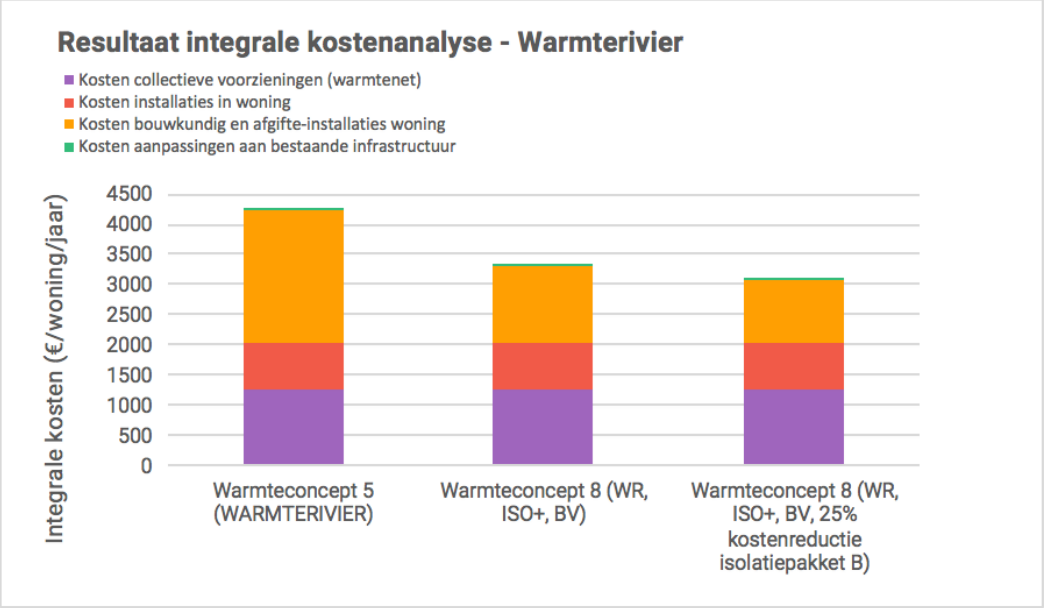
*Tabel 8.2 Balans vraagvermogen en afgiftevermogen (de verhouding tussen benodigd en beschikbaar afgiftevermogen) bij een infiltratiewaarde van 0,5 dm³/(s*m²) als uitgangspunt*

	Balans vraagvermogen en afgiftevermogen (de verhouding tussen benodigd en beschikbaar afgiftevermogen) bij een infiltratiewaarde van 0,5 dm³/(s*m²) als uitgangspunt.							
40°C aanvoertemperatuur	**Tussenwoning**				**Twee-onder-eenkapwoning**			
	Referentie	Pakket A	Pakket B	Pakket C	Referentie	Pakket A	Pakket B	Pakket C
Huidige radiatoren	14%	20%	52%	103%	14%	21%	36%	64%
Huidige radiatoren met boosterventilatoren	50%	71%	185%	368%	50%	76%	129%	229%
Convector	14%	20%	52%	103%	14%	21%	36%	64%
Convector met boosterventilatoren	27%	38%	100%	199%	27%	41%	70%	124%
Vloerverwarming, steen	33%	47%	123%	211%	36%	55%	94%	167%
Vloerverwarming, laminaat	27%	38%	100%	171%	30%	45%	76%	135%
Wandverwarming	27%	38%	100%	184%	30%	45%	76%	138%

Bij lagere infiltratieverliezen ontstaat er meer speling bij de inzet van de huidige radiatoren in combinatie met boosterventlatoren, waardoor de inzet van de boosterventilatoren en daarmee de potentiele geluidsoverlast gereduceerd kan worden.

