



Hybride warmtenetten

Kansen voor Den Haag



CE Delft

Committed to the Environment

Hybride warmtenetten

Kansen voor Den Haag

Dit rapport is geschreven door:

J. Schilling, K. Kruit, B.L. Schepers - CE Delft

G.J. Otten, A. de Graaf - CMAG

M. Karthaus - KBnG

Delft, CE Delft, maart 2019

Publicatienummer: 19.180062.047

Energievoorziening / Energiebronnen / Warmte / Duurzaam / Steden / Kosten / Infrastructuur / Huishoudens

Opdrachtgever: Duurzaam Den Haag, [Lennart van der Linde](#)

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider [Jasper Schilling](#) (CE Delft)

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Inhoud

	Samenvatting	3
1	Inleiding	6
	1.1 Aanleiding	6
	1.2 Samenwerking	6
2	Hybride LT/HT-warmtesysteem	7
	2.1 Systeemopzet en uitgangspunten	7
	2.2 Gevolgen voor de woning	10
	2.3 Warmtenet	11
	2.4 Opslag van warmte	14
	2.5 Warm tapwater	14
3	Warmtebronnen in Den Haag	15
	3.1 Decentrale piekvoorzieningen	24
	3.2 Potentie op de lange termijn	24
	3.3 Potentie op de korte termijn	25
	3.4 Conclusie	26
4	Kosten	27
	4.1 Voor de voordeur	27
	4.2 Achter de voordeur	29
5	CO ₂ -effecten	38
6	Bedrijfsmatige aandachtspunten	41
	6.1 Duidelijkheid voor de toekomst: Visie	41
	6.2 Bronnen	41
	6.3 Productie	42
	6.4 Regie	42
	6.5 Experimenteren, leren en aanpassen	42
7	Kansen en risico's	43
	7.1 Kansen	43
	7.2 Risico's	44
8	Bevindingen	45
9	Verwijzingen	48
A	Bepaling capaciteit warmtenet	49

Samenvatting

De gemeente Den Haag wil in 2030 klimaatneutraal zijn en werkt daarom onder andere aan een hernieuwbare warmtevoorziening voor woningen, kantoren en bedrijven.

Vanuit bewonerswerkgroep Duurzame Haagse Warmte en breder vanuit de stad is via het Klimaatpact en het Warmtemanifest opgeroepen om lokale hernieuwbare warmtebronnen zoveel mogelijk te benutten en voorrang te geven op restwarmte van buiten Den Haag. Dit is opgenomen in het Collegeakkoord van Den Haag waarin als een van de speerpunten voor de verduurzaming van de energievoorziening staat aangeven dat het benutten en ontwikkelen van lokale hernieuwbare bronnen en initiatieven voorrang krijgen op energiebronnen van buiten de stad. Tot op heden waren lokale lagetemperatuurwarmtebronnen in vergelijking met hogetemperatuuroplossingen beperkt in de analyses van de gemeente Den Haag opgenomen.

CMAG heeft naar aanleiding van het warmtemanifest, in gesprek met onder andere architect Miel Karthaus KBnG (deels werkzaam voor Duurzaam Den Haag) en Anne van de Marel (Uniper), een visie voorgesteld op de ontwikkeling van een hybride LT/HT-warmtesysteem dat enkel gebruik maakt van lokale warmtebronnen. Duurzaam Den Haag (DDH) heeft CE Delft en CMAG gevraagd om gezamenlijk een quickscan uit te voeren naar de kansen van dit systeem. Uitgangspunt daarbij is kansen van LT-oplossingen in beeld te krijgen om te komen tot optimale combinatie van LT en HT-oplossingen die elkaar versterken.

Quickscan

In deze quickscan is het concept van het lokale hybride (LT/HT-)warmtesysteem nader uitgeschreven. De elementen van het systeem zijn in beeld gebracht, en er heeft een inventarisatie plaatsgevonden van realistisch inzetbare bronnen zowel als de theoretische potentie van de in Den Haag aanwezige warmtebronnen, en er is gekeken naar de kosten van de benodigde onderdelen van het warmtenet en de kosten voor de minimaal benodigde maatregelen in de woning om het systeem te realiseren. In deze studie is niet gekeken naar de totale kosten voor het realiseren van dit systeem op wijk- of buurniveau, of het totaal van de investerings- en onderhoudskosten voor zowel woningingrepen, energiekosten en infrastructuurkosten. Ook is deze oplossing in deze studie niet vergeleken met andere warmtetechnieken.

Het systeem

Het bestudeerde hybride (LT/HT-)warmtesysteem gaat uit van een lokaal lagetemperatuur-warmtenet op een basistemperatuur van 40°C, en een basisisolatie van alle woningen. Met dit systeem kunnen vele warmtebronnen invoeden op het warmtenet, en zijn woningen de meeste dagen in het jaar comfortabel warm te houden. Op erg koude dagen kan de CV-ketel, die vooralsnog in de woning blijft hangen, ingezet worden om de woning op temperatuur te houden. Eventueel is het mogelijk om hiervoor een lokale piekvoorziening in de woning (warmtepomp), dan wel een piekvoorziening die de temperatuur van het net verhoogt tot 55°C op buurt-/wijkeniveau, in te zetten. CMAG gaat ervan uit dat er in veel gevallen gebruik kan worden gemaakt van reeds bestaande infrastructuur, zoals de huidige piek- en hulpketels van het bestaande warmtenet, de water/infiltratie leidingen, waterleidingen, in Den Haag aanwezige (bio-)WKK's, et cetera. Voor de individuele afnemers is er

een grote mate van keuzevrijheid in de mate en tempo waarin zij hun woning aanpassen. Tevens is het mogelijk voor afnemers om warmte terug te leveren aan het warmtenet. Hoewel de fossiele infrastructuur voorlopig nog behouden blijft voor het verzorgen van de piekvraag (10%) van de woningen maakt dit systeem de weg vrij voor een grote CO₂-emissiereductie van meer dan 90%.

Lokale warmtebronnen

Uit de inventarisatie van lokale warmtebronnen blijkt dat er veel verschillende hernieuwbare warmtebronnen in Den Haag te vinden zijn. De geraamde capaciteit telt bij elkaar op tot voldoende voor het dekken van de vraag naar **basislast (85-90%)** in Den Haag. De theoretische potentie van de bronnen is veel ruimer. De **pieklast (10-15%)**, nodig op koude dagen, is met de geïdentificeerde hernieuwbare bronnen nog niet geheel in te vullen. CMAG gaat ervan uit dat bestaande bronnen met deels lage CO₂-emissie zoals bio-WKK's, de Constant Rebecque-centrale en overige hulpcentrales, alsmede HR-aardgasketels, voorlopig kunnen worden ingezet als pieklastvoorziening. Hiermee is er voldoende capaciteit voor pieklast aanwezig in Den Haag, die aanvankelijk nog wel CO₂-emissies tot gevolg zal hebben en op termijn moet worden vervangen door een fossielvrije drager.

Kosten

Netinfra en opslag

In deze studie wordt aangegeven welke kostencomponenten komen kijken bij de realisatie van een warmtenet, en bij het aanleggen van warmteopslag. Er is geen berekening gemaakt van wat de kosten zullen zijn in een concrete buurt. Wel wordt op basis van de in beeld gebrachte kosten van de verschillende componenten verondersteld dat de aanleg- en onderhoudskosten voor het lokale hybride warmtenet niet hoger zijn dan bij het aanleggen van een hogetemperatuurwarmtenet. De kosten voor warmteopslag zijn wel onderscheidend, maar in deze studie niet verder doorgerekend.

Kosten in de woning

Om de investeringskosten voor de bewoner te bepalen zijn er drie, in Den Haag veel voorkomende, woningtypes bekeken. Dit is gedaan voor de minimale aanpassingen die nodig zijn om het systeem te gebruiken. Het betreft:

- het plaatsen van HR++-glas in de woning;
- het vervangen van de radiatoren in de leefruimten (woonkamer, keuken) voor LT-radiatoren;
- kierdichting;
- toepassen van ventilatie (balansventilatie of mechanische ventilatie) in de woning.

In de berekeningen is ervoor gekozen om een variant door te rekenen waarbij de CV-ketel voorlopig behouden blijft om wanneer dit nodig is in de pieklast te voorzien. In alle drie de woningtypes is het ruimtelijk mogelijk om de bestaande radiatoren te vervangen door LT-radiatoren, waarmee alle woningen op 40°C basis en 55°C piek, warm te krijgen zijn. Het feit dat de gekozen woningtypes veel in Den Haag voorkomen, het hier mogelijk is het systeem te realiseren. En dat de vooroorlogse woningtypes die hier bekeken zijn lastiger te isoleren zijn dan de na-oorlogse woningtypen in Den Haag, lijken te onderschrijven dat dit voor nagenoeg alle woningen in Den Haag mogelijk moet zijn.

De minimaal benodigde kosten in de woning lopen, afhankelijk van het woningtype, grofweg uiteen van ca. € 8.000 tot € 19.000 (exclusief BTW). Het systeem kan hiermee op woning/gebouwniveau een CO₂-emissiereductie bereiken van 85 tot 90% CO₂. Om de CO₂-uitstoot tot nul te reduceren dient dan nog een oplossing voor de verdere verduurzaming van de pieklast gevonden te worden. Dit kan door collectieve systemen, of door het individueel inzetten van een warmtepomp, verdergaande isolatie of een combinatie van deze maatregelen.

Kansen en risico's

De kansen en risico's van het systeem zijn in beeld gebracht. Wat als kansrijk wordt gezien aan dit concept is dat deze aanpak, door de keuzevrijheid bij bewoners en de lokale schaal, waarschijnlijk kan rekenen op extra draagvlak. Het gebruik van meerdere bronnen maakt op termijn het systeem ook robuuster, omdat de afhankelijkheid van een individuele bron afneemt. Hiernaast worden er ook een aantal risico's geïdentificeerd. Het belangrijkste risico is dat het hybride warmtesysteem als een complex systeem gezien kan worden met een hoge systeemafhankelijkheid: het is nodig om meerdere warmteleveranciers te committeren, of zelf bronnen te realiseren, tegelijk met het verkrijgen van voldoende afnemers, om daadwerkelijk een warmtenet te realiseren. Realisatie van zo een systeem vraagt om een breed gedragen visie, en commitment van partijen, opdat dit systeem ook daadwerkelijk wordt gerealiseerd.

Hiernaast is de opzet van CMAG en KBnG dat het hybride warmtesysteem gestart wordt vanuit lokale buurtnetten die later worden gekoppeld. Als er gestart wordt met lokale buurt-/wijknetten dan moet er voor ieder buurtnet ook een acceptabele businesscase zijn. Dit vraagt om onderzoek op buurtniveau voordat door de ontwikkelaar van het buurtnet een besluit kan worden genomen om zo een net te ontwikkelen. Daarnaast vraagt het om een integrale systeemopzet bij het uitleggen van de lokale buurtnetten, zodat deze later gekoppeld kunnen worden. Deze integrale systeemopzet is ook nodig bij de afstemming van andere warmtenetsystemen. Wanneer twee warmtesystemen naast elkaar in dezelfde wijk worden uitgelegd zullen beide systemen met elkaar concurreren voor de basislast. Het is dan ook aan te bevelen om van tevoren goed te kijken in welke wijken welk warmtesysteem de voorkeur geniet, en er in de uitvoering voor te zorgen dat deze systemen elkaar niet onnodig gaan beconcurreren.

Geadviseerd wordt om het lokale hybride warmteconcept verder uit te werken, en hierbij goed te kijken naar wat er geleerd kan worden van andere projecten in het land, zoals het Mijwaterconcept in Heerlen. Om te bepalen in welke wijken in Den Haag deze techniek kansrijk is, wordt geadviseerd om deze techniek op te nemen in een bredere scenariostudie waarin verschillende technieken met elkaar vergeleken worden. Vervolgens kan er middels een pilot in enkele wijken/buurtten ervaring worden opgedaan. Daarbij dient er rekening mee te worden gehouden dat de piekvraag op termijn ook duurzaam kan worden ingevuld, zodat de pilot niet afhankelijk is van de komst van het gehele systeem.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

De gemeente Den Haag wil in 2030 klimaatneutraal zijn en werkt daarom onder andere aan een hernieuwbare warmtevoorziening voor woningen, kantoren en bedrijven. Vanuit bewonerswerkgroep Duurzame Haagse Warmte (bestaande uit 17 bewonersinitiatieven) en breder vanuit de stad is via het Klimaatpact en het Warmtemanifest opgeroepen om lokale hernieuwbare warmtebronnen zoveel mogelijk te benutten en voorrang te geven op restwarmte van buiten Den Haag. Dit is opgenomen in het Collegeakkoord van Den Haag waarin als één van de speerpunten voor de verduurzaming¹ van de energievoorziening staat aangegeven dat het benutten en ontwikkelen van lokale hernieuwbare bronnen en initiatieven voorrang krijgen op energiebronnen van buiten de stad. CE Delft heeft tot op heden meerdere verkenningen naar de warmtevoorziening van Den Haag uitgevoerd. Tot op heden waren lagetemperatuurwarmtebronnen in vergelijking met hogetemperatuuro oplossingen beperkt in deze analyses opgenomen².

CMAG heeft naar aanleiding van het warmtemanifest, in gesprek met onder andere architect Miel Karthaus KBnG (deels werkzaam voor Duurzaam Den Haag) en Anne van de Marel (Uniper), een visie voorgesteld op de ontwikkeling van een hybride LT/HT-warmtesysteem dat enkel gebruik maakt van lokale warmtebronnen. Uitgangspunt daarbij is kansen van LT-oplossingen in beeld te krijgen om te komen tot optimale combinatie van LT en HT-oplossingen die elkaar versterken. Duurzaam Den Haag (DDH) krijgt graag de kansen voor dit hybride LT/HT-warmtesysteem scherper in beeld. Om deze reden heeft zij CMAG en CE Delft gevraagd om gezamenlijk een quickscan uit te voeren naar de kansen van dit systeem.

In deze studie is het concept van het hybride warmtesysteem nader uitgeschreven. De elementen van het systeem zijn in beeld gebracht, en er heeft een inventarisatie plaatsgevonden van de theoretische potentie van de in Den Haag aanwezige warmtebronnen, en er is gekeken naar de kosten van de benodigde onderdelen van het warmtenet en de kosten voor de minimaal benodigde maatregelen in de woning om het systeem te realiseren. Hiernaast zijn een aantal bedrijfsmatige aspecten aangedragen en de belangrijkste kansen en risico's benoemd.

1.2 Samenwerking

Deze studie is een samenwerking van CE Delft en CMAG/KBnG. Gezamenlijk is het concept van dit systeem aangescherpt, zijn de warmtebronnen en kosten verkend, en wordt een inschatting van de implementatiekansen gegeven.

Hiernaast heeft bij de totstandkoming van deze rapportage nauw overleg plaatsgevonden met leden van de werkgroep Duurzame Haagse Warmte. Zij hebben de onderzoeksopzet en tussenresultaten besproken en hierop bijgestuurd.

¹ Andere uitgangspunten betreffen het zien van kansen voor de realisatie van de 'Leiding door het Midden', samenwerken met stad en regio etc. Zie hiervoor het volledige coalitieakkoord (Gemeente Den Haag, 2018).

² In de analyses is wel een lagetemperatuurnet gevoed door een WKO-installatie opgenomen, maar is niet verder gekeken naar het inzetten van lokale LT-restwarmtebronnen.

2 Hybride LT/HT-warmtesysteem

Het hybride LT/HT-warmtesysteem (hierna hybride warmtesysteem) gaat uit van een lagetemperatuurwarmtenet op 40°C, en een basisisolatie in de woning. Met dit systeem kunnen vele warmtebronnen invoeden op het warmtenet, en is de woning de meeste dagen in het jaar comfortabel warm te houden. In koude dagen kan of een lokale piekvoorziening in de woning, of een piekvoorziening op buurt- c.q. wijkniveau, de warmtevraag invullen. Hierbij wordt de temperatuur in het afgiftesysteem verhoogd, tot ca. 55°C. Indien nodig kan het water ook sneller worden rondgepompt om meer warmteafgifte mogelijk te maken.

In dit hoofdstuk wordt dit hybride warmtesysteem in meer detail uitgewerkt. Hierbij gaan we allereerst in op de uitgangspunten die gehanteerd zijn bij het opzetten van dit systeem, en daarna wat dit concept betekent op woningniveau, voor het warmtenet, en het opslaan van warmte.

2.1 Systeemopzet en uitgangspunten

Het hybride warmtesysteem is opgezet vanuit de gedachte dat er voldoende hernieuwbare bronnen van warmte aanwezig zijn en ontwikkeld kunnen worden in Den Haag om de stad van basislast warmte te voorzien (90%), en het dan wellicht niet nodig hoeft te zijn om voor dit systeem restwarmte van buiten de stad in te zetten. Om zoveel mogelijk lokale hernieuwbare bronnen op één net in te laten voeden is een warmtenet op een basistemperatuur van 40°C het meest geschikt.