8.3.2 Resultaten

De volgende grafiek toont de integrale kostprijs bij de toepassing van warmteconcept 5 (warmterivier) en een tweetal variaties van warmteconcept 8, waarbij wel en geen kostenreductie van 25% op de investeringskosten in isolatiepakket C wordt toegepast. Dit is doorgerekend bij 2.500 aangesloten woningen. Het aansluiten van minder woningen leidt tot hogere kosten per woning, het aansluiten van meer dan 2.500 woningen heeft geen kostenopdrijvend effect.



Figuur 8.7 Resultaat integrale kostenanalyse warmteconcept 8

De reductie in investeringskosten in aanpassingen aan het afgiftesysteem dankzij het handhaven van de bestaande radiatoren en een kostenoptimalisatie van het isolatiepakket resulteren in een flinke reductie van de integrale kosten van circa 1.000 €/woning/jaar. In tegenstelling tot het geothermieconcept moeten echter nog in alle gevallen in additionele voorzieningen geïnvesteerd worden voor de bereiding van warm tapwater, in dit geval een boosterwarmtepomp. Daarnaast is er geen sprake van een substantieel kostenvoordeel naargelang er additionele woningen worden aangesloten op de collectieve energievoorziening, waardoor de investeringskosten in collectieve installaties relatief hoog blijven in vergelijking tot het alternatief met geothermie in combinatie met ltv bij de aansluiting van additionele woningen.

9 Afwegingskader

In het voorgaande zijn zes warmteconcepten op verschillende aspecten met elkaar vergeleken. De onderstaande tabel toont een samenvattend overzicht van de belangrijkste kenmerken van de concepten die uit de analyse naar voren zijn gekomen.

Tabel 9.1 Afwegingskader

	Referentie	Referentie+	All-electric	Geothermie	Warmterivier	Warmterivier + wkk
Kwantitatief						
Aanvoertemperatuur	90°C	70°C	40°C	70°C	40°C	70°C
Integrale kostprijs (€/jaar)	1.500	1.700	4.300	1.900	4.200	2.100
Primair energieverbruik (GJ/woning/jaar)	70	55	24	26	35	13
CO_2-uitstoot per woning (kgCO_2/woning/jaar)	3.500	2.800	1.500	1.400	2.100	1.900
Kwalitatief						
Schaalgrootte (woningen)	Individueel	Individueel	Individueel	2.700 - 4.700	2.500 +	1.000
Besparingspakket	Geen	A	B	A	B	A
Praktische impact voor bewoner	Geen	Beperkt	Groot	Beperkt	Groot	Beperkt
Aanpassingen aan afgifte-installatie	Geen	Geen	Groot	Geen	Groot	Geen
Kosten installaties en maatregelen in woning	Laag	Beperkt	Hoog	Beperkt	Hoog	Beperkt
Impact op ondergrondse infrastructuur	Laag	Laag	Beperkt	Significant	Significant	Significant
Gevoeligheid voor toekomstige stijgingen in energieprijzen	Hoog	Hoog	Laag	Laag	Laag	Laag
Ruimtebeslag installaties in de woning	Laag	Laag	Hoger	Laag	Hoger	Laag
Faseerbaarheid ontwikkeling	Goed	Goed	Goed	Laag	Gemiddeld	Gemiddeld

Op al onze diensten en mededelingen is DNR 2011 van toepassing.
DNR 2011 is gepubliceerd op onze website onder http://www.dwa.nl/dnr

10 Conclusies, aanbevelingen en vervolg

10.1 Conclusies

- **Warmteconcepten met een maximale aanvoertemperatuur van 40°C zijn financieel niet optimaal voor de karakteristieke Haagse oudbouwwijken uit 1890 tot 1940**
  - Dit is van toepassing op de warmteconcepten 'warmterivier zonder wkk' (met collectief warmtenet op 40°C) en 'All-electric' (individuele combiwarmtepomp).
  - Dit vereist substantiële investeringen in energiebesparende maatregelen en/of aanpassingen aan het warmteafgiftesysteem in de woning waardoor concepten met dit uitgangspunt substantieel duurder uitvallen in vergelijking tot concepten waarbij een aanvoertemperatuur van 70°C volstaat.
  - Een limitatie op een aanvoertemperatuur op 40°C noodzaakt tot ingrijpende maatregelen binnen de woningen om de woning geschikt te maken voor aansluiting op een nieuw te ontwikkelen laagtemperatuurnet. Dit leidt mogelijk tot hoge aanloopverliezen bij de ontwikkeling van het warmtenet vanwege een beperking in de snelheid waarmee woningrenovaties worden uitgevoerd.
- **Warmteconcepten met een aanvoertemperatuur van 70°C als vertrekpunt bieden betere perspectieven**
  - *Praktisch uitvoerbaar en financieel aantrekkelijker* – Met 70°C als vertrekpunt hoeft in eerste instantie maar in beperkte mate geïsoleerd te worden en kunnen de bestaande radiatoren in de woningen overwegend worden gehandhaafd voor de warmteafgifte. Dit maakt deze concepten (collectieve warmtenetten met geothermie of de warmterivier in combinatie met een wkk) praktisch goed toepasbaar en financieel aantrekkelijker dan de warmteconcepten op 40°C.
    - De 70°C-concepten zijn flexibel inpasbaar. Binnen de woning hoeven slechts beperkte aanpassingen doorgevoerd te worden om aansluiting op een 70°C-net mogelijk te maken. Dit beperkt aanloopverliezen in de ontwikkeling van een warmtenet.
    - Met een aanvoertemperatuur van 70°C kan op eenvoudige wijze met een compacte afleverset warm tapwater worden geproduceerd, waardoor geen additionele installaties nodig zijn voor de productie en buffering van warm tapwater.
  - *Toekomstbestendig* **-** Het is technisch goed mogelijk om een woning in een eerste relatief eenvoudige stap op een 70°C-warmtenet aan te sluiten en in een tweede stap, in pas met een natuurlijk moment, grondig te renoveren.
    - Na de renovatie kan dan binnen de woning alsnog worden overgeschakeld op lage temperatuurverwarming (zoals vloerverwarming) voor de ruimteverwarming, terwijl er op de warmteaansluiting van de woning 70°C beschikbaar blijft. Dit maakt het mogelijk om op een eenvoudige manier in warmtapwater te voorzien. Zie ook de infographic in bijlage 1, waarin de principes van dit transitiepad zijn gevisualiseerd.
    - Met een initiële aansluiting op een 70°C-net kan dus meer tempo worden gemaakt in de transitie naar een aardgasloze warmtevoorziening en doet geen afbreuk aan mogelijkheden voor verdere toekomstige verduurzaming van de warmtevoorziening.
- **Geothermie biedt over het algemeen de beste perspectieven**
  - Bij toepassing van de warmterivier in combinatie met een wkk wordt per woning een grotere mate van CO_2-besparing bereikt, maar is in potentie beperkt tot circa 400 - 1.000 woningen.
  - Met een geothermiebron kunnen bij een cv-retourtemperatuur van 50°C circa 2.700 woningen worden verwarmd.
  - Wanneer de cv-retourtemperatuur verder omlaag wordt gebracht naar 30°C door verbeterde uitkoeling dankzij woningrenovaties, stijgt het aantal economisch aansluitbare woningen aanzienlijk. Daarmee is geothermie als no-regretmaatregel niet alleen praktisch als startpunt door een goede inpasbaarheid in de configuratie van de bestaande warmtevoorziening, maar ook toekomstbestendig omdat verdere verbeteringen van de energiezuinigheid van de woningvoorraad ruimte creëert voor aansluiting van additionele woningen. Zie ook de infographic in bijlage 1, waarin de principes van dit transitiepad zijn gevisualiseerd.
    De faseerbaarheid is een aandachtspunt bij geothermie. Er moeten in voldoende tempo woningen op de geothermiebron worden aangesloten om aanloopverliezen binnen acceptabele grenzen te houden. 70°C als startpunt biedt hier goede mogelijkheden toe, maar de ontwikkeling van een geothermiebron voor bestaande bouw blijft een organisatorisch complexe en omvangrijke opgave.