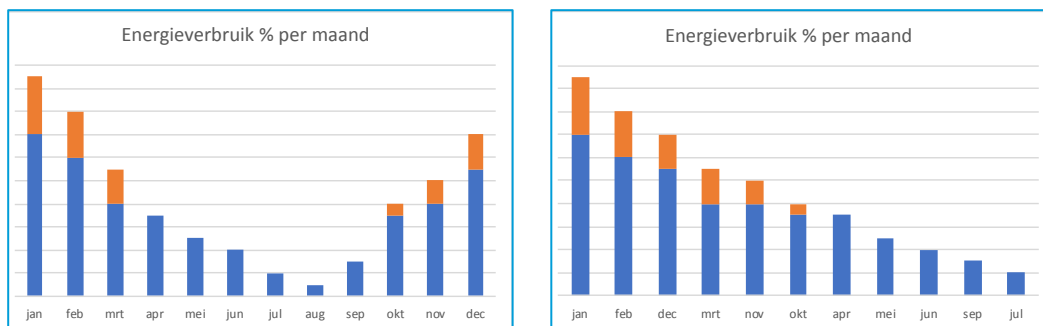
Het belang van een onderscheid in basis- en pieklast

Het hybride warmtesysteem gaat uit van een expliciet onderscheid in basis- en pieklast.

Momenteel wordt in de meeste berekeningen uitgegaan van een volumeverhouding pieklast/basislast van 80/20 (basis-/pieklast). Voor geothermie geldt over het algemeen een verhouding van 70/30. In het concept van de hybride warmtenet wordt ervan uitgegaan dat met een andere wijze van verwarmen (meer continue verwarming, minder grote schommelingen in dag- en nachttemperatuur), het aandeel basislast kan worden verhoogd naar 90% van het volume. Pieklast is relatief duur: voor de laatste 10% pieklast is evenveel vermogen (lees investering) nodig als voor de 90% basislast.

In dit warmtesysteem wordt ingezet om de basislast maximaal in te vullen met lokale hernieuwbare warmtebronnen. Geaccepteerd wordt dat de pieklast in eerste instantie nog door deels fossiele bronnen mag worden geleverd maar die op termijn ook wordt overgezet naar duurzame warmtebronnen c.q. energiedragers. Voorbeelden hiervan zijn biogas, waterstof of warmteopslag in de bodem (zowel op hoge- als lagetemperatuurniveaus).

Figuur 1 - Indicatieve weergave van de piek- en basislast. Links weergegeven per maand, rechts in een zogenaamde belasting/duurkromme



Bron: CMAG.

Het hybride warmtesysteem maximeert de inzet van lokale hernieuwbare bronnen voor de basislast én reduceert de pieklastvraag. Zomer- en restwarmteopslag (zie opslag) helpen daarbij. Ook wordt uitgegaan van een ander stookgedrag: door het constanter verwarmen van de gebouwen en vergrote inzet van vloer- en wandverwarming wordt de massa van de gebouwen zelf verwarmd, en neemt de piekvraag af.

Maximaal inzetten lokale warmtebronnen

In het hybride warmtesysteem wordt gezocht naar synergie tussen het benutten van hoge- en lagetemperatuurbronnen. Er worden een aantal voordelen gezien van het gelijktijdig inzetten van hoge- en lagetemperatuurbronnen op één warmtenet:

- De mogelijkheid tot verdere uitkoeling van geothermiewarmte geeft een aantrekkelijkere businesscase voor de exploitatie van geothermie, en de bron kan constanter draaien/hoef niet te worden ingesloten door in de zomer o.a. WKO's te laden.
- HT-bronnen kunnen zorgen voor aanvullende basislast, zeker wanneer deze in de rustigere zomermaanden hun restwarmte kunnen opslaan en zo door het jaar heen warmte kunnen leveren.
- Ook kunnen hogetemperatuurbronnen (wanneer sprake is van een bron die snel aan en afgeschakeld kan worden) een deel van de pieklast verzorgen.
- HT-(rest)warmte kan ook worden ingezet voor (absorptie)koeling in de zomer. Ook kunnen WKO-systemen koeling verzorgen. Dit is een aanvulling op het aanbod van warmte en besparing van elektriciteit. Deze mogelijkheid is in deze rapportage niet verder onderzocht.

Gebruik wat je al hebt

Naast zoveel mogelijk lokale warmtebronnen is de gedachte achter het hybride systeem tevens dat er zoveel mogelijk gebruik wordt gemaakt van de reeds bestaande infrastructuur in de stad. Voorbeelden hiervan zijn de bestaande Constant Rebecque-centrale plus opslag en hulpketels, de bio-WKK's op de Houtrust die momenteel niet in gebruik zijn, die op de Harnaschpolder en bestaande drinkwater- en infiltratieleidingen, et cetera.

Gebruik van de lokale klimatologische omstandigheden

Het hybride warmteconcept wil ook de kansen benutten die de ligging van Den Haag met zich meebrengt. Door de ligging aan de kust heeft Den Haag een gematigdere temperatuur dan verder landinwaarts. Voor het bepalen van het effect op de warmtevraag wordt

gerekend met graaddagen. Een graaddag is gedefinieerd als de referentietemperatuur minus de gemiddelde temperatuur over de gehele dag, geminimaliseerd op 0. Een graaddag is relatief ten opzichte van een referentietemperatuur, meestal die waarbij geen verwarming meer nodig is (typisch 18 °C). Aan de kust zijn er minder graaddagen dan landinwaarts, zie Tabel 1. Het verschil is zo'n 6%, dat zich vertaalt naar een 6% lagere vraag aan verwarming dan in het binnenland. Dit effect zit al meegenomen in de meeste berekeningen voor de verduurzaming van woningen in Den Haag, aangezien er voor deze berekeningen voor het huidige verbruik wordt uitgegaan van metingen van het gasverbruik in Den Haag, en niet van een gemiddeld verbruik voor Nederland.

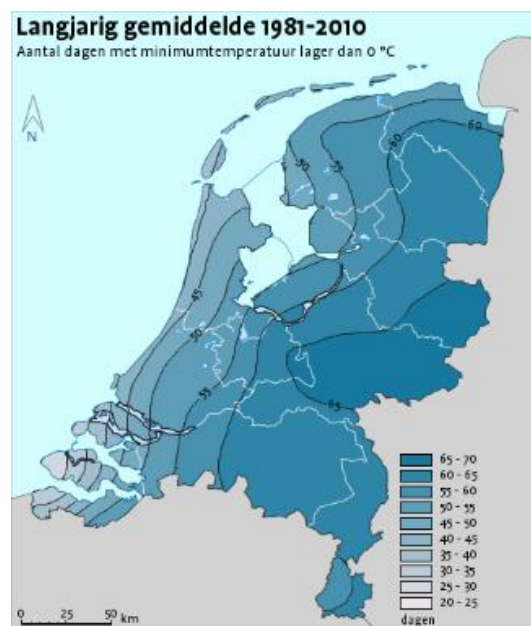
Tabel 1 - Gewogen graaddagen over een tienjarige periode in Hoek van Holland en de Bilt

Locatie	Gewogen graaddagen 2009-2019	%
De Bilt	28.188	100
Hoek van Holland	26.449	94

Bron: (KWA, 2018).

Voor de piekvraag is het met name van belang hoeveel zeer koude dagen er zijn. In Figuur 2 zijn het gemiddeld aantal vorstdagen in Nederland weergegeven. Den Haag ligt in een zone met tussen de 40-45 vorstdagen per jaar, zo'n 20% lager dan het landelijk gemiddelde.

Figuur 2 - Gemiddeld aantal vorstdagen in Nederland



Bron: (KNMI, 2011).

2.2 Gevolgen voor de woning

Voor de woning wordt er in dit systeem uitgegaan van het toevoegen van een basisisolatie-niveau. Hiervoor zijn de volgende ingrepen (minimaal) benodigd:

- het plaatsen van HR++-glas in de woning;
- vervangen van bestaande radiatoren door laagtemperatuurradiatoren in de leefruimten (woonkamer en keuken);
- kierdichting;
- toepassen van ventilatie (balansventilatie of mechanische ventilatie) in de woning.

Aanvullend kan het, zeker in oudere woningen, wenselijk zijn om ook het dak en de vloer te isoleren.

Met deze aanpassingen is het mogelijk om een woning in de meeste dagen van het jaar door middel van laagtemperatuurradiatoren comfortabel warm te houden met een warmtevoorziening van 40°C. Vaak kan in het slaapgedeelte volstaan worden met de bestaande radiatoren. Voor de koude dagen in het jaar zal dit niet lukken, en is een hoger temperatuurniveau en of een hogere doorstroming (debiet) van de verwarming noodzakelijk. Ook kan aanvullend geïsoleerd worden. Beide opties zijn mogelijk in dit systeem. Deze opties worden hierna uitgewerkt.

Basisisolatie met piekvoorziening

Wanneer er geen aanvullende isolatie wordt toegepast is het nodig om in koude dagen van het jaar een piekvoorziening te hebben. Door het tijdens koude momenten tijdelijk verhogen van de temperatuur in de radiatoren, kan er flink worden bespaard in het vermogen van de te plaatsen radiatoren. Om deze reden is de overgang naar een laagtemperatuurafgiftesysteem in bestaande bouw veel gemakkelijker en tegen minder kosten mogelijk dan in het algemeen wordt aangenomen.

Deze piekvoorziening kan individueel in de woning worden voorzien door het vooralsnog behouden van de huidige CV-ketel, of door het plaatsen van een warmtepomp. Deze installaties kunnen tegelijkertijd ook warm tapwater leveren.

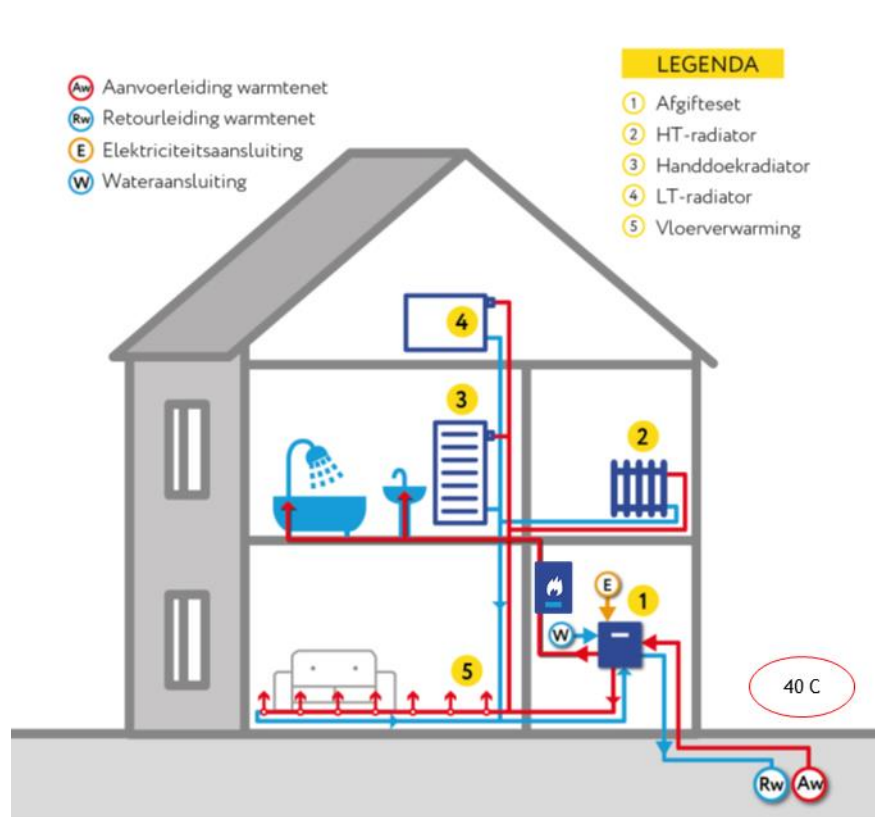
Een andere mogelijkheid is om collectief de piekvoorziening te leveren. Op wijk/buurt-niveau kan middels een warmtebron of een collectieve warmtepomp het temperatuurniveau van het warmtenet worden verhoogd (naar ca. 55°C) waarmee de woningen ook warm gehouden kunnen worden. Een losse voorziening voor het warm tapwater is dan in de woning wel nodig. Dit kan bijvoorbeeld door het plaatsen van een doorstroomverwarming.

Deze keuze voor piekvoorzieningen lijkt individueel van aard maar het collectieve systeem heeft daar direct invloed op. In gevallen waar een centrale pieklastvoorziening wordt gerealiseerd zullen individuele voorzieningen in veel gevallen overbodig worden.

Mogelijkheid tot aanvullend isoleren

Wanneer woningeigenaren willen kan de woning aanvullend worden geïsoleerd. Door daarnaast de radiatoren te vervangen door laagtemperatuurafgiftesystemen (LT-radiatoren, wand-, plafond- of vloerverwarming) kan de woning ook op koude dagen met 40°C worden verwarmd. Een piekvoorziening is dan niet meer nodig. Wel is op dat moment een losse voorziening nodig voor het leveren van warm tapwater (een warmtepomp of doorstroomverwarming).

Figuur 3 - Indicatieve mogelijkheden van een warmtenet in de woning



2.3 Warmtenet

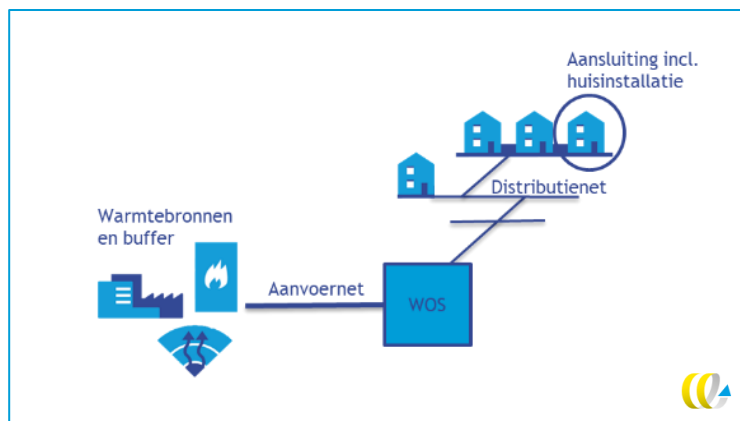
Een warmtenet kan verschillende groottes hebben, van een buurtwarmtenet tot een regionaal warmtenet. Het hybride warmtesysteem gaat uit van lokale buurtwarmtenetten op ca. 40°C. Zo een buurtwarmtenet kan op zichzelf staan, maar ook worden aangesloten op een groter net. Hiervoor is het wel nodig dat er vooraf afspraken zijn gemaakt over het bedrijfsmodel en het technisch ontwerp van het warmtesysteem. Dit maakt een groeimodel mogelijk waar meerdere buurtwarmtenetten los van elkaar ontwikkeld worden. Hierna worden de eigenschappen van een kleinschalig warmtenet, en het beoogde groeimodel nader uitgewerkt.

Kleinschalig warmtenet

In Figuur 4 is een kleinschalig warmtesysteem schematisch weergegeven. Dit systeem bestaat uit de volgende componenten:

- Lokale warmtebronnen zoals koelinstallaties van utiliteit, lokale restwarmte en aquathermie.
- Eventueel seizoensbuffer (bijvoorbeeld WKO).
- Aanvoernet³.
- Warmteoverdrachtstation (WOS) met warmtewisselaar of collectieve warmtepomp. Bij een klein net is geen los onderstation nodig.
- Distributienet van warmteoverdrachtstation naar aansluiting.
- Huisinstallatie met warmtapwatervoorziening en eventueel individuele warmtepomp.