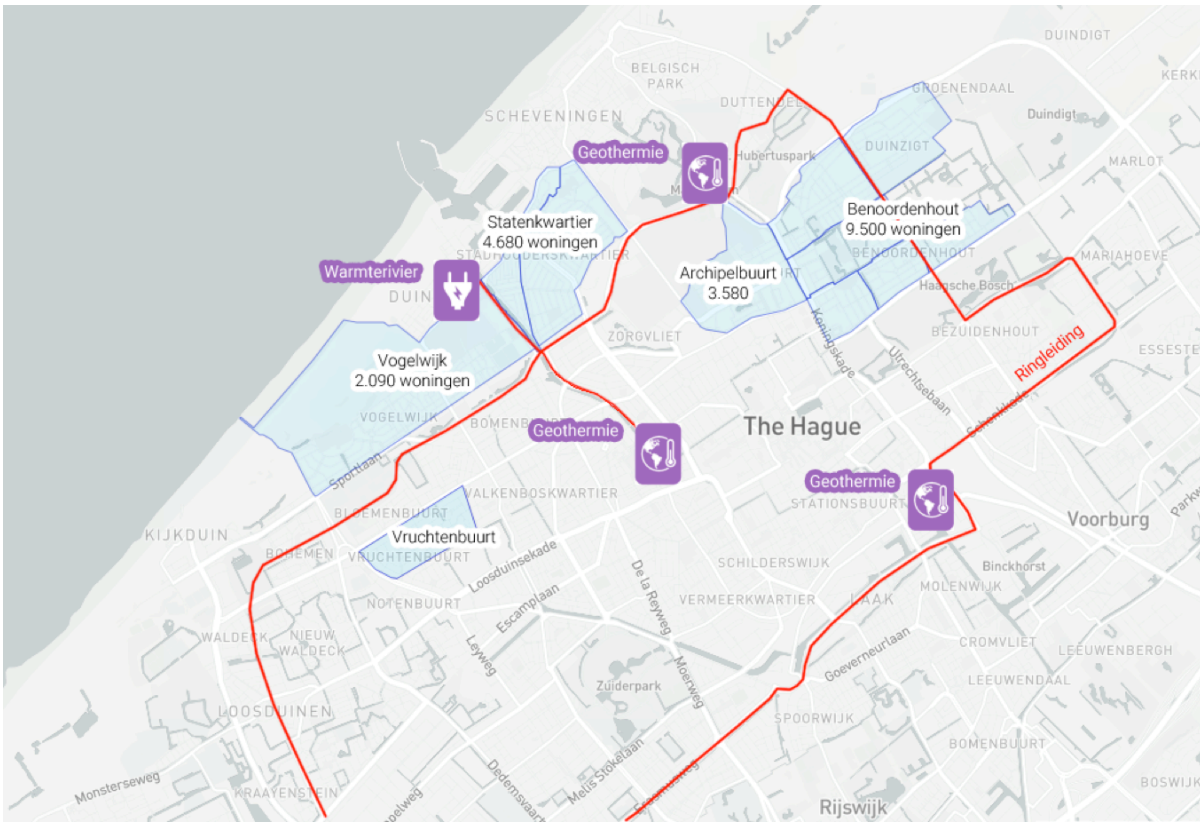
Op al onze diensten en mededelingen is DNR 2011 van toepassing.
DNR 2011 is gepubliceerd op onze website onder http://www.dwa.nl/dnr

10.2 Aanbevelingen en vervolg

Wij stellen voor naar aanleiding van de bevindingen en conclusies de volgende acties op te pakken.