Figuur 4 - Schematische weergave van de elementen in een klein (buurt-)warmtenet

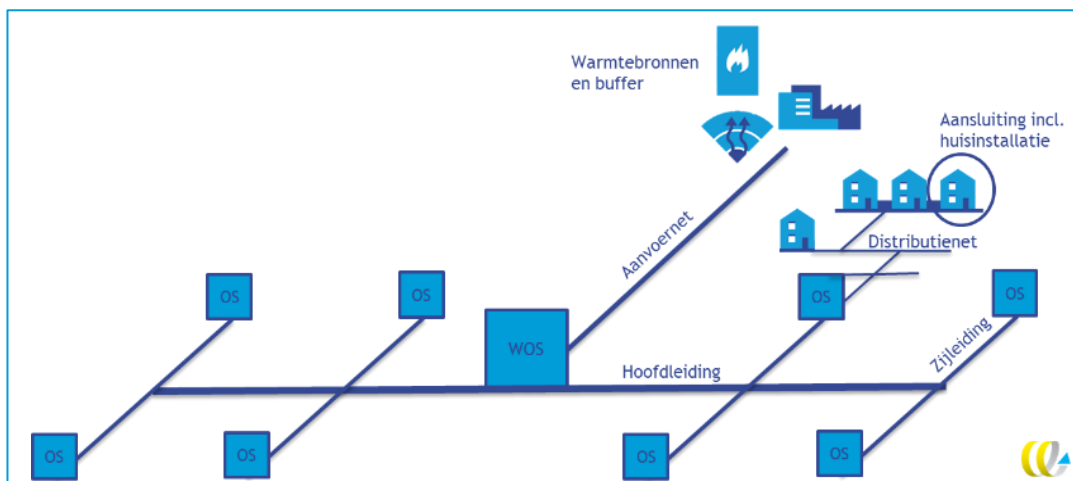


Groeimodel

Buurtwarmtenetten kunnen op elkaar worden aangesloten door de warmteoverdrachtstations/onderstations met elkaar te verbinden. Dit wordt ook wel 'kralen rijgen' genoemd. Het aanvoernet (of 'backbone') gaat dan meerdere bronnen, buffers en onderstations met elkaar verbinden. Het distributienet in de wijk hoeft hierdoor niet anders aangelegd of gedimensioneerd te worden.

³ Transportnet van de bronnen naar het WOS. In tegenstelling met een HT-warmtenet wordt de warmte niet over lange afstanden getransporteerd. Om verwarring te voorkomen wordt het hier daarom een aanvoernet genoemd.

Figuur 5 - Schematische weergave van de elementen in een groot warmtenet



Dit groeimodel heeft een aantal voordelen:

- Er is fasering van bronnen mogelijk, waarbij reeds bestaande, flexibele bronnen (WKO, lokale restwarmte, gasketels, WKK's) lokaal worden ingezet. Daarna wordt door de koppeling van wijknetten volume opgebouwd om grotere bronnen zoals geothermie in te zetten.
- Door het groeimodel is snellere CO₂-besparing mogelijk. Door aansluiting op een buurtwarmtenet wordt direct CO₂ bespaard. Gebruikers kunnen in eigen tempo de woning/het gebouw isoleren en daardoor kosten besparen. Parallel kan het warmtenet verduurzaamd worden om uiteindelijk ook de pieklast CO₂-neutraal in te vullen.
- Buurtwarmtenetten kunnen vanuit centrale regie worden gerealiseerd, maar ook vanuit bewonersinitiatieven ontstaan. Beide vormen passen in dit groeimodel.

Aandachtspunten bij dit groeimodel zijn de locatie, dimensionering, temperatuurniveaus en fasering van de aanvoernetten en bronnen. Het is noodzakelijk om vooraf/tijdens het ontwikkelen van buurtwarmtenetten al na te denken over de 'backbone', zodat optimale keuzes worden gemaakt. Het gedefinieerde eindbeeld geeft de leidraad en de kaders voor de ontwikkeling van de lokale netten.

Temperatuurniveaus

De temperatuurniveaus van het aanvoer- en distributienet zijn in het hybride systeem afhankelijk van onder andere de gebruikte bronnen, de keuze voor een collectieve of individuele warmtepomp, en het isolatieniveau van de gebouwen.

Het huidige concept van een hybride warmtesysteem omvat een aanvoernet van 40-45°C, dat afhankelijk van de wijk op koude dagen individueel of collectief opgewaardeerd wordt naar 55-60°C om te voorzien in de aanvullende piekvraag. Deze keuze, hoewel individueel van aard, zal collectief moeten worden gemaakt **per buurtnet**.

Ook is het in de toekomst mogelijk om het systeem te koppelen aan bestaande warmtenetten, zoals het hogetemperatuurwarmtenet van Eneco in de binnenstad, het verlaagde temperatuur net in Ypenburg en het zeer lagetemperatuurnet in Duindorp. Het gedefinieerde eindbeeld geeft de bestaande netten de gelegenheid over tijd, en eventueel stapsgewijs, te ontwikkelen tot conformiteit met de eindsituatie.

2.4 Opslag van warmte

Door warmte op te slaan kan de vraag naar warmte deels losgekoppeld worden van het aanbod. Dit is nodig om het gebruik van lokale warmtebronnen te maximaliseren: de vraag naar warmte is seizoensgebonden, maar het aanbod van warmte is veelal constant over de tijd. Seizoensopslag is dan ook nodig.

Op kleine schaal gebeurt warmteopslag al in alle electric-woningen met een warmtepomp. In deze opstelling wordt de warmtepomp met beperkte capaciteit gebruikt om warm tapwater in een buffertank op te slaan zodat op een later moment met een hoger tempo warm tapwater onttrokken kan worden. Een dergelijke buffer kan ook gebruikt worden voor collectieve warmtevoorziening.

De meest gebruikte methode is de 'open WKO'. De werking van WKO's wordt als bekend verondersteld. WKO's zijn tot nu toe in gebruik voor laagtemperatuuropslag van niet meer dan ca. 25°C. Daarmee is dit een geschikt opslagmedium voor laagtemperatuurwarmtenetten.

Zo een opslag kan ook worden gerealiseerd voor hogetemperatuurbronnen in de vorm van hogetemperatuuropslag (HTO). Warmtebronnen zoals geothermie, restwarmte of thermische zonne-energie leveren vaak het hele jaar door of met name in de zomerwarmte terwijl de vraag in de winter het hoogst is. Door een buffer toe te passen bij deze bronnen kan aan een hogere vraag in de winter worden voorzien. Deze opslag kan bovengronds, of ondergronds en via zogenaamde phase changing materials (PCM's). Deze systemen worden op dit moment in Nederland nog weinig toegepast. Het opslaan van hogere temperaturen en opslag van alleen warmte is wettelijk nu nog niet toegestaan. Bij het Rijk is het mogelijk om eventueel experimenteerruimte hiervoor aan te vragen.

2.5 Warm tapwater

Het gebruik van warm water voor koken en douchen wordt relatief belangrijker naarmate de vraag naar ruimteverwarming afneemt. De veronderstelling is dat de vraag naar warm tapwater niet of nauwelijks zal afnemen. De warmte uit het warmtenet kan in dit hybride systeem in huis bijv. elektrisch worden opgewaardeerd naar 60°C. Dit kan (op korte termijn) nog met de CV-ketel, of door het plaatsen van een doorstroomvoorziening of elektrische boiler. Door de inzet van boilers kan water op momenten met een lage vraag worden verwarmd. Voor het meeste gebruik in huis is water van 60°C niet noodzakelijk. De reden dat dit water wel tot deze temperatuur wordt verwarmd heeft te maken met legionellapreventie. In de toekomst zijn wellicht ook andere methoden toegestaan, zoals het gebruik van legionella-filters of het slechts enkele keren per week verhogen van de watertemperatuur tot 60°C. Dit kan de warmtevraag van dit gebruik nog laten dalen.

3 Warmtebronnen in Den Haag

Gevraagd is om een inventarisatie uit te voeren naar de beschikbare warmtebronnen in Den Haag voor het hybride warmtesysteem. Allereerst worden alle bronnen geïnventariseerd. Aangegeven is of deze warmtebron past in het kortetermijnsysteem, of het lange-termijneindebeeld van het hybride warmtesysteem, zoals beschreven in Hoofdstuk 2. Ook wordt aangegeven of een bron kan worden ingezet voor de basislast, de pieklast of voor beide. Vervolgens wordt gekeken of er op korte en op langere termijn voldoende warmtebronnen in Den Haag aanwezig zijn om de basis- en pieklast te dekken.

Bestaande warmteketels

Termijn: Korte termijn

Geschikt voor basis- of pieklast: Beide

Bestaande warmtebronnen in het stadswarmtenet leveren op dit moment warmte vanuit aardgas. Dit gebeurt via een STEG (Constant Rebecque-centrale), of een WKK (stations in Ypenburg en Wateringse Veld) en via hulpketels zoals bijv. Bezuidenhout. Deze met fossiele energie gevoede centrales zijn efficiënt in het opwekken van warmte. Voor dit hybride systeem wordt ervan uitgegaan dat de Constant Rebecque en hulpcentrales zowel basis- als pieklast zouden kunnen leveren in de toekomst. CMAG gaat ervan uit dat de centrale tezamen met hulpcentrales 1,4 tot 1,8 PJ aan basiswarmte en 0,3-0,5 PJ aan piekwarmte kunnen leveren. Deze cijfers zijn door CE Delft niet verder gecontroleerd. De warmte is, door de fossiele bron, niet CO₂-neutraal. De emissies van de Constant Rebecque-centrale liggen op 29 kg/GJ, ruwweg de helft van dat van het verbranden van aardgas. Door verdere uitkoeling bij dit (LT/HT)-warmtesysteem gaat de emissiefactor voor warmte verder omlaag.

Op termijn zou het gebruikte aardgas wellicht kunnen worden vervangen door een hernieuwbare brandstof, zoals groengas of groene waterstof, waarmee deze warmte CO₂-neutraal kan worden.

Biomassa, vergisting en WKK's

Termijn: Middellange termijn

Geschikt voor basis- of pieklast: Beide

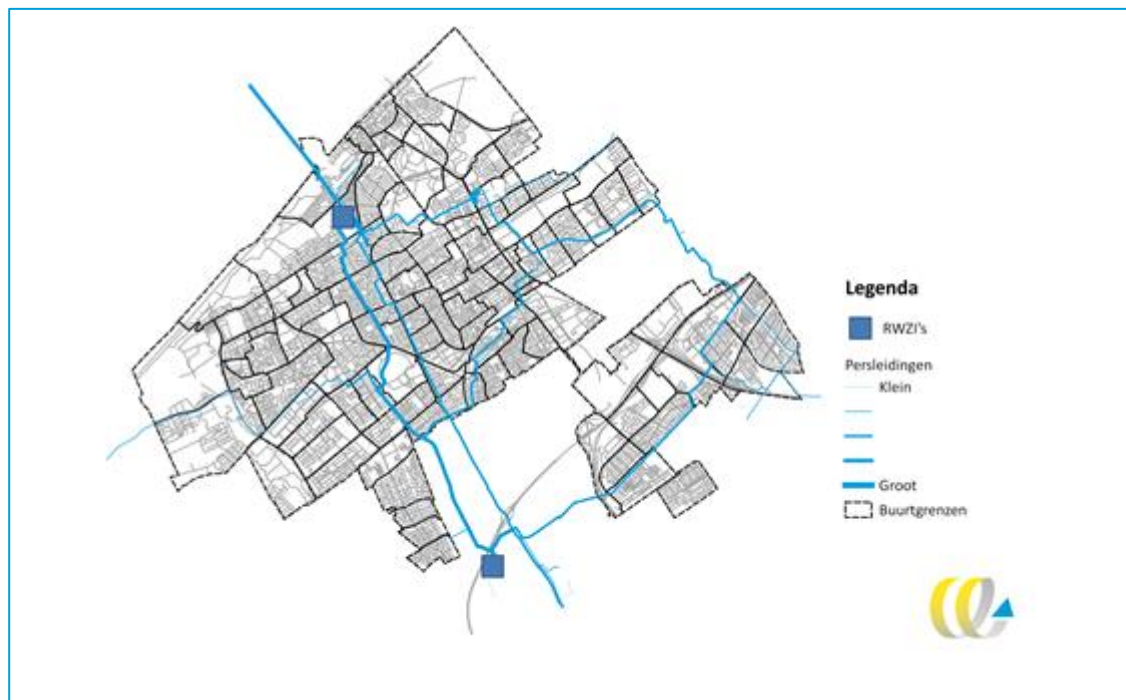
Biomassa kan door middel van vergisting worden omgezet in biogas. Met een WKK (warmtekracht-koppeling) kan dit gas worden verbrand om elektriciteit en warmte te winnen. De opgewekte warmte is van een hoog temperatuurniveau. Een WKK kan eenvoudig aan- en uit worden gezet, en op deze wijze kan een piekvoorziening worden geregeld.

Er is weinig vergistbaar materiaal aanwezig in het huishoudelijk afval en de groenstromen in Den Haag (0,2 PJ, (RVO, 2019)). CMAG heeft eerder onderzoek gedaan naar de potentie om reststromen van vis- en voedselafval uit de Scheveningse haven en de stad in te zetten voor het opwekken van biogas. CMAG gaat uit dat hiermee 0,1-0,2 PJ aan warmte kan worden opgewekt, uitgaande van 10.000-55.000 ton vergistbaar materiaal en een biogas opbrengst van dit visafval en SWILL van 150-500 m³/ton.

Bij elkaar opgeteld valt er daarmee maximaal 0,3-0,4 PJ aan warmte te winnen in Den Haag.

Er staan deels (ongebruikte) vergistingsinstallaties, opslagtanks en WKK's op de AWZI Houtrust en Harnaspolder (Figuur 6, RWZI aan de kustzijde van Den Haag). Daarnaast kunnen kleinschalige installaties ook in woonwijken worden gerealiseerd.

Figuur 6 - Rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) en Persleidingen van (drink)water in Den Haag



Geothermie

Diepe Geothermie

Termijn: Lange termijn

Geschikt voor basis- of pieklast: Basislast en pieklast (via opslag warmtebuffers)

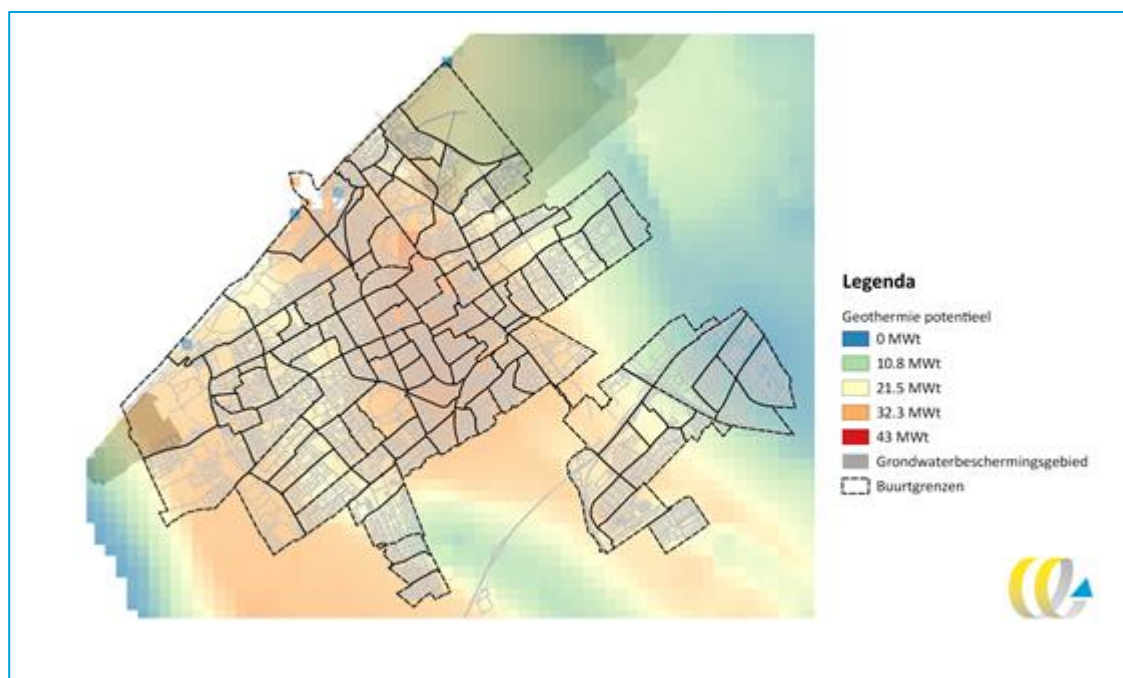
Winning van diepe geothermie vindt plaats tussen de 1,5 en 4 km diepte. We spreken over ultradiepe geothermie bij een diepte van > 4 km. Diepe geothermie pompt water naar de oppervlakte met een temperatuurniveau tussen de 60 en 90°C. Ultradiepe geothermie kan temperaturen van meer dan 120°C opleveren. De geothermievorming is bepaald op het rapport van IF-Technology voor de provincie Zuid-Holland (IF Technology, 2016). Hierbij is gekeken naar het totale potentieel van alle geschikte bodemlagen, ongeacht mogelijke hindernissen in de bovengrond. Voor Den Haag komt deze werkwijze uit op een theoretische potentie voor geothermie tussen de 5,4, en 8,5 PJ per jaar. Het volledig inzetten van de theoretische geothermievorming wordt in verband met de schaarse bovengrondse ruimte

niet realistisch geacht⁴. Een eerdere studie van IF Technology (IF Technology, 2016) voor de gemeente Den Haag kwam uit op een realistisch winbaar potentieel van tussen 3,5 en 5 PJ.