Praktijkstappen

- Leg in eerste instantie de focus op de wijk Statenkwartier. De ontwikkeling van een warmtenet is in deze wijk het meest kansrijk gezien de hogere bebouwingsdichtheid in vergelijking tot Vogelwijk.
- Mobiliseer medestanders in de wijk(en) die voorop willen lopen in de transitie naar aardgasvrij wonen. Hiertoe kan samen met Buurtenergie Statenkwartier een plan van aanpak met concrete vervolgstappen worden uitgewerkt. Dit plan heeft twee doelen: stimuleren van toepassing van vergaande isolatiemaatregelen en ltv en daarnaast het vervangen van het aardgasnet door warmtenet. Aan te bevelen is om daarbij aanspraak te maken op de subsidieregeling van de provincie Zuid-Holland waarmee de provincie dit type lokale initiatieven kan ondersteunen. Kijk voor meer informatie over deze regeling de website van de provincie: https://www.zuid-holland.nl/loket/subsidies/subsidies/@16784/energietransitie/.
- Als eerste stap vormt het Warmterivierproject (bio-wkk en collectieve effluentwarmtepomp) de beste kans om warmte te leveren aan 400 tot 1.000 woningen in de wijk Statenkwartier.
  - Met dit concept kan de flexibiliteit van een warmtenet op 70°C worden benut en kan tegen (in vergelijking tot geothermie) beperkte initiële investeringskosten een eerste warmtenet-ontwikkeling in de wijk worden geïnitieerd.
  - De benodigde warmte kan op duurzame wijze worden geproduceerd met een nieuw te bouwen warmtecentrale op het terrein van AWZI Houtrust. De warmte is dan afkomstig uit de biogas wkk in combinatie met een collectieve warmtepomp die warmte uit effluent onttrekt. Onderzocht zou kunnen worden in hoeverre de biogasproductie op Houtrust is op te voeren door de toepassing van Thermische Drukhydrolyse en mogelijk door de toevoeging van extra biomassa aan het vergistingsproces.
- Parallel aan deze eerste stap kan als tweede stap de ontwikkeling van een geothermiebron in gang worden gezet. Tegen de tijd dat er een investeringsbeslissing genomen moet worden in de ontwikkeling van een geothermiebron is dan, door zowel exploitanten, de gemeente als de bewoners, de nodige ervaring opgedaan en draagvlak ontstaan rond de ontwikkeling van warmtenetten en aardgasvrij maken van het type woningen in de wijk Statenkwartier. Dit bespoedigt het proces rond de ontwikkeling van een investeringsbeslissing in een geothermiebron voor de aansluiting van het deel van de wijk(en) wat nog van het aardgas ontkoppeld moet worden.
- De wijken Statenkwartier, Vogelwijk, Archipelbuurt en Benoordenhout tellen gezamenlijk circa 20.000 woningen. Zie ook de figuur op de volgende pagina.
  - Afhankelijk van het temperatuurtraject (de mate van uitkoeling) zouden er, om deze wijken van duurzame warmte te voorzien, 3 tot 7 geothermiedoubletten nodig zijn om deze woningen van warmte te voorzien.
  - In de praktijk kan waarschijnlijk worden volstaan met een aantal aan de ondergrens van deze range, 3 à 4 doubletten. Naargelang het woningbestand na verloop van tijd steeds beter wordt geïsoleerd, kan er een steeds lagere retourtemperatuur worden bereikt, waardoor een enkel geothermiedoublet circa tweemaal het aantal woningen van warmte kan voorzien ten opzichte van wat momenteel haalbaar is.
  - Hoe dit verloop in een dalende warmtebehoefte en retourtemperaturen er in de tijd uitziet, in hoeverre/welk beleid de gemeente hierop moet ontwikkelen om dit in de juiste banen te leiden en wat dit betekent voor de planning en het beleid omtrent de ontwikkeling van geothermiebronnen en warmtenetten is onderwerp van nader onderzoek.
  - Wanneer deze ontwikkelingen simultaan voor verschillende wijken op verschillende plekken in de stad worden uitgevoerd, ontstaan er ‘warmte-eilanden’. De ontwikkeling van deze eilanden, het creëren van onderlinge verbinding tussen de eilanden en aansluiting op reeds bestaande warmtenetten in de gemeente en daarbuiten kan worden gecoördineerd en gepland door de gemeente.