CMAG voorziet een tragere infasering en langer gebruik van de geothermie bronnen, door minder warmte op te pompen. Door de geleverde temperatuur niet hoger dan 45 °C te maken hoeft er minder warmte opgepompt te worden, en is er minder risico op thermische doorbraak. Mogelijk kunnen de bronnen hiermee lang mee. De aanname van CMAG dat ca. 2-2,5 PJ van de geothermievaststelling zal worden benut is overgenomen.

Geothermie is niet direct geschikt voor het leveren van piekcapaciteit. Wanneer een geothermiebron basislast levert, kan een deel van de opgepompte warmte echter worden opgeslagen in de ondergrond voor het leveren van een pieklast op een later moment (zie warmtebuffers). Hierdoor hoeft de geothermie productie in de zomer niet geheel te worden onderbroken dit is gunstig voor de conditie van de bron zowel als voor de rentabiliteit.

Figuur 7 - Geothermievaststelling in de ondergrond van Den Haag



Bron: (IF Technology, 2016).

Geothermie ondiep

Termijn: Lange termijn

Geschikt voor basis- of pieklast: Basislast

Ondiepe geothermie is aardwarmte uit ondiepe formaties (circa 250-1.250 m). Deze diepten liggen tussen de diepten voor WKO en reguliere (diepe) geothermie in. Afhankelijk van de diepteligging is het temperatuurniveau van het water tussen 15 en 40 °C. De potentie van

⁴ Voor het plaatsen van boringen is een werkterrein nodig van ongeveer één voetbalveld. Een aardwarmteboring neemt enkele maanden in beslag. Na het verwijderen van de boorinstallatie moet er bij de productie- en injectie-put een klein gebouw (van circa 100 vierkante meter) worden geplaatst waarin de warmtewisselaars voor het warmtenet staan.

deze bron is bepaald door de potentie voor ondiepe geothermie (CE Delft & IF Technology, 2018) voor alle geschikte bodemlagen enkel in het stedelijk gebied van de gemeente Den Haag mee te nemen. Op basis van deze potentieberekening volgt dat voor Den Haag er maximaal 11 PJ per jaar aan ondiepe geothermie in de bodem gewonnen zou kunnen worden. Hierbij dient opgemerkt te worden dat bij deze potentieberekening geen rekening gehouden is met de beschikbare openbare ruimte⁵. .

Vanwege de beperkte bovengrondse ruimte gaan wij er in deze rapportage vanuit dat er max. 10% van deze warmte (1,1 PJ) ingezet zal kunnen worden. Dit is een grove aanname.

Restwarmte

Termijn: Korte termijn

Geschikt voor basis- of pieklast: Basislast, piek mogelijk via opslag

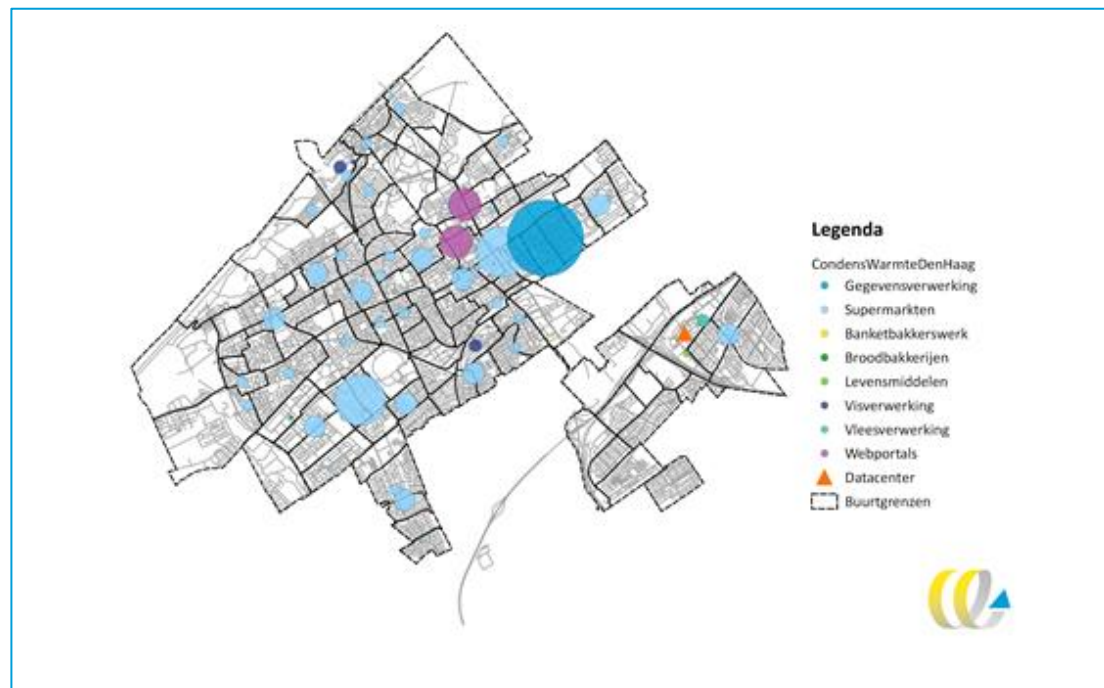
Er zijn geen hogetemperatuurrestwarmtebronnen in Den Haag bekend. Wel zijn er verschillende lagetemperatuurrestwarmtebronnen. LT-restwarmte is afkomstig van utiliteit zoals grote supermarkten, datacenters, ijsbanen en koel- en vrieshuizen en industriële bronnen. Een grove indicatie van het potentieel is 0,33 PJ (RVO, 2019). In Tabel 2 is een overzicht gegeven van typen restwarmtebronnen, en in Figuur 8 een weergave van de locatie van de LT-restwarmtebronnen in Den Haag.

Tabel 2 - Potentiële warmtebronnen voor LT-warmtenetten

Bron	Type
Middelgrote industrie	Warmtevraag en -aanbod Koudevraag
Rioolwaterzuiveringen	Warmteaanbod (LT)
Koel- en vrieshuizen	Warmteaanbod (LT) Koudevraag
Slachthuizen	Warmteaanbod (LT) Koudevraag
Datacenters	Warmteaanbod (LT) Koudevraag
Kunstijsbanen	Warmteaanbod (LT) Koudevraag
Supermarkt	Warmteaanbod (LT) Koudevraag
Glastuinbouw	Warmtevraag (MT/HT) Warmte-aanbod (LT)
Industriële bakkerijen	Warmtevraag (MT/HT) Warmte-aanbod (LT)
Industriële wasserijen	Warmtevraag (MT/HT) Warmte-aanbod (LT)

⁵ Zie voetnoot 3.

Figuur 8 - Locatie potentiële restwarmtebronnen, met een indicatie van hun beschikbaar vermogen



Bron: (RVO, 2019).

TEA, Thermische energie uit afvalwater

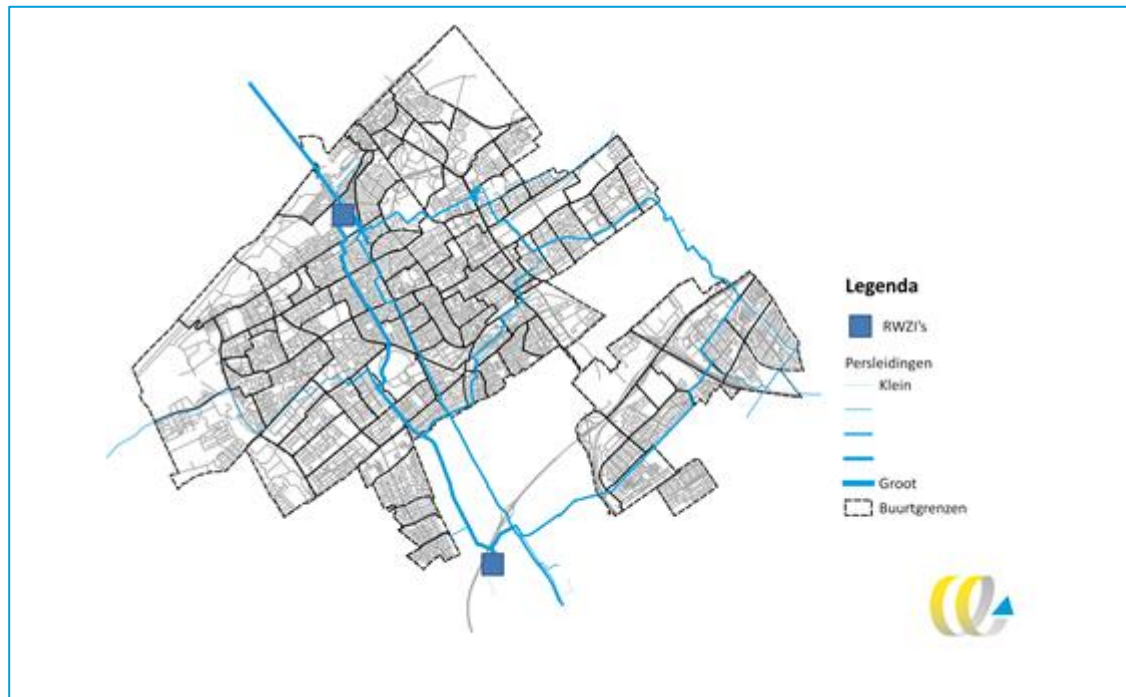
Termijn: Korte termijn

Geschikt voor basis- of pieklast: Basislast

Vanuit de Rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) Harnaspolder loopt een leiding met schoon, zoet en warm water richting de RWZI Houtrust. Het betreft 200.000 m³ water per dag dat op zee wordt geloosd. Via warmtewisselaars al of niet ondersteund door warmtepompen kan aan deze stroom, warmte worden onttrokken. Minimaal 5 °C permanent zomer en winter en voor een maximale winning wordt de zomerwarmte extra ingewonnen en opgeslagen. Dit resulteert in minimaal 1,4 en maximaal 2,3 PJ op jaar basis.

Op drie punten is deze warmte gemakkelijk toegankelijk: op de Harnaspolder, bij een reeds bestaand aantappunt in de buurt van het Zuiderpark en op de AWZI Houtrust (Figuur 9).

Figuur 9 - Rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) en Persleidingen van (drink)water in Den Haag



TED: Thermische energie uit drinkwater

Termijn: Korte en/of lange termijn

Geschikt voor basis- of pieklast: Basislast

Ook uit de infrastructuur voor drinkwaterleidingen kan warmte worden onttrokken. Het gaat hier om het onttrekken van warmte uit de hogedruk persleidingen. Voorbeelden hiervan zijn de infiltratieleiding die rivierwater naar de duinen ten Noorden en ten Zuiden van de stad brengt en de drinkwaterleiding die dat water naar de stad voert. Uitgangspunt is dat uit de infiltratieleiding niet meer dan 3°C wordt teruggewonnen in de winter en in de zomer 5°C. Uit de drinkwaterleiding kan in de zomer eveneens warmte worden onttrokken hetgeen de kwaliteit van het drinkwater verbetert. Dit resulteert in 0,1 PJ op jaarbasis minimaal en 0,3PJ maximaal⁶⁶. Zie Figuur 4 voor de ligging van deze persleidingen.

TEO: Thermische Energie uit oppervlaktewater

Termijn: Lange termijn

Geschikt voor basis- of pieklast: Basislast

Het temperatuurniveau van oppervlaktewater kan gebruikt worden voor regeneratie van WKO-systemen. Regeneratie betekent dat de energiebalans van de WKO wordt hersteld of dat wordt voorkomen dat deze in onbalans raakt. Dat kan gebeuren als er in de winter te veel warmte wordt onttrokken, waardoor de bodem te veel afkoelt en de warmtepomp

⁶⁶ Uitgaande van een debiet van 400 m³/uur voor de Leiding Meijndel en 800 m³/uur voor leiding naar Monster als aangegeven door Dunea.

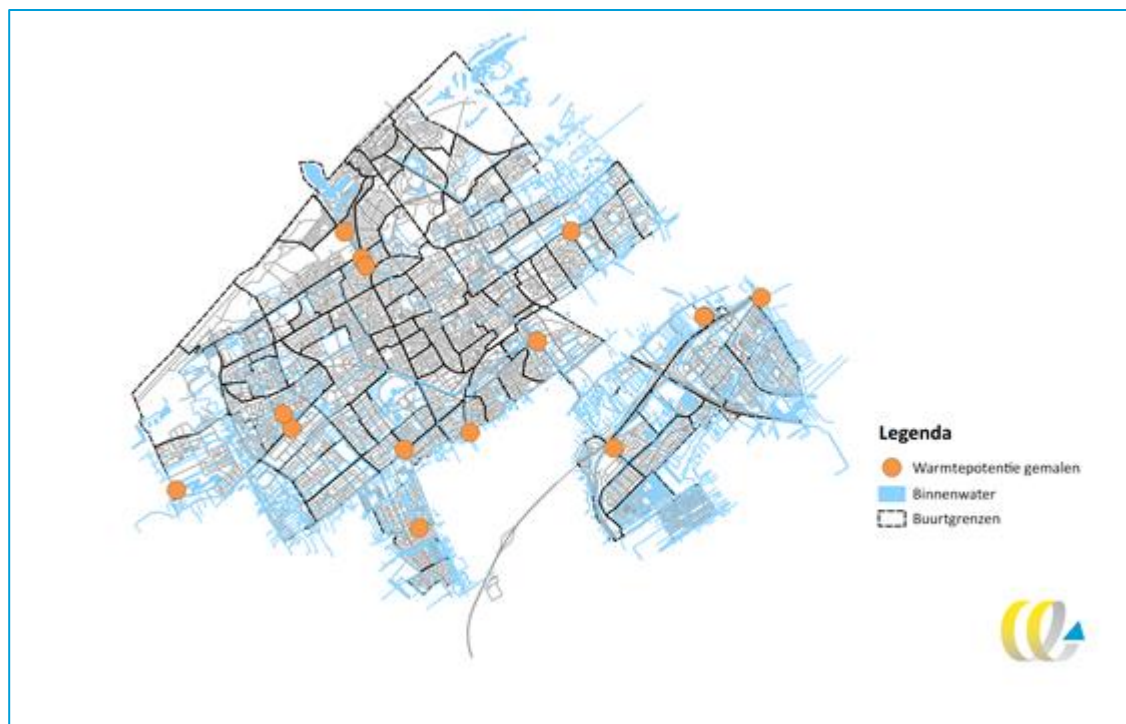
(aanzienlijk) minder efficiënt wordt. Door in de zomer warmte uit het oppervlaktewater te 'oogsten' en deze op te slaan in de bodem, kan de bron beter in balans blijven, en meer warmte uit de WKO-bron worden onttrokken.

Er zijn twee landelijke studies voor de potentie van energie uit oppervlaktewater (IF Technology, 2016) en (CE Delft, Deltares, 2018)). Beide studies berekenen een theoretisch potentieel voor energie uit oppervlaktewater. Voor Den Haag verschillen beide studies behoorlijk. Omgerekend komt het potentieel uit tussen de 0,6 PJ (IF Technology, 2016) en 3,5 PJ (CE Delft, Deltares, 2018).

Dit verschil laat zien dat er nog een hoop extra onderzoek gedaan moet worden om de potentie voor Den Haag daadwerkelijk te bepalen. Er is in deze studie niet gekeken of energie uit oppervlaktewater technisch en financieel aantrekkelijk is in Den Haag.

Gezien de ervaringen met de Zeewaterwarmtecentrale in Duindorp die warmte uit zee (oppervlakte) water maakt wordt voor deze studie uitgegaan van het lage scenario 0,1-0,6 PJ.

Figuur 10 - Oppervlaktewater in Den Haag en de gemalen in de stad



Bron: (IF Technology, 2016).

Warmtebuffers

Termijn: Korte termijn

Geschikt voor basis- of pieklast: Pieklast

Om de (winter-)piekvraag op te vangen kan ook gebruik gemaakt worden van een warmtebuffer. Warmteopslag kan op drie manieren:

1. Voelbare warmteopslag (Sensible heat).
2. Opslag in faseovergangen (Phase changing materials, PCM).
3. Chemische opslag (Thermochemical Storage, TCM).

Voelbare warmteopslag is gebaseerd op het verwarmen van een medium, meestal water.

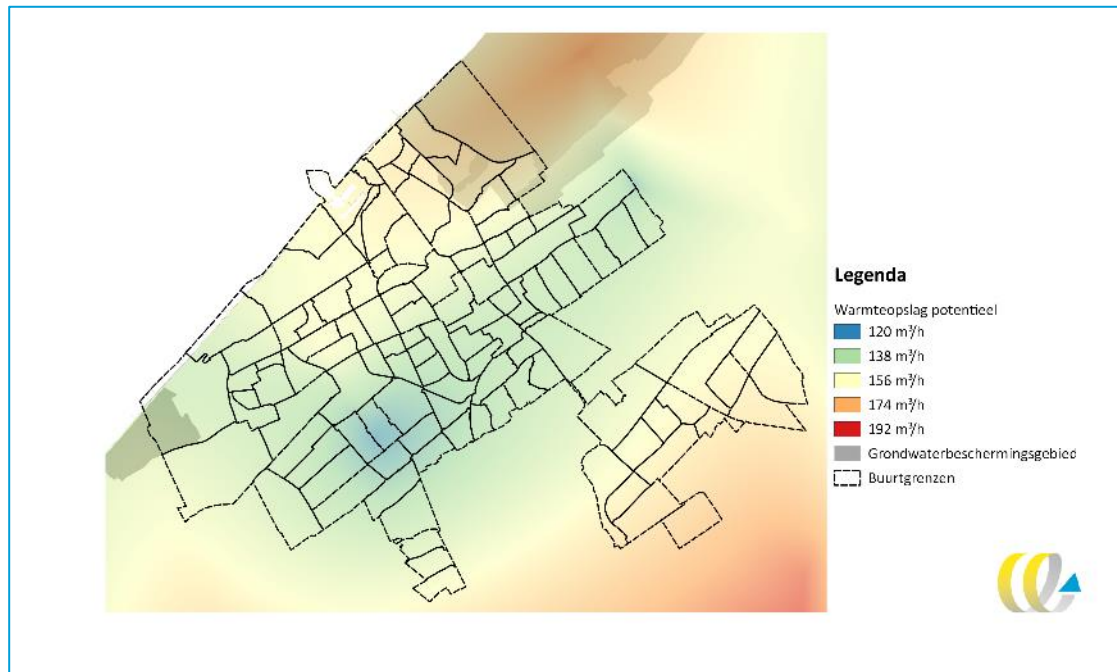
Dit is op dit moment de enige commercieel toegepaste vorm van grootschalige opslag.

Het opslagsysteem kan verschillende configuraties hebben:

- Bovengrondse tank/buffervat. Vanwege de grote ruimtevraag wordt dit in de praktijk gebruikt voor dag/nachtopslag. Dit gebeurt momenteel reeds op de Constant Rebecque-centrale (ter grootte van 80.000 m³). Voor seizoensopslag is deze variant nog niet economisch rendabel.
- Ondergronds buffervat of geïsoleerde vijver. Denk hierbij aan het Ecovat-concept. Ook deze variant heeft een grote (ondergrondse) ruimtevraag. Per woning is er 48 tot 100 m³ opslagvolume nodig. Dit volume is sterk afhankelijk van de warmtevraag/het isolatieniveau van de woningen en van het type warmtebron.
- Opslag in aquifers in de bodem (WKO of MTO). De ondergrond in de regio Den Haag leent zich goed voor HTO/MTO. MTO kan op twee manieren worden gerealiseerd: via een open bronnet of een gesloten leidingstelsel, gelijk aan open of gesloten WKO-systemen:
 1. Met een open bronnet kan 5-15 MW aan capaciteit worden geleverd (opschalen naar 100 MW is mogelijk, mits de ondergrond geschikt is).
 2. Met een gesloten bronnet kan 1-2 MW aan capaciteit worden geleverd.

Momenteel is het niet toegestaan om in de ondergrond van Zuid-Holland water met een temperatuur van hoger dan 30°C in te voeden.

Figuur 11 - Potentie ondergrond Den Haag voor hogetemperatuurwarmteopslag



Zonnethermie

Termijn: Korte termijn

Geschied voor basis- of pieklast: Basislast

In plaats van zonnepanelen zou er in Den Haag ook warmte uit de zon gewonnen kunnen worden. Dit kan met warmtecollectoren, of met PVT (Photovoltaic-thermic waarmee warmte en elektriciteit tegelijk en in synergie worden gewonnen). Het winnen van warmte is aantrekkelijk, omdat er per vierkante meter viermaal meer energie kan worden gewonnen in de vorm van warmte dan elektriciteit. Echter momenteel is het voor individuen aantrekkelijk om elektriciteit op te wekken. Deze warmte kan zowel in de woning zelf worden gebruikt, als worden terug geleverd aan een toekomstig hybride warmtenet.

We gaan voor deze verkenning uit van 400.000 panelen die o.a. op (15.000/20.000) daken worden gelegd, een minimale opbrengst van 2 GJ/m² per jaar en een maximale opbrengst van 3 GJ/m²/jaar (TAUW, 2018). Dit levert minimaal 1,3 en maximaal 1,9 PJ per jaar aan warmte op en 95 miljoen kWh aan groene elektriciteit gebaseerd op 285 WP per paneel. De studie 'Backcasting Den Haag' gaat er van uit dat er maximaal 5,3 miljoen panelen op daken in Den Haag kunnen worden neergezet (CE Delft, 2018). Het is dan ook goed mogelijk dat later de aantallen zonnecollectoren nog kunnen worden verhoogd.

Geografie: Deze toepassing kan nagenoeg over de hele stad worden geplaatst, mits er in de woning of in de directe omgeving van plaatsing een buffervat aanwezig is om de warmte in op te slaan.

3.1 Decentrale piekvoorzieningen

Termijn: Korte termijn

Geschikt voor basis- of pieklast: Pieklast

Naast bovenstaande collectieve warmtebronnen gaat het hybride systeem ervan uit dat woningen desgewenst gebruik kunnen blijven maken van individuele piekvoorzieningen. Deze ketels voeden geen warmte in op het collectieve net. Deze piekvoorziening kan op twee manieren worden geleverd.



HR-ketels

De huidige HR-ketels kunnen worden ingezet om op woningniveau de temperatuur van het warmtenet op te krikken naar een gewenst niveau. Hierbij wordt nog aardgas gebruikt.



Warmtepompen

Ook warmtepompen kunnen worden ingezet om het temperatuurniveau van het warmtenet op woningniveau te verhogen.

3.2 Potentie op de lange termijn

Op de lange termijn is er met deze aannames potentie voor het opwekken van ca. 7-11 PJ aan warmte voor het leveren van basislast aan het systeem. Om deze basislast te leveren zijn warmtepompen nodig. Warmtepompen brengen met een hoge efficiëntie hernieuwbare bronnen naar een beter bruikbare temperatuur. Omdat deze warmtepompen een onlosmakelijk onderdeel zijn van het warmtesysteem zijn deze in Tabel 3 opgeteld bij de potentie, om zo het totale aanbod aan de gebouwde omgeving weer te geven. CMAG verwacht dat voor dit systeem de warmtepompen aanvullend 0,4-0,7 PJ aan warmte leveren. De zo geïdentificeerde basislast is bijna gelijk aan de volledige warmtevraag naar basislast in de gemeente Den Haag⁷. De aanwezigheid van voldoende warmte wil echter nog niet zeggen dat het systeem ook overal in Den Haag aantrekkelijk is.

⁷ De volledige warmtevraag voor de gebouwde omgeving in Den Haag is momenteel 13,4 PJ, uitgaande van 85% basislast komt dit neer op een vraag naar basislast van ca. 11,4 PJ. Deze vraag neemt tot aan 2040 in een BAU-scenario verder af met 34% (CE Delft, 2018).

Tabel 3 - Maximale en meegenomen theoretische potentie voor basislast voor het hybride warmtesysteem

	Maximale potentie	Range gehanteerd in deze studie	
		Min	Max
CR-Centrale + hulpketels	1,8	1,4	1,8
Biomassa en WKK	0,4	0,1	0,3
Geothermie	5	2	2,5
Ondiepe geothermie	1,1	0	0,5
Restwarmte	0,33	0,33	0,33
TEA	2,3	1,4	2,3
TED	0,3	0,1	0,3
TEO	2,3	0,1	0,6
Zonnethermie	1,9	1,3	1,9
Totaal	15,43	6,73	10,53
<i>Aanvullende warmte warmtepompen</i>	<i>Niet bepaald</i>	<i>0,4</i>	<i>0,7</i>
Totaal voor invulling basislast	-	7,13	11,23

Voor de pieklast wordt er op korte termijn uitgegaan van het inzetten van de huidige individuele gasketels voor het invullen van de piekvraag. Op termijn zal deze pieklast ook duurzaam moeten worden ingevuld. In het hybride warmtesysteem worden een aantal bronnen als aantrekkelijk gezien om pieklast te leveren: bio-WKK's, de pieksystemen van de Constant Rebecque-centrale en reeds aanwezige hulpcentrales (gevoed door een duurzaam gas) en eventueel MTO/HTO-opslagsystemen gevoed door restwarmte of geothermie. De geïdentificeerde bronnen hebben een flink lagere potentie dan de basislast. Wanneer deze potentie op termijn onvoldoende is, kan worden gedacht aan aanvullende inzet van buurt-WKK's het plaatsen van collectieve of individuele warmtepompen, of het behoud van de HR-ketels in de woningen, die dan gevoed dienen te worden door een duurzaam gas.

Tabel 4 - Bekende invulling van pieklast

	Min.	Max.
CR-Centrale + hulp ketels	0,3	0,5
Biomassavergisting en WKK	0,2	0,4
Geothermie	Onbekend	
Warmtebuffering, buurt-WKK, etc.	Niet bepaald	
Individuele CV-ketels	Niet bepaald	
Totaal	0,5	0,9

3.3 Potentie op de korte termijn

Om op korte termijn een hybride warmtesysteem te realiseren zouden er kleine buurt-warmtenetten moeten worden ontwikkeld rondom snel te ontwikkelen bronnen. Mogelijkheden om deze bronnen te ontwikkelen zijn de bestaande warmtebronnen, restwarmtebronnen, aangevuld met kansen uit TEA en TED en zonnethermie. Uiteindelijk en bij voldoende technische en juridische afspraken vooraf kunnen de lokale warmte netten dan mogelijk aaneengroeien tot een geheel.

Op basis hiervan volgt dat de meest directe kansen liggen rondom de Houtrustcentrale (Energiekwartier, Regentessekwartier, Koningsplein, e.o.), het Statenkwartier, en Bezuidenhout. De aanwezige bronnen zijn voor het merendeel klein, en het is nog wel de vraag of met deze bronnen een gezonde businesscase ontwikkeld kan worden.

3.4 Conclusie

Er zijn veel verschillende hernieuwbare warmtebronnen in Den Haag te vinden. De theoretische potenties tellen bij elkaar op tot voldoende voor het dekken van de vraag naar basislast in de gemeente Den Haag. De geïdentificeerde pieklast is een stuk lager. Het hybride warmtesysteem gaat er echter ook vanuit dat bestaande HR-ketels worden ingezet als pieklastvoorziening. Hiermee is er voldoende pieklast aanwezig in Den Haag, die echter nog niet duurzaam is. Het aanwezig zijn van veel hernieuwbare warmtebronnen in Den Haag wil nog niet zeggen dat de hier geïdentificeerde theoretische beschikbaarheid ook daadwerkelijk benut kan worden. Dit hangt onder meer af van de daadwerkelijke beschikbaarheid (nader onderzoek op een specifieke locatie, en of er een businesscase voor zowel de afnemer als de leverancier kan worden gerealiseerd).

4 Kosten

4.1 Voor de voordeur

Voor de voordeur moeten er kosten gemaakt worden voor het aanleggen van het warmte-systeem. Dit systeem bestaat uit de volgende onderdelen:

- warmtenet, bestaande uit: hoofdleiding, zijleiding en distributienet naar de afleverset, en de daarbij behorende pompen en stations;
- WKO-bronnen of MT-opslag voor het opslaan van overtollige zomerwarmte.

Daarnaast zullen leveranciers van warmte een warmtepomp moeten plaatsen om de warmte te kunnen uitkoppelen naar het warmtenet. Hieronder worden deze kostencomponenten nader uitgewerkt. In deze studie is verder niet gekeken naar hoe de kostencomponenten bij elkaar optellen wanneer dit systeem voor een buurt wordt gerealiseerd.

Het onderscheidend vermogen van de kosten voor realisatie van het warmtenet tussen het hybride LT/HT-systeem en andere warmtenetten is beperkt. Dit volgt uit eerdere gesprekken van CE Delft met Greenvis B.V. Ook voor het hybride systeem moeten straten worden opengemaakt en geïsoleerde leidingen aangelegd. Het geringere warmteverlies door de relatief lagere temperaturen wordt deels tenietgedaan door hogere pompenergie. De kosten voor warmteopslag zijn echter wel onderscheidend.

Warmtenet en pompen

De netwerkkosten kunnen worden berekend op basis van kentallen uit het Vesta MAIS-model (CE Delft, Functioneel Ontwerp Vesta 3.0).

Aansluiting woning

Per woning of ander gebouw zijn er kosten voor de aansluiting van de gebouwinstallatie op het distributienet.

- in pandige afleverset (warmtewisselaar) (€ 2.000);
- in pandige distributie/leidingnet in appartementsgebouw met blokverwarming (verdeelleidingen door bergingen/kruipruimte; stijgleidingen) (ca. € 5 000);
- aanleg van het distributienet door voortuin/stoep naar onderstation (€ 2.500 tot € 5.000).

Onderstations

In het distributienet zijn, als het warmtenet voldoende groot is, onderstations nodig die een tiental tot 200 woningen bedienen. Bij een klein warmtenet zijn geen onderstations nodig; daar fungeert het WOS ook als onderstation.

Er kan worden aangenomen dat het thermisch vermogen van een onderstation ongeveer 600 kW is; dat betekent dat er per 600 kW één onderstation nodig is. De kosten zijn ongeveer € 60.000 per onderstation.

WOS met collectieve warmtepomp

Het warmteoverdrachtstation bevat een collectieve warmtepomp voor de basislast. Deze is groot genoeg om de seizoenspiek (winter) op te vangen en dagpieken voor warmtapwater. De WOS wordt zo gedimensioneerd dat deze in principe de volledige warmtevoorziening kan overnemen, mocht de hoofdbron wegvallen. Een WOS zou in de praktijk kunnen bestaan uit vijf warmtepompen van 200 kW, die serieel kunnen inschakelen. De kosten van de collectieve warmtepomp (inclusief gebouw, aansluiting, et cetera) worden geschat op 680.000 €/MW. Dit gaat om de te leveren capaciteit aan het distributienet.

Capaciteitsvraag distributienet (hoofdleiding en zijleidingen) en aanvoernet

Om de kosten van het de onderstations en het net te berekenen moet eerst de benodigde capaciteit worden bepaald. Dit is een zeer technische berekening, waarvan de methodiek is weergegeven in Bijlage A.

Kosten van de netten

In Vesta 3.0 wordt een berekening gegeven de kosten voor een hogetemperatuurnet. De kosten zijn afhankelijk van de totale capaciteitsvraag van de wijk inclusief gelijktijdigheid.

Een MT-distributienet op 55-70°C wijkt af van het HT-distributienet:

- lager temperatuurverschil met de omgeving, dus lagere isolatie vereist;
- lagere energetische inhoud door kleiner verschil tussen aanvoer en retour, dus bij gelijke vermogensvraag en gelijke stroomsnelheid (debiet) groter volume (diameter).

Er kan worden aangenomen dat deze twee effecten elkaar opheffen en de kosten (bij gelijke vermogensvraag) gelijk zijn aan de kosten van het HT-net. Als er eerst voor wordt gezorgd dat de vermogensvraag daalt door betere isolatie, dan schalen ook de kosten van het warmtenet mee naar beneden.

De kosten van het net (aanvoernet en distributienet) worden bepaald als gemiddelde van een minimum- en een maximuminschatting:

- minimumcurve: $K_{buis,min} \left[\frac{\text{€}}{\text{m}} \right] = 215,5 \cdot (P_{MW})^{0,4828}$;
- maximumcurve: $K_{buis,max} \left[\frac{\text{€}}{\text{m}} \right] = 379,29 \cdot (P_{MW})^{0,4739}$;
- P_{MW} = totaal benodigd vermogen van aanvoernet of distributienet in MW = $P(\text{kW})/1.000$ (in MW!).

Lengte van het net

De lengte van de zijleiding van het secundaire net, de hoofdleiding van het secundaire net en het primaire net kunnen worden ingeschat op basis van de oppervlakte van het gebied:

- lengte zijleiding secundair net: $l_{zijleiding} = \alpha \cdot n \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{2} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{opp_{gebied}}$;
- lengte hoofdleiding secundair net: $l_{hoofdleiding} = \alpha \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{opp_{gebied}}$;
- lengte secundair net: $l_{secundair\ net} = l_{zijleiding} + l_{hoofdleiding}$;
- lengte aanvoernet: $l_{aanvoernet} = l_{bron} \cdot \alpha$;
- hierbij is:
 - α = omwegfactor = 1,25;
 - n = totaal aantal OS = $P_{distributienet} / P_{OS}$ (met $P_{OS} = 600$ kW);
 - opp_{gebied} = oppervlakte van het gebied (in m²);
 - l_{bron} = afstand tussen bron en WOS.