Figuur 10.1 Impressie van een mogelijke ringleiding door Den Haag

Nader onderzoek

Na afronding van de analyses resteren nog een aantal inhoudelijke vraagstukken die nadere aandacht behoeven om resterende onduidelijkheden en blinde vlekken weg te nemen.

- In de voorliggende studie is inzichtelijk gemaakt welke warmteconcepten financieel de beste perspectieven beiden vanuit het perspectief van de integrale kosten, zonder een onderscheid te maken tussen welke stakeholder welke kosten en baten draagt. Ook zijn tijdsafhankelijke aspecten, zoals het volloopscenario (de snelheid waarmee woningen op een warmtenet worden aangesloten), hierbij niet doorgerekend. In een vervolgstap is het van belang te onderzoeken onder welke condities de ontwikkeling van de warmteconcepten vanuit de verschillende stakeholders bezien mogelijk is. Denk hierbij bijvoorbeeld aan het exploitatiemodel van de ontwikkelaar en exploitant van een collectieve energievoorziening en de te hanteren tariefstructuren richting de afnemers van warmte.
- De toepassing van ltv in het betreffende type woningen in het Statenkwartier en Vogelwijk lijkt maatwerk te vereisen omdat de marges waarbinnen het comfortniveau gegarandeerd kan worden, klein zijn. Nader onderzoek naar de prestaties en comfortbeleving bij de inzet van bijvoorbeeld boosterventilatoren, goede inregeling van de radiatoren of convectoren met steunventilatoren is gewenst, om vast te kunnen stellen of de implementatie van kostbare vloerverwarming wel of niet noodzakelijk is.

Bijlage 1 – Infographic - flexibiliteit in de warmtetransitie met geothermie

Flexibiliteit in de warmtetransitie met geothermie

Warmtenetten op geothermie vormen een praktisch goed inpasbaar startpunt in de transitiefase naar aardgasvrije wijken. En ook in het eindbeeld biedt geothermie perspectief.

Compatibiliteit met bestaande bouw

Geothermie kan dankzij een voldoende hoge aanvoertemperatuur (70-80 °C) op bestaande woningen worden aangesloten zonder dat hierbij ingrijpende aanpassingen aan de woning noodzakelijk zijn. Ook kan bij deze temperatuur op eenvoudige wijze warmtapwater worden geproduceerd.

Blijvende stimulans voor energiebesparing

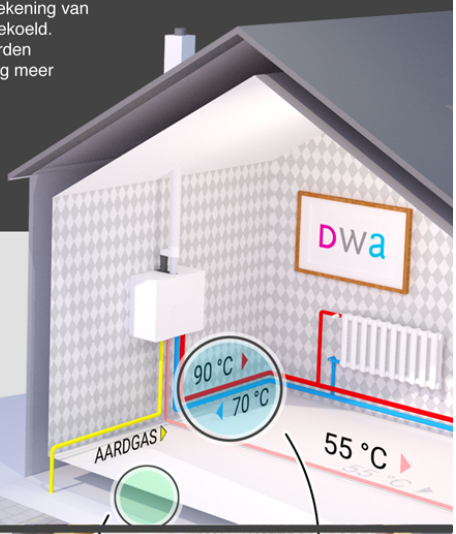
Zowel afnemer als producent van de warmte zijn erbij gebaat woningen energiezuinig te maken. Dankzij toepassing van energiebesparende maatregelen daalt de energierekening van de afnemer en wordt de geothermiebron beter uitgekoeld. Hierdoor kunnen er meer woningen op de bron worden aangesloten omdat de bron bij verbeterde uitkoeling meer warmte kan leveren.

De juiste timing

De praktischie inpasbaarheid van geothermie biedt woningeigenaren flexibiliteit om op een natuurlijk moment aan te sluiten - stapsgewijs of via een sprong direct naar stap 3.

Huidige situatie

De woning wordt verwarmd met aardgas. De woning is niet of matig geïsoleerd, maar dankzij een hoge aanvoertemperatuur aan de radiatoren van 90 °C wordt de woning toch comfortabel warm gehouden. Met de combiketel wordt ook warmtapwater van 55 °C geproduceerd.

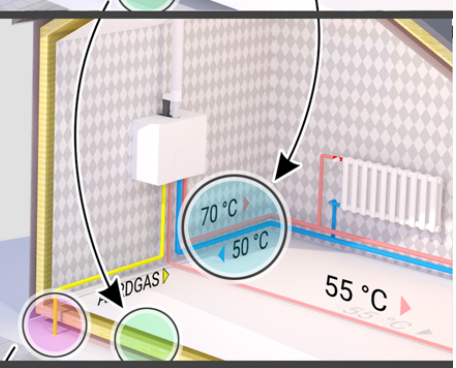


STAP 1

Slim besparen

De bewoner voert een aantal praktisch goed te implementeren energiebesparende maatregelen door. De kosten hiervan worden via een combinatie van subsidie en een lagere energierekening binnen 15 jaar terugverdiend.

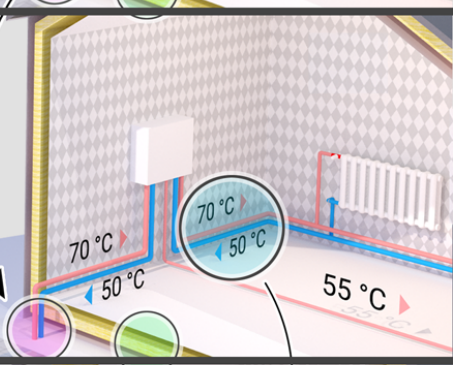
Dankzij verbeterde isolatie kan de aanvoertemperatuur aan de radiatoren naar 70 °C dalen. Dit maakt de woning geschikt voor aansluiting op een warmtenet met geothermie.



STAP 2

Duurzaam verwarmen

In de straat is inmiddels een warmtenet aangelegd. De woning wordt aangesloten en de combiketel maakt plaats voor een afleverset. Er wijzigt niets aan de aanvoertemperatuur van 70 °C, waardoor er geen ingrijpende maatregelen nodig zijn aan het afgiftesysteem in de woning, de bestaande radiatoren blijven in gebruik. Met de afleverset wordt op eenvoudige wijze voorzien in warmtapwater van 55 °C.

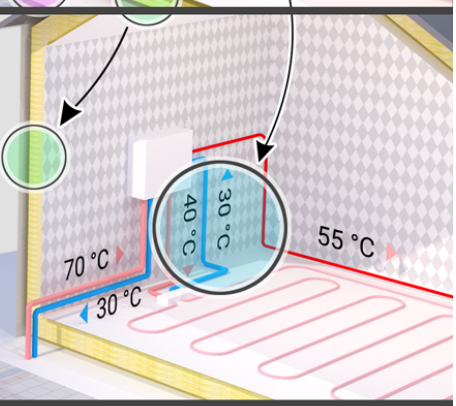


STAP 3

Renoveren op een natuurlijk moment

Op termijn wordt de woning gerenoveerd, waardoor de energiezuinigheid verder verbeterd. Hierdoor kan de aanvoertemperatuur aan het afgiftesysteem verder dalen naar 40 °C. De radiatoren maken dan plaats voor vloerverwarming.

De aanvoertemperatuur vanuit het geothermienet blijft op 70 °C. Naarmate de retourtemperatuur uit de woningen steeds verder daalt kan de capacitiet van de geothermiebron steeds beter worden benut. Een geleidelijke transitie naar laagtemperatuurverwarming in de woningen maakt het mogelijk steeds meer woningen op eenzelfde geothermiebron aan te sluiten.



© DWA 2017