Totale kosten net

De totale kosten van het aanvoernet en distributienet is de gemiddelde kosten per meter buis vermenigvuldigd met de lengte van het net.

Pompenenergie

Het elektrisch verbruik van de pompen per GJ warmte is bij de modellering van HT-warmtenetten $2,5 \text{ kWh}_e/\text{GJ}_{\text{th}}$. In werkelijkheid is deze afhankelijk van de diameter en transportafstand. Bij LT-warmtenetten moet er meer volume per GJ worden rondgepompt, maar is vaak de transportafstand lager dan bij een HT-net. Daarom kan worden aangenomen dat deze effecten elkaar opheffen.

Warmtebronnen en seizoensopslag

De seizoensbuffer kan lagetemperatuuraardwarmte (LTA) of Midden Temperatuur Opslag (MTO) of Hoge Temperatuur Opslag (HTO) doublet zijn. De mogelijkheid van opslag in aquifers is afhankelijk van de bodemgeschiktheid van de locatie/buurt. Als opslag in aquifers niet mogelijk is, zijn kunstmatige buffers nodig. Meerdere buurten kunnen één buffer delen.

De kosten voor een WKO-doublet inclusief collectieve warmtepomp naar 30°C zijn in Vesta (functioneel ontwerp 3.0) ingeschat op € 400.000 per 100 woningen.

De kosten van een OGT-doublet zijn afhankelijk van veel factoren, waaronder capaciteit, diepte, en ondergrond. Deze zijn sterk locatieafhankelijk. Daarom wordt in deze modellering uitgegaan van een enkel kostenkental voor de aanleg van een doublet, onafhankelijk van deze factoren. In de modellering wordt uitgegaan van één buffer per LT-warmtebron, geplaatst bij de warmtebron, met investeringskosten van € 100.000. OGT is nog weinig toegepast in Nederland, en deze kosten zijn dan ook indicatief.

De systeemvoordelen van een buffer (beter uitnutten bron; opvang pieken) zijn hier niet gekwantificeerd.

Uitkoppelen van warmte

De kosten voor het uitkoppelen van warmte bij de bron verschilt per type bron.

Voor restwarmte is dit gelijkgesteld aan HT-restwarmte, namelijk 250 €/kW.

De bronkosten voor ondiepe geothermie (OGT) oftewel lagetemperatuuraardwarmte (LTA) zijn door CE Delft (CE Delft, 2018) ingeschat op 1.200 tot 2.000 €/kW met een minimale investering van € 8.000.000.

4.2 Achter de voordeur

Een laagtemperatuur warmtenet met tijdelijke verhoging van de temperatuur bij vorst maakt achter de voordeur een veelheid van keuzes mogelijk. Het stelt mensen en gebouweigenaren in staat om in het tempo dat zij wensen, passend bij het beschikbare budget en het door hen gewenste comfortniveau de woning aan te passen aan verwarming zonder fossiel gas. Het houdt de prikkel tot bezuinigen in stand, of door met minder comfort genoegen te nemen of door te investeren in isolatiemaatregelen.

Hieronder wordt een drietal keuzemogelijkheden op een rijtje gezet:

A Behoud hogetemperatuurafgifte

De aangeleverde basistemperatuur van 40°C en/of piek van 55°C **wordt indien nodig elektrisch** of middels een warmtepomp **verhoogd**. Dit kan in combinatie met de bereiding van warmtapwater en ook in combinatie met een zonneboiler. Bestaande CV-radiatoren worden niet vervangen en de temperatuur daarvan blijft hoog (65-75°C).

Deze keuze verlaagt niet de warmtevraag maar zorgt ervoor dat aanpassing van de woning niet direct noodzakelijk is. Isolatie maatregelen in de toekomst hebben wel zin omdat de kosten voor elektriciteit daarmee zullen afnemen. Als in de toekomst toch gekozen wordt voor een afgiftesysteem van laagtemperatuur kan de warmtepomp ingezet worden om deels zelfvoorzienend te blijven of terug te leveren aan het net wanneer de prijs voor elektriciteit laag is. De warmtepomp moet daar wel geschikt voor zijn.

Ook voor mensen die een uitbundig gebruik van energie voorstaan biedt deze variant alle mogelijkheden om dit zonder gebruik van fossiel gas te doen.

B De comfort+-variant

De aangeleverde basistemperatuur van 40 graden is aanleiding om te investeren in vloer-, wand- of plafondverwarming. Het tapwater wordt elektrisch bereid, of middels een warmtepomp die de warmte uit bijvoorbeeld ventilatielucht of een zonneboiler oogst. In veel gevallen kunnen de bestaande CV-radiatoren gehandhaafd blijven; als aanvulling, of als basisverwarming in de slaapkamers.

Bij deze keuze is een isolatie van de woning noodzakelijk. Vervanging van het glas in HR++ is nodig omdat het verschijnsel van 'koudeval' - afkoelende lucht langs het glasoppervlak-, niet langer gecompenseerd wordt door CV-radiatoren met hogetemperatuur. Dit brengt met zich mee dat meestal ook de ventilatie gecontroleerd moet zijn. Idealiter wordt een balansventilatie met warmteterugwinning geplaatst.

Deze variant verlaagt de warmtevraag met de mate van isolatie en verhoogt het comfort doordat de woning verwarmd wordt middels stralingswarmte uit grote oppervlakten. Het binnenklimaat wordt ook gezonder, omdat werveling van lucht met huisstof en allergene factoren minder optreedt.

Deze keuze vereist een relatief grote investering en betekent overlast gedurende de werkzaamheden, Indien deze maatregelen genomen worden tijdens onderhoud of verbouwing vallen de kosten mee.

C De basisvariant

De aangeleverde basistemperatuur is aanleiding om de bestaande radiatoren te vervangen door laagtemperatuurradiatoren. Deze vereisen al gauw 4x meer afgifte oppervlak dan de bestaande radiatoren. Daar moet plaatsingsruimte voor zijn. De hoeveelheid radiatoren kan beperkt worden door de vraag naar warmte kleiner te maken. Dit kan door het huis te isoleren. Daarmee kan voldoende ruimte gevonden worden voor deze LT-radiatoren.

Vervanging van het glas in HR++ is hier minimaal noodzakelijk omdat de lucht langs het glasoppervlak aan de binnenzijde niet te veel mag afkoelen. Deze 'koudeval' wordt door de laagtemperatuurradiatoren immers minder gecompenseerd dan door oude radiatoren van hogetemperatuur.

Vervanging van het glas wordt gecombineerd met kierdichting en het plaatsen van roosters die zich automatisch aanpassen aan het luchtdrukverschil tussen binnen en buiten.

Hiermee kan tegen relatief lage kosten een mechanische ventilatie gerealiseerd worden.

Zolang de gasketel aanwezig is, bereidt deze het warm tapwater. Daarna wordt dit tapwater elektrisch of middels een warmtepomp bereid. Dit zou ook een warmtepomp kunnen zijn die zijn warmte oogst uit de afgewerkte ventilatielucht.

Deze basisvariant verlaagt de warmtevraag, maar behoudt de prikkel om zuinig om te gaan met energie; hetzij door ruimten minder te verwarmen, hetzij door meer isolatie maatregelen te nemen.

Al deze keuzes achter de voordeur kunnen eventueel worden uitgebreid met het individueel terugleveren van warmte. Deze extra teruggeleverde warmte draagt bij aan gespreide buffering van warmte en kan ingezet worden ter regeneratie van de warmteopslag in de buurt. Daarmee wordt de leveringszekerheid vergroot en het net ontlast. Een vergoeding voor deze warmte verlaagt de jaarlijkse kosten voor energie. Belangrijker nog: het levert een financiële prikkel voor lokale warmte winning waarmee de verduurzaming van de stad versneld en vergroot wordt.

Bovenstaande technieken kunnen indien gewenst ook nog worden uitgebreid met andere producten zoals PVT-panelen of zonnecollectoren. In deze studie is deze combinatie niet verder uitgezocht, maar kan zeker interessant zijn, omdat sommige systemen tot 4x meer energie in de vorm van warmte kunnen oogsten dan momenteel in de vorm van elektriciteit geoogst wordt met PV-panelen.

4.2.1 Voorbeeldwoningen

Om de impact van deze systematiek achter de voordeur verder te bepalen is door architectenbureau KBNG, een van de initiatiefnemers tot het hybride warmtesysteem, gekeken welke maatregelen minimaal nodig zijn voor het aansluiten op dit concept (overeenkomend met de basisvariant hierboven). Hierbij is verondersteld dat de gasketel voorlopig nog niet vervangen hoeft te worden. Dit is onderzocht voor drie, voor Den Haag, typerende woningtypes. Het gaat om:

- een laat 19e-eeuws gebouw in de van Slingelandstraat, bestaande uit een beneden- en bovenwoning;
- een portiekétage gebouw uit de 30'er jaren, bestaande uit een VVE van veertien woningen in de Altingstraat;
- een enkele eengezins-Vinex-woning uit 1999 in de Snoekbaarssingel.

Aangezien de tijd binnen deze studie beperkt was, biedt deze doorrekening geen representatief beeld van de Haagse woningen, maar wel een eerste goede indicatie bij welk minimum aan maatregelen achter de voordeur een warmtenet op lagetemperatuur mogelijk is, en tegen welke kosten.

Het energiegedrag is berekend uitgaande van lokale klimaatomstandigheden. Voor Den Haag is hier gekozen voor de data van weerstation Valkenburg bij Leiden. Dit station is inmiddels opgeheven maar eerdere metingen geven nog steeds een goed beeld van het lokale klimaat in de afgelopen jaren. Dit station lag eveneens aan zee. Daarnaast is uitgegaan van het werkelijk gemiddelde energiegebruik dat voor de betreffende wijken openbaar bekend is. Dit is gedaan door verlaging van de forfaitaire temperatuurwaarde van 20°C uit het rekenmodel zodat dit in overeenstemming is met het feitelijk bekende gemiddelde voor die buurt.

In volgende staatjes wordt steeds het energiegedrag weergegeven van:

- De bestaande situatie.
- De situatie waarbij alleen het glas is vervangen door HR++-glas en een drukgestuurde mechanische ventilatie. De kierdichting is hier licht toegenomen tot Klasse 2.
- De situatie waarbij naast de glasvervanging en mechanische ventilatie ook het dak en de begane grond is geïsoleerd.

Vervanging van het glas is een minimumvoorwaarde, niet alleen om de piekvraag te verlagen maar ook omdat bij laagtemperatuurradiatoren er minder opstijgende warme lucht beschikbaar is ter compensatie van de koudeval langs het glas. Er zijn zogenaamde boosterventilatoren verkrijgbaar die het vermogen van de laagtemperatuurradiatoren significant verhogen. In deze studie is daar niet mee gerekend.

Uit de Varianten 2 en 3 is de pieklast die het rekenmodel in Watt per m² opgeeft voor de betreffende woning, voor het deel waarin gewoond wordt (woonkamer, keuken) met een derde verhoogd en voor het resterende deel met een derde verlaagd. Dit is in overeenstemming met de gewoonte van veel mensen om in de woonkamer en keuken een hogere temperatuur te hebben dan in het slaapgedeelte. De zo gevonden pieklast is het vermogen dat maximaal in basis en piek moet worden afgegeven in de verschillende delen van het huis.

Het hybride karakter van het warmtenet geeft aan dat voor 90% van de vraag slechts de helft van het vermogen noodzakelijk is. Voor de basislast van 40°C kan dus de hierboven gevonden pieklast gehalveerd worden. Dit betekent dat maar de helft van het vermogen aan radiatoren geplaatst hoeft te worden. Aan de resterende 10% van de vraag aan piekvermogen wordt ruimschoots voldaan door tijdelijke verhoging van de temperatuur in de LT-radiatoren naar 55°C, via een collectieve of individuele oplossing.

In de Snoekbaarsingel gaat het om een vrij recent gebouwde woning. Hier is alleen de bestaande situatie inclusief mechanische ventilatie met warmteterugwinning en de vervanging van het glas doorgerekend.

In het geval van de Van Slingelandtstraat is gerekend met een gebouw van twee woningen en in de Altinghstraat met een complex van veertien woningen. Hieruit is een voor het complex representatieve gemiddelde woning afgeleid.

Vochtwerende maatregelen meegenomen

Bij energieberekeningen van woningen wordt de invloed van vocht meestal buiten beschouwing gelaten. Bij veel oude gebouwen is dat niet vanzelfsprekend. Vaak is de vochtbelasting vanuit de fundering en het maaiveld of bij doorslag in een buitenmuur dusdanig dat ook hier maatregelen genomen moeten worden om het energiegebruik te beperken. Continue verdamping van vocht uit de ondergrond kost veel energie en leidt tot discomfort. Met de kosten hiervan moet ook rekening worden gehouden. Wanneer de begane grond wordt geïsoleerd is al veel bereikt als de bodem in de kruipruimte middels een dampdichte folie wordt afgesloten. In de hierna beschreven kosten is dit meegenomen.

Aannames voor de kosten

Bij berekening van de maatregelen zijn wij van de volgende kosten uitgegaan:

- vervanging van radiatoren naar LT-radiatoren € 1,20 excl. BTW per Watt per m²;
- installatiekosten in Altinghstraat en Van Slingelandtstraat (oudbouw) € 750;
- installatiekosten in de Snoekbaarsingel: € 500;
- aanbrengen mechanische ventilatie inclusief drukgestuurde roosters € 200, excl. BTW;
- vervanging door HR++ in bestaand kozijn inclusief kierdichting in de oudbouw Van Slingelandtstraat en Altinghstraat: € 200, excl. BTW, per m² raam;
- vervanging door HR++ in bestaand kozijn inclusief kierdichting in de Snoekbaarsingel: € 150, excl. BTW, per m² raam;

- na-isoleren van de daken aan de buitenzijde in de Van Slingelandtstraat en Altinghstraat: € 50, excl. BTW per m² dakoppervlak als extra kosten bij vervanging of onderhoud van de dakbedekking;
- isoleren van de kruipruimten in de Slingelandstraat en Altinghstraat, inclusief dampdichte folie: € 35, excl. BTW per m² vloer.

Bij meerdere woningen onder één dak zijn de kosten voor dak- en vloerisolatie gemiddeld per woning. De invloed van de dakisolatie is daarin groot. Als deze isolatie uitgevoerd wordt wanneer de dakbedekking aan vernieuwing toe is, betekent dat een grote besparing op isolatiekosten.

Een aantal kostencomponenten zijn expliciet niet meegenomen in de berekeningen in deze quickscan:

- de kosten voor het volledig aardgasvrij maken van de woning, door het vervangen van de CV-ketel door een elektrische warmtepomp of een elektrische boiler zijn niet meegenomen;
- uitgaan is van enkel de woning gebonden maatregelen, en niet de kosten gebonden aan aansluiting op een warmtenet (aansluitkosten, huur afleverset, meetkosten, etc.);
- de kosten voor aanpassingen in de meterkast en de hal, nodig voor het plaatsen van een afleverset, zijn niet meegenomen;
- er heeft geen analyse plaatsgevonden van de kosten in de energierekening.

4.2.2 Resultaten

De Van Slingelandstraat

Figuur 12 - Voorbeeld van het woningtype in de Van Slingelandstraat



Bron: Google maps, 2018.

Tabel 5 - Woningkenmerken

	Dak- en vloer- oppervlak per woning	Raamoppervlak per woning	Totale oppervlakte woning	Oppervlakte woonkamer + keuken
Van Slingelandstraat	50	43	159	80

Tabel 6 - Kosten van de maatregelen

	Mechanische ventilatie en HR++-glas	Installatie radiatoren	Materiaal- kosten radiatoren woonkamer en keuken	Materiaal- kosten radiatoren slaapkamers	Isolatie dak en vloer	Totaal excl. BTW
Mechanische ventilatie en HR++- glas	€ 10.600,00	€ 750,00	€ 2.808,96	€ 1.415,04	€ 0,00	€ 15.574,00
Mechanische ventilatie en HR++- glas en isolatie dak en vloer	€ 10.600,00	€ 750,00	€ 2.042,88	€ 1.029,12	€ 4.250,00	€ 18.672,00

Tabel 7 - Resterende warmtevraag

	Totale warmtevraag: kWh/m ² /j	Piekvraag: W/m ²
Bestaande situatie	129	56
Mechanische ventilatie en HR++- glas	98	44
Mechanische ventilatie en HR++- glas en isolatie dak en vloer	63	32

De Altingstraat

Figuur 13 - Voorbeeld van het woningtype in de Altingstraat



Bron: Google maps, 2018.

Tabel 8 - Woningkenmerken

	Dak- en vloer- oppervlak per woning	Raamoppervlak per woning	Totale oppervlakte woning	Oppervlakte woonkamer + keuken
De Altingstraat	27,5	29	63,4	32

Tabel 9 - Kosten van de maatregelen

	Mechanische ventilatie en HR++-glas	Installatie radiatoren	Materiaalkosten radiatoren woonkamer en keuken	Materiaalkosten radiatoren slaap kamers	Isolatie dak en vloer	Totaal excl. BTW
Mechanische ventilatie en HR++-glas	€ 7.800,00	€ 750,00	€ 1.506,62	€ 758,98	€ 0,00	€ 10.815,60
Mechanische ventilatie en HR++-glas en isolatie dak en vloer	€ 7.800,00	€ 750,00	€ 1.225,73	€ 617,47	€ 2.337,50	€ 12.730,70

Tabel 10 - Resterende warmtevraag

	Totale warmtevraag: kWh/m ² /j	Piekvraag: W/m ²
Bestaande situatie	185	68
Mechanische ventilatie en HR++-glas	162	59
Mechanische ventilatie en HR++-glas en isolatie dak en vloer	123	48

Snoekbaarssingel

Figuur 14 - Voorbeeld van het woningtype in de Snoekbaarssingel (bron: google maps, 2018)



Bron: Google maps, 2018.

Tabel 11 - Woningkenmerken

	Dak- en vloer- oppervlak per woning	Raamoppervlak per woning	Totale oppervlakte woning	Oppervlakte woonkamer + keuken
Snoekbaarssingel	48	30	131	65

Tabel 12 - Kosten van de maatregelen

	Mechanische ventilatie en HR++-glas	Installatie radiatoren	Materiaalkosten radiatoren woonkamer en keuken	Materiaalkosten radiatoren slaapkamers	Isolatie dak en vloer	Totaal excl. BTW
HR++-glas en nieuwe radiatoren	€ 4.800,00	€ 500,00	€ 1.711,71	€ 862,29	€ -	€ 7.874,00

Tabel 13 - Resterende warmtevraag

	Totale warmtevraag: kWh/m ² /j	Piekvraag: W/m ²
Bestaande situatie	82	39
HR++-glas en nieuwe radiatoren	66	33

Conclusie

De kosten voor het nemen van de minimaal benodigde maatregelen achter de voordeur lopen tussen deze verschillende woningtypes grofweg uiteen van ca. € 8.000 tot 19.000 (excl. BTW).

Wanneer volledig van het aardgas wordt afgestapt is het nog nodig om aanvullende kosten te maken voor het plaatsen van een warmtepomp of een elektrische boiler.

In de verkenning van de voorbeeldwoningen is naast dit kostenoverzicht ook gekeken of het inpassen van nieuwe LT-radiatoren in bestaande bouw ook ruimtelijk mogelijk is. Dit is het geval. In het meest kritische geval van de Altinghstraat moet 39,2 watt per m² geïnstalleerd worden in een ruimte van ongeveer 5 x 6 meter. Dit kunnen drie radiatoren zijn van ieder 418 watt. Bij een aanvoertemperatuur van 40°C betekent dat een radiator met afmetingen van 40 x 100 x 22 cm.

5 CO₂-effecten

In juni 2017 hebben dertien van de vijftien politieke partijen in Den Haag een Haags klimaatpact gesloten. Dit klimaatpact wordt breed ondersteund: 300 organisaties steunen het Haags Klimaatpact (Haags klimaatpact, 2018).

De partijen willen in de coalitieperiode 2018-2022 een stevige bijdrage leveren om de 1,5°C-gradendoelstelling uit het Klimaatakkoord van Parijs te behalen. Onderdeel van de afspraken in het Klimaatpact is het verhogen van het ambitieniveau voor het klimaatbeleid in Den Haag van klimaatneutraal in 2040 naar klimaatneutraal in 2030. In dit hoofdstuk wordt daarom stilgestaan bij de CO₂-effecten van het hybride warmtesysteem.

CO₂-budget

Voor het bepalen van de benodigde inzet voor het behalen van de 1,5°C-gradendoelstelling is er een CO₂-budget vastgesteld dat het wereldwijde CO₂-budget, voortkomend uit het Klimaatakkoord van Parijs, vertaalt naar Den Haag.

Tabel 14 - CO₂-budget zoals vastgesteld door de gemeente Den Haag voor het 1,5°C- en 2°C-scenario

	1,5°C	2°C
CO ₂ -budget	13.720 kton CO ₂	25.725 kton CO ₂

Bron: (Den Haag, 2017).

Het werken met CO₂-budgetten zorgt voor een andere manier van prioriteren van de benodigde maatregelen. Het is belangrijk om hierbij snel emissiereducties te realiseren: De jaarlijkse uitstoot in de beginjaren telt zwaar mee in het totale budget. Hoe eerder Den Haag begint met het reduceren hoe beter. Wachten op technologische ontwikkelingen, of eerst werken aan het creëren van een infrastructuur voor warmtelevering, en daarna de bron verduurzamen zijn daarbij onverenigbaar met deze doelstelling (CE Delft, 2018).

Verschil tussen het hybride warmtesysteem en volledig aardgasvrij

In het hybride warmtesysteem gaan woningen niet direct van het aardgas af. De aanwezige CV-ketel zal nog een tijdlang worden gebruikt om piekwarmte te leveren op momenten dat dit nodig is. Op een later moment kan deze fossiele piekvoorziening vervangen worden door een duurzame oplossing.

Dit leidt ertoe dat dat er meer CO₂ wordt uitgestoten in een woning dan bij een volledig aardgasvrije optie als volledig overschakelen op CO₂-vrije (rest)warmte, of een elektrische warmtepomp. Echter, de gedachte van het hybride warmtesysteem is dat dit bewoners een duidelijk handelingsperspectief levert, en dat woningeigenaren hierdoor sneller aan de slag gaan met isolatiemaatregelen. Ook wordt gedacht dat hierdoor sneller warmtenetten gerealiseerd kunnen worden (zie hierover ook het volgende kader hieronder).

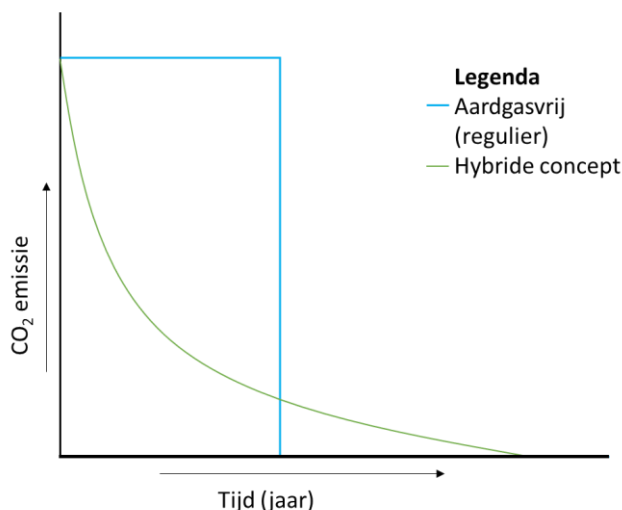
Reactie CE Delft op verwachte tempo

Een belangrijk aandachtspunt bij dit hoofdstuk is het te verwachten tempo van verduurzaming. CE Delft verwacht dat het aanleggen van meerdere kleine buurnetten niet per se een ander tempo zal hebben dan een groot stadsbreed warmtenet met een leverancier. Hoewel het draagvlak voor zo een buurnet hoger kan zijn, is er sprake van grotere complexiteit en meerdere businesscases die gemaakt moeten worden. CE Delft gaat ervan uit dat deze twee effecten wellicht tegen elkaar weg kunnen vallen.

Wel kan het mogelijk zijn dat bewoners door het schetsen van een helder eindbeeld meer duidelijkheid hebben om aan de slag te gaan. Door de langere overgangstermijn om woningen te isoleren, met een duidelijk eindbeeld kan dit mogelijk ertoe leiden dat woningen eerder aansluiten en maatregelen treffen. Of dit echt zo zal zijn zal in de praktijk duidelijk moeten worden.

Indien bovenstaande uitgangspunten in de praktijk ook worden gerealiseerd, dan zorgt het verhoogde tempo ervoor dat deze techniek beter is voor de doelstellingen van de gemeente Den Haag. Hoewel er langer nog een CO₂-uitstoot aanwezig is in de stad, wordt door de snelle daling van de CO₂-uitstoot het CO₂-budget minder belast. Zie een indicatieve weergave hiervan in Figuur 15. Overigens geeft CE Delft in haar studie 'Backcasting' aan dat wil Den Haag binnen haar CO₂-budget blijven, zware stimulering of dwingende maatregelen nodig zijn om het benodigde tempo te behalen (CE Delft, 2018). Deze conclusie staat los van de keuze voor een hybride warmtesysteem of een andere techniek.

Figuur 15 - Indicatieve weergave van de CO₂-emissies bij een aardgasvrije oplossing in de woning en het toepassen van het hybride warmtesysteem (bij snelle invoering). Het CO₂-budget is het oppervlak onder de lijnen in de grafiek



Daling van de CO₂-uitstoot voor een woning in het hybride warmteconcept

Ter illustratie is de reductie in CO₂-uitstoot door het toepassen van het hybride warmteconcept in de van Altingastraat (zie Hoofdstuk 4) doorgerekend.

In de huidige situatie gebruikt deze woning 185 kWh/m²/jr. per jaar, oftewel 1.154 m³ gas per jaar, wanneer verwarmd wordt met een HR-104-ketel. Dit vertaalt zich in 2.063 kg CO₂/jaar. Met de basismaatregelen zal de warmtevraag dalen met 13% tot 162 kWh/m²/jr. Hiervan is ca. 10% pieklast, de resterende basisvraag wordt ingevuld met lokale hernieuwbare bronnen. Indien deze pieklast wordt ingevuld met een HR-ketel betekent dit een jaarlijkse gasvraag van 101 m³, en een CO₂-uitstoot van ca. 180 kg CO₂ per jaar. Dit is een reductie van meer dan 90%.

Indien deze piekvraag collectief wordt ingevuld met een piekvoorziening dan is de resterende CO₂-uitstoot zelfs 109 kg CO₂/jaar, een reductie van 95%. Hierbij is uitgegaan van de emissiefactor van de Constant Rebecque-centrale, welke is vastgesteld op 29 kg CO₂/GJ, en is geen rekening gehouden met eventuele leidingverliezen.

6 Bedrijfsmatige aandachtspunten

CMAG geeft voor wat betreft de uitvoering de volgende aandachtspunten mee:

Het hybride warmtesysteem moet gezien worden in het volledige kader van de energieketen (Figuur 16).

Figuur 16 - De energieketen



Om deze te realiseren, en te beheren, is het ook nodig om een visie te hebben op dit systeem, en de juiste regie te houden op dit systeem. Te vaak wordt verondersteld dat bij beschikbaarheid van bronnen de levering aan afnemers vanzelf tot stand komt: dit is een misvatting. Er is sturing nodig om vraag en aanbod bij elkaar te brengen, zowel geografisch, als in de tijd.

De hieronder beschreven punten moeten als voorbeeld gezien worden. Belangrijk is dat er een technische en juridisch/organisatorische gemeenschappelijke deler wordt gedefinieerd zodat lokale netten op termijn aaneen kunnen sluiten en een sterker, stabielere geheel kunnen gaan vormen.

6.1 Duidelijkheid voor de toekomst: Visie

Om te zorgen dat alle partijen in Den Haag aan de slag gaan met hun woning of bedrijfspand, en er samen wordt gewerkt aan een aardgasvrij Den Haag is het nodig dat er een heldere visie ligt op dit toekomstige energiesysteem. Een visie is geen doelstelling of businesscase, het is een samenhangend geheel van te creëren condities die aangeven hoe het doel op tijd te bereiken. Naast de 'wat'- en 'wanneer'- vragen geeft de visie antwoord op de 'hoe dan'- vraag. Het formuleren van de visie geeft betrokkenen inzicht en is een conditie voor inzet van burgers en lokale bedrijven. Deze studie beschrijft de visie van het hybride warmtesysteem en geeft de cijfermatige onderbouwing voor beschikbare energie. Een businesscase volgt als en indien de visie een door Den Haag gedragen visie wordt.

6.2 Bronnen

Opgemerkt moet worden dat hernieuwbare bronnen sterk afwijken van fossiele bronnen in kostenstructuur zowel als in productie karakteristiek. Dit zal in de transitie periode tot fricties, onbegrip en risico's leiden die dienen te worden geïdentificeerd en beheerst moeten worden. Aan de verbruiker in rekening gebrachte kosten voor fossiele bronnen zijn voornamelijk variabele kosten. Voor hernieuwbare bronnen moet nieuwe infrastructuur worden gebouwd wat een aanzienlijke kapitaalslast betekent. Toch is het wenselijk een significant percentage van de energiekosten variabel te houden waardoor er een incentive bij de verbruiker is spaarzaam om te gaan met de aangeboden energie. Dit is niet zozeer uit

milieuoverwegingen van belang maar de energie uit lokale bronnen komt zo breder ter beschikking.

6.3 Productie

Productie van warmte kan door private (lokale) partijen worden opgepakt. In het eindbeeld krijgen afnemers de optie eveneens terug te leveren of warmte te produceren voor het net. Dit vraagt om een centrale sturing op het warmtenet, om deze warmte goed te verdelen. In veel gevallen zal de geleverde warmte surplus warmte zijn die in de zomer geleverd zal worden. Deze moet worden opgeslagen voor later gebruik en zal daardoor een relatief lage waarde hebben. Er moet dan ook een differentiatie in economische vergoeding komen voor basislast, pieklast en back-up-leveringen/betalingen voor reservecapaciteit. Dit vraagt om een nieuw systeem van warmteregelingen die momenteel nog niet bestaat. In Heerlen (Mijnwaterconcept) wordt naar soortgelijke regelingen gekeken. Mogelijk kan van deze kennis gebruik worden gemaakt.

6.4 Regie

Bij onderling concurrerende bronnen, noodzakelijke netwerkstabiliteit en levering van warmte door meerdere partijen is regie noodzakelijk. Het is een grote en relatief complexe opgave, die een stevige organisatie vraagt met kennis en kunde, en een bereidheid om risico's te nemen. Om deze reden is steun voor deze visie bij meerdere partijen in Den Haag een voorwaarde om dit systeem te realiseren.

6.5 Experimenteren, leren en aanpassen

Om het hybride warmtesysteem te ontwikkelen is een duidelijke visie benodigd op het eindbeeld. Alleen dan kunnen (voor)investeringen worden genomen met een voldoende mate van zekerheid dat op een later moment lokale wijknetten samen kunnen komen in een stadsbreed warmtesysteem. Tegelijkertijd is het niet nodig om dit met een rigide masterplan vorm te geven. Je kunt sturing geven, maar ruimte laten om andere bronnen te gaan benutten in de toekomst. Dit geeft de mogelijkheid om binnen het systeem ook gecontroleerde experimenten aan te gaan, en de lessen hiervan mee te nemen bij het opzetten van het energiesysteem.

7 Kansen en risico's

In deze studie is het concept van het hybride warmtesysteem nader uitgeschreven. De elementen van het systeem zijn in beeld gebracht, er heeft een inventarisatie plaatsgevonden van de theoretische potentie van de in Den Haag aanwezige warmtebronnen en er is gekeken naar de kosten van het warmtenet en in de woning. In dit hoofdstuk wordt het hybride warmtesysteem integraal bekeken, en aangegeven welke belangrijkste kansen en risico's er worden gezien voor dit warmtesysteem.

7.1 Kansen

Draagvlak en handelingsperspectief

Met name op buurtniveau is het hybride warmtesysteem een kansrijk concept, omdat dit kan zorgen voor draagvlak. Door bewoners de vrijheid te geven in de wijze hoe zij over willen stappen naar een warmtenet, denk hierbij aan de timing en mate van isolatie, het wel of niet afscheid nemen van de huidige gasketel, zal het draagvlak voor zo een net zeker groter zijn. Met een duidelijke visie over het warmteniveau van het net, en de noodzakelijke aanpassingen en mogelijke verdere verbeterstappen ontstaat een duidelijk handelingsperspectief voor burgers en bedrijven. Warmte-afnemers kunnen dan optimaal gebruik maken van natuurlijke momenten om gebouwmaatregelen zoals isolatie te realiseren. Daardoor zijn de kosten van deze maatregelen lager dan op een door anderen bepaald moment'.

Hierbij is het natuurlijk wel noodzakelijk dat zo een duidelijke en breed gedragen visie er komt, en dat het hybride warmtenet gerealiseerd wordt (zie risico's).

Robuustheid

In deze studie is aangegeven dat er in Den Haag veel warmtebronnen aanwezig zijn die in theorie warmte aan zo een net kunnen leveren. Hiermee voorkom je dat het warmtenet afhankelijk is van een enkele bron en dat daarbij 100% redundantie van de warmtebron gerealiseerd moet worden. Meerdere bronnen kunnen elkaar aanvullen en opvangen als er één uitvalt. De complexiteit van een warmtenet neemt echter toe.

Verduurzaming op korte en langere termijn

In het hybride warmtesysteem wordt een splitsing gemaakt tussen de levering van een duurzame basislast, en een langzame verduurzaming van de piekvoorziening. Dit is slim, want hierdoor is CO₂-reductie op de korte termijn te realiseren, terwijl de duurzame piekvoorziening financieel minder aantrekkelijk is. Door deze piek nog een tijdlang met reeds bestaande fossiele energiebronnen in te vullen is het mogelijk om toch al grote stappen in het nieuwe energiesysteem te zetten.

7.2 Risico's

Complexiteit

Het hybride warmtesysteem is een complex systeem. Het vraagt om een integrale systeem-opzet bij het uitleggen van lokale buurtnetten, zodat deze later gekoppeld kunnen worden. Daarnaast vraagt het om controle op het invoeden van meerdere warmtebronnen, en het verzorgen van opslag om door het jaar heen voldoende warmte te kunnen leveren. Het systeem is daarmee complexer dan een traditioneel warmtenet.

Verspreide businesscases

Het hybride warmtesysteem is in deze studie voor de gehele stad bekeken. Als er gestart wordt met lokale buurtnetten dan moet er voor ieder buurtnet ook een interessante businesscase zijn. Dit betekent zowel een gegarandeerde beschikbaarheid van warmte als een gegarandeerde afname ervan. Deze is wellicht niet overal (voldoende) aanwezig. Dit vraagt om veel onderzoek op lokaal niveau voordat een besluit kan worden genomen om zo een net te ontwikkelen.

Ook moeten alle losse warmtenetten vanaf het begin leveringszekerheid kunnen garanderen. Dit zou kunnen betekenen dat er veel redundantie moet worden ingebouwd om eventuele wegval van een bron op te kunnen vangen, terwijl dit in het latere systeem zou worden opgevangen door andere bronnen aangesloten op het transportnet.

Noodzaak visie en zekerheid

Er is vanaf het begin van realisatie een visie op de toekomst van dit warmtesysteem nodig. Alleen dan genieten alle klanten in het systeem van dezelfde rechten en plichten, en kunnen de buurtnetten later probleemloos aansluiten op een backbone. Dit vraagt om voorinvesteringen/afspraken die nu niet nodig zijn, maar voor het toekomstige warmtesysteem wel. Denk hierbij aan het aanleggen van grotere diameters aan pijpleiding, het voorzien in loze koppelstukken, et cetera. Waar een goede visie het voor bewoners gemakkelijker maakt om hun woning te verduurzamen, kan de noodzaak van zo een visie ervoor zorgen dat de realisatie van het warmtenet juist lastiger van de grond komt. Deze visie moet vervolgens vertaald worden naar een plan dat zekerheid/garanties biedt voor bewoners, corporaties, aanbieders en investeerders.

Komst van regionale restwarmte

In Den Haag wordt er ook gekeken naar het aanleggen van een warmteleiding om rest-warmte uit het Rotterdamse Havengebied naar Den Haag te brengen. Deze warmte zal met name de basislast voorzien van woningen in delen van Den Haag. Doordat er grote investeringen gemoeid zijn met het aanleggen van de warmteleiding, zal de wens zijn om in deze buurten zoveel mogelijk basislast te leveren. Aangezien het hybride warmtesysteem ook focust op het leveren van basislast, zullen beide systemen met elkaar concurreren wanneer deze naast elkaar in dezelfde wijk worden uitgelegd. Het is dan ook aan te bevelen om van tevoren goed te kijken in welke wijken het hybride warmtesysteem de voorkeur geniet, en in welke wijken HT-restwarmte een betere optie is, en er in de uitvoering voor te zorgen dat deze systemen elkaar niet onnodig gaan beconcurreren.

8 Bevindingen

In deze quickscan is het concept van het lokale hybride (LT/HT)-warmtesysteem nader uitgeschreven. De elementen van het systeem zijn in beeld gebracht, en er heeft een inventarisatie plaatsgevonden van zowel realistisch inzetbare bronnen als de theoretische potentie van de in Den Haag aanwezige warmtebronnen, en er is gekeken naar de kosten van de benodigde onderdelen van het warmtenet en de kosten voor de minimaal benodigde maatregelen in de woning om het systeem te realiseren. In deze studie is niet gekeken naar de totale kosten voor het realiseren van dit systeem op wijk- of buurniveau, of het totaal van de investering- en onderhoudskosten voor zowel woningingrepen, energiekosten, en infrastructuurkosten. Ook is deze oplossing in deze studie niet vergeleken met andere warmtetechnieken.

Het systeem

Het bestudeerde hybride (LT/HT)-warmtesysteem gaat uit van een lokaal lagetemperatuur-warmtenet op een basistemperatuur van 40°C, en een basisisolatie van alle woningen. Met dit systeem kunnen vele warmtebronnen invoeden op het warmtenet, en zijn woningen de meeste dagen in het jaar comfortabel warm te houden. Op erg koude dagen kan de CV-ketel, die vooralsnog in de woning blijft hangen, ingezet worden om de woning op temperatuur te houden. Eventueel is het mogelijk om hiervoor een lokale piekvoorziening in de woning (warmtepomp), dan wel een piekvoorziening die de temperatuur van het net verhoogt tot 55°C op buurt-/wijkeniveau, in te zetten. CMAG gaat ervan uit dat er in veel gevallen gebruik kan worden gemaakt van reeds bestaande infrastructuur, zoals de huidige piek- en hulpketels van het bestaande warmtenet, de water/infiltratie leidingen waterleidingen, in Den Haag aanwezige (bio-)WKK's, et cetera. Voor de individuele afnemers is er een grote mate van keuzevrijheid in de mate en tempo waarin zij hun woning aanpassen. Tevens is het mogelijk voor afnemers om warmte terug te leveren aan het warmtenet. Hoewel de fossiele infrastructuur voorlopig nog behouden blijft voor het verzorgen van de piekvraag (10%) van de woningen maakt dit systeem de weg vrij voor een grote CO₂-emissiereductie van meer dan 90%.

Lokale warmtebronnen

Uit de inventarisatie van lokale warmtebronnen blijkt dat er veel verschillende hernieuwbare warmtebronnen in Den Haag te vinden zijn. De geraamde capaciteit telt bij elkaar op tot voldoende voor het dekken van de vraag naar **basislast (85-90%)** in Den Haag. De theoretische potentie van de bronnen is veel ruimer. De **pieklast (10-15%)**, nodig op koude dagen, is met de geïdentificeerde hernieuwbare bronnen nog niet geheel in te vullen. CMAG gaat ervan uit dat bestaande bronnen met deels lage CO₂-emissie zoals bio-WKK's, de Constant Rebecque-centrale en overige hulpcentrales, alsmede HR-aardgasketels, voorlopig kunnen worden ingezet als pieklastvoorziening. Hiermee is er voldoende capaciteit voor pieklast aanwezig in Den Haag, die aanvankelijk nog wel CO₂-emissies tot gevolg zal hebben en op termijn moet worden vervangen door een fossielvrije drager.

Kosten

Netinfra en opslag

In deze studie wordt aangegeven welke kostencomponenten komen kijken bij de realisatie van een warmtenet, en bij het aanleggen van warmteopslag. Er is geen berekening gemaakt van wat de kosten zullen zijn in een concrete buurt. Wel wordt op basis van de in beeld gebrachte kosten van de verschillende componenten verondersteld dat de aanleg- en onderhoudskosten voor het lokale hybride warmtenet niet hoger zijn dan bij het aanleggen van een hogetemperatuurwarmtenet. De kosten voor warmteopslag zijn wel onderscheidend, maar in deze studie niet verder doorgerekend.

Kosten in de woning

Om de investeringskosten voor de bewoner te bepalen zijn er drie, in Den Haag veel voorkomende, woningtypes bekeken. Dit is gedaan voor de minimale aanpassingen die nodig zijn om het systeem te gebruiken. Het betreft:

- het plaatsen van HR++-glas in de woning;
- het vervangen van de radiatoren in de leefruimten (woonkamer, keuken) voor LT-radiatoren;
- kierdichting;
- toepassen van ventilatie (balansventilatie of mechanische ventilatie) in de woning.

In de berekeningen is ervoor gekozen om een variant door te rekenen waarbij de CV-ketel voorlopig behouden blijft om wanneer dit nodig is in de pieklast te voorzien. In alle drie de woningtypes is het ruimtelijk mogelijk om de bestaande radiatoren te vervangen door LT-radiatoren, waarmee alle woningen op 40°C basis en 55°C piek, warm te krijgen zijn. Het feit dat de gekozen woningtypes veel in Den Haag voorkomen, het hier mogelijk is het systeem te realiseren. En dat de vooroorlogse woningtypes die hier bekeken zijn lastiger te isoleren zijn dan de na-oorlogse woningtypen in Den Haag, lijken te onderschrijven dat dit voor nagenoeg alle woningen in Den Haag mogelijk moet zijn.

Kansen en risico's

De kansen en risico's van het systeem zijn in beeld gebracht. Wat als kansrijk wordt gezien aan dit concept is dat deze aanpak, door de keuzevrijheid bij bewoners en de lokale schaal, waarschijnlijk kan rekenen op extra draagvlak. Het gebruik van meerdere bronnen maakt op termijn het systeem ook robuuster, omdat de afhankelijkheid van een individuele bron afneemt. Hiernaast worden er ook een aantal risico's geïdentificeerd. Het belangrijkste risico is dat het hybride warmtesysteem als een complex systeem gezien kan worden met een hoge systeemafhankelijkheid: het is nodig om meerdere warmteleveranciers te committeren, of zelf bronnen te realiseren, tegelijk met het verkrijgen van voldoende afnemers, om daadwerkelijk een warmtenet te realiseren. Realisatie van zo een systeem vraagt om een breed gedragen visie, en commitment van partijen, op dat dit systeem ook daadwerkelijk wordt gerealiseerd.

Hiernaast is de opzet van CMAG en KBnG dat het hybride warmtesysteem gestart wordt vanuit lokale buurtnetten die later worden gekoppeld. Als er gestart wordt met lokale buurt-/wijknetten dan moet er voor ieder buurtnet ook een acceptabele businesscase zijn. Dit vraagt om onderzoek op buurtniveau voordat door de ontwikkelaar van het buurtnet een besluit kan worden genomen om zo een net te ontwikkelen. Daarnaast vraagt het om een integrale systeemopzet bij het uitleggen van de lokale buurtnetten, zodat deze later gekoppeld kunnen worden. Deze integrale systeemopzet is ook nodig bij de afstemming van andere warmtenetsystemen. Wanneer twee warmtesystemen naast elkaar in dezelfde wijk worden uitgelegd zullen beide systemen met elkaar concurreren voor de basislast. Het is dan ook aan te bevelen om van tevoren goed te kijken in welke wijken welk warmtesysteem de voorkeur geniet, en er in de uitvoering voor te zorgen dat deze systemen elkaar niet onnodig gaan beconcurreren.

Geadviseerd wordt om het lokale hybride warmteconcept verder uit te werken, en hierbij goed te kijken naar wat er geleerd kan worden van andere projecten in het land, zoals het Mijwaterconcept in Heerlen. Om te bepalen in welke wijken in Den Haag deze techniek kansrijk is, wordt geadviseerd om deze techniek op te nemen in een bredere scenariostudie waarin verschillende technieken met elkaar vergeleken worden. Vervolgens kan er middels een pilot in enkele wijken/buurtten ervaring worden opgedaan. Daarbij dient er rekening mee te worden gehouden dat de piekvraag op termijn ook duurzaam kan worden ingevuld, zodat de pilot niet afhankelijk is van de komst van het gehele systeem.

9 Verwijzingen

Bosch, R., 2015. *Modelling the effects of different renovation scenarios of apartments on the configuration of the Ecovat energy storage system*, Eindhoven: TU Eindhoven.

CE Delft, Deltares, 2018. *Nationaal potentieel van aquathermie*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2018. *Backcasting Den Haag*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2018. *Weg van Gas*, Delft: CE Delft.

Den Haag, 2017. *RIS297800 : Hernieuwde vraagstelling backcastingstudie 2017*, Den Haag: Gemeente Den Haag.

Gemeente Den Haag, 2018. *Coalitieakkoord 2018-2022*, Den Haag: Gemeente Den Haag.

Haags klimaatpact, 2018. *Haags klimaatpact*. [Online]

Available at: <https://www.haagsklimaatpact.nl/index.php/zij-steunen-het-haags-klimaatpact-al/>

[Geopend 15 02 2018].

IEA-SHC, 2015. *Task 45 Large Systems: Seasonal thermal energy storage*, Stuttgart, Germany: Solites.

IF Technology, 2016. *Landelijke verkenning warmte en koude uit het watersysteem*, Arnhem: IF Technology bv.

IF Technology, 2016. *Potentieel geothermie gemeente Den Haag : Quickscan*, Arnhem: IF Technology.

IF Technology, 2016. *Potentieel geothermie in Zuid-Holland*, Arnhem: IF Technology.

KNMI, 2011. *Klimaatatlas*. [Online]

Available at: <http://www.klimaatatlas.nl/>

[Geopend 19 02 2019].

KWA, 2018. *Graaddagen en koeldagen*. [Online]

Available at: <https://www.kwa.nl/diensten/graaddagen-en-koeldagen>

[Geopend 15 02 2018].

RVO, 2019. *Warmteatlas*. [Online]

Available at: <http://rvo.b3p.nl/viewer/app/Warmteatlas/v2>

[Geopend 2019].

SKB, 2013. *Position Paper Hogetemperatuuropslag*, Gouda: SKB.

TAUW, 2018. *Haalbaarheid duurzame warmtevoorziening Ramplaankwartier, gemeente Haarlem*, Deventer: TAUW.

A Bepaling capaciteit warmtenet

In deze bijlage staat omschreven hoe de capaciteit van een warmtenet bepaald kan worden.

Verliezen

In het warmtenet is sprake van verliezen. De verliezen op capaciteit worden gelijkgesteld aan die bij het HT-net, namelijk 5%. De verliezen op volume worden aangenomen iets lager te zijn (15 versus 20% bij het HT-net).

Benodigd thermisch vermogen distributienet

Het benodigd thermisch vermogen van het distributienet en de onderstations is:

$$P_{distributienet} = \frac{1}{1 - \beta} \cdot y \cdot \Sigma(ASW \cdot a)$$

Met:

- P = benodigd thermisch vermogen (kW);
- B = piekverliesfactor op capaciteit = 5%;
- y = gelijktijdigheidsfactor = 50%;
- ASW = thermische aansluitwaarde van de woningen (ca. 5-12 kW/woning) (kW);
- A = aantal woningen die worden aangesloten.

Benodigd thermisch vermogen aanvoernet

De SPF (Seasonal Performance Factor) van de collectieve warmtepomp bepaalt de verhouding tussen de capaciteitsvraag van de onderstations en het aanvoernet.

De SPF wordt als volgt berekend:

$$SPF = \eta * \frac{T_{cond}}{T_{cond} - T_{evp}}$$

Daarbij is:

- T_{cond} , de aanvoertemperatuur van het distributienet + 2 graden (in Kelvin), dus bij een aanvoertemperatuur van 70°C is dit 345°K;
- T_{evp} is de retourtemperatuur van het bronnet -2 graden, dus bij een retourtemperatuur van 20°C is dit 291°K;
- de efficiëntiefactor η wordt ingeschat als 60% van de theoretische Carnot COP.

De SPF komt uit op 3,8.

De capaciteit van het (lagetemperatuur-) aanvoernet is afhankelijk van het gevraagde piekvermogen van de onderstations (midentemperatuur) en de SPF van de collectieve warmtepomp. Het aanvoernet levert $(1 - 1/SPF)$ deel van het geproduceerde vermogen:

$$SPF_c = \frac{Q_{distributienet}}{W_{el}} = \frac{Q_{aanvoernet} + W_{el}}{W_{el}}$$

Dit is om te schrijven in:

$$Q_{aanvoernet} = Q_{distributienet} \left(1 - \frac{1}{SPF_c} \right)$$

Het vermogen schaaft op dezelfde manier als de warmtevraag:

$$P_{aanvoernet} = P_{distributienet} \left(1 - \frac{1}{SPF_c} \right)$$

Het gevraagde (piek)vermogen van het aanvoernet moet gedekt worden met het vermogen van de aangesloten bron(nen).